



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



Πτυχιακή Εργασία

## Μετάδοση Internet-Protocol Television (IPTV) μέσω Ασύρματων Δικτύων WiMAX



Της φοιτήτριας  
Δημοράγκα Παρασκευής  
Αρ. Μητρώου: 02/1935

Επιβλέπων καθηγητής  
Χατζημήσιος Περικλής  
Επίκ. Καθηγητής Α.Τ.Ε.Ι.Θ.

Θεσσαλονίκη 2010







.....  
Δημοράγκα Θ. Παρασκευή

Διπλωματούχος Μηχανικός Πληροφορικής Α.Τ.Ε.Ι.Θ.

Copyright © Δημοράγκα Θ. Παρασκευή, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης.



## Πρόλογος

Η IPTV (Internet Protocol Television) τεχνολογία είναι μία από τις αναδυόμενες υπηρεσίες στο χώρο της οικιακής ψυχαγωγίας. Η ολοένα και αυξανόμενη αποδοχή της από το καταναλωτικό κοινό οδηγεί τους κατασκευαστές των τηλεπικοινωνιακών δικτύων καθώς και τους φορείς παροχής αυτής της υπηρεσίας, στην αναζήτηση νέων μεθόδων διάθεσης για την εξυπηρέτηση μεγαλύτερου πλήθους συνδρομητών αλλά και για τη βελτίωση χαρακτηριστικών της όπως είναι η ποιότητα της εικόνας και του ήχου.





## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας υπήρξε η μελέτη των μεθοδολογιών διανομής των υπηρεσιών της IPTV (Internet Protocol Television) τεχνολογίας μέσω των WiMAX ασύρματων δικτύων.

Αρχικά στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή και μία επισκόπηση των διαθέσιμων ασύρματων τεχνολογιών ορισμένων για την κατανόηση των ομοιοτήτων και των διαφορών τους συγκριτικά με το WiMAX. Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλύονται οι έννοιες της IPTV και του VoD (Video on Demand) το οποίο είναι μία από της προσφερόμενες υπηρεσίες της IPTV τεχνολογίας. Κατόπιν το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζει τη λειτουργία των WiMAX δικτύων όπου είναι το αντικείμενο μελέτης της διανομής της IPTV τεχνολογίας.

Τέλος στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των μεθοδολογιών που έχουν προταθεί έως σήμερα για τη διανομή της IPTV τεχνολογίας μέσω των WiMAX δικτύων, οι οποίες στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας των κύριων χαρακτηριστικών της, και της ρυθμοαπόδοσης της. Επιπλέον γίνεται αναφορά σε ερευνητικές προκλήσεις και τη βιωσιμότητα της στο μέλλον.



## **Abstract**

The objective of this thesis was the study of the approaches of distributions of IPTV (Internet Protocol Television) services via WiMAX wireless networks.

For starters, in the first chapter there is the history of the available wireless technologies up to date towards the understanding of their similarities and differences in comparison to WiMAX. In the second chapter, the notions of IPTV and VoD (Video on Demand- an IPTV service) are analysed. Furthermore, in the third chapter there is a presentation of the use of WiMAX networks which is the object of study of the distribution of IPTV technology.

Last but not least, in the fourth chapter, the analysis of the approaches that have been suggested up to date for the distribution of IPTV technology via WiMAX networks is being made which are targeted towards the improvement of the quality of its main characteristics and of its throughput. Moreover, there is a reference in the research challenges and its viability in the future.



# Περιεχόμενα

|   |     |
|---|-----|
| <b>Κεφάλαιο 1</b> .....                                 | 1   |
| <b>Επισκόπηση των ασύρματων τεχνολογιών</b> .....       | 1   |
| 1.1 Εισαγωγή .....                                      | 2   |
| 1.2 Ιστορική αναδρομή ασύρματων τεχνολογιών .....       | 2   |
| 1.3 Κατηγορίες ασύρματων τεχνολογιών .....              | 3   |
| 1.4 Γενιές δικτύων κινητής τηλεφωνίας .....             | 4   |
| 1.4.1 Κινητά δίκτυα 1ης γενιάς .....                    | 4   |
| 1.4.2 Κινητά δίκτυα 2ης γενιάς .....                    | 6   |
| 1.4.3 Κινητά δίκτυα γενιάς 2.5 .....                    | 9   |
| 1.4.4 Κινητά δίκτυα γενιάς 2.75 .....                   | 11  |
| 1.4.5 Κινητά δίκτυα 3ης γενιάς .....                    | 13  |
| 1.4.6 Κινητά δίκτυα 3.5 γενιάς .....                    | 15  |
| 1.4.7 Κινητά δίκτυα 3.9 γενιάς .....                    | 16  |
| 1.4.8 Κινητά δίκτυα 4ης γενιάς .....                    | 19  |
| 1.5 Ασύρματα δίκτυα δεδομένων .....                     | 21  |
| 1.5.1 Ασύρματα προσωπικά δίκτυα .....                   | 21  |
| 1.5.2 Ασύρματα τοπικά δίκτυα .....                      | 32  |
| 1.5.3 Ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα .....               | 37  |
| 1.5.4 Ασύρματα περιφερειακά δίκτυα .....                | 42  |
| 1.6 Επίλογος .....                                      | 45  |
| 1.7 Βιβλιογραφία .....                                  | 50  |
| <b>Κεφάλαιο 2</b> .....                                 | 54  |
| <b>Voice over IP &amp; Video on Demand</b> .....        | 54  |
| 2.1 Εισαγωγή .....                                      | 56  |
| 2.2 Voice over IP .....                                 | 56  |
| 2.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....             | 58  |
| 2.2.2 Πρωτόκολλα σηματοδότησης .....                    | 60  |
| 2.2.3 Softswitch .....                                  | 62  |
| 2.2.4 Ποιότητα φωνής .....                              | 64  |
| 2.2.5 Τεχνικές μέτρησης ποιότητας .....                 | 66  |
| 2.2.6 Παραβιάσεις ασφαλείας .....                       | 67  |
| 2.2.7 Υποστήριξη υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης .....       | 69  |
| 2.3 Video on Demand .....                               | 71  |
| 2.3.1 Τύποι VoD υπηρεσιών .....                         | 72  |
| 2.3.2 Λογισμικό VoD server .....                        | 75  |
| 2.3.3 VoD πρωτόκολλα διανομής .....                     | 77  |
| 2.4 Επίλογος .....                                      | 83  |
| 2.5 Βιβλιογραφία .....                                  | 85  |
| <b>Κεφάλαιο 3</b> .....                                 | 86  |
| <b>Internet Protocol Television</b> .....               | 86  |
| 3.1 Εισαγωγή .....                                      | 87  |
| 3.2 Διαφορές μεταξύ IPTV και Internet TV .....          | 88  |
| 3.3 Δομή ενός δικτύου IPTV .....                        | 90  |
| 3.4 Βασικές υπηρεσίες IPTV .....                        | 91  |
| 3.4.1 Εκπομπή ψηφιακής τηλεόρασης .....                 | 91  |
| 3.4.2 Video on Demand (VoD) .....                       | 95  |
| 3.5 Παράγοντες ανάπτυξης IPTV .....                     | 95  |
| 3.6 Οργανισμοί τυποποίησης IPTV .....                   | 96  |
| 3.7 Τεχνολογίες δικτύων διανομής IPTV .....             | 98  |
| 3.7.1 IPTV διαμέσου οπτικών ινών .....                  | 99  |
| 3.7.2 IPTV διαμέσου δικτύων καλωδιακής τηλεόρασης ..... | 103 |
| 3.7.3 IPTV διαμέσου DSL δικτύων .....                   | 110 |
| 3.7.4 IPTV διαμέσου δορυφορικών δικτύων .....           | 114 |
| 3.7.5 IPTV διαμέσου Internet .....                      | 116 |
| 3.7.6 IPTV διαμέσου ασύρματων τεχνολογιών .....         | 118 |
| 3.8 Τεχνολογίες πυρήνα δικτύου IPTV .....               | 122 |
| 3.8.1 ATM και SONET/SDH .....                           | 122 |

|                   |   |            |
|-------------------|---|------------|
| 3.8.2             | IP και MPLS.....  | 123        |
| 3.8.3             | Metro Ethernet.....   | 124        |
| 3.9               | Παράγοντες δικτύου που επηρεάζουν την ανάπτυξη της IPTV ..... | 126        |
| 3.10              | Πραγματικόχρονη κωδικοποίηση.....                             | 127        |
| 3.10.1            | MPEG συμπίεση .....   | 128        |
| 3.10.2            | VC-1 συμπίεση.....  | 135        |
| 3.11              | Επικοινωνιακό μοντέλο IPTV.....                               | 136        |
| 3.12              | Μεθοδολογίες διανομής IPTV περιεχομένου .....                 | 143        |
| 3.12.1            | Unicast.....  | 143        |
| 3.12.2            | Broadcast .....   | 144        |
| 3.12.3            | Multicast .....   | 145        |
| 3.13              | Αρχιτεκτονική πολυεκπομπής δικτύου IPTV.....                  | 147        |
| 3.13.1            | Συσκευές IGMP .....   | 147        |
| 3.13.2            | Ομάδες πολυεκπομπής και διευθυνσιοδότηση .....                | 148        |
| 3.13.3            | IPTV πρωτόκολλα πολυεκπομπής.....                             | 148        |
| 3.13.4            | Αρχιτεκτονική multicast μετάδοσης .....                       | 150        |
| 3.14              | Λειτουργία αλλαγής καναλιών.....                              | 156        |
| 3.14.1            | Βασικές αρχές της αλλαγής καναλιών .....                      | 158        |
| 3.14.2            | Τεχνικές μείωσης απαιτούμενου χρόνου αλλαγής καναλιών .....   | 161        |
| 3.15              | Ποιότητα Υπηρεσίας IPTV .....                                 | 163        |
| 3.16              | Ποιότητα εμπειρίας IPTV .....                                 | 165        |
| 3.17              | Ασφάλεια τεχνολογίας IPTV.....                                | 167        |
| 3.17.1            | CA συστήματα ασφαλείας .....                                  | 167        |
| 3.17.2            | DRM συστήματα ασφαλείας.....                                  | 175        |
| 3.18              | Επίλογος .....  | 179        |
| 3.19              | Βιβλιογραφία .....  | 180        |
| <b>Κεφάλαιο 4</b> | <b>.....</b>  | <b>181</b> |
| <b>WiMAX</b>      | <b>.....</b>  | <b>181</b> |
| 4.1               | Εισαγωγή .....  | 182        |
| 4.2               | WiMAX Forum.....  | 183        |
| 4.3               | Δομή δικτύου WiMAX.....                                       | 184        |
| 4.3.1             | Τοπολογίες σύνδεσης δικτύου .....                             | 186        |
| 4.4               | Υποστηριζόμενες ζώνες συχνοτήτων .....                        | 191        |
| 4.5               | Πρότυπα WiMAX.....  | 193        |
| 4.5.1             | IEEE 802.16 .....   | 193        |
| 4.5.2             | IEEE 802.16a .....  | 194        |
| 4.5.3             | IEEE 802.16-2004 .....  | 195        |
| 4.5.4             | IEEE 802.16e-2005 .....                                       | 195        |
| 4.5.5             | IEEE 802.16f-2005 .....                                       | 198        |
| 4.5.6             | IEEE 802.16j-2009 .....                                       | 198        |
| 4.5.7             | IEEE 802.16m .....  | 199        |
| 4.6               | Τεχνολογία Έξυπνων Κεραίων .....                              | 199        |
| 4.6.1             | Συστήματα Κεραίων Πολλαπλής Εισόδου/Εξόδου .....              | 199        |
| 4.6.2             | Προσαρμοστικά Συστήματα Κεραίων .....                         | 202        |
| 4.7               | Εφαρμογές WiMAX.....  | 204        |
| 4.8               | Πλεονεκτήματα WiMAX.....                                      | 206        |
| 4.9               | Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης.....                                | 207        |
| 4.9.1             | Επίπεδο Σύγκλισης .....                                       | 209        |
| 4.9.2             | Κοινό Επίπεδο.....  | 209        |
| 4.9.3             | Υποεπίπεδο ασφαλείας.....                                     | 209        |
| 4.9.4             | Καταστολή Κεφαλίδας Πακέτων.....                              | 209        |
| 4.9.5             | Σύνδεσεις και Ροές Υπηρεσίας.....                             | 210        |
| 4.9.6             | Κατάταξη και Απεικόνιση των MAC SDUs .....                    | 213        |
| 4.9.7             | Επίπεδο σύγκλισης και Ποιότητα Υπηρεσίας.....                 | 214        |
| 4.9.8             | MAC διευθύνσεις και πλαίσια.....                              | 217        |
| 4.9.9             | Τεμαχισμός, Πακετοποίηση και Συναλύσωση.....                  | 218        |
| 4.9.10            | Μηχανισμοί αίτησης και κατανομής εύρους ζώνης .....           | 219        |
| 4.9.11            | Διαχείριση κινητικότητας.....                                 | 220        |
| 4.9.12            | Λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας .....                     | 224        |
| 4.9.13            | Θέματα ασφαλείας στο WiMAX.....                               | 227        |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 4.10   | Φυσικό επίπεδο .....  | 237 |
| 4.10.1 | FDD και TDD τεχνικές μετάδοσης .....  | 238 |
| 4.10.2 | Ορθογωνική Πολύπλεξη Διάρθρωσης Συχνότητας .....  | 239 |
| 4.10.3 | Ορθογωνική Διάρθρωση Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης και υποκαναλοποίηση<br>241                          |     |
| 4.10.4 | Δομή θυρίδας και πλαισίου .....   | 244 |
| 4.10.5 | Προσαρμοστική Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση .....   | 248 |
| 4.10.6 | Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων .....  | 250 |
| 4.10.7 | Παραλλαγές Διεπαφών Φυσικού Επιπέδου .....  | 250 |
| 4.11   | Επίλογος .....  | 251 |
| 4.12   | Βιβλιογραφία .....  | 252 |
|        | Κεφάλαιο 5 .....  | 253 |
|        | IPTV over WiMAX.....  | 253 |
| 5.1    | Εισαγωγή .....  | 254 |
| 5.2    | Πλεονεκτήματα IPTV over WiMAX.....  | 255 |
| 5.3    | Τεχνολογικές προκλήσεις.....  | 256 |
| 5.4    | Προτεινόμενη αρχιτεκτονική.....   | 257 |
| 5.5    | Multicast διανομή IPTV over WiMAX συστήματος.....   | 263 |
| 5.5.1  | Superposition Coded Multicasting τεχνική δύο επιπέδων .....   | 264 |
| 5.6    | Βέλτιστη κατανομή ρυθμού μετάδοσης για την εξελικτική multicast διανομή βίντεο μέσω<br>του WiMAX.....   | 268 |
| 5.6.1  | Προτεινόμενο σχήμα βέλτιστης κατανομής του ρυθμού μετάδοσης .....                                       | 268 |
| 5.6.2  | Επιλογή συνδυασμών των σχημάτων διαμόρφωσης .....   | 269 |
| 5.6.3  | Χρήση Γενετικού Αλγορίθμου για τη μείωση της πολυπλοκότητας.....  | 271 |
| 5.7    | Cross-layer σχεδιασμός για την ανθεκτική διανομή IPTV υπηρεσιών μέσω WiMAX ...                          | 272 |
| 5.7.1  | Προγενέστερες μελέτες .....   | 272 |
| 5.7.2  | Εξελικτική κωδικοποίηση βίντεο.....   | 274 |
| 5.7.3  | Layered MDC .....   | 276 |
| 5.7.4  | Τροποποιημένη Layered MDC τεχνική .....   | 278 |
| 5.7.5  | Cross-Layer Superposition Coded Multicast.....  | 280 |
| 5.7.6  | Επιλογή βέλτιστης κατανομής ισχύος .....  | 284 |
| 5.8    | Συnergατική multicast διανομή IPTV υπηρεσιών μέσω WiMAX δικτύων .....                                   | 285 |
| 5.8.1  | Επιλογή multicast ομάδας.....   | 287 |
| 5.8.2  | Συnergατική μετάδοση .....  | 288 |
| 5.8.3  | Αποτελέσματα προσομοίωσης.....  | 290 |
| 5.9    | Αξιολόγηση QoS παραμέτρων για τη μέτρηση της ποιότητας διανομής IPTV βίντεο μέσω<br>δικτύου WiMAX ..... | 292 |
| 5.9.1  | Ποιότητα βίντεο σε περιπτώσεις δοκιμών κάτω ζεύξης .....  | 297 |
| 5.9.2  | Ποιότητα βίντεο σε περιπτώσεις δοκιμών άνω ζεύξης.....  | 299 |
| 5.10   | Επίλογος .....  | 301 |
| 5.11   | Βιβλιογραφία .....  | 302 |
| 5.12   | Συμπεράσματα.....   | 304 |

# Ευρετήριο σχημάτων και πινάκων

## I. Σχήματα

**Σχήμα 1.1** Κύρια χαρακτηριστικά λειτουργίας των διάφορων ασύρματων δικτύων διανομής δεδομένων

**Σχήμα 1.2** Στοιβά επιπέδων ZigBee προδιαγραφής

**Σχήμα 1.3** Τοπολογία αστέρα ενός ZigBee δικτύου

**Σχήμα 1.4** Τοπολογία δέντρου ενός ZigBee δικτύου

**Σχήμα 1.5** Τοπολογία βρόχου ενός ZigBee δικτύου

**Σχήμα 1.6** Παράδειγμα υλοποίησης ενός WLAN δικτύου

**Σχήμα 1.7** OSI και HiReLAN2 μοντέλα αναφοράς

**Σχήμα 1.8** Χρησιμοποιούμενα σχήματα διαμόρφωσης του IEEE 802.22 προτύπου

**Σχήμα 2.1** Χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα για τη δρομολόγηση των ροών δεδομένων

**Σχήμα 2.2** Συστατικά στοιχεία softswitch

**Σχήμα 2.3** Σύστημα διανομής EVoD

**Σχήμα 2.4** Εγκαθίδρυση VoD ροής

**Σχήμα 2.5** Ενθυλάκωση RTP πακέτου

**Σχήμα 2.6** Στοιβά RTP πρωτοκόλλων

**Σχήμα 2.7** RTSP μοντέλο επικοινωνίας

**Σχήμα 3.1** Απλοποιημένο διάγραμμα ενός IPTV συστήματος

**Σχήμα 3.2** IPTV FTTH δίκτυο με χρήση των PON τεχνολογιών

**Σχήμα 3.3** Παράδειγμα HFC δικτύου

**Σχήμα 3.4** Παράδειγμα μικτής IPTV αρχιτεκτονικής

**Σχήμα 3.5** Δικτυακή υποδομή DOCSIS 3.0

**Σχήμα 3.6** Αρχιτεκτονική IPTV με χρήση εξοπλισμού ADSL

**Σχήμα 3.7** Αρχιτεκτονική διανομής Internet TV καναλιού

**Σχήμα 3.8** WiMAX μοντέλο επικοινωνιών

**Σχήμα 3.9** Αρχιτεκτονική ασύρματου δημοτικού δικτύου βρόχου

**Σχήμα 3.10** Υποδομή IPTV δικτύου πυρήνα

**Σχήμα 3.11** MPLS τοπολογία δικτύου πυρήνα

**Σχήμα 3.12** Χρήση Ethernet εικονικών συνδέσεων για τη διασύνδεση κατά μήκος του δικτύου πυρήνα

**Σχήμα 3.13** Δομή ιεραρχίας μιας MPEG ροής βίντεο

**Σχήμα 3.14** Σειρά κωδικοποίησης και μεταφοράς των frames μιας ακολουθίας

**Σχήμα 3.15** Επικοινωνιακό μοντέλο IPTV

**Σχήμα 3.16** Unicast συνδέσεις χρηστών ενός καναλιού

**Σχήμα 3.17** IP συνδέσεις multicast τεχνικής

**Σχήμα 3.18** Αρχιτεκτονική multicast διανομής με τη χρήση του IGMP



**Σχήμα 3.19** Απλοποιημένο παράδειγμα IPTV multicast SPT

**Σχήμα 3.20** Απλοποιημένο παράδειγμα IPTV multicast διαμοιραζόμενου δέντρου

**Σχήμα 3.21** Παράδειγμα χρήσης του πρωτοκόλλου PIM-SM

**Σχήμα 3.22** Πιθανά βήματα επιλογής ενός IPTV καναλιού

**Σχήμα 3.23** Αλλαγή IPTV καναλιών

**Σχήμα 3.24** Κύριων συστατικά στοιχεία ενός hardware centric CA συστήματος

**Σχήμα 3.25** Συστατικά στοιχεία client CA συστήματος

**Σχήμα 3.26** Κύρια συστατικά στοιχεία ενός software centric CA συστήματος

**Σχήμα 4.1** Περιοχή κάλυψης του 802.16 δικτύου

**Σχήμα 4.2** Παράδειγμα 802.16 δικτύου

**Σχήμα 4.3** PTP τοπολογία σύνδεσης

**Σχήμα 4.4** PTM τοπολογία σύνδεσης

**Σχήμα 4.5** Τοπολογία πλέγματος

**Σχήμα 4.6** Multi-hop τοπολογία σύνδεσης

**Σχήμα 4.7** MIMO σύστημα κετραιών, 2x2

**Σχήμα 4.8** WiMAX σταθμός βάσης με χρήση AAS beamforming συστήματος

**Σχήμα 4.9** WiMAX σταθμός βάσης με χρήση πολλαπλών κεραιών και AAS

**Σχήμα 4.10** Υποεπίπεδα MAC επιπέδου

**Σχήμα 4.11** Απεικόνιση συνδέσεων και ροών υπηρεσιών

**Σχήμα 4.12** Ταξινόμηση και CID απεικόνιση

**Σχήμα 4.13** Κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας

**Σχήμα 4.14** Γενική μορφή ενός MAC frame ή MAC PDU

**Σχήμα 4.15** Ομαδοποίηση σταθμών βάσης σε paging

**Σχήμα 4.16** Παράδειγμα αρχιτεκτονικής multi-hop relay συστήματος

**Σχήμα 4.17** Αρχιτεκτονική ασφαλείας multi-hop relay συστήματος

**Σχήμα 4.18** Εγκαθίδρυση ζωνών ασφαλείας για τη multihop αναμετάδοση

**Σχήμα 4.19** Πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας

**Σχήμα 4.20** Ορθογωνική Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας

**Σχήμα 4.21** Ορθογωνική Διαίρεση Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης

**Σχήμα 4.22** Υποκαναλοποίηση άνω ζεύξης

**Σχήμα 4.23** Δομή ενός TDD frame

**Σχήμα 5.1** Αρχιτεκτονική διανομής IPTV υπηρεσιών για σταθερούς WiMAX συνδρομητές

**Σχήμα 5.2** Mapping και demapping διαδικασία κατά τη μεταφορά πακέτων

**Σχήμα 5.3** Διανομή IPTV υπηρεσιών για σταθερούς και εν κινήσει WiMAX συνδρομητές

**Σχήμα 5.4** Μοντέλο συστήματος IPTV εφαρμογών

**Σχήμα 5.5** Στοιβά πρωτοκόλλου IP για τη διανομή IPTV εφαρμογών

**Σχήμα 5.6** QoS υποστήριξη MAC επιπέδου

**Σχήμα 5.7** Multicast μετάδοση βίντεο σε υπό την ποικιλόμορφη εξασθένιση των καναλιών

**Σχήμα 5.8** Προτεινόμενο σχήμα multicast μετάδοσης δύο επιπέδων με τη χρήση superposition κωδικοποίησης

- Σχήμα 5.9** Διαφορά ισχύος μεταξύ των χρηστών ενός ασύρματου συστήματος
- Σχήμα 5.10 (α), (β)** Σύγκριση του PSNR μεταξύ του παραδοσιακού σχήματος μετάδοσης και του προτεινόμενου 2-level SPCM σχήματος για το SS1 και το SS10 αντίστοιχα
- Σχήμα 5.11** Κλιμακώσεις bit ροές με L επίπεδα ποιότητας
- Σχήμα 5.12** Συνάρτηση αλλοίωσης βίντεο ως προς το πλήθος των ληφθέντων ροών διαφορετικών επιπέδων ενός GoF
- Σχήμα 5.13** Παραγωγή των PUs από τα συμβατικά Layered MDC πακέτα
- Σχήμα 5.14** Παραγωγή των PUs από τα τροποποιημένα Layered MDC πακέτα με φθίνουσα του μήκους των bytes του  $K_i$  από τα χαμηλότερα επίπεδο ποιότητας προς τα υψηλότερα
- Σχήμα 5.15** PUs επιπέδου  $i$  που διαμορφώνονται από τον RS( $N, K_i$ )
- Σχήμα 5.16** Μετάδοση όλων των PUs όλων των επιπέδων μιας ροής μέσω της SPCM από το BS
- Σχήμα 5.17** Αποθήκευση των PUs του 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> επιπέδου στους B1 και B2 buffers για το σχηματισμό cross-layer SPCM σημάτων
- Σχήμα 5.18** Ανάκτηση πλήρους ποιότητας ενός GoF υπό την ποικιλόμορφη εξασθένηση κάθε SS
- Σχήμα 5.19** Προτεινόμενο σχήμα multicast διανομής
- Σχήμα 5.20** Steady-state service πιθανότητα για κάθε multicast ομάδα
- Σχήμα 5.21** Ομαλοποιημένη ρυθμοαπόδοση κάθε μέλους της multicast ομάδας
- Σχήμα 5.22** Ρυθμοαπόδοση δικτύου για διάφορες τιμές της C αναλογίας κάλυψης
- Σχήμα 5.23** Σχεδιάγραμμα δικτύου δοκιμής
- Σχήμα 5.24** Απώλεια πακέτων κάτω (α) και άνω ζεύξης (β) ως προς τις διάφορες συνθήκες καναλιού
- Σχήμα 5.25** Μετρήσεις jitter κάτω (α) και άνω ζεύξης (β) ως προς διάφορες συνθήκες καναλιού
- Σχήμα 5.26** Ποιότητα HD καναλιού σε περιπτώσεις δοκιμών υπό διαφορετικές συνθήκες
- Σχήμα 5.27** HDTV και SDTV ποιότητα για περιπτώσεις δοκιμών υπό διαφορετικές συνθήκες καναλιού

## II. Πίνακες

- Πίνακας 1.1** Τεχνικά χαρακτηριστικά δικτύων 1<sup>ης</sup> γενιάς
- Πίνακας 1.2** Τεχνικά χαρακτηριστικά δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς
- Πίνακας 1.3** Τεχνικά χαρακτηριστικά 2.5G και 2.75G δικτύων
- Πίνακας 1.4** Κλάσεις ισχύος Bluetooth προϊόντων
- Πίνακας 1.5** Σύγκριση χωρικής ικανότητας μεταξύ των WPAN προτύπων
- Πίνακας 1.6** Σύγκριση χαρακτηριστικών των WPAN τεχνολογιών
- Πίνακας 1.7** Κύρια χαρακτηριστικά των 802.11b, 802.11a και 802.11g προτύπων
- Πίνακας 2.1** Μετρήσεις καθυστέρησης κατά τη χρήση των διάφορων τύπων codecs
- Πίνακας 3.1** Πρόβλεψη πλήθους IPTV συνδρομητών σε παγκόσμιο επίπεδο, 2005-2010
- Πίνακας 3.2** Μέρη του MPEG-E προτύπου
- Πίνακας 3.3** Σύγκριση των διαφόρων PON τεχνολογιών
- Πίνακας 3.4** Χαρακτηριστικά εκδόσεων του DOCSIS
- Πίνακας 3.5** Διαφορές μεταξύ DOCSIS και EuroDOCSIS

**Πίνακας 3.6** Σύνοψη των MPEG προτύπων

**Πίνακας 4.1** Συχνότητες λειτουργίας WiMAX ανά τον κόσμο

**Πίνακας 4.2** Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων ανά σχήμα διαμόρφωσης και μέγεθος καναλιού προδιαγραφής 802.16.1

**Πίνακας 4.3** Συγκριτικός πίνακας IEEE 802.16, 802.16a, 802.16-2004 και 802.16e προτύπων

**Πίνακας 4.4** Περιπτώσεις εφικτών μεταπομπών

**Πίνακας 4.5** Μέγεθος υποφερόντων σε διαφορετικά πρότυπα και διαφορετικές τεχνικές διαμόρφωσης

**Πίνακας 4.6** Υποστηριζόμενα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης φυσικού επιπέδου

**Πίνακας 4.7** Ρυθμοί μετάδοσης φυσικού επιπέδου με διαφορετικό εύρος ζώνης καναλιού

**Πίνακας 4.8** Παραλλαγές διεπαφών φυσικού επιπέδου

**Πίνακας 5.1** Παράμετροι προσομοίωσης

**Πίνακας 5.2** Χαρακτηριστικά WiMAX δικτύου δοκιμής

**Πίνακας 5.3** Ρυθμοαπόδοσης WiMAX σύνδεσης

**Πίνακας 5.4** Περιπτώσεις ελέγχου ως προς την κωδικοποίηση του βίντεο και το σχήμα διαμόρφωσης

---

# Κεφάλαιο 1

## Επισκόπηση των ασύρματων τεχνολογιών

---

## 1.1 Εισαγωγή

Οι ασύρματες τεχνολογίες αποτελούν στις μέρες μας το ταχύτερα αναπτυσσόμενο τμήμα του κλάδου των επικοινωνιών. Με τα κινητά τηλέφωνα να έχουν γίνει αναπόσπαστο εργαλείο της καθημερινής ζωής των ανεπτυγμένων χωρών, τον εκθετικό ρυθμό ανάπτυξης των κυψελοειδών συστημάτων, τη διάδοση των φορητών Η/Υ και των Η/Υ παλάμης, οι ασύρματες τεχνολογίες σήμερα συμπληρώνουν ή αντικαθιστούν τις ενσύρματες τόσο στο περιβάλλον των επιχειρήσεων όσο και στο οικιακό περιβάλλον. Ωστόσο υπάρχουν ακόμη πολλές τεχνικές προκλήσεις για τον εύρωστο σχεδιασμό των ασύρματων τεχνολογιών ώστε να παρέχουν τις αναγκαίες επιδόσεις για την υποστήριξη των αναδυόμενων εφαρμογών.

## 1.2 Ιστορική αναδρομή ασύρματων τεχνολογιών

Τα πρώτα ασύρματα δίκτυα εμφανίστηκαν πριν από την εποχή της βιομηχανίας με τις πληροφορίες να μεταδίδονται με σήματα καπνού, φακούς σηματοδοσίας, φωτοβολίδες, κ.λπ. Οι αποστάσεις που κάλυπτε η μετάδοση των πληροφοριών αυτών απαιτούσαν την οπτική επαφή (line-of-sight) μεταξύ πομπού και δέκτη. Αυτές οι αρχικές μορφές επικοινωνίας αργότερα αντικαταστάθηκαν από τον τηλεγράφο και μεταγενέστερα από το τηλέφωνο.

Το 1888 στη Γερμανία παράγεται πρώτο ραδιοφωνικό κύμα από το φυσικό Heinrich Rudolf Herz, όπου και καθιερώθηκε ως τρόπος επικοινωνίας το 1894. Για τη λήψη των ραδιοκυμάτων ως μορφή σήματος χρησιμοποιήθηκαν καλώδια τηλεγράφου. Κατόπιν ο Herz άνοιξε το δρόμο για τη χρήση του ραδιοφώνου, της τηλεόρασης, και των ραντάρ, με την ανακάλυψη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Χάρη στον Ιταλό εφευρέτη Marchese Guglielmo Marconi, από το 1901 η διάδοση των σημάτων αυτών μπορούσε να διασχίσει τον Ατλαντικό ωκεανό. Τα αρχικά αυτά συστήματα μετέδιδαν αναλογικά σήματα με τα περισσότερα από αυτά σήμερα να κάνουν χρήση ψηφιακών σημάτων, ενώ ακολούθησε η τεχνολογία της μετάδοσης των ραδιοσημάτων σε πακέτα που χαρακτηρίζεται από την άνιση ροή μετάδοσης δεδομένων.

Το 1971, μια ομάδα ερευνητών του πανεπιστημίου της Χαβάης, δημιούργησε το ALOHANET το οποίο αποτέλεσε το πρώτο ασύρματο δίκτυο μεταγωγής πακέτων.

Το ALOHANET ήταν το πρώτο ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless Local Access Network - WLAN), το οποίο αποτελούνταν από επτά Η/Υ οι οποίοι επικοινωνούσαν αμφίδρομα μεταξύ τους με χρήση τοπολογίας αστέρα. Το ALOHANET ενσωμάτωσε την πρώτη σειρά πρωτοκόλλων για την πρόσβαση στα κανάλια και τη δρομολόγηση των πακέτων, με πολλές από τις βασικές αρχές των πρωτοκόλλων αυτών να χρησιμοποιούνται έως σήμερα. Ο πρώτος τύπος WLANs δικτύων χρησιμοποιούσε την «ελεύθερη» (unlicensed) ζώνη συχνοτήτων (902-928 MHz ISM) η οποία λόγω «συνωστισμού» προκαλούσε παρεμβολές [1] και έτσι η τεχνολογία αυτή έπρεπε να εκσυγχρονισθεί. Με το δεύτερο τύπο WLANs δικτύων επιτεύχθηκαν ταχύτητες τέσσερις φορές μεγαλύτερες από αυτές του προκάτοχού του οι οποίες άγγιξαν τα 2 Mbps. Σήμερα χρησιμοποιείται ένας τρίτος τύπος WLANs δικτύων ο οποίος επιτυγχάνει τις ίδιες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων με αυτές του δεύτερου τύπου.

Το 1990 δημιουργήθηκε η 802.11 ομάδα εργασίας για τη δημιουργία WLANs προτύπων. Το 1997, το IEEE 802.11 έγινε αποδεκτό ως πρότυπο μετάδοσης δεδομένων για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα με λειτουργία ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων 1 και 2 Mbps [2].

### **1.3 Κατηγορίες ασύρματων τεχνολογιών**

Οι ασύρματες τεχνολογίες δικτύωσης κατηγοριοποιούνται σε αυτές που προσανατολίζονται στη μετάδοση φωνής (voice-oriented) και σε αυτές που προσανατολίζονται στη μετάδοση δεδομένων (data-oriented). Οι voice-oriented ασύρματες τεχνολογίες έχουν εξελιχθεί γύρω από την ασύρματη σύνδεση στο PSTN (Public Switched Telephone Network) δίκτυο και υποδιαιρούνται περεταίρω στα τοπικής και ευρείας εμβέλειας δίκτυα. Τα δίκτυα τοπικής εμβέλειας βασίζονται σε συσκευές μικρής κινητικότητας, χαμηλής κατανάλωσης ισχύος και υψηλής ποιότητας σήματος φωνής συμπεριλαμβανομένων των ασύρματων τηλεφώνων κυψελοειδούς τεχνολογίας, των υπηρεσιών προσωπικών επικοινωνιών (Personal Communications Services - PCS) και των ασύρματων PBX (Private Branch exchange), ενώ τα δίκτυα ευρείας εμβέλειας χρησιμοποιούν τερματικά με μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος, πλήρους κάλυψης, και μικρότερης ποιότητας υπηρεσιών φωνής. Οι data-oriented ασύρματες τεχνολογίες εξελίχθηκαν γύρω

από το διαδίκτυο και κατηγοριοποιούνται με τη σειρά τους στα τοπικά ευρυζωνικά (Local Area Networks - LANs) και ad-hoc δίκτυα και στα ευρείας περιοχής (Wide Area Networks - WANs) ασύρματα δίκτυα δεδομένων. Τα τοπικά ευρυζωνικά και ad-hoc δίκτυα περιλαμβάνουν τα WLANs δίκτυα και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Access Networks - WPANs) [3].

#### **1.4 Γενιές δικτύων κινητής τηλεφωνίας**

Τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών ταξινομούνται από τους κατασκευαστές των κυψελοειδών τηλεφωνικών συστημάτων και τους φορείς παροχής υπηρεσιών σε διάφορες γενεές. Στα 1<sup>ης</sup> γενιάς (1<sup>st</sup> Generation - 1G) συστήματα ανήκουν τα voice-oriented αναλογικά κυψελοειδή ασύρματα τηλέφωνα, ενώ στα 2<sup>ης</sup> γενιάς (2<sup>nd</sup> Generation - 2G) ασύρματα δίκτυα ανήκουν τα voice-oriented ψηφιακά κυψελοειδή συστήματα, τα PCS συστήματα και τα data-oriented ασύρματα δίκτυα ευρείας και τοπικής εμβέλειας. Τα 3<sup>ης</sup> γενιάς (3<sup>rd</sup> Generation - 3G) δίκτυα ενσωματώνουν τις κυψελοειδείς και PCS υπηρεσίες φωνής με ποικίλες υπηρεσίες μεταφοράς μεταγωγής πακέτων σε ένα ενοποιημένο δίκτυο. Παράλληλα με τις ενοποιημένες 3G δραστηριότητες τυποποίησης, τα ευρυζωνικά τοπικά και ad-hoc δίκτυα προσέλκυσαν τεράστια προσοχή και ανέπτυξαν τα πρότυπά τους. Η κύρια διαφορά μεταξύ των 2G και 3G συστημάτων είναι ότι τα 2G συστήματα λειτουργούν στις «ελεύθερες» ζώνες συχνοτήτων ενώ τα 3G συστήματα λειτουργούν στις «αδειοδοτούμενες» (licensed) ζώνες συχνοτήτων [4]. Σήμερα βρίσκονται υπό ανάπτυξη τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς (4<sup>th</sup> Generation - 4G) τα οποία στοχεύουν στην ενοποίηση των WWANs, WLANs και WPANs δικτύων [5].

##### **1.4.1 Κινητά δίκτυα 1ης γενιάς**

Η πρώτη και δεύτερη γενιά κυψελοειδών συστημάτων ανήκει στη κατηγορία των WWANs δικτύων. Το AMPS (Advanced Mobile Phone System) το οποίο εισήχθη στις ΗΠΑ το 1979, υπήρξε το πρώτο δημόσιο κυψελοειδές σύστημα τηλεφωνίας πρώτης γενιάς. Κατά τη διάρκεια των αρχών της δεκαετίας του '80, στη δυτική Ευρώπη εισήχθησαν διάφορα κυψελοειδή συστήματα όπως το TACS (Total Access Communication System), το NMT (Nordic Mobile Telephony), το C450,

κ.λπ. Τα συστήματα αυτά δεν ήταν διαλειτουργικά μεταξύ τους και συνεπώς η περιαγωγή (roaming) των χρηστών μεταξύ των χωρών της Ευρώπης δεν ήταν δυνατή.

Τα 1G συστήματα χρησιμοποιούσαν δύο διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων για την εκπομπή και τη λήψη (τεχνική Frequency Division Duplexing - FDD), εύρους ζώνης 25 MHz η κάθε μία, οι οποίες υποδιαιρούνταν κατόπιν σε κανάλια, το καθένα από τα οποία μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από ένα χρήστη [6] και προοριζόντουσαν για την παροχή υπηρεσιών φωνής και τη μετάδοση δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος σε χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης (περίπου 9.6 kbps) με χρήση της FDMA (Frequency Division Multiple Access) τεχνικής ως μέθοδος πρόσβασης στο κανάλι [5]. Επίσης χρησιμοποιούσαν την αναλογική διαμόρφωσης συχνότητας (Frequency Modulation - FM), για την οποία οι απαιτήσεις ισχύος εξαρτώνται από το εύρος ζώνης της μετάδοσης [4][5]. Δεδομένου του γεγονότος ότι η ισχύς μετάδοσης συσχετίζεται με το εύρος κάλυψης, η μείωση του εύρους ζώνης μετάδοσης ανά χρήστη μπορεί να επιτευχθεί με τη μείωση του μεγέθους του κελιού ενός κυψελοειδούς δικτύου. Η ακτίνα της περιοχής κάλυψης ενός κελιού μπορεί να είναι μικρότερη του 1 Km στις πυκνοκατοικημένες ενώ μπορεί να φθάσει έως τα 30 Km στις αραιοκατοικημένες περιοχές. Η μείωση του μεγέθους των κελιών αυξάνει το πλήθος τους και συνεπώς το κόστος εγκατάστασης της δικτυακής υποδομής, επειδή κάθε κελί διαθέτει ένα σταθμό βάσης για την υλοποίηση και τη δρομολόγηση των κλήσεων. Στα μειονεκτήματα των συστημάτων πρώτης γενιάς μπορούμε να αναφέρουμε την περιορισμένη χωρητικότητα, τις ογκώδεις και υψηλού κόστους συσκευές που χρησιμοποιούσαν οι χρήστες [7] καθώς και την έλλειψη ασφαλείας εξαιτίας της απουσίας της κρυπτογράφησης και του γεγονότος ότι ένας άλλος δέκτης συντονισμένος στη σωστή συχνότητα μπορούσε να ακούσει τη συνομιλία άλλων προσώπων [6]. Επιπλέον η διαδικασία της μετάβασης σε άλλο κελί ή διαφορετικά η μεταπομπή (handover) ήταν αναξιόπιστη με αποτέλεσμα οι κλήσεις συχνά να τερματίζονται περιορίζοντας σημαντικά την κινητικότητα του χρήστη.

Ο πίνακας 1.1 που ακολουθεί παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά των διάφορων δικτύων πρώτης γενιάς.



**Πίνακας 1.1** Τεχνικά χαρακτηριστικά δικτύων 1<sup>ης</sup> γενιάς [8]

|   | <i>NTT</i> | <i>NMNT450</i> | <i>AMPS</i> | <i>ETACS</i> | <i>N-AMPS</i> | <i>JTACS</i> |
|---|------------|----------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| <i>Year Introduced</i>                  | 1979       | 1981           | 1983        | 1985         | 1991          | 1988         |
| <i>Location</i>                         | Japan      | Europe         | N. America  | Europe       | N.America     | Japan        |
| <i>Modulation</i>                       | FM         | FM             | FM          | FM           | FM            | FM           |
| <i>Multiple Access</i>                  | FDMA       | FDMA           | FDMA        | FDMA         | FDMA          | FDMA         |
| <i>Duplex</i>                           | FDD        | FDD            | FDD         | FDD          | FDD           | FDD          |
| <i>Forward channel (downlink) range</i> | n/a        | 463-468 MHz    | 869-894 MHz | 935-960 MHz  | 869-894 MHz   | 925 MHz      |
| <i>Reverse channel (uplink) range</i>   | n/a        | 453-458 MHz    | 824-849 MHz | 890-915 MHz  | 824-849 MHz   | 860 MHz      |
| <i>Channel Bandwidth</i>                | 25 KHz     | 25 KHz         | 30 KHz      | 25 KHz       | 10 KHz        | 25 KHz       |
| <i>Channel Separation</i>               | n/a        | 10 MHz         | 45 MHz      | 45 MHz       | 45 MHz        | n/a          |
| <i>Number of Channel</i>                | n/a        | 200            | 832         | 1000         | 2496          | n/a          |

#### 1.4.2 Κινητά δίκτυα 2ης γενιάς

Γενικά τα συστήματα πρώτης γενιάς δεν παρείχαν περιθώρια βελτίωσης για την εφαρμογή τεχνικών όπως η συμπίεση και η κωδικοποίηση οι οποίες προϋποθέτουν τη χρήση του ψηφιακού συστήματος και για το λόγο αυτό καταργήθηκαν. Ο κύριος στόχος των 2G συστημάτων ήταν η μεγιστοποίηση της χωρητικότητας ενός συστήματος. Τα 2G συστήματα παρέχουν τη δυνατότητα ψηφιακής κρυπτογράφησης των συνομιλιών αλλά και τη χαμηλού ρυθμού (16 - 32 kbps) [5] μετάδοση υπηρεσιών δεδομένων, για υπηρεσίες όπως αυτή της αποστολής σύντομων γραπτών μηνυμάτων (Short Message Service - SMS). Άλλες υπηρεσίες οι οποίες πρωτοεμφανίστηκαν με την έλευση των δικτύων δεύτερης γενιάς ήταν η αναγνώριση κλήσεων και η περιορισμένη πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Σε ένα τέτοιο ψηφιακό σύστημα η ψηφιακή συμπίεση της φωνής σε σχέση με την αναλογική συμπίεση των 1G συστημάτων επιτρέπει τη διεξαγωγή περισσότερων κλήσεων ταυτόχρονα για ένα δεδομένο εύρος ζώνης. Η ψηφιακή κωδικοποίηση της φωνής επιτρέπει τον έλεγχο των σφαλμάτων κατά τη μετάδοση αυξάνοντας έτσι την ποιότητα της. Τα συστήματα αυτά σχεδιάστηκαν ώστε οι συσκευές τους να εκπέμπουν με τη χρήση μικρότερης ισχύος, συνεπώς τα κελιά είναι μικρότερα και περισσότερα [9]. Εν αντιθέσει με τα 1G συστήματα στα οποία ο διαχωρισμός των χρηστών για την ταυτόχρονη ασύρματη πρόσβαση στο κανάλι γινόταν χάρη της FDMA (Frequency Division Multiple Access) τεχνικής, στα συστήματα

δεύτερης γενιάς ο διαχωρισμός των χρηστών γίνεται είτε με την TDMA (Time Division Multiple Access) είτε με τη CDMA (Code Division Multiple Access) τεχνική.

Τα κύρια πρότυπα που χρησιμοποιούνται από τα 2G συστήματα είναι το GSM (Global System for Mobile Communications ή ακριβέστερα Groupe Spécial Mobile), το IS-54, το IS-95 (CDMAone [10]), το IS-136 (D-AMPS [10]), κ.λπ. [9].

#### **1.4.2.1 GSM**

Στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης η ανάγκη δημιουργίας ενός ενιαίου συστήματος που θα εξυπηρετούσε όλους τους χρήστες ανεξαρτήτως σε ποια Ευρωπαϊκή χώρα βρίσκονται οδήγησε στη δημιουργία του GSM υπό την επίβλεψη του Ευρωπαϊκού Τεχνικού Ινστιτούτου Προτύπων (European Technical Standard Institute - ETSI). Το GSM βασίζεται στη GSM/3GPP οικογένεια προδιαγραφών. Το 3GPP (3rd Generation Partnership Project) είναι ένα πρόγραμμα συνεργασίας μεταξύ ομάδων που απαρτίζονται από εταιρείες τηλεπικοινωνιών, προκειμένου να καταστήσουν εφαρμόσιμες τις 3G προδιαγραφές στα πλαίσια του IMT2000 (International Mobile Telecommunications 2000) προγράμματος της ITU (International Telecommunication Union). Οι 3GPP προδιαγραφές βασίζονται στην ανάπτυξη των GSM προδιαγραφών. Ένα GSM σύστημα μπορεί να λειτουργήσει σε τέσσερις διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων των 850 MHz για την περιοχή του Καναδά, των 900 και 1800 MHz για την περιοχή της Ευρώπης και στη ζώνη των 1900 MHz για την Αμερική [11]. Πολλές GSM συσκευές χρησιμοποιούν δύο (dual-band), τρεις (tri-band) ή και τις τέσσερις (quad-band) από αυτές τις ζώνες, έτσι ώστε κατά τη μετακίνησή τους να προσαρμόζονται στο εκάστοτε τοπικό σύστημα συχνοτήτων [12]. Η ζώνη των 900 MHz για την οποία είχε συμφωνηθεί η αποκλειστική χρήση της από τις GSM υπηρεσίες [13], χρησιμοποιεί δύο διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων, τη 935 - 960 MHz ζώνη για την εκπομπή και τη 935 - 960 MHz ζώνη για τη λήψη, ενώ πιο σπάνια κάποιες χώρες υιοθετούν τις ζώνες των 400 και 450 MHz οι οποίες χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν από τα συστήματα 1ης γενιάς [11]. Κάθε ζώνη υποδιαιρείται σε 124 φέρουσες συχνότητες σε απόσταση 200 KHz η μία από την άλλη. Κατόπιν κάθε φορέας διαιρείται περαιτέρω με τη χρήση της TDMA σε 8 χρονοθυρίδες (timeslots), κάθε μία από

την οποία αναπαριστά ένα κανάλι. Συνεπώς στο δίκτυο υπάρχει η δυνατότητα 124 Χ 8 ταυτόχρονων κλήσεων συνομιλίας [10]. Σε κάθε κανάλι ο ρυθμός μετάδοσης είναι 270 Kbps ενώ ο αντίστοιχος ρυθμός μετάδοσης για το πρότυπο IS-54 είναι 48 kbps. Αναφορικά με τα μειονεκτήματα, τα GSM είναι connection-oriented δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος με αποτέλεσμα την ανεπαρκή χρήση του εύρους ζώνης και των διαθέσιμων πόρων. Επιπλέον τα GSM δεν είναι συμβατά με τα TCP/IP δίκτυα εξαιτίας των διαφορών του υλικού, του λογισμικού και των πρωτοκόλλων, καθώς επίσης δε μπορούν να χειριστούν τη μετάδοση σύνθετων δεδομένων όπως είναι το βίντεο [7].

Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δικτύων 2ης γενιάς.

Πίνακας 1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς [14]

|   | <i>GSM 900</i> | <i>USDC<br/>IS-54</i> | <i>IS-136<br/>IS-54<br/>RevC</i> | <i>DCS-<br/>1800</i> | <i>IS-95</i>  | <i>DCS<br/>1900</i> |
|---|----------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------|---------------|---------------------|
| <i>Year Introduced</i>                  | 1990           | 1990                  | 1991                             | 1993                 | 1993          | 1994                |
| <i>Location</i>                         | Europe         | N.America             | N.America                        | Europe               | N.America     | N.America           |
| <i>Modulation</i>                       | GMSK           | $\pi/4$ DPSK          | $\pi/4$ DPSK                     | GMSK                 | QPSK          | GMSK                |
| <i>Multiple Access</i>                  | TDMA           | TDMA                  | TDMA                             | TDMA                 | CDMA          | TDMA                |
| <i>Duplex</i>                           | FDD            | FDD                   | FDD                              | FDD                  | FDD           | FDD                 |
| <i>Forward channel (downlink) range</i> | 935-960 MHz    | 869-894 MHz           | 869-894 MHz                      | 1805-1880 MHz        | 1930-1990 MHz | 1850-1910 MHz       |
| <i>Reverse channel (uplink) range</i>   | 890-915 MHz    | 824-849 MHz           | 824-849 MHz                      | 1710-1785 MHz        | 1850-1910 MHz | 1930-1990 MHz       |
| <i>Channel Bandwidth</i>                | 200 KHz        | 30 KHz                | 30 KHz                           | 200 KHz              | 1250 KHz      | 200 KHz             |
| <i>Channel Separation</i>               | 45 MHz         | 45 MHz                | 45 MHz                           | 95 MHz               | n/a           | 80 MHz              |
| <i>Number of Channels</i>               | 124            | 832                   | 136-198                          | 374                  | 4-12          | 299                 |

### 1.4.3 Κινητά δίκτυα γενιάς 2.5

Τα 2.5G δίκτυα αποτελούν το σκαλοπάτι για τη μετάβαση από τις 2G στις 3G ασύρματες κυψελοειδείς τεχνολογίες. Ο όρος 2.5G χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα 2G συστήματα τα οποία εκτός από τη μετάδοση μεταγωγής κυκλώματος, υλοποιούν τη μετάδοση μεταγωγής πακέτων χωρίς να παρέχουν απαραίτητων μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης [15]. Το πρώτο σημαντικό βήμα στην εξέλιξη των δικτύων GSM σε 3G δίκτυα έγινε με την εισαγωγή της GPRS (General Packet Radio Service) υπηρεσίας. Ομοίως μέσω της εισαγωγής του CDMA2000 1xRTT προτύπου, επετεύχθη η ανάπτυξη της CDMA2000 οικογενείας 3G προτύπων. Τα πρότυπα της οικογενείας αυτής είναι συμβατά με το cdmaOne, ενώ ο διάδοχος των CDMA2000 αυτών προτύπων είναι το LTE (Long Term Evolution). Τα κύρια 2.5G πρότυπα περιγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

#### 1.4.3.1 HSCSD

Το HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data) ανήκει στη GSM/3GPP οικογένεια προδιαγραφών. Τα HSCSD είναι δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος επιτρέποντας τη χρήση των χρονοθυρίδων (ή διαφορετικά των καναλιών) των GSM δικτύων και συνεπώς λειτουργούν σε περιοχές που πραγματοποιούνται μεταφορές δεδομένων με ταχύτητες 9.6 Kbps. Ο περιορισμός της ταχύτητας των 9.6 kbps των GSM δικτύων οφείλεται στο γεγονός ότι μόνο ένα από τα οκτώ πιθανά TDMA κανάλια χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των δεδομένων. Ο περιορισμός αυτός που τίθεται στα GSM δίκτυα μπορεί να αρθεί από ένα HSCSD δίκτυο με τη μείωση του ελέγχου των σφαλμάτων. Το HSCSD εφαρμόζει μια πιο ελαστική πολιτική παρέχοντας διαφορετικά επίπεδα διόρθωσης σφαλμάτων ανάλογα με την ποιότητα της σύνδεσης, αυξάνοντας το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων στα 14.4 kbps στα μέρη του δικτύου που μπορεί να γίνει η μείωση του ελέγχου των σφαλμάτων. Μία ακόμη καινοτομία του HSCSD είναι η δυνατότητα χρήσης δύο έως τεσσάρων καναλιών μετάδοσης ταυτοχρόνως. Με αυτή τη δυνατότητα μπορεί να επιτευχθεί αύξηση του ρυθμού μετάδοσης έως 57.6 Kbps (δηλαδή  $4 \times 14.4$  Kbps). Ακόμη και σε άσχημες συνθήκες καναλιού όπου απαιτείται διόρθωση σφαλμάτων υψηλού επιπέδου, επιτυγχάνεται ρυθμός

μετάδοσης 38.4 Kbps, τέσσερις φορές μεγαλύτερος σε σχέση με το GSM. Συνεπώς καθίσταται δυνατή για τους χρήστες η σύνδεση με το διαδίκτυο. Το κόστος χρήσης του HSCSD είναι μεγαλύτερο, καθώς η χρέωση των χρηστών γίνεται ανάλογα με τον αριθμό των χρονοθυρίδων που τους ανατίθεται για τη συνολική χρονική περίοδο που μία τηλεφωνική κλήση είναι ενεργή. Το βασικό μειονέκτημα των HSCSD δικτύων έγκυται στο γεγονός ότι η χρήση της μεταγωγής κυκλώματος δεν κάνει αποτελεσματική χρήση των πόρων του δικτύου, αφού οι χρονοθυρίδες δεσμεύονται ακόμη και όταν η χωρητικότητά τους δε χρησιμοποιείται. Ο πίνακας 1.3 παρουσιάζει τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά ενός HSCSD δικτύου [16].

#### 1.4.3.2 GPRS

Το GPRS είναι ένα πρότυπο μεταγωγής πακέτων το οποίο βασίζεται επίσης στη GSM/3GPP οικογένεια προδιαγραφών, στόχος της δημιουργίας του οποίου ήταν η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης σε σύγκριση με αυτόν των GSM δικτύων. Είναι κατάλληλο για εφαρμογές διαδικτύου όπως αυτές του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, της περιήγησης ιστοσελίδων, του intranet καθώς και αυτές των πολυμεσικών υπηρεσιών. Το GPRS επιτρέπει την αποστολή και τη λήψη δεδομένων με ρυθμούς που κυμαίνονται από 14.4 έως 115 Kbps ανάλογα με το πόσα από τα οκτώ διαθέσιμα TDMA κανάλια χρησιμοποιούνται. Καθότι το GPRS αποτελεί ένα σύστημα μεταγωγής πακέτων κατανέμει το διαθέσιμο εύρος ζώνης μεταξύ όλων των χρηστών στα πλαίσια ενός κελιού. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων μεταγωγής πακέτων είναι ότι είναι ικανά να αποστέλλουν και να λαμβάνουν δεδομένα χωρίς να απαιτείται η αναμονή για την εγκαθίδρυση της κλήσης (call set-up) όπως συμβαίνει στην περίπτωση των 2G δικτύων. Επιπλέον δεδομένου ότι οι GPRS συσκευές τηλεφώνου υποστηρίζουν τη μετάδοση μεταγωγής πακέτων και τη μετάδοση μεταγωγής κυκλώματος για την πραγματοποίηση των τηλεφωνικών συνδιαλέξεων, επιτρέπεται στους χρήστες να λαμβάνουν κλήσεις ταυτοχρόνως με την αποστολή ή η λήψη δεδομένων. Η μετάδοση μεταγωγής πακέτων είναι πιο οικονομική δεδομένου ότι οι συνδρομητές χρεώνονται βάσει του όγκου των δεδομένων και όχι βάσει της διάρκειας της κλήσης [17]. Προκειμένου να υλοποιηθεί ένα GPRS δίκτυο, στην αρχιτεκτονική του

GSM δικτύου απαιτείται η προσθήκη ενός GPRS κόμβου (GPRS node - GGSN) για τη διεπαφή μεταξύ του σταθμού βάσης (Base Station - BS) και του δικτύου μεταγωγής πακέτων (IP ή X.25).

#### **1.4.3.3 CDMA2000 1xRTT**

Το CDMA2000 1xRTT βασίζεται στη 3GPP2 οικογένεια προδιαγραφών. Το 3GPP2 όμοια με το 3GPP, είναι ένα πρόγραμμα συνεργασίας μεταξύ ομάδων που απαρτίζονται από εταιρείες τηλεπικοινωνιών, προκειμένου να καταστήσουν εφαρμόσιμες τις 3G προδιαγραφές στα πλαίσια του IMT2000 προγράμματος της ITU. Πιο συγκεκριμένα το 3GPP2 προσδιορίζει τις προδιαγραφές για εκείνες τις 3G τεχνολογίες οι οποίες βασίζονται στο IS-95 (CDMA) κοινώς γνωστό ως CDMA2000. Το CDMA2000 1xRTT (IS-2000) ικανοποιεί τις απαιτήσεις του IMT-2000 της ITU και όπως υποδηλώνεται από το όνομα του χρησιμοποιεί τη CDMA τεχνική για την πρόσβαση στο κανάλι. Με την προσθήκη 64 επιπλέον καναλιών έχει σχεδόν διπλάσια χωρητικότητα συγκριτικά με το cdmaOne (IS-95). Υποστηρίζει θεωρητικά μέγιστο ρυθμό μετάδοσης έως 153 Kbps με την πραγματική ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων να κυμαίνεται μεταξύ 60 και 100 Kbps για τις περισσότερες εμπορικές εφαρμογές. Το IMT-2000 εισάγει αλλαγές στο επίπεδο σύνδεσης των δεδομένων (data link layer) συμπεριλαμβάνοντας πρωτόκολλα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο και στη σύνδεση (medium and link access protocols) καθώς και QoS (Quality of Service) μηχανισμών, σε σχέση με το cdmaOne το οποίο παρέχει μόνο BE (Best Effort) διανομή για τα κανάλια μεταγωγής κυκλώματος και πακέτων [15].

#### **1.4.4 Κινητά δίκτυα γενιάς 2.75**

Ο όρος 2.75G χρησιμοποιείται για τα EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) δίκτυα τα οποία είναι γρηγορότερα συγκριτικά με τα GPRS, αλλά πιο αργά από τα χαρακτηριστικά 3G δίκτυα. Αν και τα EDGE δίκτυα είναι επικυρωμένα από την ITU ως μια 3G τεχνολογία δεν επιτυγχάνουν τους ρυθμούς μετάδοσης των 3G δικτύων και για αυτό θεωρούνται 2.75G δίκτυα [18]

#### 1.4.4.1 EDGE

Το 2003 τα GPRS δίκτυα μετεξελίχθηκαν στα EDGE δίκτυα, τα οποία προσφωνούνται και EGPRS (Enhanced GPRS) και συνεπώς ανήκουν και αυτά στη GSM/3GPP οικογένεια προδιαγραφών. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 1.3, η EDGE προδιαγραφή εκτός της GMSK κάνει χρήση και της 8PSK διαμόρφωσης σήματος, επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως 473.6 Kbps κατά τη χρήση των οκτώ υπαρχόντων GSM χρονοθυρίδων και 547.2 Kbps όταν δε χρησιμοποιείται η τεχνική διόρθωσης σφαλμάτων. Το νέο χαρακτηριστικό που συναντάται στα EDGE δίκτυα σε σύγκριση με τα GPRS, είναι ότι τα EDGE δίκτυα αποστέλλουν περισσότερες πλεονάζουσες πληροφορίες αυξάνοντας την πιθανότητα της επιτυχούς αποκωδικοποίησης.

Επιπλέον του EDGE προτύπου, υπάρχει και το Evolved EDGE το οποίο αποτελεί μια βελτιωμένη εκδοχή του EDGE όπου με τη χρήση των 32QAM και 16QAM σχημάτων διαμόρφωσης επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης από 400 Kbps έως 1 Mbps. Συνεπώς οι εν κινήσει χρήστες μπορούν να απολαμβάνουν σύνδεση στο διαδίκτυο αντίστοιχη με αυτή μιας ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) υπηρεσίας ρυθμού μετάδοσης 500 Kbps [9, 19].

Πίνακας 1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά 2.5G και 2.75G δικτύων [14]

|   | <i>HSCSD</i> | <i>GPRS</i> | <i>IS-95B</i> | <i>EDGE</i> |
|---|--------------|-------------|---------------|-------------|
| <i>Year Introduced</i>                  | 1999         | 1999        | 1999          | 1999        |
| <i>Location</i>                         | Europe       | Europe      | N. America    | Europe      |
| <i>Modulation</i>                       | GMSK         | GMSK        | QPSK          | 8-PSK       |
| <i>Multiple Access</i>                  | TDMA         | TDMA        | CDMA          | TDMA        |
| <i>Duplex</i>                           | FDD          | FDD         | FDD           | FDD         |
| <i>Forward channel (uplink) range</i>   | 935-960 MHz  | 935-960 MHz | 1930-1990 MHz | 935-960 MHz |
| <i>Reverse channel (downlink) range</i> | 890-915 MHz  | 890-915 MHz | 1850-1910 MHz | 890-915 MHz |
| <i>Channel Bandwidth</i>                | 200 KHz      | 200 KHz     | 1250 KHz      | 200 KHz     |
| <i>Channel Separation</i>               | 45 MHz       | 45 MHz      | n/a           | 45 MHz      |
| <i>Number of Channels</i>               | 124          | 124         | n/a           | 124         |

### **1.4.5 Κινητά δίκτυα 3ης γενιάς**

Τα πρότυπα 3ης γενιάς δημιουργήθηκαν στα πλαίσια του έργου IMT-2000 υπό την επίβλεψη της ITU και τα οποία ορίστηκαν γενικά υπό την UMTS (Universal Mobile Telecommunication Service) επωνυμία. Τα πρώτα 3G UMTS δίκτυα εισήχθησαν στο καταναλωτικό κοινό το 2002 στην Ιαπωνία η οποία δεν υποστήριζε προηγουμένως το GSM [20]. Παρά την πρόθεση να υπάρξει ένα ενιαίο παγκόσμιο 3G σύστημα αυτό δεν κατέστη εφικτό με συνέπεια να αναπτυχθούν τρεις διαφορετικές εκδόσεις των 3G συστημάτων, κάθε μία από τις οποίες αναπτύχθηκε πάνω από ένα υπάρχον 2G σύστημα. Οι κύριες τεχνολογίες που περιλαμβάνονται στα 3G συστήματα είναι για την περιοχή της Ευρώπης το UMTS το οποίο χρησιμοποιεί τη W-CDMA (Wideband CDMA) τεχνική πρόσβασης στο κανάλι και για την Αμερική το cdmaOne το οποίο χρησιμοποιεί τη MC-CDMA (Multi-Carrier CDMA) τεχνική. Τα 3G συστήματα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να είναι εφικτή η περιαγωγή σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη και επιπλέον να υποστηρίζουν δίκτυα όπως είναι το GSM900 και το GSM1800 στις περιοχές όπου οι 3G υπηρεσίες δεν είναι διαθέσιμες [21]. Τα κύρια 3G συστήματα περιγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

#### **1.4.5.1 UMTS**

Το UMTS είναι ένα σύστημα μεταγωγής πακέτων που βασίζεται στο GSM (δηλαδή ανήκει στη 3GPP οικογένεια προδιαγραφών) και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, έως 144 Kbps για τους εν κίνηση σε τροχαίες ταχύτητες χρήστες, έως 384 Kbps για τους πεζούς και έως 2 Mbps για τους σταθερούς/στάσιμους χρήστες [21]. Για να υπογραμμιστεί η στενή σχέση του UMTS με το GSM πολλές φορές πωλείται με την επωνυμία 3GSM και εκτός Ευρώπης είναι επίσης γνωστό με την επωνυμία W-CDMA. Το UMTS μπορεί να λειτουργήσει και σε συνδυασμό με δορυφορικές συνδέσεις. Οι ζώνες συχνοτήτων λειτουργίας του UMTS καθορίστηκαν στα 1885 - 2025 MHz και στα 2110 - 2200 MHz για την άνω και κάτω ζεύξη των IMT συστημάτων και στα 1980 - 2010, 2170 - 2200 MHz για την άνω και κάτω ζεύξη του δορυφορικού μέρους των UMTS στην Αμερική [20]. Το υψηλό εύρος ζώνης λειτουργίας του UMTS επιτρέπει τη χρήση υπηρεσιών όπως είναι η IPTV (Internet Protocol Television) [20] και επίσης



αναπτύσσεται έτσι ώστε να αποτελεί και ένα είδος 4G τεχνολογίας. Σε αντίθεση με τα EDGE και CDMA2000 δίκτυα το UMTS απαιτεί νέους σταθμούς βάσης και τον ορισμό νέων ζωνών συχνοτήτων για τη λειτουργία του. Ένα σημαντικό πρόβλημα αξιοπιστίας που τέθηκε από τα UMTS δίκτυα ήταν αυτό της μεταπομπής μεταξύ ενός UMTS και ενός GSM δικτύου, καθώς η μεταπομπή ήταν εφικτή προς μία μόνο κατεύθυνση (από το UMTS στο GSM). Σήμερα το πρόβλημα αυτό δεν υφίσταται πλέον [20].

#### **1.4.5.2 CDMA2000 1xEV-DO**

Το CDMA2000 1xEV-DO (Evolution-Data Optimized), συχνά αποκαλούμενο ως EV-DO ή EV, είναι εξ' ολοκλήρου ένα πρότυπο μεταγωγής πακέτων της 3GPP2 οικογένειας προδιαγραφών για τη διαδικτυακή ευρυζωνική, πρόσβαση το οποίο αναπτύχθηκε το 1999 για να εκπληρώσει τις απαιτήσεις που τίθενται από το IMT-2000. Παρέχει μεγαλύτερες ταχύτητες από άλλα υπάρχοντα CDMA δίκτυα ή άλλες υπηρεσίες που χρησιμοποιούν το GPRS και το EDGE, χρησιμοποιώντας τη CDMA καθώς επίσης και την TDMA τεχνική πρόσβασης στο κανάλι, για τη μεγιστοποίηση τόσο της ρυθμοαπόδοσης του κάθε μεμονωμένου χρήστη αλλά και της συνολικής ρυθμοαπόδοσης ενός συστήματος. Το εύρος ζώνης ενός EV-DO καναλιού είναι 1.25 MHz ακριβώς όσο είναι και το εύρος ζώνης ενός cdmaOne ή ενός CDMA2000 1xRTT καναλιού [15], ενώ η θεωρητική μέγιστη ρυθμοαπόδοση του είναι 2.4 Mbps και είναι αρκετά γρήγορο όσο πολλές ευρυζωνικές DSL (Digital Subscriber Line) συνδέσεις στις ΗΠΑ [22]. Στην πραγματικότητα, οι εν κινήσει EV-DO χρήστες μπορούν προσδοκούν ταχύτητες μεταφόρτωσης από 400 έως 1000 Kbps (EV-DO Rev 0) [23], αλλά και ταχύτητες άνω των 2 Mbps για τη σταθερή επικοινωνία και για περιοχές όπου η ισχύς του σήματος είναι μεγάλη και οι παρεμβολές μικρές. Ένας EV-DO χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε IPTV και VoIP εφαρμογές καθώς επίσης υποστηρίζει εφαρμογές τηλεδιάσκεψης (videoconferencing) όταν ο εν κινήσει συνδρομητής ταξιδεύει με ταχύτητα 95 Km/h ή ακόμη και σε τηλεφωνικές κλήσεις στην περίπτωση που ο συνδρομητής μπορεί να ταξιδεύει με ταχύτητα μεγαλύτερη των 240 Km/h [22]. Ο αρχικός ανταγωνιστής του EV-DO στα 3G δίκτυα είναι το HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), το οποίο σε αντίθεση με το EV-DO επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση φωνής και δεδομένων. Σε περιοχές όπου το EV-DO δεν είναι διαθέσιμο,

οι EV-DO συσκευές ή οι PCI κάρτες μπορούν να συνδεθούν μέσω του CDMA2000 1XRTT. Το EV-DO στην περιοχή της Ευρώπης η οποία χρησιμοποιεί ως επί το πλείστον το GSM δεν είναι διαθέσιμο [23]. Το EV-DO χρησιμοποιεί την ίδια προσέγγιση για τις κλήσεις φωνής με αυτή που χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων στο διαδίκτυο, δηλαδή όταν κατά τη διάρκεια μιας τηλεφωνικής συνδιάλεξης όταν δε μιλά κανένας από τους χρήστες δεν καταναλώνεται εύρος ζώνης γιατί δεν αποστέλλονται πακέτα φωνής [22]. Ένα EV-DO modem επιτρέπει τη πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω ενός USB dongle, μιας ExpressCard ή μιας PCMCIA κάρτας για απευθείας σύνδεση στον Η/Υ ή μέσω ενός 3G δρομολογητή. Μία EV-DO σύνδεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει πολλούς υπολογιστές μαζί για τη δημιουργία ενός hotspot με τη χρήση ενός 3G δρομολογητή, ακριβώς όπως συμβαίνει με μια ευρυζωνική σύνδεση. Η διαφορά ενός 3G δρομολογητή συγκριτικά με τους cable/dsl δρομολογητές είναι ότι μπορεί να υποστηρίξει τις κυψελοειδής συσκευές [24].

#### **1.4.6 Κινητά δίκτυα 3.5 γενιάς**

Η 3.5G γενιά περιλαμβάνει τα δίκτυα εκείνα τα οποία εκτός από την W-CDMA τεχνολογία ενσωματώνουν και την HSDPA τεχνολογία, οι κύριοι εκπρόσωποι της οποίας βασίζονται στη 3GPP οικογένεια προδιαγραφών και παρουσιάζονται στις ακόλουθες παραγράφους.

##### **1.4.6.1 HSDPA**

Το HSDPA είναι ένα πρότυπο της HSPA (High-Speed Packet Access) οικογένειας προτύπων, το οποίο προσφέρει στα δίκτυα που είναι βασισμένα στο UMTS μεγαλύτερες ταχύτητες και μεγαλύτερη χωρητικότητα. Το HSDPA γενικά μεταδίδει πακέτα από το σταθμό βάσης με ρυθμό πέντε φορές μεγαλύτερο από ένα UMTS δίκτυο και δεκαπέντε φορές μεγαλύτερο από αυτόν των GPRS δικτύων. Τα πρώτα HSDPA δίκτυα είναι εμπορικά διαθέσιμα από τον Αύγουστο του 2009 και οι ρυθμοί μετάδοσης για την κάτω ζεύξη είναι 1.8, 3.6, 7.2 και 14.0 Mbps. Σε αντίθεση με τα CDMA2000 1xEV-DO συστήματα όπου χρησιμοποιούν ξεχωριστά κανάλια για την αποστολή πακέτων σε κάθε χρήστη (Dedicated Channel - DCH), η λειτουργία του

HSDPA βασίζεται στο DSCH (Downlink Shared Channel) το οποίο διαμοιράζονται μεταξύ τους οι χρήστες. Το κανάλι αυτό διαθέτει πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης για αυτό και αποκαλείται High-Speed DSCH (HS-DSCH). Τα HSDPA συστήματα προσαρμόζουν το σχήμα διαμόρφωσης και την κωδικοποίηση που χρησιμοποιούν ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι. Το αρχικό σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιούν είναι το QPSK, ενώ όταν οι συνθήκες καναλιού είναι καλές η χρήση του 16QAM ή του 64QAM σχήματος διαμόρφωσης αυξάνει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης των πακέτων [25].

#### **1.4.6.2 HSPA+**

Κατόπιν του HSDPA αναπτύχθηκε το Evolved HSPA (HSPA+), το οποίο με τη χρήση των MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) κεραιών και της beamforming τεχνικής και επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης στην κάτω ζεύξη έως 28 ή έως 42 Mbps με τη χρήση του 16QAM ή του 64QAM σχήματος διαμόρφωσης αντιστοίχως. Η MIMO τεχνική κεραιών χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές για τη μετάδοση στο χρήστη ενώ η beamforming τεχνική στρέφει τη μεταδιδόμενη ισχύ μιας κεραιάς προς την κατεύθυνση του χρήστη. Οι μεταγενέστερες εκδόσεις του HSDPA υποστηρίζουν θεωρητικά μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης έως 56 Mbps στην κάτω ζεύξη και έως 22 στην άνω ζεύξη, καθώς και έως 84 Mbps στην κάτω ζεύξη στην περίπτωση χρήσης των 16QAM και 64QAM σχημάτων διαμόρφωσης αντιστοίχως σε συνδυασμό με τη MIMO τεχνική και τη Dual-Cell HSDPA λειτουργία. Η Dual-Cell HSDPA λειτουργία αναφέρεται στη χρήση 2 φορέων ταυτοχρόνως των 5 MHz ο καθένας για την επίτευξη μεγαλύτερης φασμαποδοτικότητας και καλύτερης χρησιμοποίησης των πόρων [25, 26, 27]. Στο μέλλον με τη χρήση πολλαπλών φορέων το HSPA+ προβλέπεται να παρέχει ρυθμούς μετάδοσης έως 168Mbps [26].

#### **1.4.7 Κινητά δίκτυα 3.9 γενιάς**

Τα κύρια δίκτυα που ανήκουν στην 3.9 γενιά είναι το LTE το EV-DO Rev-A και το EV-DO Rev-B των οποίων η λειτουργία και τα χαρακτηριστικά περιγράφεται στις ακόλουθες παραγράφους.

#### 1.4.7.1 LTE

Η LTE αποτελεί μία από τις τελευταίες ασύρματες τεχνολογίες της 3GPP οικογενείας προδιαγραφών, δεδομένου όμως του γεγονότος ότι δε συμμορφώνεται πλήρως με τις IMT Advanced 4G απαιτήσεις αποτελεί μια 3.9G τεχνολογία η οποία πωλείται όμως ως 4G. Ο όρος IMT-Advanced έχει δημιουργηθεί από την ITU για τον προσδιορισμό εκείνα των κινητών συστημάτων των οποίων οι ικανότητες υπερβαίνουν αυτές των IMT-2000 συστημάτων. Το LTE άρχισε να διατίθεται το Δεκέμβριο του 2009 αποτελώντας μια βελτιωμένη εκδοχή των UMTS συστημάτων.

Τα κύρια πλεονεκτήματα του LTE είναι η δυνατότητα παροχής ταχύτερων κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών σε περισσότερους χρήστες, η plug & play λειτουργία και το χαμηλότερο κόστος. Επιπλέον είναι διαλειτουργικό με τα GSM, cdmaOne, UMTS και τα CDMA2000 συστήματα. Ένας από τους στόχους των LTE συστημάτων είναι η εξολοκλήρου χρήση IP αρχιτεκτονικής, σε αντίθεση με τα UMTS συστήματα τα οποία είναι ένας συνδυασμός αρχιτεκτονικής μεταγωγής πακέτων και μεταγωγής κυκλώματος. Ένα μέρος του LTE προτύπου αποτελεί η Εξέλιξη Αρχιτεκτονικής Συστημάτων (System Architecture Evolution), η οποία σχεδιάστηκε με σκοπό να αντικαταστήσει το δίκτυο πυρήνα ενός GPRS συστήματος έτσι ώστε να εξασφαλίσει την υποστήριξη και την κινητικότητα με κάποια μη 3GPP συστήματα, όπως για παράδειγμα μεταξύ του GPRS και του WiMAX. Η LTE προδιαγραφή επιτρέπει ταχύτητες κινητού διαδικτύου τουλάχιστον 100 Mbps στην κάτω ζεύξη, δέκα φορές υψηλότερες από εκείνες των 3G δικτύων και τουλάχιστον 50 Mbps για την άνω ζεύξη, υποστηρίζοντας μεταβλητό εύρος ζώνης των φορέων, από 1.4 έως 20 MHz με τη χρήση είτε της FDD είτε της TDD (Time Division Duplexing) τεχνικής. Πιο συγκεκριμένα η μετάδοση δεδομένων με το LTE για τους εν κινήσει χρήστες είναι εφικτή μέχρι την ταχύτητα των 350 Km/h ή ακόμη έως την ταχύτητα των 500 Km/h ανάλογα με τη ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται [28]. Τον Ιούλιο του 2009, Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε την πρόταση για τη χρήση της ζώνης συχνοτήτων των 900MHz η οποία είχε παραχωρηθεί αποκλειστικά για τις GSM υπηρεσίες και από άλλες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της LTE. Η LTE χρησιμοποιεί το ραδιοφάσμα αποτελεσματικότερα, παρέχοντας στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών τη δυνατότητα να επωφεληθούν από το ψηφιακό μέρισμα και να χρησιμοποιήσουν τις συχνότητες που θα απελευθερωθούν με τη μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή

τηλεόραση. Οι LTE υπηρεσίες είναι δυνατόν να φθάσουν σε λιγότερο κατοικημένες περιοχές και να συμβάλουν στη μείωση του ψηφιακού χάσματος μεταξύ των αγροτικών και των αστικών περιοχών, αφού ακόμη και έως τα τέλη του 2008 το 23% του πληθυσμού στις αγροτικές περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν μπορούσε να έχει πρόσβαση σε διαδικτυακές DSL συνδέσεις. Η τεχνολογία αυτή δοκιμάζεται επί του παρόντος από φορείς εκμετάλλευσης δικτύων κινητών επικοινωνιών στη Φινλανδία τη Γερμανία, τη Νορβηγία, την Ισπανία, τη Σουηδία και το Ηνωμένο Βασίλειο και αναμένεται να είναι εμπορικά διαθέσιμη στη Σουηδία και τη Νορβηγία το πρώτο εξάμηνο του 2010. Παγκοσμίως, μεγάλοι φορείς εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών και κατασκευαστές (Orange, T-Mobile, AT&T, Verizon, Alcatel-Lucent, Ericsson, Huawei και Nokia Siemens Networks) έχουν δεσμευθεί να χρησιμοποιήσουν το πρότυπο LTE και αναμένεται να πραγματοποιήσουν μέχρι το 2013 επενδύσεις σε LTE εξοπλισμό ύψους περίπου 6 δισεκατομμυρίων ευρώ [13].

#### **1.4.7.2 EV-DO Rev-A & Rev-B**

Τόσο το EV-DO Rev-A όσο και το EV-DO Rev-B ανήκουν στη 3GPP2 οικογένεια προδιαγραφών. Το EV-DO Rev-A αυξάνει τη μέγιστη θεωρητική ταχύτητα μετάδοσης στα 3.1 Mbps, με τη πραγματική ταχύτητα να κυμαίνεται από 600 έως 1.400 Kbps στην κάτω ζεύξη και από 500 έως 800 Kbps στην άνω ζεύξη. Κάποια EV-DO τηλέφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως modem αντί της σύνδεσης ενός EV-DO modem (USB, ExpressCard, ή PCMCIA κάρτα) στον Η/Υ ή στο 3G δρομολογητή. Με τα περισσότερα τηλέφωνα να υποστηρίζουν το EV-DO Rev-0 και τις περισσότερες συσκευές δεδομένων να υποστηρίζουν το EV-DO Rev-A, εάν ένα τηλέφωνο πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως modem θα πρέπει να υποστηρίζει το EV-DO Rev-A [23]. Στις πρόσφατες εξελίξεις στην κινητή τηλεφωνία ανήκει η κυκλοφορία συσκευών η οποίες συνδυάζουν το EV-DO Rev-A και το WiMAX με τις κλήσεις να πραγματοποιούνται μέσω του CDMA, ενώ η κίνηση των δεδομένων δρομολογείται από το EV-DO/WiMAX [29]. Το EV-DO Rev-B επιτυγχάνει μέγιστη θεωρητική ταχύτητα μετάδοσης 4.9 Mbps επιτρέποντας τη διανομή βίντεο υψηλής ευκρίνειας (High Definition - HD).

#### **1.4.8 Κινητά δίκτυα 4ης γενιάς**

Η 4G γενιά ασύρματων κυψελοειδών προτύπων αποτελεί το διάδοχο των 2G και των 3G προτύπων. Αναφέρεται εξ' ολοκλήρου σε IP κινητά δίκτυα μεταγωγής πακέτων και multi-carrier μετάδοσης, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων των οποίων μπορεί να φθάσει το 1 Gbps. Τα 4G δίκτυα εγκαταλείπουν τη χρήση της CDMA τεχνικής πρόσβασης στο κανάλι που χρησιμοποιείται από τα 3G συστήματα και το IS-95 η αντικαθίσταται από την OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) τεχνική η οποία συνδυάζεται με τη χρήση των MIMO κεραιών. Η 4G γενιά αναπτύσσεται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων ως προς την ασφάλεια, την ποιότητα των υπηρεσιών και των ρυθμών μετάδοσης, που τίθενται από την περαιτέρω ανάπτυξη των υπάρχουσών 3G εφαρμογών, όπως είναι αυτές τις ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης, της VoIP τεχνολογίας, της τηλεοπτικής τηλεφωνίας (video telephony), της mobile TV, αλλά και υπηρεσιών τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας. Τα κύρια 4G δίκτυα περιγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

##### **1.4.8.1 LTE Advanced**

Το LTE παρόλες τις βελτιώσεις θεωρείται μια 3G τεχνολογία η οποία δεν πληρεί τις προδιαγραφές των 4G ή IMT Advanced δικτύων όπως καθορίζονται από την ITU. Κατά τη διάρκεια του 2009, η 3GPP έχει εργαστεί για τον προσδιορισμό βελτιώσεων για το LTE που απαιτούνται από το IMT-Advanced. Ο λόγος για τον οποίο το LTE απαιτείται να συμμορφωθεί με τις απαιτήσεις του IMT-Advanced είναι για να εξασφαλιστεί η εμπορική λειτουργία των δικτύων για χρόνια [30].

Το LTE Advanced της 3GPP2 οικογενείας προδιαγραφών αποτελεί μία βελτιωμένη εκδοχή του LTE προτύπου, το οποίο υποβλήθηκε ως πρότυπο των 4G συστημάτων το φθινόπωρο το 2009, και αναμένεται να οριστικοποιηθεί το 2011. Οι πρώτες εμπορικές υπηρεσίες του LTE Advanced εισήχθησαν στη Σκανδιναβία το Δεκέμβριο του 2009 ενώ τα περισσότερα από αυτά τα δίκτυα αναμένεται να επεκταθούν σε παγκόσμια κλίμακα κατά τη διάρκεια του 2010 ως φυσική εξέλιξη των 2G και 3G συστημάτων [31]. Από τον Ιανουάριο του 2010 η Ευρωπαϊκή Ένωση αποφάσισε την επένδυση 18 εκατομμυρίων ευρώ στην έρευνα για το LTE Advanced. Η LTE Advanced τεχνολογία αναμένεται να προσφέρει

ταχύτητες κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών για τους χρήστες υψηλής κινητικότητας από 100 Mbps και έως 1 Gbps για τους χρήστες χαμηλής κινητικότητας [32]. Με το εύρος ζώνης να είναι μεταβλητό και να κυμαίνεται από 40 έως 100 MHz [33], παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να επωφεληθούν πλήρως από πολύπλοκες διαδικτυακές υπηρεσίες όπως αυτές της τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας και των Video on Demand (VoD) υπηρεσιών [13]. Το LTE Advanced πρέπει να είναι συμβατό με το LTE ακριβώς όπως το HSPA είναι συμβατό με το UMTS [34].

#### **1.4.8.2 IEEE 802.16m**

Το IEEE 802.16e (mobile WiMAX) μπορεί υπερβαίνει σε απόδοση άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες μέχρι σήμερα, ωστόσο υπολείπεται των βασικών απαιτήσεων της ITU για την IMT-Advanced τεχνολογία ώστε να ανήκει στην κατηγορία των 4G υπηρεσιών. Τον Οκτώβριο του 2009 ανακοινώθηκε το IEEE 802.m πρότυπο ως υποψήφιο για ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων. Το IEEE 802.16m παρουσιάζει αυξημένη χωρητικότητα, ικανό να παρέχει ρυθμούς μετάδοσης για τους εν κινήσει χρήστες έως 120 Mbps στην άνω ζεύξη και 60 Mbps στην κάτω ζεύξη, με τη χρήση 4x2 MIMO κεραιών για κανάλι εύρους ζώνης 20 MHz, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης του για τους σταθερούς χρήστες αναμένεται να φθάνουν το 1 Gbps [35]. Η τυποποίηση του IEEE 802.16m αναμένεται να διατηρεί τη συμβατότητα του με το IEEE 802.16e, καθώς επίσης αναμένεται να υποστηρίζει βελτιωμένη επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων σε ένα κυτταρικό συγκρότημα για την ενδυνάμωση του σήματος και την καλύτερη απόδοση (Fractional Frequency Reuse). Υποστηρίζει τα QPSK και m-QAM σχήματα διαμόρφωσης του σήματος (Higher - Order Modulation) για την άνω ζεύξη, καθώς και τεχνικές κατευθυντικής μετάδοσης σήματος κάτω ζεύξης (Downlink Beamforming). Τα πρώτα προϊόντα που θα υποστηρίζουν το IEEE 802.16m πρότυπο είναι ήδη υπό ανάπτυξη και το WiMAX Forum προτίθεται να τα πιστοποιήσει στα τέλη του 2011 [36].

## 1.5 Ασύρματα δίκτυα δεδομένων

Τα ασύρματα δίκτυα δεδομένων διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

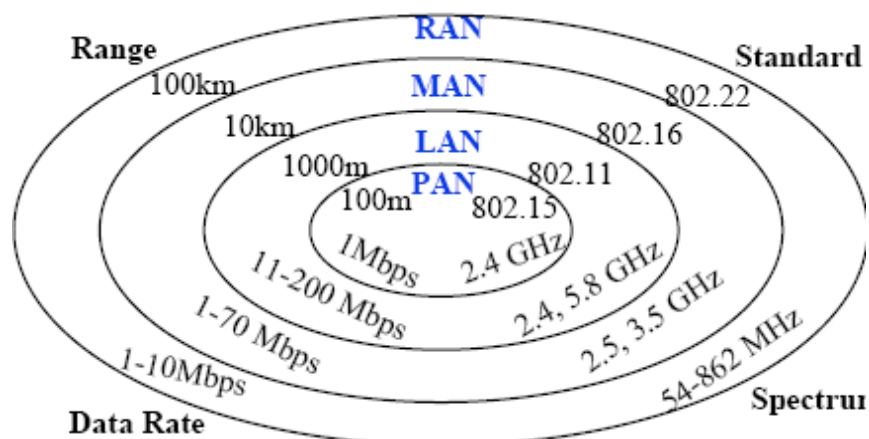
- Τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Access Networks - WPANs)
- Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Access Networks - WLANs)
- Τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (Wireless Metropolitan Access Networks - WMANs)
- Τα ασύρματα περιφερειακά δίκτυα (Wireless Regional Access Networks - WRANs)

Πριν την αναλυτική περιγραφή του κάθε τύπου ασύρματου δικτύου δεδομένων κρίνεται σκόπιμη η συνοπτική παρουσίαση των κύριων χαρακτηριστικών κάθε επιμέρους δικτύου μέσω του σχήματος 1.1 που ακολουθεί.

### 1.5.1 Ασύρματα προσωπικά δίκτυα

Ένα ασύρματο προσωπικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο που εξυπηρετεί ένα μεμονωμένο χρήστη ή μια μικρή ομάδα ατόμων και χαρακτηρίζεται από τη λειτουργία του σε μια περιορισμένη απόσταση των 10 μέτρων. Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ ενός φορητού Η/Υ ή ενός PDA (Personal Digital Assistant) και ενός σταθερού Η/Υ ή ενός server και ενός εκτυπωτή. Μια άλλη εφαρμογή των WPANs είναι η χρήση τους σε οικιακά συστήματα ελέγχου και αυτοματοποίησης [39]. Οι κύριοι εκπρόσωποι των WPANs δικτύων είναι το Bluetooth, το UWB, το ZigBee, το IrDA το HomeRF κ.λπ. Αν και εν μέρη οι διάφορες WPANs τεχνολογίες ανταγωνίζονται η μία την άλλη, συχνά λειτουργούν ως συμπληρωματικές μεταξύ τους [30].





**Σχήμα 1.1** Κύρια χαρακτηριστικά λειτουργίας των διάφορων ασύρματων δικτύων διανομής δεδομένων [37]

### 1.5.1.1 Bluetooth

Έως τα τέλη της δεκαετίας του '90 δεν υπήρχε κάποιο ευρέως αποδεκτό WPAN πρότυπο. Τότε περίπου η Ericsson έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη μιας τεχνολογίας η οποία θα επέτρεπε τον σχηματισμό τοπικών δικτύων πολύ μικρής εμβέλειας με σκοπό την ασύρματη ad-hoc δικτύωση ετερογενών φορητών συσκευών. Το πρότυπο που προέκυψε υιοθετήθηκε στη συνέχεια από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE) ως το πρότυπο IEEE 802.15.1 για τα WPAN δίκτυα. Το Bluetooth είναι ένα ανοικτό ασύρματο πρωτόκολλο χαμηλής κατανάλωση ισχύος που αναπτύχθηκε από τη Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group). Σχεδιάστηκε για μεταδόσεις δεδομένων μικρής εμβέλειας, μεταξύ δύο ή περισσότερων συσκευών, σταθερών ή φορητών με μικρές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, οδηγώντας έτσι στη δημιουργία προσωπικών δικτύων.

Το Bluetooth λειτουργεί σε ένα καθεστώς master/slave. Η master Bluetooth συσκευή μπορεί να επικοινωνεί με έως και επτά συσκευές στα πλαίσια μίας ομάδας ασύρματων χρηστών. Αυτή η ομάδα δικτύου μέχρι και οκτώ συσκευών ονομάζεται piconet. Η Bluetooth προδιαγραφή επιτρέπει τη σύνδεση δύο ή περισσότερων piconets, με κάποιες συσκευές να ενεργούν ως γέφυρα παίζοντας ταυτόχρονα το ρόλο του slave σε ένα άλλο piconet. Αυτή είναι η βάση διαμόρφωσης των ad-hoc Bluetooth δικτύων. Σε αντίθεση με τον προκάτοχό του

το IrDA, το οποίο απαιτεί ένα ξεχωριστό προσαρμογέα για κάθε συσκευή, το Bluetooth επιτρέπει σε πολλαπλές συσκευές να επικοινωνούν με έναν υπολογιστή μέσω ενός ενιαίου προσαρμογέα. Οι πρόσφατης τεχνολογίας φορητοί υπολογιστές διατίθενται με ενσωματωμένο Bluetooth προσαρμογέα χωρίς να είναι απαραίτητη η οπτική επαφή μεταξύ αυτού και των άλλων Bluetooth συσκευών.

Η Bluetooth τεχνολογία κάνει χρήση της «ελεύθερης» ζώνης συχνοτήτων στα 2.4 GHz όπως ακριβώς το Wi-Fi (IEEE802.11b/g), ώστε οι συσκευές που το ενσωματώνουν να μπορούν να λειτουργήσουν απροβλημάτιστα σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη. Για να περιοριστούν στο ελάχιστο οι παρεμβολές από παρεμφερείς συσκευές, το Bluetooth εκμεταλλεύεται την αμφίδρομη επικοινωνία και τη μέθοδο μετάδοσης με διασπορά φάσματος (Frequency Hopping - FH) επιτυγχάνοντας έως 1600 εναλλαγές συχνότητας ανά δευτερόλεπτο.

Στον πίνακα 1.4 συνοψίζονται τρεις κατηγορίες προϊόντων της τεχνολογίας αυτής με τη κάθε μία από αυτές να χαρακτηρίζεται από διαφορετική μέγιστη απόδοση/ισχύ. Η σημερινή χρήση του Bluetooth (τουλάχιστον για τις κλάσεις 2 και 3) είναι συμπληρωματική της τεχνολογίας του Wi-Fi και εφαρμόζεται σε διαφορετικές περιπτώσεις από αυτές των Wi-Fi προτύπων καθώς το δεύτερο θεωρείται ένα τύπος ασύρματου Ethernet ενώ το Bluetooth θεωρείται μια μορφή ασύρματης USB σύνδεσης.

Πίνακας 1.4 Κλάσεις ισχύος Bluetooth προϊόντων [40]

| Κλάση Ισχύος | Μέγιστη Ισχύς Εξόδου | Μέγιστο Εύρος (μέτρα) |
|--------------|----------------------|-----------------------|
| Class 1      | 100mW                | 100m                  |
| Class 2      | 2.5mW                | 10m                   |
| Class 3      | 1mW                  | 1m                    |

Οι πιο διαδεδομένες εφαρμογές του Bluetooth περιλαμβάνουν:

- Τη μεταφορά δεδομένων ήχου μεταξύ κινητών τηλεφώνων και hands-free ακουστικών
- Την επικοινωνία ενός Η/Υ με τις συσκευές του ποντικιού, του πληκτρολόγιου, του εκτυπωτή, της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής αλλά και με κάποιο άλλο Η/Υ.
- Την ασύρματη μεταφορά ψηφιακών αρχείων (εικόνες, mp3 κ.λπ.) ανάμεσα σε κινητά τηλέφωνα και PDAs.
- Τον απομακρυσμένος έλεγχο συσκευών, οι οποίες έως την εμφάνιση του Bluetooth χρησιμοποιούσαν την τεχνολογία υπέρυθρων ακτινών.
- Ιατρικές συσκευές.

Οι αρχικές εκδόσεις του προτύπου ήταν η Bluetooth 1.0 και η Bluetooth 1.0b οι οποίες παρουσίαζαν πολλά προβλήματα και οι κατασκευαστές τους αντιμετώπιζαν δυσκολίες στην επίτευξη της διαλειτουργικότητας των προϊόντων τους. Ακολούθως πολλά σφάλματα της 1.0b προδιαγραφής επιλύθηκαν από την επόμενη προδιαγραφή τη Bluetooth 1.1 η οποία επικυρώθηκε ως IEEE 802.15.1-2002 πρότυπο.

- **Bluetooth 1.2** Η 1.2 έκδοση του Bluetooth είναι συμβατή με την 1.1 και επικυρώθηκε ως το IEEE 802.15.1-2005 πρότυπο. Μεταξύ άλλων υποστηρίζει υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης μέχρι 1 Mbps [40] και βελτιώνει την αντοχή της στις παρεμβολές συχνοτήτων με τη μέθοδο προσαρμοστικής διασποράς φάσματος (Adaptive Frequency Hopping - AFH), αποφεύγοντας τη χρήση των πολυσύχναστων συχνοτήτων της μεθόδου μετάδοσης με διασπορά φάσματος.
- **Bluetooth 2.0** Η συγκεκριμένη έκδοση της Bluetooth τεχνολογίας κυκλοφόρησε στις 10 Νοεμβρίου 2004 και είναι συμβατή με την προηγούμενη της, την 1.2. Η βασική διαφορά είναι η εισαγωγή της EDR (Enhanced Data Rate) λειτουργίας για την ταχύτερη μεταφορά δεδομένων και τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων σε αυτή την περίπτωση είναι 3 Mbps [40]. Ενώ η προηγούμενη έκδοση του Bluetooth περιοριζόταν μόνο στη χρήση της GFSK διαμόρφωσης σήματος, στη συγκεκριμένη έκδοση το EDR κάνει χρήση των π/4-DQPSK και 8DPSK τεχνικών διαμόρφωσης σήματος που προκύπτουν

από το συνδυασμό των GFSK και PSK. Η Bluetooth SIG δημοσίευσε την προδιαγραφή αυτή με το όνομα Bluetooth 2.0 + EDR το οποίο σημαίνει ότι η EDR λειτουργία είναι προαιρετική.

- **Bluetooth 2.1 + EDR** Η έκδοση αυτή η οποία αποκαλείται και Bluetooth Core Specification 2.1 είναι πλήρως συμβατή με την 1.2 έκδοση και εγκρίθηκε από τη Bluetooth SIG στις 26 Ιουλίου 2007.
- **Bluetooth 3.0** Η νέα αυτή έκδοση είναι βασισμένη στη Bluetooth 2.1 + EDR προδιαγραφή και εγκρίθηκε από τη Bluetooth SIG στις 21 Απριλίου του 2009. Το κύριο νέο χαρακτηριστικό της είναι το AMP (Alternate MAC/PHY), ως προσθήκης του IEEE 802.11 πρωτοκόλλου, το οποίο προσφέρει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς της τάξης των 24 Mbps. Επιπλέον έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει αυξημένη εξοικονόμηση ενέργειας για τις κινητές συσκευές που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη προδιαγραφή.
- **Bluetooth v4.0** Τον Ιούνιο του 2007 η Bluetooth SIG και η Nokia ότι η Wibree τεχνολογία θα αποτελεί μέρος της Bluetooth προδιαγραφής ως μια εξαιρετικά χαμηλής ισχύος (Ultra Low Power - ULP) Bluetooth τεχνολογίας. Το Δεκέμβριο του 2009 αυτό το χαρακτηριστικό της χαμηλής ενέργειας υιοθετήθηκε από τη 4.0 έκδοση και οι Wibree και Bluetooth ULP ονομασίες εγκαταλείφθηκαν. Κατόπιν τον Απρίλιο του 2010 η Bluetooth SIG ολοκλήρωσε τη Bluetooth v4.0 προδιαγραφή η οποία περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα του κλασσικού Bluetooth, το Bluetooth υψηλής ταχύτητας και το Bluetooth χαμηλής ενέργειας [40].

#### 1.5.1.2 Ultra-Wideband

Ο όρος ultra-wideband (πρότυπο IEEE 802.15.3) χρησιμοποιείται συχνά για την αναφορά σε οτιδήποτε συνδέεται διαδίδοντας σήματα μικρής διάρκειας παλμών, επιτυγχάνοντας έτσι υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης πέρα από μια πολύ ευρεία ζώνη συχνοτήτων. Με την εναλλαγή του πλάτους των παλμών, της πολικότητας, του συγχρονισμού και άλλων χαρακτηριστικών οι πληροφορίες κωδικοποιούνται στις προς μετάδοση ροές δεδομένων, με την τεχνική αυτή να είναι όμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στις εφαρμογές των ραντάρ. Το UWB παρέχει τη δυνατότητα διαβίβασης μεγάλου όγκου δεδομένων ρυθμούς μετάδοσης από 20 [41] Mbps με

τη χρήση χαμηλής ισχύος και ανάλογα με την εφαρμογή, στην «ελεύθερη» ζώνη συχνοτήτων που κυμαίνεται από 3.1 έως 10.6 GHz [42]. Το εύρος ζώνης λειτουργίας που καταλαμβάνει το UWB είναι μεγαλύτερο του 20% της κεντρικής συχνότητας ή τουλάχιστον 500 MHz και θεωρητικά κάτω από ιδανικές συνθήκες, το φάσμα μπορεί να διαμοιραστεί με άλλους χρήστες [41]. Το UWB δεν περιορίζεται μόνο στην ασύρματη επικοινωνία αλλά μπορεί να χρησιμοποιήσει και ομοαξονικά και συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων για ταχύτητες έως 1 Gbps. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά με άλλες τεχνολογίες όπως το Wi-Fi, το WiMAX και άλλες κυψελοειδής WAN τεχνολογίες για την αναμετάδοση δεδομένων από μια host συσκευή σε άλλες συσκευές για μια απόσταση έως 10 μέτρων. Επιπλέον της διαβίβασης μεγάλου όγκου δεδομένων σε μια μικρή απόσταση με χρήση χαμηλής ισχύος έχει τη δυνατότητα να διαβιβάσει τα σήματα σε περιοχές μη οπτικής επαφής (non-line-of-sight) δηλαδή έχει δυνατότητα διαβίβασης των δεδομένων μέσα από πόρτες και άλλα εμπόδια. Η ισχύς που χρησιμοποιεί είναι του επιπέδου των 0.2 Milliwatt, περιορίζοντας κατά συνέπεια τη λειτουργία του σε αποστάσεις έως των 10 μέτρων. Επειδή γενικά τα επίπεδα της ενέργειας των παλμών είναι πολύ χαμηλά συνήθως δε προκαλούνται προβλήματα παρεμβολών. Ωστόσο το UWB είναι ότι είναι ευαίσθητο στις παρεμβολές πομπών άλλων τεχνολογιών. Μια UWB συσκευή εκπέμπει μόνο το 1/3.000 της μέσης ενέργειας που εκπέμπεται από ένα συμβατικό κινητό τηλέφωνο των 600 Milliwatt, γεγονός που σημαίνει ότι δεν εμπνέει τόσους κινδύνους για την υγεία συγκριτικά κυψελοειδή δίκτυα [43].

Το πλεονέκτημα της UWB τεχνολογίας σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες έγγυται στη χωρική του ικανότητα (spatial capacity). Όπως απεικονίζεται και από τον πίνακα 1.5 καθώς το IEEE 802.11b πρότυπο μπορεί να λειτουργήσει μεν σε μία μέγιστη απόσταση των 100 μέτρων μπορεί να υποστηρίξει μόνο 1 Kbps ανά τετραγωνικό μέτρο. Στα πλαίσια ενός hotspot, το γεγονός αυτό δεν επαρκεί για την εξυπηρέτηση πολλών χρηστών οι οποίοι θέλουν να δουλέψουν σε multimedia περιβάλλον. Ωστόσο το UWB μπορεί να υποστηρίξει 1.000 Kbps ανά τετραγωνικό μέτρο [43].

Για το μέλλον είχε προβλεφθεί ότι το UWB θα μπορούσε να υποστηρίξει τη ρυθμούς μετάδοσης έως 500Mbps για αποστάσεις 5 έως 10 μέτρων αλλά και να ικανοποιήσει τις WAN ανάγκες με τη χρήση ad-hoc δικτύων θέτοντας στο περιθώριο ανταγωνιστικές τεχνολογίες όπως είναι το W-CDMA και το GPRS.

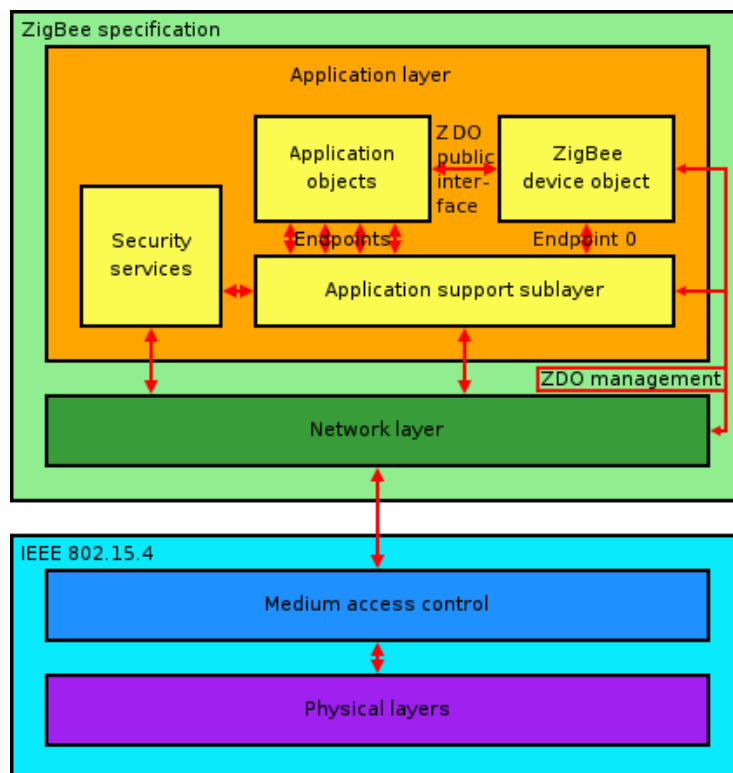
**Πίνακας 1.5** Σύγκριση χωρικής ικανότητας μεταξύ των WPAN προτύπων [43]

| Technology   | Power  | Range | Spatial Capacity         |
|--------------|--------|-------|--------------------------|
| IEEE 802.11b | 50 mW  | 100 m | 1Kbps/m <sup>2</sup>     |
| Bluetooth    | 1 mW   | 10 m  | 30Kbps/m <sup>2</sup>    |
| IEEE 802.11a | 200 mW | 50 m  | 55Kbps/m <sup>2</sup>    |
| UWB          | 0.2 mW | 10 m  | 1,000Kbps/m <sup>2</sup> |

Εντούτοις, μετά από αρκετά έτη αδράνειας, η IEEE 802.15.3a ομάδα εργασίας διαλύθηκε το 2006. Η αργή πρόοδος στην ανάπτυξη των UWB προτύπων, το υψηλό κόστος των αρχικών εφαρμογών και η χαμηλότερη απόδοση από την αρχικά αναμενόμενη είναι μερικοί από τους λόγους της περιορισμένης επιτυχίας του UWB στα προϊόντα κατανάλωσης, η οποία οδήγησε τους διάφορους πωλητές του UWB στην παύση των διαδικασιών αυτών κατά τη διάρκεια του 2008 και του 2009 [42].

### 1.5.1.3 ZigBee

Το ZigBee είναι το όνομα της προδιαγραφής μιας ακολουθίας πρωτοκόλλων υψηλού επιπέδου επικοινωνίας, χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, τα οποία βασίζονται στο IEEE 802.15.4-2003 πρότυπο. Η ZigBee τεχνολογία υποστηρίζεται από τη ZigBee Alliance, η οποία αναπτύσσει τις προδιαγραφές και πιστοποιεί την ορθή εφαρμογή του. Στόχος της τεχνολογίας αυτής ήταν να είναι οικονομικότερη και απλούστερη από άλλα WPAN πρωτόκολλα όπως το Bluetooth. Προορίζεται για εφαρμογές χαμηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων με μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταριών όπως είναι οι εφαρμογές απομακρυσμένου ελέγχου και οι εφαρμογές αισθητήρα. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στο φυσικό και MAC επίπεδο που ορίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4-2003 και ολοκληρώνει το πρότυπο αυτό ορίζοντας τα επίπεδα δικτύου και εφαρμογών (σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2 Στοίβα επιπέδων ZigBee προδιαγραφής [44]

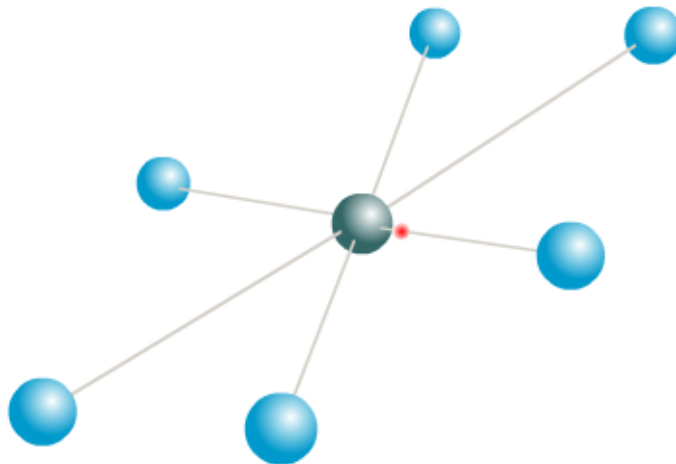
Το IEEE 802.15.4-2003 πρότυπο καθορίζει τη λειτουργία για τη ZigBee στην «ελεύθερη» ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz σε παγκόσμια κλίμακα, στη ζώνη των 915 MHz για την Αμερική και στη ζώνη των 868MHz για την περιοχή της Ευρώπης. Στην ζώνη των 2.4 GHz υπάρχουν 16 ZigBee κανάλια με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 250 Kbps για κάθε κανάλι και εύρος ζώνης καναλιού 5 MHz. Η ζώνη των 915 MHz ορίζει 10 ZigBee κανάλια, με εύρος ζώνης καναλιού 2 MHz, με κάθε κανάλι να επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης 40Kbps ενώ η ζώνη των 868 MHz ορίζει 1 κανάλι επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης 20Kbps. Οι τεχνικές διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται είναι η BPSK στα 868 και στα 915 MHz, και η ορθογώνια QPSK για τη ζώνη των 2.4 GHz. Τέλος το εύρος μετάδοσης της ZigBee τεχνολογίας κυμαίνεται μεταξύ 10 έως 75 μέτρων.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι ZigBee συσκευών οι οποίοι είναι:

- **ZigBee coordinator (ZC):** Συντηρεί συνολικά το δίκτυο αποτελώντας το πυρήνα αυτού έχοντας δυνατότητα επικοινωνίας με άλλα δίκτυα. Κάθε ZigBee δίκτυο διαθέτει ακριβώς ένα συντονιστή έχοντας μεγαλύτερες απαιτήσεις σε μνήμη και υπολογιστική ισχύ συγκριτικά με τις άλλες συσκευές.

- **ZigBee Router (ZR):** Ένας Zigbee δρομολογητής μπορεί να λειτουργήσει ως ένας ενδιάμεσος δρομολογητής μεταφέροντας δεδομένα από άλλες συσκευές.
- **ZigBee End Device (ZED):** Μία ZED συσκευή επικοινωνεί είτε με το ZigBee συντονιστή είτε με το ZigBee δρομολογητή. Είναι το σημείο με το οποίο συνδέονται οι φυσικές συσκευές και δε μπορεί να αναμεταδώσει δεδομένα από αυτές. Απαιτεί ένα ελάχιστο ποσοστό μνήμης και επομένως είναι λιγότερο δαπανηρή συγκριτικά με το ZR ή το ZC.

Το επίπεδο δικτύου του ZigBee υποστηρίζει τρεις τοπολογίες, την τοπολογία αστέρα, τη τοπολογία βρόχου και την υβριδική τοπολογία. Η τοπολογία αστέρα (σχήμα 1.3) έχει το πλεονέκτημα της απλής υλοποίησης, με κάθε συσκευή συντονιστή να συνδέεται με ένα σύνολο τερματικών συσκευών. Κάθε τερματική συσκευή μπορεί να επικοινωνήσει μόνο με τη συσκευή συντονιστή και επομένως η αποστολή ενός μηνύματος από μία τερματική συσκευή σε μία άλλη πρέπει να γίνει μέσω του συντονιστή [45].

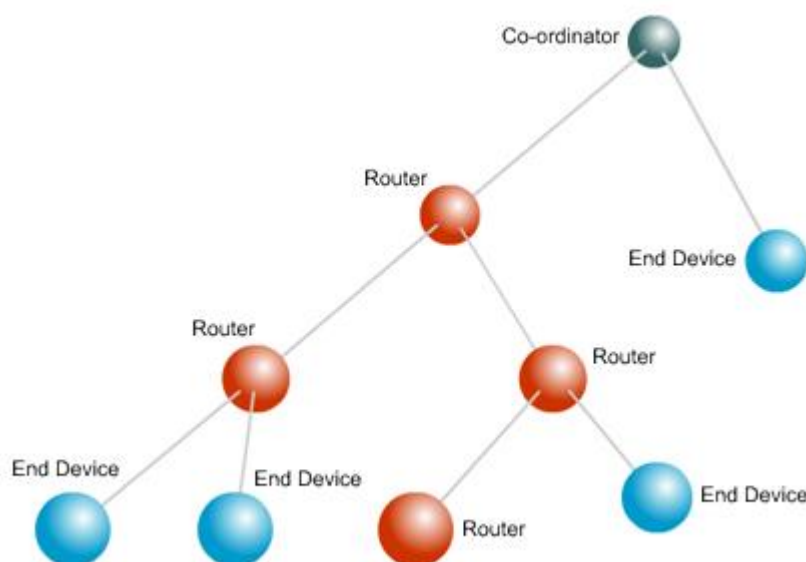


Σχήμα 1.3 Τοπολογία αστέρα ενός ZigBee δικτύου [44]

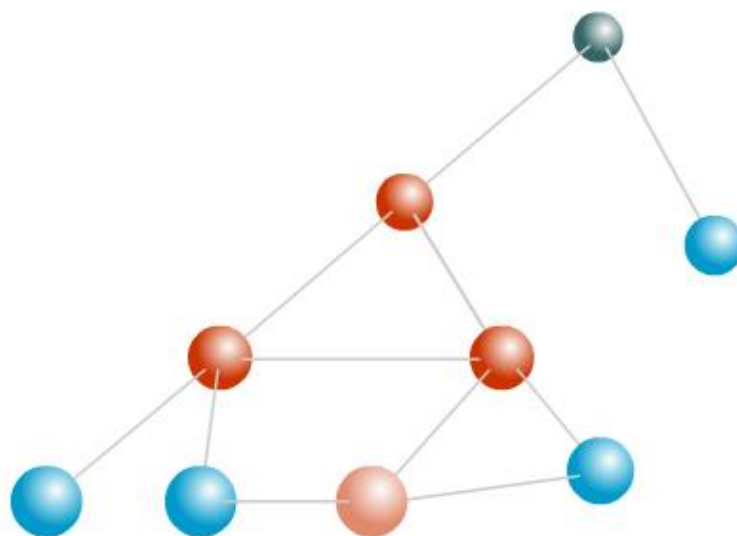


Στην κορυφή της τοπολογίας δέντρου (σχήμα 1.4) τοποθετείται ο συντονιστής ο οποίος μπορεί να συνδέεται με ένα πλήθος δρομολογητών και τερματικών συσκευών («παιδιά»). Ο δρομολογητής μπορεί να συνδέεται με άλλους δρομολογητές ή τερματικές συσκευές, ωστόσο οι τερματικές συσκευές δε μπορούν να συνδεθούν απευθείας με άλλες τερματικές συσκευές δηλαδή δε μπορούν να έχουν «απογόνους». Το μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας έγγυται στο ότι δεν υπάρχει εναλλακτική διαδρομή στην περίπτωση όπου μία απαραίτητη σύνδεση αποτύχει.

Η δομή της τοπολογίας βρόχου (σχήμα 1.5) είναι όμοια με αυτή της τοπολογίας δέντρου και παρέχει υψηλό βαθμό αξιοπιστίας ως προς τη διάδοση των μηνυμάτων. Ο συντονιστής τοποθετείται στην κορυφή της δομής και μπορεί να συνδέεται με ένα πλήθος δρομολογητών και τερματικών συσκευών («παιδιά»), ενώ ο δρομολογητής μπορεί να συνδέεται με άλλους δρομολογητές και τερματικές συσκευές που δεν αποτελούν απαραίτητα τους «απογόνους» του. Τα μηνύματα μπορούν να δρομολογούνται σε ολόκληρο το δίκτυο, έτσι εάν υπάρχει κάποιο είδος παρεμβολής όπως η αποτυχία σύνδεσης ή η συμφόρηση σε ένα τμήμα του δικτύου, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια εναλλακτική διαδρομή [47].



Σχήμα 1.4 Τοπολογία δέντρου ενός ZigBee δικτύου [46]



Σχήμα 1.5 Τοπολογία βρόχου ενός ZigBee δικτύου [47]

Ολοκληρώνοντας ο πίνακας 1.6 παρουσιάζει τα κύρια χαρακτηριστικά των WPAN τεχνολογιών όπως ορίζονται από το IEEE 802.15.

Πίνακας 1.6 Σύγκριση χαρακτηριστικών των WPAN τεχνολογιών [48]

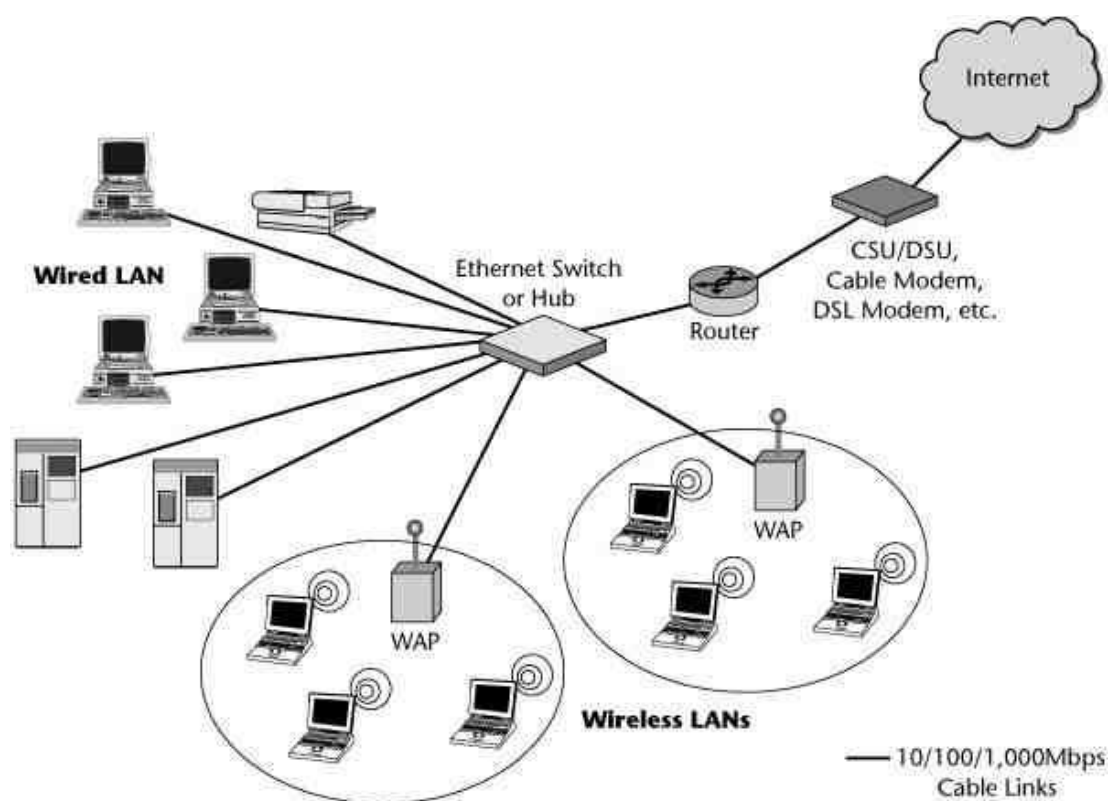
| Parameters                         | Bluetooth (IEEE 802.15.1)  | UWB (IEEE 802.15.3)  | ZigBee (IEEE 802.15.4)  |
|------------------------------------|--|--|---|
| <b>Applications</b>                | Computer and accessory devices transfer,<br>Computer to compute<br>Computer with other digital devices | Multimedia content<br>High-resolution radar,<br>Ground-penetrating radar,<br>Wireless sensor network,<br>Radio locations systems | Home control<br>Building automation<br>Industrial automation<br>Home security<br>Medical monitoring |
| <b>Frequency Band:</b>             | 2.4 - 2.48GHz  | 3.1-10.6GHz  | 868MHz<br>902-928MHz<br>2.4-2.48GHz   |
| <b>Range</b>                       | ~10 meters   | ~10 meters   | ~100 meters   |
| <b>Maximum Data transfer rate:</b> | 3 Mbps   | 1 Gbps   | 20 Kbps<br>40 Kbps<br>250 Kbps  |
| <b>Modulation</b>                  | GFSK, 2PSK, DQSP, 8PSK   | OPSK, BPSK   | BPSK (868/928MHz)<br>OPSK (2.4GHz)  |

### 1.5.2 Ασύρματα τοπικά δίκτυα

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο είναι ένα τοπικό δίκτυο το οποίο δεν βασίζεται σε ενσύρματες Ethernet συνδέσεις. Ένα WLAN μπορεί να είναι μια επέκταση σε ένα τρέχον ενσύρματο δίκτυο είτε μια εναλλακτική λύση αυτού, αποτελώντας συνήθως μια οικονομικότερη λύση έναντι των ενσύρματων δικτύων.

Η λειτουργία των αρχικών WLANs περιοριζόταν σε ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μεταξύ του 1 και των 11 Mbps με την πραγματική ρυθμοαπόδοση να είναι τουλάχιστον 50% μικρότερη της μέγιστης αναφερθείσας ρυθμοαπόδοσης. Τα μεταγενέστερα WLAN δίκτυα υποστηρίζουν μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης έως 54 Mbps με την πραγματική ρυθμοαπόδοση να φθάνει έως 32 Mbps και μερικούς κατασκευαστές να προσφέρουν ιδιόκτητες λύσεις μεταφοράς δεδομένων έως 108 Mbps, ενώ τα αναδυόμενα πρότυπα υπόσχονται ρυθμούς μετάδοσης 300 έως 600 Mbps. Η διάδοση ενός WLAN σήματος μπορεί να καλύψει μια περιοχή σε μια ακτίνα που κυμαίνεται από 3 έως 150 μέτρα περίπου. Τα WLANs δίκτυα λειτουργούν στις «ελεύθερες» ζώνες συχνοτήτων, των 2.4 είτε των 5 GHz και δεν απαιτούν συνθήκες οπτικής επαφής, γεγονός το οποίο αποτελεί ένα ελκυστικό χαρακτηριστικό γνώρισμα. Το βασικό στοιχείο ενός WLAN δικτύου είναι το ασύρματο σημείο πρόσβασης (Wireless Access Point - WAP) ή διαφορετικά ο σταθμός βάσης. Τα WAPs συνδέονται σε ένα Ethernet hub ή στο server. Η συνολική περιοχή κάλυψης μπορεί να επεκταθεί με τη σύνδεση πολλαπλών WAPs και η περιαγωγή των χρηστών είναι εφικτή μέσω των μεταπομπών μεταξύ των WAPs. Μία περιοχή που καλύπτεται από ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης συνδεδεμένα μεταξύ τους ονομάζεται hotspot. Στο σχήμα 1.5 απεικονίζεται ένα τυπικό παράδειγμα ενός WLAN δικτύου [49, 50].

Τα WLANs δίκτυα διακρίνονται σε δύο τύπους, σε αυτά που χρησιμοποιούνται για οικιακές εφαρμογές ή μικρές επιχειρήσεις (private home or small business WLANs) και σε αυτά που χρησιμοποιούνται από μεγάλες επιχειρήσεις (enterprise class WLANs). Ο πρώτος τύπος δικτύων συνήθως χρησιμοποιεί ένα ή δύο access points για τη μετάδοση του σήματος σε μία ακτίνα 30 έως 60 μέτρων Ο δεύτερος τύπος χρησιμοποιεί έναν μεγάλο αριθμό access points για τη μετάδοση των σημάτων σε μία ευρεία περιοχή. Αυτά τα access points διαθέτουν περισσότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ώστε να παρέχουν καλύτερη ασφάλεια, επικύρωση, απομακρυσμένη διαχείριση (remote management), καθώς και εργαλεία για την ενσωμάτωσή τους στα υπάρχοντα δίκτυα. Επιπλέον είναι ικανά να καλύπτουν



Σχήμα 1.6 Παράδειγμα υλοποίησης ενός WLAN δικτύου [49]

μεγαλύτερες περιοχές αλλά και να συνεργάζονται με τον πρώτο τύπο access points ώστε να επιτυγχάνουν ακόμη μεγαλύτερες περιοχές κάλυψης.

Αν και ένα WAN δίκτυο είναι εξ' ορισμού το ακριβώς αντίθετο ενός LAN δικτύου, σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει μια συνοπτική αναφορά για τα WANs (Wireless WANs) δίκτυα καθώς η διάκριση μεταξύ αυτών των δύο για τους τελικούς χρήστες γίνεται όλο και λιγότερο εμφανής. Τα WANs δίκτυα χρησιμοποιούνταν για τη σύνδεση των LANs δικτύων και μέχρι πρότινος, ίσχυε το ίδιο και για την περίπτωση των WWANs δικτύων. Σήμερα, οι κυψελοειδείς εταιρείες τηλεφωνίας, προσφέρουν τη WWAN τεχνολογία για την απευθείας πρόσβαση των χρηστών τους. Τα κυψελοειδής τεχνολογίας WWANs δίκτυα καλύπτουν εξαιρετικά ευρείες περιοχές αλλά παρέχουν ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων αρκετά μικρότερους από αυτούς των WLANs, οι οποίοι κυμαίνονται μεταξύ 50Kbps και 2Mbps. Τα WWANs βασίζονται στην κάλυψη που προσφέρουν οι πάροχοι των κυψελοειδών δικτύων. Τα περισσότερα πρότυπα (SGM, GPRS, UMTS) των WWANs δικτύων είναι αυτά που χρησιμοποιούνται για την κινητή τηλεφωνία τα οποία είναι διαθέσιμα όλο και περισσότερο για την πρόσβαση στο διαδίκτυο [50].

Τα κύρια WLANs πρότυπα είναι τα εξής:

- **IEEE 802.11a-1999** Το πρότυπο αυτό λειτουργεί στη συχνότητα των 5 GHz και επιτυγχάνει μέγιστο θεωρητικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως 54 Mbps, ενώ με τη χρήση κωδικών διόρθωσης σφαλμάτων επιτυγχάνει ρεαλιστικούς ρυθμούς μετάδοσης περίπου 20 Mbps. Η υψηλότερη συχνότητα λειτουργίας ωστόσο έχει σαν αποτέλεσμα την περιορισμένη του εμβέλεια έναντι των μεταγενέστερων 802.11b/g προτύπων, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 18 και 30 μέτρων. Το σήμα του εξασθενεί περισσότερο όταν απαιτείται να διαπεράσει τοίχους, ή γενικά ογκώδη αντικείμενα συγκριτικά με το 802.11b πρότυπο. Λόγω της λειτουργίας του σε υψηλότερη συχνότητα (5 GHz) έναντι των υπόλοιπων προτύπων τοπικής ασύρματης δικτύωσης η οποία δε χρησιμοποιείται σε τόσο μεγάλο βαθμό όσο η συχνότητα των 2.4 GHz, επηρεάζεται λιγότερο από παρεμβολές άλλων συσκευών και συνεπώς είναι ιδανικότερο για περιοχές όπως αυτές των αεροδρομίων.
- **IEEE 802.11b-1999** Το πρότυπο αυτό υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 11 Mbps. Εκτός των 11 Mbps ο 802.11b εξοπλισμός μπορεί να λειτουργήσει στα 5.5, 2, και 1 Mbps εάν η ποιότητα του σήματος δεν είναι καλή. Πρακτικά στην περίπτωση μιας point-to-multipoint διαμόρφωσης ένα access point επικοινωνεί μέσω των πανκατευθυντικών κεραιών των κινητών χρηστών, σε μια περιοχή κάλυψης γύρω από το access point η οποία εκτίνεται μεταξύ των 20 και 45 μέτρων επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης 11 Mbps ενώ το μέγιστο θεωρητικό εύρος της μετάδοσης μπορεί να φθάσει τα 100 μέτρα για ρυθμό μετάδοσης 1 Mbps. Στην πράξη το 802.11b έχει μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας στις χαμηλές ταχύτητες των 5 ή των 1 Mbps, εντούτοις το 802.11a μπορεί να έχει το ίδιο ή μεγαλύτερο εύρος εξαιτίας των μικρότερων παρεμβολών. Το 802.11b μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για point-to-point συνδέσεις με εμβέλεια 8 χιλιομέτρων, με κάποιες αναφορές να υποστηρίζουν ότι η εμβέλεια αυτή μπορεί να κυμανθεί μεταξύ 80 και 120 χιλιομέτρων στην περίπτωση οπτικής επαφής των σημείων. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως έναντι δαπανηρών μισθωμένων γραμμών. Το πρότυπο αυτό είναι περισσότερο ευαίσθητο συγκριτικά με το 802.11a λόγω των παρεμβολών που δέχεται από άλλες συσκευές οι οποίες λειτουργούν επίσης στη συχνότητα των 2.4 GHz όπως είναι τα ασύρματα

τηλέφωνα, οι συσκευές παρακολούθησης βρεφών, οι Bluetooth συσκευές και επομένως δεν συνίσταται για εφαρμογές οι οποίες απαιτούν μια αξιόπιστη σύνδεση όπως είναι η real-time μετάδοση βίντεο. Δεδομένου ότι το 802.11b δεν λειτουργεί στην ίδια συχνότητα με το 802.11a τα δύο αυτά πρότυπα δεν είναι διαλειτουργικά μεταξύ τους εκτός και αν οι συσκευές τους υποστηρίζουν την dual-band λειτουργία. Η μείωση των τιμών του εξοπλισμού που υποστηρίζει το 802.11b οδήγησε στη γρήγορη αποδοχή του από το καταναλωτικό κοινό και στην καθιέρωση του ως το κυρίαρχο πρότυπο ασύρματης τοπικής δικτύωσης.

- **IEEE 802.11g-2003** Τον Ιούνιο του 2003 επικυρώθηκε το 802.11g πρότυπο, το οποίο είναι γρηγορότερο του 802.11b, υποστηρίζοντας ρυθμούς μετάδοσης έως 54 Mbps. Σε πραγματικές συνθήκες διαθέτει εμβέλεια 20 έως 35 μέτρων, ελαφρώς μικρότερη αυτής του 802.11b, παραμένοντας ωστόσο καλύτερο από το 802.11a. Λειτουργεί στη συχνότητα των 2.4 GHz αντιμετωπίζοντας συνεπώς το ίδιο πρόβλημα εξαιτίας των παρεμβολών όπως και το 802.11b αλλά βασίζεται στην OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) μετάδοση όπως και το 802.11a. Το 802.11g είναι συμβατό με τα 802.11b προϊόντα, όμως αποτέλεσμα της συμβατότητας αυτής είναι η μείωση του ρυθμού μετάδοσης στο 802.11g δίκτυο. Μέχρι το καλοκαίρι του 2003, τα περισσότερα dual-band 802.11a/b προϊόντα μετατράπηκαν σε tri-band, υποστηρίζοντας έτσι τα 802.11a και 802.11b/g πρότυπα ταυτοχρόνως.
- **IEEE 802.11n-2009** Το 802.11n αποτελεί μια πρόσφατη βελτίωση των προηγούμενων 802.11 προτύπων ενσωματώνοντας κάποια τεχνολογικά στοιχεία αυτών αλλά και ορίζοντας κάποια νέα τεχνικά χαρακτηριστικά για την επίτευξη μεγαλύτερων ταχυτήτων έναντι του 802.11a και του 802.11g όπως τη χρήση των MIMO κεραιών. Το IEEE έχει εγκρίνει την 802.11n τροποποίηση η οποία δημοσιεύθηκε τον Οκτώβριο του 2009. Ωστόσο πριν ακόμη την τελική επικύρωση της, αρκετοί κατασκευαστές άρχισαν να διαθέτουν εμπορικά προϊόντα (με χαρακτηρισμούς όπως pre-n) βασιζόμενα στα πρώτα προσχέδια (draft) της τεχνολογίας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στις συζητήσεις για τη διαμόρφωση του προτύπου οι εκτιμήσεις της ταχύτητας δεν αφορούν την ονομαστική ταχύτητα του δικτύου, αλλά την ταχύτητα που πλησιάζει αρκετά σε αυτή

που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Συγκεκριμένα, οι ταχύτητες μετάδοσης του 802.11n θα κυμαίνονται κατά μέσο όρο από 100 ως 140 Mbps, ενώ η θεωρητική μέγιστη ταχύτητα του μπορεί να φτάνει ακόμη και τα 600 Mbps. Ένα άλλο κύριο χαρακτηριστικό του 802.11n είναι η διατήρηση της συμβατότητας του με παλαιότερα πρότυπα, υποστηρίζοντας έτσι τη λειτουργία δικτύων που περιλαμβάνουν ετερογενείς συσκευές των b και g τεχνολογιών. Συνεπώς η συχνότητα λειτουργίας του ορίζεται στα 5 GHz ή στα 2.4 GHz.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση κατά τη μετάδοση των δεδομένων στα ασύρματα τοπικά δίκτυα είναι ο WEP (Wired Equivalent Privacy) ο οποίος θεσπίστηκε το 1997. Ο WEP προοριζόταν αρχικά για το 802.11b πρότυπο αλλά χρησιμοποιείται επίσης και από το 802.11a κρυπτογραφώντας τα δεδομένα μεταξύ του ασύρματου access point και του Η/Υ του χρήστη. Ωστόσο οι πολλές αδυναμίες του που εντοπίστηκαν από το 2001 οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι μια WEP σύνδεση μπορεί να είναι εύκολα προσβάσιμη εντός μερικών λεπτών, με τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού. Το 2003 ο WEP αλγόριθμος εκτοπίστηκε από μια νέα τεχνική κρυπτογράφησης τη WPA (Wi-Fi Protected Access). Παρά τις αδυναμίες του ο WEP χρησιμοποιείται ακόμη ευρέως και συχνά αποτελεί την πρώτη επιλογή ασφάλειας εκ μέρους των χρηστών. Η πιο πρόσφατη τεχνική για την αντιμετώπιση των ζητημάτων ασφαλείας σήμερα είναι η WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2) με τις συσκευές που χρησιμοποιούν το WPA2 να είναι διαλειτουργικές με τις WPA συσκευές [50, 51, [52]

Στον πίνακα 1.7 παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των κύριων προτύπων των ασύρματων τοπικών δικτύων.

**Πίνακας 1.7** Κύρια χαρακτηριστικά των 802.11b, 802.11a και 802.11g προτύπων [49]

| <b>Standard</b>                           | <b>802.11b</b>  | <b>802.11a</b> | <b>802.11g</b> |
|---|-----------------|----------------|----------------|
| <b>Capacity per Channel (Theoretical)</b> | 11 Mbps         | 54 Mbps        | 54 Mbps        |
| <b>Capacity per Channel (Actual)</b>      | 5 Mbps          | 27 Mbps        | 27 Mbps        |
| <b>Band Used/Range</b>                    | 2.4 GHz / 100 m | 5 GHz / 50 m   | 2.4 GHz/100 m  |
| <b>Technology</b>                         | DSSS            | OFDM           | OFDM           |
| <b>Number of Channels (U.S.)</b>          | 3               | 12             | 3              |
| <b>Number of Channels (U.S.)</b>          | 3               | 4              | 3              |
| <b>Number of Channels (U.S.)</b>          | 4               | 15             | 4              |

### 1.5.3 Ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα

Τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα τα οποία είναι γνωστά και ως WLLs ( Wireless Local Loops), βασίζονται στο IEEE 802.16 πρότυπο. Μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικά ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων από 1 έως 10 Mbps για μια περιοχή κάλυψης που εκτείνεται μεταξύ 4 και 10 Km. Το πιο διαδεδομένο WMAN δίκτυο σήμερα είναι το WiMAX το οποίο μπορεί να επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης 70 Mbps. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται τα κύρια WMANs πρότυπα.

#### 1.5.3.1 WiMAX

Το 1998 το IEEE σύστησε μια ομάδα εργασίας με την επωνυμία 802.16 για την ανάπτυξη ενός νέου προτύπου που θα κάλυπτε τις ανάγκες των WMANs δικτύων. Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, έτσι και η 802.16 ομάδα εργασίας καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με διαφορετικές ρυθμίσεις λειτουργίας. Τα IEEE 802.16 πρότυπα (η εμπορική



ονομασία των οποίων είναι WiMAX), σχεδιάστηκαν ώστε να λειτουργούν σε μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz, υποστηρίζοντας ταχύτητες ασύρματης μετάδοσης έως 70Mbps σε εμβέλεια που ξεπερνά τα 50 Km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση point-to-multipoint συνδέσεις σημείου προς χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point-to-point συνδέσεις και τοπολογίες πλέγματος (mesh). Χρησιμοποιεί το OFDM σχήμα διαμόρφωσης, παρέχει υποστήριξη QoS μηχανισμών και συστημάτων προσαρμοστικών κεραιών (Adaptive Antenna System – AAS). Η λειτουργία των WiMAX δικτύων μελετάται εκτενέστερα στο κεφάλαιο 4.

### 1.5.3.2 WiBro

Το WiBro (Wireless Broadband) είναι μια διαδικτυακή ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία που αναπτύχθηκε από το νοτιοκορεάτικο ίδρυμα τηλεπικοινωνιών ηλεκτρονικής και έρευνας (Electronics and Telecommunications Research Institute - ETRI). Για την περιοχή της Νότιας Κορέας αποτελεί τεχνολογία αντίστοιχη αυτής του IEEE 802.16e διεθνούς προτύπου. Προγενέστερα του WiBro, υπήρχε το HPI (High-Speed Portable Internet), το οποίο δεν ήταν συμβατό με τα αναπτυσσόμενα WiMAX πρότυπα, οδηγώντας έτσι στην αντικατάστασή του από το συμβατότερο πρότυπο του WiBro. Το WiBro δημιουργήθηκε για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί μετάδοσης δεδομένων των κινητών τηλεφώνων (που χρησιμοποιούν για παράδειγμα το CDMA 1x) και για να προσθέσει το χαρακτηριστικό της κινητικότητας στην διαδικτυακή ευρυζωνική πρόσβαση, χαρακτηριστικό το οποίο δεν προσφέρεται από την ADSL τεχνολογία και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Σημαντικός ανταγωνιστής του WiBro αποτελεί η HSDPA τεχνολογία.

Το Φεβρουάριο του 2002, η Κορεατική κυβέρνηση διέθεσε 100MHz του φάσματος για τη λειτουργία του WiBro στη ζώνη των 2.3 - 2.4 GHz [53]. Το πλεονέκτημα της χρήσης του «αδειοδοτούμενου» φάσματος συχνοτήτων είναι ότι εξαλείφει το πρόβλημα οποιονδήποτε πιθανών παρεμβολών από άλλες πηγές που χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα. Η χρήση αυτού του φάσματος είναι μία ειδοποιός διαφορά μεταξύ του WiMAX και του WiBro και μπορεί να μην επιτρέπει στο WiBro διαθέσιμο σε παγκόσμια κλίμακα. Υιοθετεί την TDD τεχνική πολυπλεξίας και την

OFDMA τεχνική πρόσβασης για κανάλια εύρους ζώνης 8.75 MHz. Αν και το mobile WiMAX μαζί με το WiBro χρησιμοποιούν την OFDMA τεχνική πρόσβασης στο κανάλι, οι διαφορές τους ως προς το φυσικό επίπεδο όπως αυτή της χρήσης διαφορετικού εύρους ζώνης των καναλιών, καθιστούν αβέβαιο για το πώς θα επικοινωνήσουν τελικά μεταξύ τους καθώς το WiBro δε συμμορφώνεται με τις προδιαγραφές που θέτει το WiMAX Forum. Οι σταθμοί βάσης του WiBro μπορούν να καλύψουν τις ίδιες περιοχές με το Wi-Fi αλλά προσφέρουν υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων που κυμαίνονται από 30 έως 50 Mbps για μια περιοχή κάλυψης 1 έως 5 Km επιτρέποντας τη φορητή χρήση του διαδικτύου. Το WiBro είναι αρκετά όμοιο με το mobile WiMAX επιτρέποντας στους χρήστες τη πρόσβαση στο διαδίκτυο με αρχικές ταχύτητες των 700 Kbps σε τροχαίες ταχύτητες έως 120 Km/h [55] έναντι των τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας οι οποίες προσφέρουν στους συνδρομητές της κίνηση σε τροχαίες ταχύτητες έως 250 Km/h. Τα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας που προσφέρει επιτρέπουν την αξιόπιστη διανομή βίντεο και άλλων time-sensitive εφαρμογών [53, [54].

### 1.5.3.3 Mobile- Fi

Η IEEE 802.20 (ή αλλιώς Mobile Broadband Wireless Access - MBWA) ομάδα εργασίας δημιουργήθηκε το 2002 με στόχο την ανάπτυξη διαλειτουργικών κινητών ευρυζωνικών δικτύων ασύρματης πρόσβασης, χαμηλού κόστους σε παγκόσμιο επίπεδο. Η IEEE 802.20 προδιαγραφή η οποία είναι γνωστή και ως Mobile-Fi ενεκρίθη στις 12 Ιουνίου 2008. Οι στόχοι του IEEE 802.20 είναι όμοιοι με αυτούς του IEEE 802.16e, ωστόσο το Mobile-Fi σε αντίθεση με το mobile WiMAX θεωρείται από τις 3G τεχνολογίες ως ένα ανταγωνιστικό πρότυπο. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων και το εύρος λειτουργίας του Mobile-Fi είναι κατά το ήμισυ μικρότερες από αυτές του mobile WiMAX. Επιπλέον αυτού, το γεγονός ότι το Mobile-Fi λειτουργεί μόνο στην «αδειοδοτούμενη» ζώνη κάτω των 3.5 GHz καθιστά τις πιθανότητες ευρείας υιοθέτησης του μικρές. Υποστηρίζει μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων άνω των 80 Mbps για περιοχές κάλυψης μεγαλύτερες των 15 Km ενώ για τους εν κινήσει χρήστες υποστηρίζει τροχαίες ταχύτητες 250 Km/h, σε αντίθεση με το WiMAX που υποστηρίζει τροχαίες ταχύτητες 100 Km/h. Το IEEE 802.20 επειδή υιοθετεί τις πιο συχνά

χρησιμοποιούμενες ζώνες συχνοτήτων κάτω των 3.5 GHz, βελτιστοποιεί τη περιαγωγή και τη μεταπομπή των χρηστών καθολικά, με ταχύτητες μεγαλύτερες του 1 Mbps [55]. Τόσο το 802.20 όσο και το WiMAX χρησιμοποιούν την OFDMMIMO και τη beamforming τεχνική [55, 56].

#### 1.5.3.4 HiperLan2, HiperAccess και HiperMAN

Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών προκειμένου να ανταποκριθεί στην πίεση των αγορών για συνδέσεις χαμηλού κόστους και μεγάλης χωρητικότητας, την άνοιξη του 1997 καθιέρωσε το BRAN (Broadband-Compliant Radio Access Networks) πρόγραμμα τυποποίησης. Το ETSI BRAN πρόγραμμα βοηθά τους οργανισμούς τυποποίησης σχετικά με τις προδιαγραφές που απαιτούνται να εφαρμοστούν στα νέα ευρυζωνικά δίκτυα. Κάποιες από τις προδιαγραφές του ETSI BRAN είναι το HiperLAN2 (High-Performance Radio LAN 2), το HiperAccess (High-Performance Radio Access) και το HiperMAN (High-Performance Radio MAN) [54]:

- **HiperLan2.** Το HiperLAN2 παρέχει στους χρήστες του σε επιχειρησιακό και οικιακό επίπεδο κινητή ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο, υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών και real-time υπηρεσιών βίντεο. Μια άλλη ιδιαιτερότητα του HiperLAN2 είναι επίσης η ad-hoc περιαγωγή, η δυνατότητα δηλαδή της αυτόματης προώθησης των δεδομένων από access point σε access point στην περίπτωση όπου ο παραλήπτης δεν βρίσκεται στο βεληνεκές του αποστολέα. Η HiperLAN2 προδιαγραφή ολοκληρώθηκε το Φεβρουάριο του 2000. Το HiperLAN2 λειτουργεί στη ζώνη των 5 GHz επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης έως 54 Mbps. Στο φυσικό επίπεδο χρησιμοποιούνται τα BPSK, QPSK, 16QAM ή 64QAM σχήματα διαμόρφωσης. Το φυσικό επίπεδο του HiperLAN2 είναι αρκετά όμοιο με αυτό των IEEE 802.11a ασύρματων δικτύων. Στο MAC επίπεδο το HiperLAN2 χρησιμοποιεί τη Dynamic TDMA τεχνική πρόσβασης στο κανάλι σε αντίθεση με το 802.11a το οποίο χρησιμοποιεί τη CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance). Το MAC επίπεδο καθορίζει τα πρωτόκολλα για τη δρομολόγηση, την ασφάλεια και την εξοικονόμηση ενέργειας και παρέχει τη μεταφορά δεδομένων στα ανώτερα

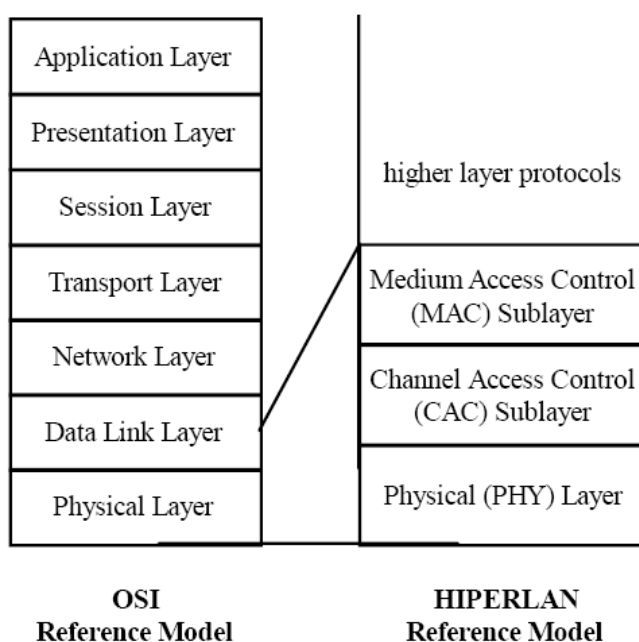
επίπεδα. Το πρότυπο αυτό παρέχει αυξημένη ασφάλεια με τη χρήση των DES και Triple DES αλγορίθμων. Τα ασύρματα τερματικά και τα access points μπορούν να επικυρώσουν το ένα το άλλο. Το HiperLAN2 διαθέτει επιπλέον ένα επίπεδο το CAC (Channel Access and Control) όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.7. Το CAC επίπεδο παρέχει τον EY-NPMA (Elimination-Yield Non-Preemptive Multiple Access mechanism) μηχανισμό προτεραιοτήτων. Με τη χρήση του μηχανισμού προτεραιοτήτων τα πακέτα δεδομένων κατηγοριοποιούνται και αποκτούν διαφορετική σειρά προτεραιότητας ανάλογα με τον τύπο τους. Για παράδειγμα τα πακέτα ενός βίντεο έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα κατά τη μεταφορά τους, με αποτέλεσμα την πιο ομαλή εμφάνισή του. Χάρη στον EY-NPMA είναι δυνατή η υποστήριξη των πολυμεσικών εφαρμογών από το HiperLAN2. Το HiperLAN2, σε αντίθεση με όλα τα υπόλοιπα πρότυπα, είναι συμβατό με μια ποικιλία δικτύων. Εκτός της σύνδεσής του με Ethernet δίκτυα, έχει δυνατότητα μεταφοράς πακέτων IP, ATM και UMTS [57, 58].

- **HiperAccess.** Το HiperAccess είναι ένα 3GPP πρότυπο το οποίο χρησιμοποιείται για την υπαίθρια σταθερή ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων. Έχει σχεδιαστεί να παρέχει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως 100 Mbps αν και συνήθως επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης 25 Mbps. Λειτουργεί σε υψηλές ζώνες συχνοτήτων και ειδικά στη ζώνη μεταξύ των 40.5 και 43.5 GHz και είναι ικανό να υποστηρίξει πολυμεσικές εφαρμογές. Για αυτές τις ζώνες συχνοτήτων χρησιμοποιεί τη TDMA τεχνική πρόσβασης στο κανάλι. Τα πρώτα HiperAccess πρότυπα ήταν εμπορικά διαθέσιμα από το Δεκέμβριο του 2004 [54, 59].
- **HiperMAN.** Το HiperMAN είναι ένα πρότυπο για τη σταθερή και νομαδική ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση τόσο σε οικιακό όσο και σε περιβάλλον μικρομεσαίων επιχειρήσεων. Είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί σε συχνότητες μεταξύ των 2 και των 11 GHz (και κυρίως στη ζώνη των 3.5 GHz [60]) και είναι διαλειτουργικό με το IEEE 802.16a-2003 πρότυπο της WiMAX οικογενείας προδιαγραφών. Το HiperMAN αποτελεί μια Ευρωπαϊκή εναλλακτική έναντι του WiMAX και του Κορεάτικου WiBro. Είναι σχεδιασμένο για τη διανομή δεδομένων ακόμη και σε περιοχές μη οπτικής επαφής μεταξύ του πομπού και του δέκτη και υιοθετεί τόσο τη FDD όσο και την TDD τεχνική εκπομπής και λήψης. Παρέχει QoS μηχανισμούς και

υποστηρίζει την point-to-multipoint καθώς και την τοπολογία πλέγματος. Αν και το HiperMAN εστιάζει κυρίως σε IP δίκτυα, μπορεί επίσης να υποστηρίξει και δίκτυα ATM [60].

#### 1.5.4 Ασύρματα περιφερειακά δίκτυα

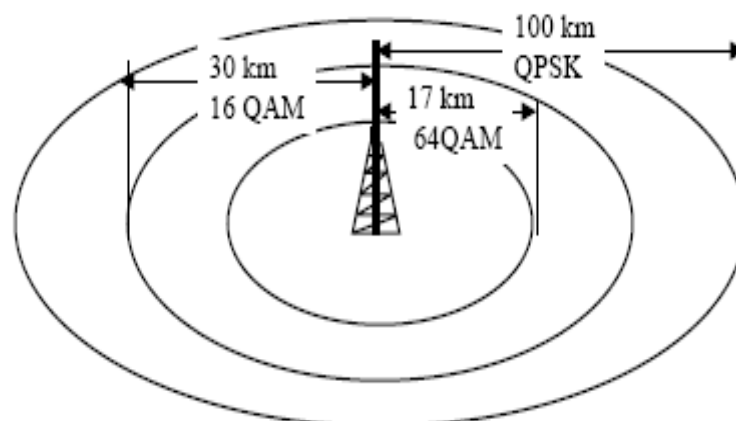
Το IEEE 802.22 είναι ένα πρότυπο ευρυζωνικής πρόσβασης για τα ασύρματα περιφερειακά δίκτυα, σχεδιασμένο ώστε να λειτουργεί στις μη χρησιμοποιούμενες UHF/VHF ζώνες συχνοτήτων τηλεοπτικής μετάδοσης μεταξύ των 54 και 862 MHz ή στις ζώνες ασφαλείας αυτών [62]. Το Νοέμβριο του 2004 συγκροτήθηκε η IEEE 802.22 ομάδα εργασίας για την ανάπτυξη ενός WRAN συστήματος για τη διανομή ευρυζωνικών υπηρεσιών ιδιαίτερα στις δυσπρόσιτες ή στις μη πολυπληθής περιοχές (όπως οι αγροτικές). Από το Μάιο του 2006 ήταν διαθέσιμη η v0.1 έκδοση του IEEE 802.22 προτύπου, ωστόσο ήταν αναγκαίες κάποιες βελτιώσεις για τη διαβεβαίωση του ότι οι χρησιμοποιούμενες ζώνες ασφαλείας δε θα προκαλούν παρεμβολές στις τηλεοπτικές υπηρεσίες. Το πρότυπο αυτό αναμένεται να έχει οριστικοποιηθεί μέχρι το πρώτο τρίμηνο του 2010.



Σχήμα 1.7 OSI και HiperLAN2 μοντέλα αναφοράς [61]

Για την αποδοτικότερη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου τηλεοπτικού φάσματος είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του από άλλες υπηρεσίες [63]. Τα IEEE 802.22 WRAN συστήματα έχουν σχεδιαστεί ώστε να λειτουργούν στις τηλεοπτικές ζώνες συχνοτήτων αποτρέποντας την οποιαδήποτε πρόκληση παρεμβολών κατά τη μετάδοση αναλογικής και ψηφιακής τηλεόρασης καθώς και συσκευών χαμηλής ισχύος όπως είναι τα ασύρματα μικρόφωνα τα οποία λειτουργούν στις «αδειοδοτούμενες» ζώνες συχνοτήτων [62]. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, το IEEE 802.22 πρότυπο χρησιμοποιεί τη γνωστική ραδιο-τεχνολογία (cognitive radio technology) [63]. Κατά τη χρήση της τεχνολογίας αυτής ένα δίκτυο ή ένας ασύρματος κόμβος αλλάζει τις παραμέτρους μετάδοσης ή λήψης για την αποφυγή παρεμβολών. Η αλλαγή των παραμέτρων βασίζεται στον ενεργό έλεγχο διάφορων παραγόντων όπως είναι το φάσμα συχνοτήτων [64].

Η υλοποίηση ενός συστήματος με τη χρήση του IEEE 802.22 προτύπου βασίζεται στην point-to-multipoint τοπολογία, αποτελούμενο από ένα σταθμό βάσης και από τον εξοπλισμό εγκατάστασης των πελατών (Customer Premises Equipments - CPEs). Ο σταθμός βάσης μπορεί να είναι εφοδιασμένος με έναν GPS (Global Positioning System) δέκτη ο οποίος επιτρέπει τον εντοπισμό της θέσης του από τους κεντρικούς servers. Οι servers με τη σειρά τους ενημερώνουν κάθε σταθμό βάσης σχετικά με τις «ελεύθερες» ζώνες συχνοτήτων (που μπορεί να χρησιμοποιήσει). Μία διαφορετική προσέγγιση έγγυται στον προσδιορισμό των ελεύθερων τηλεοπτικών συχνοτήτων από τον ίδιο το σταθμό βάσης ή το συνδυασμό αυτών των δύο τεχνικών μαζί. Η περιοχή κάλυψης του IEEE 802.22 προτύπου είναι πολύ μεγαλύτερη εκ πολλών IEEE 802.11 προτύπων τα οποία στην πράξη περιορίζονται σε μια περιοχή κάλυψης 50 μέτρων. Η περιοχή εμβέλειας του σταθμού βάσης του IEEE 802.22 προτύπου εκτείνεται σε εύρος 30 Km, ενώ σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να φτάσει τα 100 Km (σχήμα 1.8). Ένα



**Σχήμα 1.8** Χρησιμοποιούμενα σχήματα διαμόρφωσης του IEEE 802.22 προτύπου [37]

IEEE 802.22 σύστημα έχει εύρος ζώνης καναλιού 6 MHz (το οποίο σε κάποιες χώρες μπορεί να είναι 7 ή 8 MHz [62]) και χωρητικότητα καναλιού 18 Mbps εξυπηρετώντας 12 χρήστες. Το σύστημα έχει καθοριστεί ώστε να διανέμει δεδομένα στους χρήστες με ρυθμό μετάδοσης 1.5 Mbps στην άνω ζεύξη και 384 Kbps στην κάτω ζεύξη όμοια με αυτές των DSL υπηρεσιών [63].

Το φυσικό επίπεδο πρέπει να είναι ευέλικτο ώστε να προσαρμόζεται στις διαφορετικές συνθήκες που προκύπτουν κατά τη μετακίνηση από ένα κανάλι σε ένα άλλο χωρίς την εμφάνιση σφαλμάτων τα οποία οδηγούν στη διακοπή των υπηρεσιών των χρηστών (CPEs). Η ευελιξία του φυσικού επιπέδου είναι επίσης απαραίτητη για τη δυναμική προσαρμογή του εύρους ζώνης, των σχημάτων διαμόρφωσης και της κωδικοποίησης. Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στην άνω και στην κάτω ζεύξη είναι το OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access). Οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται σε κάθε κανάλι δεν είναι επαρκείς για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του προτύπου και για αυτό χρησιμοποιείται η τεχνική συνένωσης καναλιών (Channel Bonding) η οποία κάνει χρήση περισσότερων του ενός καναλιών αυξάνοντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης και συνεπώς την απόδοση του συστήματος.

Το MAC επίπεδο του IEEE 802.22 προτύπου βασίζεται στη γνωστική ραδιο-τεχνολογία. Το επίπεδο αυτό μέσω της ανίχνευσης του φάσματος πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται δυναμικά στις αλλαγές του περιβάλλοντος. Αποτελείται από το frame και το superframe το οποίο με τη σειρά του αποτελείται από πολλά

frames. Το superframe διαθέτει μία κεφαλίδα ελέγχου του αυτού (η οποία ονομάζεται Superframe Control Header - SCH) και ένα προοίμιο (preamble) τα οποία αποστέλλονται από τη CPE κατά την ανίχνευση του φάσματος στο σταθμό βάσης, για την ενημέρωση του τελευταίου περί των διαθέσιμων καναλιών. Με βάση τις πληροφορίες που συγκεντρώνονται, ο σταθμός βάσης αξιολογεί εάν είναι απαραίτητη ή όχι η αλλαγή του καναλιού που χρησιμοποιείται από μια CPE. Μια CPE χρησιμοποιεί δύο διαφορετικούς τύπους μετρήσεως του φάσματος, την in-band και την out-band. Κατά την in-band μέτρηση γίνεται ανίχνευση του καναλιού που χρησιμοποιείται από το σταθμό βάσης και τη CPE ενώ κατά την out-band μέτρηση γίνεται ανίχνευση των υπόλοιπων καναλιών. Αυτοί οι μηχανισμοί ανίχνευσης χρησιμοποιούνται κυρίως για να προσδιορίσουν εάν υπάρχει κάποια επικείμενη μετάδοση και για το εάν υπάρχει ανάγκη αποφυγής της για την αποτροπή παρεμβολών. Για να είναι αξιόπιστη η διαδικασία της ανίχνευσης δε θα πρέπει να επιτρέπεται ταυτοχρόνως η μεταφορά δεδομένων. Ωστόσο η περιοδική διακοπή της μεταφοράς δεδομένων μπορεί να προκαλέσει εξασθένηση (impairment), της ποιότητας υπηρεσίας του συστήματος. Το πρόβλημα αυτό διευθετείται με τη χρήση της μεθόδου της δυναμικής διασποράς φάσματος (Dynamic Frequency Hopping - DFH) κατά την οποία η μετάδοση δεδομένων των WRANs συστημάτων πραγματοποιείται ταυτοχρόνως με την ανίχνευση του φάσματος [62].

## 1.6 Επίλογος

Οι ασύρματες τεχνολογίες δικτύωσης κατηγοριοποιούνται σε αυτές που προσανατολίζονται στη μετάδοση φωνής και σε αυτές που προσανατολίζονται στη μετάδοση δεδομένων. Τα δίκτυα που προσανατολίζονται στη μετάδοση φωνής ταξινομούνται από τους κατασκευαστές των κυψελοειδών τηλεφωνικών συστημάτων και τους φορείς παροχής υπηρεσιών σε 4 γενιές. Τα δίκτυα που προσανατολίζονται στη μετάδοση δεδομένων ταξινομούνται αντίστοιχα στα ασύρματα προσωπικά (WPANs), ασύρματα τοπικά (WLANs), ασύρματα μητροπολιτικά (WMANs) και ασύρματα περιφερειακά δίκτυα (WRANs).

Τα συστήματα 1<sup>ης</sup> γενιάς (1G) προοριζόντουσαν για την παροχή υπηρεσιών φωνής και τη μετάδοση δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος σε χαμηλούς



ρυθμούς μετάδοσης (περίπου 9.6 kbps). Τα συστήματα αυτά δεν ήταν διαλειτουργικά μεταξύ τους και συνεπώς η περιαγωγή των χρηστών μεταξύ των χωρών της Ευρώπης δεν ήταν δυνατή. Επιπλέον χρησιμοποιούσαν την αναλογική διαμόρφωσης συχνότητας, διέθεταν περιορισμένη χωρητικότητα συσκευές υψηλού κόστους που χρησιμοποιούσαν οι χρήστες καθώς επίσης χαρακτηριζόντουσαν από την έλλειψη ασφαλείας εξαιτίας της απουσίας της κρυπτογράφησης. Τέλος δεν υποστήριζαν τεχνικές όπως η συμπίεση και η κωδικοποίηση οι οποίες προϋποθέτουν τη χρήση του ψηφιακού συστήματος και για το λόγο αυτό καταργήθηκαν.

Ο κύριος στόχος των 2G συστημάτων ήταν η μεγιστοποίηση της χωρητικότητας ενός συστήματος. Παρέχουν τη δυνατότητα ψηφιακής κρυπτογράφησης των συνομιλιών αλλά και τη χαμηλού ρυθμού (16 - 32 kbps) μετάδοση υπηρεσιών δεδομένων, για υπηρεσίες όπως αυτή της αποστολής σύντομων γραπτών μηνυμάτων. Άλλες υπηρεσίες οι οποίες πρωτοεμφανίστηκαν με την έλευση των 2G δικτύων ήταν η αναγνώριση κλήσεων και η περιορισμένη πρόσβαση στο διαδίκτυο. Η ψηφιακή συμπίεση της φωνής σε σχέση με την αναλογική συμπίεση των 1G συστημάτων επιτρέπει τη διεξαγωγή περισσότερων κλήσεων ταυτόχρονα. Τα κύρια πρότυπα που χρησιμοποιούνται από τα 2G συστήματα είναι το GSM, το GPRS και το EDGE. Τα GSM προσφέρουν ρυθμούς μετάδοσης 9.6 Kbps και είναι δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος με αποτέλεσμα την ανεπαρκή χρήση του εύρους ζώνης και των διαθέσιμων πόρων. Το GPRS είναι ένα πρότυπο μεταγωγής πακέτων, στόχος του οποίου ήταν η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης σε σύγκριση με αυτόν των GSM δικτύων. Υποστηρίζει εφαρμογές διαδικτύου όπως αυτές του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, της περιήγησης ιστοσελίδων καθώς και εφαρμογές πολυμεσικών υπηρεσιών επιτρέποντας την αποστολή και λήψη δεδομένων με ρυθμούς που κυμαίνονται από 14.4 έως 115 Kbps. Τα EDGE αποτελούν την εξέλιξη των GPRS δικτύων. Αν και είναι επικυρωμένα ως μια 3G τεχνολογία, δεν επιτυγχάνουν τους ρυθμούς μετάδοσης των 3G δικτύων γι' αυτό και ανήκουν στην κατηγορία των δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς. Οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνουν κυμαίνονται έως 473.6 Kbps. Τα 1G και 2G συστήματα ανήκουν στην κατηγορία των WWANs δικτύων.

Παρά την πρόθεση ύπαρξης ενός ενιαίου παγκόσμιου 3G συστήματος αυτό δεν κατέστη εφικτό με συνέπεια να αναπτυχθούν τρεις διαφορετικές εκδόσεις των 3G συστημάτων. Οι κύριες τεχνολογίες που περιλαμβάνονται στα 3G συστήματα είναι

για την περιοχή της Ευρώπης το UMTS και για την Αμερική το cdmaOne. Τα 3G συστήματα σχεδιάσθηκαν έτσι ώστε να είναι εφικτή η περιαγωγή σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη και επιπλέον να υποστηρίζουν τα GSM δίκτυα. Τα κύρια πρότυπα αυτής της γενιάς δικτύων είναι το UMTS (Universal Mobile Telecommunication Service), το CDMA2000 1xEV-DO (Evolution-Data Optimized), το HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access ) και το LTE (Long Term Evolution). Το UMTS είναι ένα σύστημα μεταγωγής πακέτων που βασίζεται στο GSM και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως 144 Kbps για τους εν κίνηση σε τροχαίες ταχύτητες χρήστες, έως 384 Kbps για τους πεζούς και έως 2 Mbps για τους σταθερούς χρήστες. Το UMTS μπορεί να λειτουργήσει σε συνδυασμό με δορυφορικές συνδέσεις, ενώ το υψηλό εύρος ζώνης λειτουργίας του επιτρέπει τη χρήση υπηρεσιών όπως είναι η IPTV. Το CDMA2000 1xEV-DO, είναι εξ' ολοκλήρου ένα πρότυπο μεταγωγής πακέτων. Παρέχει μεγαλύτερες ταχύτητες από άλλα υπάρχοντα CDMA δίκτυα ή άλλες υπηρεσίες που χρησιμοποιούν το GPRS και το EDGE και η θεωρητική μέγιστη ρυθμοαπόδοση του είναι 2.4 Mbps και είναι αρκετά γρήγορο όσο πολλές ευρυζωνικές DSL συνδέσεις. Στην πραγματικότητα οι εν κινήσει EV-DO χρήστες μπορούν προσδοκούν ταχύτητες μεταφόρτωσης (download) από 400 έως 1000 Kbps, αλλά και ταχύτητες άνω των 2 Mbps για τη σταθερή επικοινωνία και για περιοχές όπου η ισχύς του σήματος είναι μεγάλη και οι παρεμβολές μικρές. Παρέχει πρόσβαση σε IPTV και VoIP εφαρμογές καθώς επίσης υποστηρίζει εφαρμογές τηλεδιάσκεψης όταν ο εν κινήσει συνδρομητής ταξιδεύει με ταχύτητα 95 Km/h ή ακόμη και σε τηλεφωνικές κλήσεις στην περίπτωση που ο συνδρομητής μπορεί να ταξιδεύει με ταχύτητα μεγαλύτερη των 240 Km/h. Κατά τη διάρκεια μιας τηλεφωνικής συνδιάλεξης όταν δε μιλά κανένας από τους χρήστες δεν καταναλώνεται εύρος ζώνης γιατί δεν αποστέλλονται πακέτα φωνής. Μία EV-DO σύνδεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει πολλούς υπολογιστές μαζί για τη δημιουργία ενός hotspot, ακριβώς όπως συμβαίνει με μια ευρυζωνική σύνδεση. Το HSDPA προσφέρει στα δίκτυα που είναι βασισμένα στο UMTS μεγαλύτερες ταχύτητες και μεγαλύτερη χωρητικότητα. Το HSDPA γενικά μεταδίδει πακέτα με ρυθμό πέντε φορές μεγαλύτερο από ένα UMTS δίκτυο και δεκαπέντε φορές μεγαλύτερο από αυτόν των GPRS δικτύων. Αποτελεί ανταγωνιστικό πρότυπο έναντι του EV-DO, το οποίο σε αντίθεση με το EV-DO επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση φωνής και δεδομένων. Το LTE αποτελεί μια βελτιωμένη εκδοχή των UMTS συστημάτων. Στα

πλεονεκτήματα του συγκαταλέγονται η παροχή ταχύτερων κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών σε περισσότερους χρήστες, η plug & play λειτουργία και το χαμηλότερο κόστος. Το LTE είναι διαλειτουργικό με τα GSM, cdmaOne, UMTS και τα CDMA2000 συστήματα. Ένας από τους στόχους των LTE συστημάτων είναι η εξολοκλήρου χρήση IP αρχιτεκτονικής, σε αντίθεση με τα UMTS συστήματα τα οποία είναι ένας συνδυασμός αρχιτεκτονικής μεταγωγής πακέτων και μεταγωγής κυκλώματος. Η LTE προδιαγραφή επιτρέπει ταχύτητες κινητού διαδικτύου τουλάχιστον 100 Mbps.

Τα δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G) στοχεύουν στην ενοποίηση των WWANs, των WLANs και των WPANs δικτύων. Η 4G γενιά ασύρματων προτύπων αναφέρεται εξ' ολοκλήρου σε IP κινητά δίκτυα μεταγωγής πακέτων, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων των οποίων μπορεί να φθάσει το 1 Gbps. Η 4G γενιά αναπτύσσεται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων ως προς την ασφάλεια, την ποιότητα των υπηρεσιών και των ρυθμών μετάδοσης, που τίθενται από την περαιτέρω ανάπτυξη των υπάρχουσών 3G εφαρμογών, όπως είναι αυτές τις ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης, της VoIP τεχνολογίας και των υπηρεσιών τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας. Τον κύριο εκπρόσωπο των 4G συστημάτων αποτελεί το IEEE 802.m πρότυπο το οποίο αναμένεται να έχει πιστοποιηθεί έως τα τέλη του 2011.

Τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ Η/Υ και άλλων φορητών συσκευών σε μια περιοχή εμβέλειας έως 10 μέτρων και χρησιμοποιούνται σε οικιακά συστήματα ελέγχου και αυτοματοποίησης. Ο κύριος εκπρόσωπος των WPANs δικτύων σήμερα είναι το Bluetooth (πρότυπο IEEE 802.15.1). Η χρήση των ασύρματων τοπικών δικτύων αποτελεί μια επέκταση σε ένα τρέχον ενσύρματο δίκτυο είτε μια εναλλακτική λύση αυτού. Τα WLANs δίκτυα γενικά δεν απαιτούν συνθήκες οπτικής επαφής για τη λειτουργία τους. Τα κύρια WLANs πρότυπα σήμερα είναι το IEEE 802.11b και το IEEE 802.11g. Το IEEE 802.11b επιτυγχάνει μέγιστο θεωρητικό ρυθμό μετάδοσης έως 11 Mbps για μια περιοχή κάλυψης 20 έως 45 μέτρων ενώ μπορεί να καλύψει ακόμη και μια περιοχή εμβέλειας 100 μέτρων όταν εκπέμπει με ρυθμούς μετάδοσης 1 Mbps. Το IEEE 802.11b μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για point-to-point συνδέσεις με εμβέλεια 8 χιλιομέτρων, με κάποιες αναφορές να υποστηρίζουν ότι η εμβέλεια αυτή μπορεί να κυμανθεί μεταξύ 80 και 120 χιλιομέτρων στην περίπτωση οπτικής επαφής των σημείων. Το IEEE 802.11g επιτυγχάνει μέγιστο θεωρητικό ρυθμό μετάδοσης 11 Mbps και η εμβέλεια λειτουργίας του είναι λίγο

μικρότερη του IEEE 802.11b προτύπου. Τα δύο αυτά πρότυπα είναι συμβατά μεταξύ τους μιας και τα δύο χρησιμοποιούν τη ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz. Την πιο πρόσφατη WLAN προδιαγραφή αποτελεί το IEEE 802.11n πρότυπο το οποίο αναμένεται να επιτυγχάνει πραγματικούς ρυθμούς μετάδοσης 100 έως 140 Mbps και είναι συμβατό με τα υπόλοιπα πρότυπα εξαιτίας της λειτουργίας του τόσο στην ζώνη των 2.4 GHz όσο και στη ζώνη των 5 GHz. Τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα τα οποία βασίζονται στο IEEE 802.16 πρότυπο (WiMAX) ενώ τα ασύρματα περιφερειακά δίκτυα βασίζονται στο IEEE 802.22 πρότυπο το οποίο είναι σχεδιασμένο ώστε να λειτουργεί στις μη χρησιμοποιούμενες UHF/VHF ζώνες συχνοτήτων τηλεοπτικής μετάδοσης ή στις ζώνες ασφαλείας αυτών επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης έως 10 Mbps με την εμβέλεια του προτύπου σε μερικές περιπτώσεις να μπορεί να φθάσει τα 100 Km.

## 1.7 Βιβλιογραφία

- [1] [http://www.arp.sprnet.org/default/inserv/trends/history\\_wireless.htm](http://www.arp.sprnet.org/default/inserv/trends/history_wireless.htm) (Τελ. πρόσβ. 06/05/2010)
- [2] <http://www.exba.net/Art/3969/263/The-History-of-Wireless-Networking.html> (Τελευταία πρόσβαση 06/05/2010)
- [3] <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=27374> (Τελευταία πρόσβαση 06/05/2010)
- [4] <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=27374&seqNum=3> (Τελ. πρόσβαση 06/05/2010)
- [5] Vijay K. Garg (2007), *Wireless Communication And Networking*, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA
- [6] [http://www.mobile-phone-directory.org/Technology/1G\\_-\\_First\\_Generation/](http://www.mobile-phone-directory.org/Technology/1G_-_First_Generation/) (Τελευταία πρόσβαση 06/05/2010)
- [7] <http://www.wiziq.com/tutorial/16064-GLOBAL-SYSTEM-FOR-MOBILE-COMMUNICATION> (Τελευταία πρόσβαση 10/05/2010)
- [8] Rappaport, "Wireless Communications Principles and Practices", pp. 7, 9, 537, 594 and Smith & Collins *3G Wireless Networks* p. 28
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/2G> (Τελευταία πρόσβαση 09/05/2010)
- [10] [http://www.mobile-phone-directory.org/Technology/2G\\_-\\_Second\\_Generation/](http://www.mobile-phone-directory.org/Technology/2G_-_Second_Generation/) (Τελευταία πρόσβαση 13/05/2010)
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/GSM> (Τελευταία πρόσβαση 13/05/2010)
- [12] [http://en.wikipedia.org/wiki/Personal\\_Communications\\_Service](http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_Communications_Service) (Τελ. πρόσβ. 13/05/2010)
- [13] [http://ec.europa.eu/ellada/news/news/20090818mobile\\_internet\\_el.htm](http://ec.europa.eu/ellada/news/news/20090818mobile_internet_el.htm) (Τελευταία πρόσβαση 15/05/2010)
- [14] Rappaport, "Wireless Communications Principles and Practices", p. 32 and Smith & Collins, *3G Wireless Networks*, p. 168
- [15] <http://en.wikipedia.org/wiki/CDMA2000> (Τελευταία πρόσβαση 15/05/2010)
- [16] [http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Circuit-Switched\\_Data](http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Circuit-Switched_Data) (Τελ. πρόσβαση 15/05/2010)
- [17] <http://www.mobile-phone-directory.org/Glossary/G/GPRS.html> (Τελ. πρόσβαση 15/05/2010)
- [18] <http://www.mobileburn.com/definition.jsp?term=2.75G> (Τελευταία πρόσβαση 15/05/2010)
- [19] [http://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced\\_Data\\_Rates\\_for\\_GSM\\_Evolution](http://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_Data_Rates_for_GSM_Evolution) (Τελευταία πρόσβαση 15/05/2010)
- [20] <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/UMTS> (Τελ. πρόσβαση 15/05/2010)
- [21] [http://www.mobile-phone-directory.org/Technology/3G\\_-\\_Third\\_Generation/](http://www.mobile-phone-directory.org/Technology/3G_-_Third_Generation/) (Τελευταία πρόσβαση 17/05/2010)
- [22] <http://www.wisageek.com/what-is-evdo.htm> (Τελευταία πρόσβαση 17/05/2010)
- [23] <http://www.evdoinfo.com/content/view/37/61/> (Τελευταία πρόσβαση 17/05/2010)
- [24] <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/EV-DO> (Τελ. πρόσβαση 17/05/2010)
- [25] [http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Download\\_Packet\\_Access](http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Download_Packet_Access) (Τελ. πρόσβ. 19/05/2010)
- [26] [http://en.wikipedia.org/wiki/Evolved\\_HSPA](http://en.wikipedia.org/wiki/Evolved_HSPA) (Τελευταία πρόσβαση 19/05/2010)
- [27] [http://en.wikipedia.org/wiki/Dual-Cell\\_HSDPA](http://en.wikipedia.org/wiki/Dual-Cell_HSDPA) (Τελευταία πρόσβαση 19/05/2010)
- [28] [http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP\\_Long\\_Term\\_Evolution](http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP_Long_Term_Evolution) (Τελευταία πρόσβαση 19/05/2010)
- [29] <http://www.myphone.gr/forum/showthread.php?t=269325> (Τελευταία πρόσβαση 21/05/2010)

- [30] <http://www.totaltele.com/view.aspx?ID=454421> (Τελευταία πρόσβαση 21/05/2010)
- [31] [http://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_Advanced](http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_Advanced) (Τελευταία πρόσβαση 21/05/2010)
- [32] <http://www.3gpp.org/article/lte-advanced> (Τελευταία πρόσβαση 22/05/2010)
- [33] <http://en.wikipedia.org/wiki/4G> (Τελευταία πρόσβαση 22/05/2010)
- [34] [http://mobilesociety.typepad.com/mobile\\_life/2008/04/3gpp-moves-on-1.html](http://mobilesociety.typepad.com/mobile_life/2008/04/3gpp-moves-on-1.html) (Τελευταία πρόσβαση 23/05/2010)
- [35] <http://www.wimax.com/commentary/blog/blog-2010/february-2010/wimax-act-2-80216m-provides-evolution-path-to-4g-0203> (Τελευταία πρόσβαση 23/05/2010)
- [36] <http://www.myphone.gr/forum/showthread.php?t=270981> (Τελευταία πρόσβαση 19/05/2010)
- [37] [http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/j\\_dwrn2.pdf](http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/j_dwrn2.pdf) (Τελευταία πρόσβαση 27/05/2010)
- [38] <http://codeidol.com/telecommunications/telecommunications-essentials/WMANs,-WLANs,-and-WPANs/WPANs/> (Τελευταία πρόσβαση 19/05/2010)
- [39] <http://www.networkdictionary.com/wireless/WPAN.php> (Τελευταία πρόσβαση 25/05/2010)
- [40] <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> (Τελευταία πρόσβαση 25/05/2010)
- [41] <http://www.networkdictionary.com/wireless/WPAN.php> (Τελευταία πρόσβαση 25/05/2010)
- [42] <http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband> (Τελευταία πρόσβαση 25/05/2010)
- [43] Rappaport, "Wireless Communications Principles and Practices", p. 32 and Smith & Collins, 3G Wireless Networks, p. 168
- [44] [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ZigBee\\_protocol\\_stack.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ZigBee_protocol_stack.png) (Τελ. πρόσβ. 17/06/2010)
- [45] <http://www.jennic.com/elearning/zigbee/files/html/module2/module2-4.htm> (Τελευταία πρόσβαση 17/06/2010)
- [46] <http://www.jennic.com/elearning/zigbee/files/html/module2/module2-5.htm> (Τελευταία πρόσβαση 17/06/2010)
- [47] <http://www.jennic.com/elearning/zigbee/files/html/module2/module2-6.htm> (Τελευταία πρόσβαση 17/06/2010)
- [48] <http://www.networkdictionary.com/wireless/WPAN.php> (Τελευταία πρόσβαση 17/06/2010)
- [49] <http://codeidol.com/telecommunications/telecommunications-essentials/WMANs,-WLANs,-and-WPANs/WLANs/> (Τελευταία πρόσβαση 18/06/2010)
- [50] <http://kb.iu.edu/data/aick.html> (Τελευταία πρόσβαση 18/06/2010)
- [51] <http://en.wikipedia.org/wiki/802.11> (Τελευταία πρόσβαση 18/06/2010)
- [53] <http://en.wikipedia.org/wiki/Wibro> (Τελευταία πρόσβαση 18/06/2010)
- [52] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wired\\_Equivalent\\_Privacy](http://en.wikipedia.org/wiki/Wired_Equivalent_Privacy) (Τελευταία πρόσβαση 19/06/2010)
- [54] <http://codeidol.com/telecommunications/telecommunications-essentials/WMANs,-WLANs,-and-WPANs/WMANs/> (Τελευταία πρόσβαση 19/06/2010)
- [55] [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.20](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.20) (Τελευταία πρόσβαση 18/06/2010)
- [56] <http://3g4g.blogspot.com/2008/01/heard-of-mobilefi.html> (Τελευταία πρόσβαση 11/06/2010)
- [57] <http://egnatia.ee.auth.gr/~aalexioy/bloutoot.htm> (Τελευταία πρόσβαση 19/06/2010)
- [58] <http://en.wikipedia.org/wiki/HiperLAN> (Τελευταία πρόσβαση 19/06/2010)
- [59] [http://www.mpirical.com/companion/mpirical\\_companion.html#Generic/HiperAccess.htm](http://www.mpirical.com/companion/mpirical_companion.html#Generic/HiperAccess.htm) (Τελευταία πρόσβαση 19/06/2010)

- [60] <http://en.wikipedia.org/wiki/HiperMAN> (Τελευταία πρόσβαση 19/06/2010)
- [61] <http://www.cs.uoi.gr/~εραρ/asurmata/downloads/lect6.pdf> (Τελευταία πρόσβαση 19/06/2010)
- [62] [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.22](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.22) (Τελευταία πρόσβαση 11/06/2010)
- [63] <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/ieee-802-22/ieee80222-wran-standard.php>  
(Τελευταία πρόσβαση 11/06/2010)
- [64] [http://en.wikipedia.org/wiki/Cognitive\\_radio](http://en.wikipedia.org/wiki/Cognitive_radio) (Τελευταία πρόσβαση 11/06/2010)





---

## **Κεφάλαιο 2**

# **Voice over IP & Video on Demand**

---



## **2.1 Εισαγωγή**

Η Voice over IP είναι μια τεχνολογία για τη διανομή φωνής μέσα από IP δίκτυα ή και μέσα από άλλα δίκτυα μεταγωγής όπως τα PSTN δίκτυα. Η μετάδοση της φωνής μέσα καθίσταται εφικτή σε οποιοδήποτε συσκευή χρησιμοποιεί το IP πρωτόκολλο, όπως είναι οι Η/Υ και οι φορητές συσκευές οι οποίες υποστηρίζουν το Wi-Fi. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της είναι η φορητότητα και το χαμηλό κόστος, ενώ για τη σύνδεση του συνδρομητή με τους φορείς παροχής των VoIP υπηρεσιών είναι απαραίτητη η χρήση μιας ATA συσκευής για τη σύνδεση ενός αναλογικού τηλεφώνου σε ένα IP δίκτυο, η χρήση ενός VoIP τηλεφώνου για τη διεξαγωγή VoIP κλήσεων χωρίς τη χρήση κάποιου Η/Υ ή απλά η χρήση ενός λογισμικού που εγκαθίσταται στον Η/Υ.

Η Video on Demand υπηρεσία είναι συνήθως διαθέσιμη μέσω της IPTV τεχνολογίας επιτρέποντας στους χρήστες να επιλέξουν και να παρακολουθήσουν ένα τηλεοπτικό πρόγραμμα, μια ταινία ή ένα μουσικό βίντεο κλιπ, σε πραγματικό χρόνο ή την επιθυμητή χρονική στιγμή. Τα VoD συστήματα είτε διανέμουν το περιεχόμενο σε ένα ψηφιακό μετασχηματιστή (Set Top Box - STB) - για την αναπαραγωγή του από έναν τηλεοπτικό δέκτη, σε έναν Η/Υ οι άλλες συσκευές, είτε επιτρέπουν τη μεταφόρτωση του σε έναν Η/Υ, μία συσκευή ψηφιακού καταγραφέα βίντεο (Digital Video Recorder - DVR) ή μια φορητή συσκευή αναπαραγωγής πολυμέσων για την προβολή του σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Σήμερα η πλειονότητα των παρόχων προσφέρει τις VoD υπηρεσίες κατόπιν μιας μηνιαίας συνδρομής ή μέσω της ενοικίασης επιπλέον περιεχομένου - συνήθως ταινιών για μια προκαθορισμένη χρονική περίοδο, για τη μετέπειτα προβολή του την επιθυμητή χρονική στιγμή. Ωστόσο με τη χρήση του διαδικτύου είναι δυνατή και η δωρεάν αναπαραγωγή του VoD περιεχομένου με τη χρήση Η/Υ χωρίς να απαιτείται συνδρομή σε κάποιο φορέα παροχής VoD υπηρεσιών.

## **2.2 Voice over IP**

Η VoIP (Voice over Internet Protocol) τεχνολογία αποτελεί ένα γενικό όρο μιας οικογένειας τεχνολογιών μετάδοσης για τη διανομή φωνής μέσα από IP δίκτυα όπως είναι το διαδίκτυο ή και μέσα από άλλα δίκτυα μεταγωγής όπως τα PSTN δίκτυα. Άλλοι όροι συνώνυμοι της VoIP τεχνολογίας είναι η IP τηλεφωνία, η

διαδικτυακή τηλεφωνία, το VoBB (voice over Broadband) και η ευρυζωνική τηλεφωνία. Η διαδικτυακή τηλεφωνία αναφέρεται επακριβώς στις υπηρεσίες φωνής που μεταφέρονται μέσω του διαδικτύου και όχι μέσω του συμβατικού PSTN τηλεφωνικού δικτύου [1]. Η μετάδοση της φωνής μέσα από ροές δεδομένων καθίσταται εφικτή σε οποιοδήποτε συσκευή χρησιμοποιεί το IP πρωτόκολλο, όπως είναι οι Η/Υ και οι φορητές συσκευές οι οποίες υποστηρίζουν το Wi-Fi [2].

Η VoIP τεχνολογία χρησιμοποιεί το IP πρωτόκολλο για τη διανομή των πακέτων φωνής μέσω των IP δικτύων. Για την πραγματοποίηση μιας τέτοιας τηλεφωνικής κλήσης, η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει την ψηφιοποίηση των αναλογικών σημάτων φωνής, την απομόνωση των ανεπιθύμητων σημάτων θορύβου και κατόπιν τη συμπίεση/μετάφραση του ψηφιακού πλέον σήματος φωνής με τη χρήση αλγορίθμων συμπίεσης (codecs) στα IP πακέτα [1]. Κατόπιν της συμπίεσης τα πακέτα φωνής αποστέλλονται στο IP δίκτυο. Κάθε πακέτο χρειάζεται μία διεύθυνση προορισμού, έναν αριθμό ακολουθίας καθώς και δεδομένα για τον έλεγχο σφαλμάτων. Σε αυτό το σημείο προστίθενται τα πρωτόκολλα σηματοδότησης (signaling protocols) για την ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων, καθώς και των απαιτήσεων διαχείρισης των κλήσεων. Όταν ένα πακέτο φωνής φθάνει στον προορισμό του, ο αριθμός ακολουθίας επιτρέπει στα πακέτα να τοποθετηθούν στη σωστή σειρά και έπειτα εφαρμόζονται οι αλγόριθμοι αποσυμπίεσης για την ανάκτηση των δεδομένων από τα πακέτα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να ικανοποιηθούν οι ανάγκες συγχρονισμού και διαχείρισης της όποιας καθυστέρησης. Για την αντιμετώπιση της μεταβολής της καθυστέρησης χρησιμοποιούνται περιοχές ενδιάμεσης αποθήκευσης (buffers). Στους buffers γίνεται αποθήκευση τα πακέτων που φθάνουν σε λάθος σειρά εξαιτίας της διαφορετικής δρομολόγησης που ακολουθούν, περιμένοντας τα υπόλοιπα πακέτα που καθυστερούν να φθάσουν [2].

Οι διαθέσιμοι μέθοδοι σύνδεσης με τους φορείς παροχής των VoIP υπηρεσιών είναι οι εξής:

- Μέσω μίας ATA (Analog Telephone Adapter) συσκευής για τη σύνδεση ενός αναλογικού τηλεφώνου σε ένα IP δίκτυο.

- Μέσω της χρήσης VoIP τηλεφώνων τα οποία επιτρέπουν τη διεξαγωγή VoIP κλήσεων χωρίς τη χρήση κάποιου Η/Υ αλλά απαραίτητως με μια ενεργή ευρυζωνική σύνδεση [3].
- Μέσω ενός softphone το οποίο είναι ένα λογισμικό που εγκαθίσταται σε έναν Η/Υ, επιτρέποντας την πραγματοποίηση VoIP κλήσεων χωρίς τη χρήση οποιασδήποτε επιπλέον συσκευής παρά μόνο ενός μικροφώνου [1, 3].

### 2.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Στα πλεονεκτήματα/χαρακτηριστικά της VoIP τεχνολογίας μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

- **Χαμηλότερο κόστος.** Η VoIP τεχνολογία προσφέρει σύνδεση για την παροχή τηλεφωνικών κλήσεων μεταξύ δύο υπολογιστών ή μεταξύ ενός Η/Υ και μίας συσκευής τηλεφώνου. Οι κλήσεις που πραγματοποιούνται μεταξύ των υπολογιστών είναι δωρεάν για οποιοδήποτε σημείο του κόσμου, ενώ για τις κλήσεις που πραγματοποιούνται μεταξύ του Η/Υ και μίας συσκευής τηλεφώνου υπάρχει μια χρέωση η οποία είναι πολύ χαμηλότερη αυτής των συμβατικών υπηρεσιών τηλεφώνου. Ωστόσο κάποιοι πάροχοι χρεώνουν τις υπεραστικές κλήσεις όμοια με τους παρόχους των PSTN δικτύων [3]. Η χρέωση μπορεί να γίνεται ανά κλήση ή με την πληρωμή μιας μηνιαίας αμοιβής κατόπιν εγγραφής σε ένα φορέα παροχής υπηρεσιών. Η χρέωση βάσει μηνιαίας αμοιβής παρέχει σε αντάλλαγμα απεριόριστες κλήσεις στα πλαίσια μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής και συγκεκριμένο χρόνο κλήσεων για κάποιες άλλες γεωγραφικές περιοχές [2]. Σε αντίθεση με τα συμβατικά τηλεφωνικά δίκτυα όπου η χρέωση γίνεται ανά λεπτό ή ανά δευτερόλεπτο, οι VoIP κλήσεις τιμολογούνται ανά megabyte. Με άλλα λόγια οι VoIP κλήσεις τιμολογούνται βάσει των δεδομένων που αποστέλλονται μέσω του διαδικτύου και όχι βάσει της διάρκειας σύνδεσης του συνδρομητή στο δίκτυο. Ουσιαστικά το μέγεθος της χρέωσης για τη διανομή των δεδομένων για μια δεδομένη χρονική περίοδο είναι πολύ μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί για το χρονικό διάστημα μιας κλήσης που συνδέεται σε μια συμβατική τηλεφωνική γραμμή. Επιπλέον κάποιοι πάροχοι επιτρέπουν

στους συνδρομητές τους την επιλογή ενός κωδικού περιοχής διαφορετικό από αυτόν της περιοχής στην οποία ανήκουν. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι χρήστες οι οποίοι καλούν το συγκεκριμένο συνδρομητή μπορεί να επιβαρύνονται με χρεώσεις υπεραστικής κλήσης, ανάλογα πάντα με τον κωδικό της περιοχής τους και την υπηρεσία την οποία χρησιμοποιούν [3].

- **Φορητότητα.** Η VoIP τεχνολογία επιτρέπει την πραγματοποίηση και τη λήψη τηλεφωνικών κλήσεων, όπου υπάρχει μια ευρυζωνική σύνδεση μόνο με την είσοδο του χρήστη στο VoIP λογαριασμό του [2].
- **Ασφάλεια.** Με τη VoIP τεχνολογία είναι δυνατή η πραγματοποίηση ασφαλών τηλεφωνικών κλήσεων με τη χρήση πρωτοκόλλων όπως είναι το SRTP (Secure Real -Time Transport Protocol). Σε αντίθεση με ένα PSTN δίκτυο όπου τα δεδομένα δεν είναι ψηφιοποιημένα, στη VoIP τεχνολογία το μόνο που είναι απαραίτητο για την παροχή ασφαλών τηλεφωνικών κλήσεων είναι η κρυπτογράφηση και η επικύρωση των ροών δεδομένων [1].
- **Άλλα πλεονεκτήματα.** Η VoIP τεχνολογία παρέχει επίσης ένα πλήθος προηγμένων χαρακτηριστικών επικοινωνίας χωρίς πρόσθετη χρέωση σε αντίθεση με αυτά των συμβατικών τηλεφωνικών υπηρεσιών. Παραδείγματα αυτών είναι η προώθηση και η αναμονή κλήσεων, το ταχυδρομείο φωνής (voicemail), η αναγνώριση κλήσεων, η τριμερή συνομιλία (three-way calling), κ.λπ. Επίσης παρέχει επιπλέον υπηρεσίες και χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια της συνομιλίας τα οποία είναι δύσκολο να εφαρμοστούν σε ένα PSTN τηλεφωνικό δίκτυο. Παραδείγματα αυτών είναι η δυνατότητα διαβίβασης περισσότερων από μίας τηλεφωνικών κλήσεων μέσα από μια ευρυζωνική σύνδεση, καθώς και η ταυτόχρονη χρήση υπηρεσιών που είναι διαθέσιμες μέσω του διαδικτύου όπως είναι η συνομιλία μέσω βίντεο και η ανταλλαγή μηνυμάτων ή αρχείων [1].

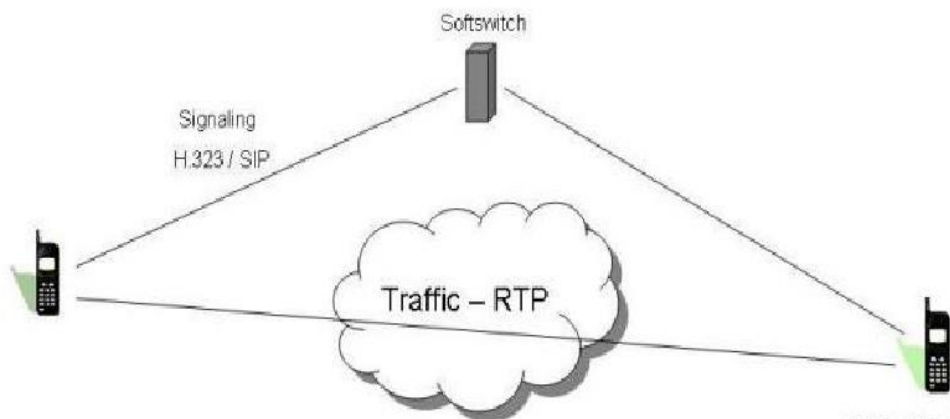
Στα μειονεκτήματα της VoIP τεχνολογίας συγκαταλέγονται τα εξής:

- **Απώλεια υπηρεσίας κατά τη διακοπής της ηλεκτρικής ενέργειας.** Μια λύση για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος αποτελεί η χρήση μπαταριών ή γεννητριών για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

- **Κλήσεις έκτακτης ανάγκης.** Η VoIP τεχνολογία δε μπορεί να πραγματοποιήσει κλήσεις έκτακτης ανάγκης όπως συμβαίνει με μια συμβατική τηλεφωνική σύνδεση, η οποία μπορεί ανιχνεύσει την τοποθεσία από την οποία γίνεται η κλήση στην περίπτωση που το άτομο δε μπορεί να μιλήσει. Αυτό συμβαίνει διότι μια VoIP κλήση αποτελεί ουσιαστικά μια μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο IP διευθύνσεων και όχι μεταξύ δύο φυσικών διευθύνσεων.
- **Αξιοπιστία.** Εξαιτίας του γεγονότος ότι η VoIP τεχνολογία βασίζεται σε μια διαδικτυακή σύνδεση, επηρεάζεται από την ποιότητα και την αξιοπιστία της ευρυζωνικής σύνδεσης καθώς και από τους περιορισμούς που τίθενται από τους Η/Υ. Οι συνδέσεις διαδικτύου χαμηλών ταχυτήτων καθώς και η συμφόρηση μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα φωνής. Επιπλέον εάν ο Η/Υ χρησιμοποιείται ταυτόχρονα με την πραγματοποίηση μιας VoIP κλήσης, η ποιότητα φωνής της κλήσης αυτής ενδέχεται να επηρεαστεί.
- **Άλλα μειονεκτήματα.** Κάποια VoIP τηλέφωνα δεν είναι συμβατά με τους αναγνώστες οθόνης οι οποίοι χρησιμοποιούνται ειδικά από ανθρώπους που έχουν περιορισμένη όραση ή δυσκολίες ακοής [2].

### 2.2.2 Πρωτόκολλα σηματοδότησης

Για την εγκαθίδρυση της διαδρομής και τη μετάδοση της φωνής μέσα από το IP δίκτυο χρησιμοποιούνται τα H.323 και SIP (Session Initiation Protocol) πρωτόκολλα σηματοδότησης (σχήμα 2.1). Μόλις καθιερωθεί η διαδρομή χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα μεταφοράς όπως είναι το UDP (User Datagram Protocol) και το TCP (Transmission Control Protocol) καθώς και το RTP (Real-time Transport Protocol) πρωτόκολλο για τη διανομή των ρών δεδομένων [2].



**Σχήμα 2.1** Χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα για τη δρομολόγηση των ροών δεδομένων [2]

### 2.2.2.1 H.323

Το H.323 πρωτόκολλο δημοσιεύθηκε από την ITU-T για την πολυμεσική επικοινωνία πακέτων. Αρχικά αναπτύχθηκε για εφαρμογές τηλεδιάσκεψης μέσω τοπικών όπως το PSTN, το ISDN και των 3G δικτύων, αλλά αργότερα υιοθετήθηκε και για τη διαβίβαση φωνής μέσα από διάφορα δίκτυα IP συμπεριλαμβανομένων των WANs και του διαδικτύου σε συνδυασμό με τα PSTN ή ISDN δίκτυα. Το SIP πρωτόκολλο το οποίο σχεδιάστηκε ειδικά για τη VoIP τεχνολογία ανταγωνίζεται το H.323, ωστόσο το H.323 είναι πιο διαδεδομένο εξαιτίας της ύπαρξης του στα ήδη εγκατεστημένα δίκτυα. Το πρότυπο αυτό είναι διαλειτουργικό και υποστηρίζει point-to-point και point-to-multipoint συνδέσεις. Τα πρωτόκολλα που αποτελούν τον πυρήνα του H.323, είναι το H.255.0 και το H.245 τα οποία ικανοποιούν τις διάφορες λειτουργίες του. Το H.323 παρέχει λειτουργίες ελέγχου του εύρους ζώνης, της σηματοδότησης [4] και των κλήσεων, εγκαθίδρυσης καναλιού καθώς και αλγορίθμους συμπίεσης για τη real-time μετάδοση φωνής και βίντεο μέσω δικτύων τα οποία δεν εγγυώνται την ποιότητα της υπηρεσίας [2].



### **2.2.2.2 Session Initiation Protocol**

Το SIP είναι ένα ακόμη πρωτόκολλο για τη VoIP σηματοδότηση, το οποίο ανήκει στο επίπεδο εφαρμογών. Το Νοέμβριο του 2000 έγινε δεκτό ως μέλος της 3GPP οικογένειας πρωτοκόλλων σηματοδότησης και μόνιμο στοιχείο της IMS (IP Multimedia Subsystem) αρχιτεκτονικής, για την IP διανομή πολυμεσικών υπηρεσιών (φωνής και βίντεο) στα κυψελοειδή συστήματα [5]. Ενσωματώνει πολλά στοιχεία του SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) και του HTTP (Hypertext Transfer Protocol) πρωτοκόλλου και η σύνταξή του βασίζεται στο κείμενο, συγκρίσιμη με αυτή που χρησιμοποιεί το HTTP στις διευθύνσεις ιστού (web addresses). Μια διεύθυνση ιστού είναι συγκρίσιμη με έναν αριθμό τηλεφώνου σε ένα SIP δίκτυο. Οι αριθμοί τηλεφώνου ενός PSTN δικτύου είναι συμβατοί με ένα SIP δίκτυο, έτσι επιβεβαιώνεται η διασύνδεση με τα PSTN συστήματα. Το SIP πρωτόκολλο παρέχει επίσης λειτουργίες κινητικότητας στους χρήστες καθώς επίσης υποστηρίζεται κατά τη διάρκεια μιας κλήσης η ταυτόχρονη λειτουργία παιχνιδιών και η ανταλλαγή μηνυμάτων (instant messages). Συνεργάζεται με τα περισσότερα πρωτόκολλα όπως είναι το RTP, το SDP (Session Description Protocol) και το SAP (Session Announcement Protocol). Επίσης απαιτούνται επιπλέον πρωτόκολλα για τις λειτουργίες της μεταφοράς και της σηματοδότησης όπως το RSVP, το LDAP και το RADIUS. Το SIP λειτουργεί βάση μιας client - server αρχιτεκτονικής, όπου ένας client προσφωνείται ως User Agent (UA). Ο UA αλληλεπιδρά με το server μέσω ενός H/Y ή μέσω ενός IP τηλεφώνου [2].

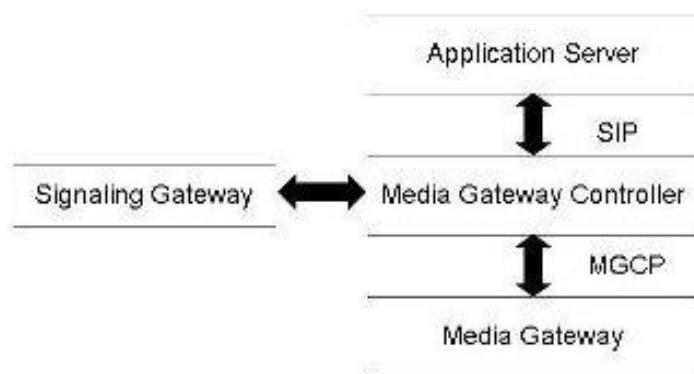
### **2.2.3 Softswitch**

Σε ένα δίκτυο απαιτούνται τρεις βασικές λειτουργίες, η δρομολόγηση, η μετάδοση, και η τιμολόγηση. Οι ίδιες λειτουργίες απαιτούνται και στο διαδίκτυο στην περίπτωση που οι VoIP κλήσεις πραγματοποιούνται εξ' ολοκλήρου με τη χρήση αυτού. Για τα PSTN δίκτυα, το μεγαλύτερο μέρος των λειτουργιών αυτών εκτελείται με τη χρήση μεταγωγέων (switches). Οι μεταγωγείς περιλαμβάνουν δύο βασικά στοιχεία, το "switching fabric" το οποίο υλοποιεί τη φυσική σύνδεση, και το "switching logic" το οποίο παρέχει τις λειτουργίες διαχείρισης, της δρομολόγησης, του ελέγχου των κλήσεων, καθώς και διεπαφές σε άλλα συστήματα όπως αυτά της

τιμολόγησης. Σήμερα μια νέα γενιά switches τα λεγόμενα softswitches, χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των PSTN και των VoIP δικτύων. Το softswitch είναι μία συσκευή πολύ οικονομικότερη στην αγορά και τη συντήρησή της σε σύγκριση με τα συμβατικά switches που χρησιμοποιούνται στα PSTN δίκτυα [2]. Ένα softswitch αντικαθιστά τις περισσότερες λειτουργίες μεταγωγής που απαιτούσαν τη χρήση υλικού με τη χρήση λειτουργιών λογισμικού. Επιπλέον το “switching fabric” διαχωρίζεται από το “switching logic”, επιτρέποντας την εκτέλεση των επιμέρους λειτουργιών τους από διαφορετικές συσκευές οι οποίες βρίσκονται πιθανώς σε διαφορετικές τοποθεσίες.

Το softswitch είναι τοποθετημένο στο Central Office (CO) ενός φορέα παροχής υπηρεσιών τηλεφωνίας [6] και η αρχιτεκτονική του αποτελείται από δύο κύρια στοιχεία, ένα call agent, και μια media gateway. Ένας call agent ο οποίος αναφέρεται επίσης και ως media gateway controller ή call controller (σχήμα 2.2), χειρίζεται τη δρομολόγηση των κλήσεων, τη δρομολόγηση των μηνυμάτων σηματοδότησης στο δίκτυο, την τιμολόγηση καθώς και άλλες λογικές λειτουργίες. Μία media gateway παρέχει τη φυσική διασύνδεση των ροών που διανέμονται μεταξύ του PSTN και του VoIP δικτύου. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των πακέτων μιας ροής φωνής ενός PSTN δικτύου και ελέγχεται από το softswitch το οποίο παρέχει λειτουργίες σηματοδότησης και ελέγχου των κλήσεων. Επιπλέον διαθέτει διεπαφές για τη σύνδεση της σε ένα PSTN, ATM (Asynchronous Transfer Mode) ή IP δίκτυο και στα μοντέρνα συστήματα διαθέτει Ethernet διεπαφές για τη σύνδεση των VoIP κλήσεων [1]. Ο call agent καθοδηγεί τη media gateway έτσι ώστε να συνδέσει τις ροές μεταξύ αυτών των διεπαφών για τη σύνδεση των κλήσεων με τους τελικούς χρήστες [7] καθώς επίσης διαθέτει ικανότητα ελέγχου περισσότερων από μία media gateway οι οποίες μπορεί να είναι γεωγραφικά διασκορπισμένες [8]. Η επικοινωνία μεταξύ της media gateway και του call agent επιτυγχάνεται μέσω των MGCP και SIP πρωτοκόλλων.

Το softswitch αποτελείται επίσης από μία signaling gateway και έναν application server. Η signaling gateway χρησιμοποιείται μεταξύ ενός IP και ενός PSTN δικτύου για τη διαλειτουργικότητα του SS7 πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται από τα PSTN δίκτυα και τα SIP/H.323 πρωτόκολλα. Ο application server είναι αρμόδιος για όλες τις υπηρεσίες που παρέχονται στον πελάτη όπως είναι το φωνητικό ταχυδρομείο και η προώθηση κλήσεων [2].



Σχήμα 2.2 Συστατικά στοιχεία softswitch [2]

Οι σύγχρονες media gateways οι οποίες χρησιμοποιούν το SIP είναι συχνά ανεξάρτητες μονάδες με τους μηχανισμούς ελέγχου των κλήσεων και τους μηχανισμούς σηματοδότησης ενσωματωμένους σε αυτές [7]. Το softswitch αποτελεί μια προηγμένη λύση έναντι της gatekeeper τεχνολογίας η οποία υποστήριζε το H.323, εξαιτίας του γεγονότος ότι το H.323 περιοριζόταν μόνο σε LAN δίκτυα. Η λειτουργία της gatekeeper τεχνολογίας μπορούσε να διαχειριστεί μερικά μόνο gateways [2].

#### 2.2.4 Ποιότητα φωνής

Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια μιας VoIP κλήσης είναι οι ακόλουθοι:

- **Καθυστέρηση.** Η ασύρματη διάδοση των πακέτων φωνής προξενεί καθυστέρηση (delay) η οποία μπορεί να είναι αποτέλεσμα της καθυστέρησης στην κωδικοποίηση του καναλιού στο φυσικό επίπεδο, της αναμονής των πακέτων στην ουρά στο επίπεδο δικτύου, της δημιουργίας πακέτων στο επίπεδο εφαρμογών, της αποκωδικοποίησης, κ.λπ. Κατόπιν διάφορων μελετών το συμπέρασμα είναι πως η καθυστέρηση της φωνής που δεν ξεπερνά τα 100 ms είναι αποδεκτή, ενώ εάν η καθυστέρηση αυτή ξεπερνά τα 150 ms τότε το σήμα της φωνής δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ο πίνακας 2.1 παρουσιάζει την καθυστέρηση που προκαλείται κατά τη χρήση των διάφορων codecs.

- **Απώλεια πακέτων.** Η VoIP τεχνολογία παρουσιάζει ανεκτικότητα στην περίπτωση της απώλειας πακέτων αν και είναι υπερβολικά επιζήμια για τα σήματα φωνής, καθώς η επαναμετάδοση δεν αποτελεί επιλογή κατά τη διαβίβαση φωνής. Μια απώλεια πακέτων της τάξης του 1% μπορεί να υποβιβάσει την ποιότητα μιας VoIP κλήσης κατά τη χρήση του G.711 αλγορίθμου συμπίεσης. Η ανεκτικότητα στην απώλεια πακέτων είναι ακόμη μικρότερη κατά τη χρήση άλλων πιο αποδοτικών αλγορίθμων συμπίεσης όπως ο G.729 ο οποίος απαιτεί απώλεια πακέτων σε ποσοστό πολύ μικρότερο του 1% για την επίτευξη καλής ακουστικής ποιότητας. Για τη διόρθωση αυτού του φαινομένου της απώλειας πακέτων, χρησιμοποιούνται προηγμένοι αλγόριθμοι ανίχνευσης και διορθώσεων σφαλμάτων για να καλύψουν τα κενά που δημιουργούνται από αυτή. Συγκεκριμένα ένα δείγμα της φωνής του ομιλητή αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται για την επαναδημιουργία ενός νέου ήχου από τον αλγόριθμο, ο οποίος προσπαθεί να προσεγγίσει το περιεχόμενο των απολεσθέντων πακέτων. Η συνολική απώλεια πακέτων μπορεί να περιλαμβάνει και την απώλεια που προκαλείται από τους παρόχους των VoIP υπηρεσιών και το τοπικό δίκτυο του χρήστη [9].
- **Jitter.** Όταν ο χρόνος άφιξης των πακέτων ποικίλει εξαιτίας των διαφορετικών διαδρομών που ακολουθούν αυτά κατά τη διανομή τους στο δίκτυο προκαλείται μεταβολή της καθυστέρησης (jitter). Η μεταβολή καθυστέρησης μπορεί να μετρηθεί με διάφορους τρόπους αλλά οι προμηθευτές εξοπλισμού και δικτύων συχνά δεν προσδιορίζουν ακριβώς πώς υπολογίζουν την τιμή αυτή [9]. Τα περισσότερα VoIP τηλέφωνα και οι ATAs συσκευές διαθέτουν περιοχές ενδιάμεσης αποθήκευσης οι οποίες προσαρμόζονται (adaptive buffers) ανάλογα με την καθυστέρηση που προξενείται από το δίκτυο, για την παραγωγή μιας ομαλής ροής φωνής [2]. Οι jitter buffers οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να αντισταθμίσουν την καθυστέρηση, προσθέτουν επιπλέον καθυστέρηση και συνήθως είναι αποτελεσματικοί όταν αυτή είναι μικρότερη των 100 ms. Η μέγιστη τιμή της μεταβολής της καθυστέρησης που προσδιορίζεται από τους διάφορους προμηθευτές δικτύων κυμαίνεται από 0.5 έως 2 ms και η συνολική τιμή της μπορεί να περιλαμβάνει και τη μεταβολή της καθυστέρησης που

προκαλείται από τους παρόχους των VoIP υπηρεσιών και το τοπικό δίκτυο του χρήστη [9].

### **2.2.5 Τεχνικές μέτρησης ποιότητας**

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ποιότητας του ήχου μιας VoIP κλήσης είναι η MOS (Mean Opinion Score) και η PSQM (Perceptual Speech Quality Measurement).

#### **2.2.5.1 MOS**

Κατά τη μέτρηση της ποιότητας της φωνής με τη MOS τεχνική, γίνεται αξιολόγηση παραγόντων όπως είναι η αλλοίωση (distortion), η καθυστέρηση, η ηχώ, ο θόρυβος σε μια κλίμακα μέτρησης από 1 έως 5, όπου υπολογίζεται κατόπιν η μέση τιμή. Για τις συμβατικές τηλεφωνικές γραμμές στις οποίες χρησιμοποιείται ο G.711 αλγόριθμος συμπίεσης και για ρυθμό μετάδοσης 64kbps η τιμή της MOS τεχνικής είναι 4.0. Στη VoIP τεχνολογία χρησιμοποιούνται κυρίως οι G.723 και G.729 αλγόριθμοι συμπίεσης. Ο G.729 χρησιμοποιείται ευρέως, εξαιτίας των χαμηλών απαιτήσεών του σε εύρος ζώνης με την τιμή της MOS να είναι ίση με 4.0 για ρυθμό μετάδοσης 8 kbps. Ο G.723 ο οποίος χρησιμοποιείται κυρίως στην τηλεοπτική τηλεφωνία, έχει τιμή MOS ίση με 3.8 για ρυθμό μετάδοσης ίσο με 5.3 ή 6.8 kbps.

#### **2.2.5.2 PSQM**

Η μέτρηση της ποιότητας της φωνής με τη PSQM τεχνική, γίνεται με τη χρήση τεχνητής ομιλίας με την οποία υπολογίζεται η κατά προσέγγιση λεκτική σαφήνεια, λαμβάνοντας υπόψιν την επίδραση του θορύβου, των σφαλμάτων κωδικοποίησης, τη φάση της μεταβολής της καθυστέρησης και την ταξινόμηση των πακέτων. Όταν η τιμή της PSQM είναι 0 δεν υπάρχει κάποια εξασθένιση, ωστόσο όταν τιμή της διαμορφώνεται στο 6.5 το σήμα είναι ακατάλληλο προς χρήση. Αν και οι τιμές της PSQM τεχνικής δεν έχουν κάποιο άμεσο συσχετισμό με τις τιμές της MOS τεχνικής ωστόσο όταν η τιμή της PSQM είναι 0 αντιστοιχεί κατά προσέγγιση στην τιμή 5 της

**Πίνακας 2.1** Μετρήσεις καθυστέρησης κατά τη χρήση των διάφορων τύπων codecs [2]

| <b>CODEC</b> | <b>Bit Rate<br/>Kbps</b> | <b>MOS</b> | <b>Delay<br/>ms</b> |
|--------------|--------------------------|------------|---------------------|
| G.711        | 64                       | 4.5        | 0.125               |
| G.723.1      | 5.3                      | 3.6        | 30                  |
|              | 6.3                      | 3.98       |                     |
| G.726        | 16-24-32-40              | 4.2        | 0.125               |
|              | Most commonly used       |            |                     |
| G.728        | 32                       | 4.2        | 2.5                 |
|              | 16                       |            |                     |
| G.729        | 8                        | 4.2        | 10                  |

MOS τεχνικής και όταν η τιμή της PSQM είναι 6.5 αντιστοιχεί στην τιμή 1 της MOS τεχνικής [2].

### 2.2.6 Παραβιάσεις ασφαλείας

Κατά την αρχική περίοδο εφαρμογής της VoIP τεχνολογίας η προσοχή ήταν στραμμένη κυρίως σε θέματα κόστους, λειτουργικότητας και αξιοπιστίας. Μετά την ευρεία αποδοχή και επικράτησή της ως μία εκ των κύριων τεχνολογιών επικοινωνίας η ασφάλεια αποτελεί πλέον ένα σημαντικό ζήτημα. Τα ζητήματα ασφαλείας αποκτούν ακόμη μεγαλύτερη βαρύτητα από τη στιγμή που αρχίζουν και αντικαθιστούν το παλαιότερο και ασφαλέστερο σύστημα τηλεφωνικής επικοινωνίας (γνωστό ως Plain Old Telephone System - POTS). Καθώς η κρυπτογράφηση δεν είναι πολύ συνήθης από το SIP πρωτόκολλο το οποίο ελέγχει την επικύρωση των VoIP κλήσεων, οι χρήστες εκτίθενται στις ακόλουθες παραβιάσεις ασφαλείας:

- **Call tampering.** Η αλλοίωση της κλήσης είναι ένα είδος παραβίασης όπου ο «επιτιθέμενος» αλλοιώνει τη ποιότητα της κλήσης με την παρεμβολή πακέτων θορύβου μέσα στη ροή επικοινωνίας. Μπορεί επίσης να παρακρατήσει κάποια πακέτα που μεταδίδονται με συνέπεια οι συνομιλούντες να αντιμετωπίζουν μεγάλες περιόδους σιωπής κατά τη διάρκεια της κλήσης.
- **Denial Of Service (DOS).** Η DOS αναφέρεται στην παραβίαση ενός δικτύου ή μιας συσκευής μέσω της άρνησης της σύνδεσης αυτού ή αυτής

στην υπηρεσία. Μπορεί να προκληθεί εξαιτίας της έλλειψης εύρους ζώνης έτσι ώστε να μην υπάρχει αρκετό διαθέσιμο εύρος ζώνης για την πρόσβαση στην υπηρεσία ή μέσω της υπερφόρτωσης του δικτύου ή των εσωτερικών πόρων της συσκευής. Η παραβίαση αυτή σε ένα VoIP σύστημα επιτυγχάνεται με την τροφοδότηση ανεπιθύμητων SIP μηνυμάτων σηματοδότησης, προκαλώντας την πρόωρη διακοπή της κλήσης. Στόχος αυτής της παραβίασης είναι ο επιτιθέμενος να αποκτήσει τον έλεγχο του συστήματος.

- **Man-in-the-middle.** Αποτελεί μια κοινή παραβίαση ασφαλείας όπου ο επιτιθέμενος παρεμποδίζει τη νόμιμη επικοινωνία, δηλαδή την κίνηση των SIP μηνυμάτων σηματοδότησης της κλήσης μεταξύ δύο μερών τα οποία είναι γνωστά μεταξύ τους. Εν συνεχεία, ο κακόβουλος host ελέγχει τη ροή της επικοινωνίας υποκρινόμενος τον αρχικό αποστολέα, τον οποίο ο και εμπιστεύεται ο παραλήπτης. Καθώς αυτό δε γίνεται αντιληπτό από τον αρχικό αποστολέα ή παραλήπτη, ο επιτιθέμενος μπορεί αποσπάσει εμπιστευτικές πληροφορίες. Οι man-in-the-middle παραβιάσεις έχουν δύο μορφές, την eavesdropping, δηλαδή την ικανότητα του επιτιθέμενου να ακούει, είτε την αλλοίωση των μηνυμάτων. Η eavesdropping παραβίαση αναφέρεται στην μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση τρίτων σε ονόματα χρηστών, κωδικούς πρόσβασης και τηλεφωνικούς αριθμούς που τους επιτρέπουν να έχουν τον έλεγχο του φωνητικού ταχυδρομείου, των κλήσεων, της προώθησης κλήσεων καθώς και των πληροφοριών χρέωσης. Αυτό οδηγεί στη συνέχεια στην κλοπή των υπηρεσιών. Η κλοπή των υπηρεσιών δεν είναι ο μόνος λόγος αυτής της παραβίασης καθώς συχνά αυτό που είναι επιθυμητό είναι η πρόσβαση σε επιχειρησιακά δεδομένα. Οι επιθέσεις κατά τις οποίες προκαλείται αλλοίωση βασίζονται στην eavesdropping παραβίαση. Ο επιτιθέμενος παίρνει αυτή την μη εξουσιοδοτημένη απόκριση, αλλάζοντας τα περιεχόμενα ώστε να ικανοποιούν έναν ορισμένο σκοπό, χρησιμοποιώντας πιθανώς μια ψευδή IP διεύθυνση για να μιμηθεί κάποιον άλλο host [10].
- **Vishing.** Η vishing παραβίαση αποτελεί έναν εναλλακτικό όρο της VoIP phishing και αναφέρεται στην αποστολή μηνυμάτων μέσω του φωνητικού ταχυδρομείου, προσποιούμενα ότι προέρχονται από αξιόπιστα μέρη όπως

αυτά των τραπεζών και των online υπηρεσιών πληρωμής. Τέτοια μηνύματα απαιτούν προσωπικά δεδομένα όπως κωδικούς πρόσβασης και αριθμούς πιστωτικών καρτών.

- **Spamming over Internet Telephony.** Όπως ακριβώς και στην περίπτωση του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, το spamming μπορεί να εμφανιστεί και στη VoIP τεχνολογία. Κάθε VoIP λογαριασμός προσδιορίζεται από μία IP διεύθυνση και συνεπώς αν και δεν είναι πολύ σύννητες ακόμη είναι εύκολο να αποσταλούν τέτοια μηνύματά (voicemails) σε χιλιάδες διευθύνσεις IP. Επιπλέον, τα μηνύματα αυτά μπορούν να φέρουν ιούς και spyware ακριβώς όπως συμβαίνει με τη phishing παραβίαση ασφαλείας.
- **Malware.** Ακριβώς όπως κάθε διαδικτυακή εφαρμογή, η χρήση του softphone στη VoIP τεχνολογία είναι τρωτή σε malware. Δεδομένου ότι οι softphone εφαρμογές τρέχουν σε συστήματα χρηστών όπως οι Η/Υ και τα PDAs, εκτίθενται και είναι τρωτές σε κακόβουλες επιθέσεις κώδικα των εφαρμογών φωνής [11].

### 2.2.7 Υποστήριξη υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης

Στη VoIP τεχνολογία η υπηρεσία έκτακτης ανάγκης (η οποία για τις Η.Π.Α. αντιστοιχεί στον αριθμό 911), είναι σύμφωνα με τη νομοθεσία τους μια από τις πρωταρχικές απαιτήσεις που οι φορείς παροχής υπηρεσιών πρέπει να εξασφαλίσουν στους συνδρομητές τους. Η υπηρεσία αυτή είναι διαθέσιμη από την PSTN τηλεφωνία. Ένας σταθερός τηλεφωνικός αριθμός συσχετίζεται με ένα ζευγάρι καλωδίων που συνδέεται με την τηλεφωνική επιχείρηση. Κατόπιν της σύνδεσης μιας σταθερής τηλεφωνικής γραμμής με την επιχείρηση, η διεύθυνση της τοποθεσίας αυτού του ζεύγους καλωδίων σπάνια αλλάζει. Έτσι γίνεται καταχώρηση του τηλεφώνου και της διεύθυνσης των συνδρομητών στην PSAP (Public Safety Answering Point) βάση δεδομένων του PSTN δικτύου. Συνεπώς εάν μια κλήση έκτακτης ανάγκης προέρχεται από έναν αριθμό τηλεφώνου, η φυσική του θέση είναι γνωστή. Στην περίπτωση των κινητών τηλεφώνων η μέθοδος αυτή θα απαιτούσε την επανεγγραφή του αριθμού του τηλεφώνου κάθε φορά που αλλάζει γεωγραφική θέση ο συνδρομητής και για αυτό προτάθηκε η ενσωμάτωση chips GPS τεχνολογίας σε αυτά.



Στην περίπτωση των IP δικτύων λόγω της φύσης της IP, ένας ευρυζωνικός πάροχος μπορεί να γνωρίζει τη φυσική θέση όπου τα καλώδια τερματίζουν αλλά αυτό δεν επιτρέπει απαραίτητως τη χαρτογράφηση της IP διεύθυνσης στη θέση εκείνη. Επομένως καθίσταται δύσκολος ο γεωγραφικός προσδιορισμός των χρηστών του δικτύου, δεδομένου ότι τα IP δίκτυα υποστηρίζουν την κινητικότητα ο συνδρομητής είναι πιθανό να βρίσκεται σε κάποια άλλη χώρα και συνεπώς οι κλήσεις έκτακτης ανάγκης δεν μπορούν εύκολα να καθοδηγηθούν σε ένα κοντινό PASP κέντρο κλήσης [1].

Γενικά για τη χρήση της 911 υπηρεσίας πρέπει να δηλωθεί η φυσική διεύθυνση από την οποία γίνεται η χρήση της VoIP τηλεφωνίας και κάθε φορά που αλλάζει η τοποθεσία από την οποία χρησιμοποιείται η υπηρεσία αυτή πρέπει να δηλώνεται εκ νέου η διεύθυνση του συνδρομητή, διαφορετικά η απόκριση βοήθειας σε μια ενδεχόμενη κλήση έκτακτης ανάγκης θα φθάσει στην παλιά διεύθυνση του συνδρομητή. Αυτή η διαδικασία διαρκεί μερικές ώρες ή μπορεί να απαιτεί έως τρεις ημέρες ανάλογα με τον VoIP πάροχο.

Οι περισσότεροι εκτός των Wi-Fi συνδρομητών και αυτών που χρησιμοποιούν το softphone VoIP χρηστών, έχουν πρόσβαση είτε στη βασική 911 είτε στην προηγμένη 911 (Enhanced 911 - E911) υπηρεσία έκτακτης ανάγκης [7]. Η E911 είναι μια ακόμη υπηρεσία την οποία μπορεί να παρέχει ένας πάροχος στους συνδρομητές του κατόπιν μιας πρόσθετης μηνιαίας χρέωσης. Η συμμετοχή σε αυτή δεν είναι υποχρεωτική και οι πελάτες της μπορούν να τη διακόψουν ή να τη θέσουν εκτός λειτουργίας όταν το επιθυμούν [1]. Κατά την κλήση της E911 υπηρεσίας, ο αριθμός τηλεφώνου και η καταχωρημένη διεύθυνσή του συνδρομητή αποστέλλεται ταυτοχρόνως στο τοπικό κέντρο έκτακτης ανάγκης που ορίζεται για εκείνη τη θέση του συνδρομητή, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αποστολή βοήθειας ακόμη και αν αυτός δε μπορεί να μιλήσει ή να τον καλέσουν πίσω εάν αυτό είναι απαραίτητο. Οι συνδρομητές των περιοχών των οποίων το PASP δεν είναι εξοπλισμένο να λαμβάνει τον αριθμό τηλεφώνου και τη διεύθυνσή τους χρησιμοποιούν την απλή υπηρεσία έκτακτης ανάγκης (911) και πρέπει ο ίδιος να δώσουν τις πληροφορίες αυτές στο PASP κέντρο. Ωστόσο έως ότου να δοθούν αυτές οι πληροφορίες από το συνδρομητή, η κλήση αυτή ενδέχεται να μην ολοκληρωθεί και η σύνδεση να διακοπεί. Στην περίπτωση αυτή μέσω κάποιων φορέων παροχής VoIP υπηρεσιών υπάρχει η δυνατότητα αναβάθμισης της 911 υπηρεσίας στην E911. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων η 911

κλήση αποστέλλεται στο κέντρο κλήσης έκτακτης ανάγκης του παρόχου όπου ζητούνται τα στοιχεία του συνδρομητή και κατόπιν το κέντρο του παρόχου έρχεται σε επαφή με το PASP. Άλλα παραδείγματα στα οποία εφαρμόζεται η επικοινωνία με το κέντρο έκτακτης ανάγκης του παρόχου είναι όταν υπάρχει πρόβλημα επικύρωσης της διεύθυνσης του συνδρομητή, στην περίπτωση που ο συνδρομητής βρίσκεται σε κάποια άλλη χώρα ή όταν βρίσκεται σε μια περιοχή που δεν καλύπτεται από το 911 δίκτυο. Επιπλέον στην περίπτωση χρήσης του WiFi δικτύου ή του Softphone εξαιτίας της φορητής φύσης αυτών, ανεξαρτήτως από το ποια διεύθυνση καταχωρείται οι 911 κλήσεις μπορούν να καθοδηγούνται στο κέντρο έκτακτης ανάγκης του παρόχου [12].

### **2.3 Video on Demand**

Η Video on Demand ή διαφορετικά Audio Video on Demand (AVoD) αποτελεί μια υπηρεσία η οποία επιτρέπει στους χρήστες να επιλέξουν και να παρακολουθήσουν το οπτικοακουστικό περιεχόμενο που επιθυμούν σε πραγματικό χρόνο ή την επιθυμητή χρονική στιγμή. Το οπτικοακουστικό αυτό περιεχόμενο μπορεί να είναι ένα τηλεοπτικό πρόγραμμα, μια ταινία ή ένα μουσικό βίντεο κλιπ. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη διανομή του περιεχομένου αυτού είναι συνήθως η IPTV. Τα VoD συστήματα είτε διανέμουν το περιεχόμενο σε ένα set-top box - για την αναπαραγωγή από έναν τηλεοπτικό δέκτη, σε έναν Η/Υ ή άλλες συσκευές είτε επιτρέπουν τη μεταφόρτωση του σε έναν Η/Υ, μια DVR συσκευή ή μια φορητή συσκευή αναπαραγωγής πολυμέσων (digital media player) για την προβολή του σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Η έννοια του VoD δεν είναι νέα. Η πρώτη εμπορική VoD υπηρεσία προωθήθηκε στην αγορά στις αρχές της δεκαετίας του '90 ωστόσο περιορίστηκε από το διαθέσιμο εύρος ζώνης των δικτύων το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση προβλημάτων συμφόρησης (bottleneck) και το μεγάλο χρόνο μεταφόρτωσης του περιεχομένου [13].

Σήμερα η πλειονότητα των παρόχων προσφέρει τις VoD υπηρεσίες κατόπιν μιας μηνιαίας συνδρομής ή μέσω της ενοικίασης επιπλέον περιεχομένου - συνήθως ταινιών για μια προκαθορισμένη χρονική περίοδο (pay-per-view), για τη μετέπειτα προβολή του την επιθυμητή χρονική στιγμή. Ωστόσο με τη χρήση του διαδικτύου

είναι δυνατή και η δωρεάν αναπαραγωγή του VoD περιεχομένου με τη χρήση Η/Υ χωρίς να απαιτείται συνδρομή σε κάποιο φορέα παροχής VoD υπηρεσιών.

Η μεταφόρτωση και η διανομή του VoD περιεχομένου παρέχει στο χρήστη ένα πλήθος VCR λειτουργιών (pause, fast forward, fast rewind, slow forward, slow rewind, κ.λπ.). Κάθε τέτοια λειτουργία αποκαλείται trick mode. Σε ένα disc-based συστήματα διανομής VoD περιεχομένου η εκτέλεση των trick mode λειτουργιών απαιτεί επιπλέον αποθηκευτικό χώρο και υπολογιστική ισχύς στο server, ενώ ένα memory-based σύστημα διανομής μπορεί να παρέχει τις λειτουργίες αυτές απευθείας από τη RAM χωρίς την απαίτηση επιπλέον αποθηκευτικού χώρου ή κύκλων εργασίας του επεξεργαστή [14].

### 2.3.1 Τύποι VoD υπηρεσιών

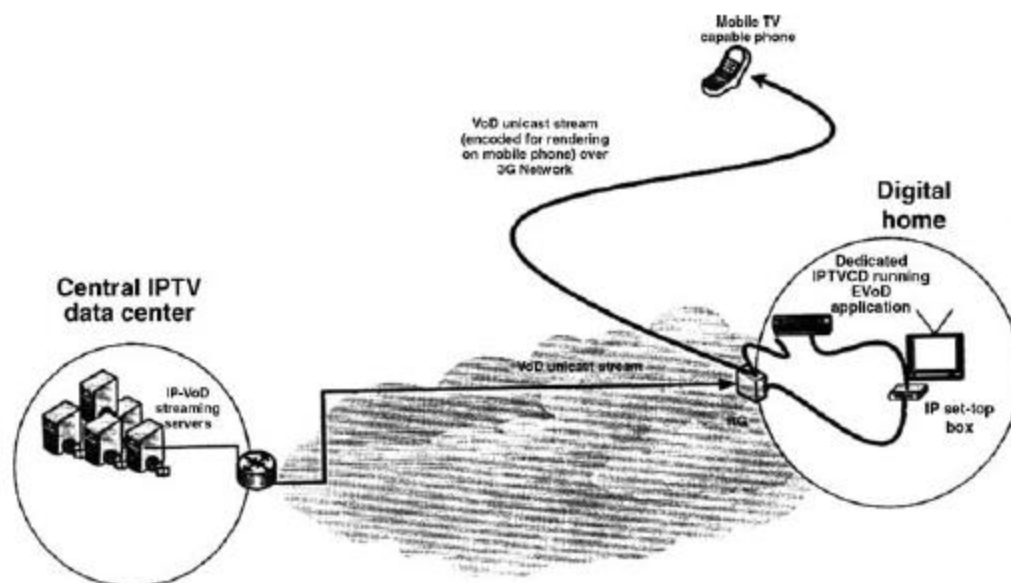
Η VoD τεχνολογία παρέχει στους χρήστες της ένα ευρύ φάσμα τύπων on demand εφαρμογών οι οποίοι είναι:

- **Push VoD.** Ο push VoD τύπος βασίζεται στην αποθήκευση του βίντεο περιεχομένου από ένα VoD server στο σκληρό δίσκο μιας IPTVCD (IPTV Consumer Device). Αυτή η μεταφορά του περιεχομένου πραγματοποιείται εκτός ωρών αιχμής όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή τα σαββατοκύριακα, έτσι ώστε να μειωθούν οι απαιτήσεις εύρους ζώνης που μπορούν να εμφανιστούν όταν ένας χρήστης παρακολουθεί ταυτόχρονα κάποιο VoD περιεχόμενο. Το μέγεθος του VoD περιεχομένου που αποθηκεύεται στο set-top box του χρήστη εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο σχήμα συμπίεσης και το μέγεθος του δίσκου, ενώ ο ρυθμός ανανέωσης του καθορίζεται από τις προτιμήσεις του χρήστη τις οποίες ορίζει κατά την εγγραφή του στην υπηρεσία.
- **Movie on Demand (MoD).** Ο MoD είναι ο πιο κοινός τύπος των VoD υπηρεσιών στον οποίο ορίζεται η on demand διανομή βίντεο DVD ποιότητας μέσα από ένα ψηφιακό δίκτυο με την υποστήριξη VCR λειτουργιών ελέγχου του περιεχομένου. Ο κατάλογος των διαθέσιμων ταινιών καθώς και το χρονικό διάστημα της διαθεσιμότητάς τους, προσδιορίζεται ανάλογα με τη συνδρομή την οποία καταβάλλει ο χρήστης στο φορέα παροχής υπηρεσιών.

- **Television on Demand (ToD).** Ο ToD τύπος αποτελεί μία νέα μέθοδο παρακολούθησης τηλεόρασης. Η μέθοδος αυτή υλοποιείται με την καταγραφή και αποθήκευση των real-time τηλεοπτικής μετάδοσης προγραμμάτων στους servers. Η μέθοδος αυτή απαιτεί επιπλέον αποθηκευτικό χώρο από τους φορείς παροχής αυτού του τύπου υπηρεσίας.
- **High Definition VoD (HDVoD).** Όπως υποδηλώνεται και από το όνομα του, αυτός ο τύπος VoD υπηρεσίας επιτρέπει στους συνδρομητές την πρόσβαση σε υψηλής ευκρίνειας περιεχόμενο για την μετέπειτα προβολή του από τους HD δέκτες.
- **Subscription Music on Demand (SMoD).** Η υπηρεσία αυτή προσφέρεται κατόπιν μιας μηνιαίας συνδρομής στα πλαίσια των προσφερόμενων IPTV υπηρεσιών και έχει ως στόχο τη διαφοροποίηση της από τα διαθέσιμα διαδικτυακά καταστήματα μουσικής.
- **Network-Based Digital Video Recording (NDVR).** Το nDVR είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει στους καταναλωτές την καταγραφή του περιεχομένου. Η διαφορά της τεχνολογίας αυτής έγκειται στο ότι η αποθήκευση του περιεχομένου γίνεται στο IPTV data center και όχι σε μια IPTVCD απαλλάσσοντας το χρήστη από την απαίτηση ύπαρξης ενός σκληρού δίσκου στην IPTVCD του. Στην πραγματικότητα η τεχνολογία αυτή συγκεντρώνει τις λειτουργίες ενός DVR. Κατά συνέπεια, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις DVR λειτουργίες ελέγχου όπως τη fast forward, τη pause, τη rewind και τη λειτουργία εγγραφής.
- **Free on Demand (FoD).** Στα πλαίσια του ανταγωνισμού μεταξύ των φορέων παροχής VoD υπηρεσιών η FoD υπηρεσία επιτρέπει στους χρήστες της, την ελεύθερη πρόσβαση σε μια βιβλιοθήκη περιεχομένου η οποία μπορεί να περιλαμβάνει ταινίες, μουσικά βίντεο, κ.λπ.
- **Bandwidth on Demand (BoD).** Αυτή η νέα υπηρεσία δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες την κατά προτίμηση αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου τους για τη μεταφόρτωση συγκεκριμένων εφαρμογών περιεχομένου υψηλής ευκρίνειας.
- **Internet VoD (IVoD).** Κατόπιν της ευρείας υιοθέτησης του διαδικτύου τα τελευταία χρόνια, η IVoD υπηρεσία σε συνεργασία με τους παραγωγούς ταινιών δίνει την ευχέρεια στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε αυτό το

περιεχόμενο μέσα από το διαδίκτυο. Το περιεχόμενο παρέχεται στους χρήστες σε μια pay-per-view βάση, το οποίο μπορούν να το παρακολουθήσουν μέσα από τη χρήση ενός Η/Υ.

- **Advertising on Demand (AoD).** Η υπηρεσία αυτή περιλαμβάνει τη χρήση διαφημίσεων πριν την έναρξη ή κατόπιν της λήξης της προβολής του VoD περιεχομένου.
- **Extended Video on Demand (EVoD).** Σύμφωνα με αυτό το τύπο διανομής, το on-demand περιεχόμενο αποστέλλεται αρχικά σε μία IPTVCD, η οποία εν συνεχεία εκτρέπει το περιεχόμενο της προς μια άλλη συσκευή η οποία βρίσκεται σε διαφορετική τοποθεσία. Όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 2.3 το IP set-top box συνδέεται σε μια ξεχωριστή συσκευή η οποία συνδέεται με το RG ή το ευρυζωνικό δίκτυο του χρήστη. Αυτή η συσκευή κωδικοποιεί το περιεχόμενο που λαμβάνει από το IP set-top box κατάλληλα έτσι ώστε να είναι διαθέσιμο από διάφορες ευρυζωνικές τεχνολογίες πρόσβασης όπως είναι η 3G. Επιπλέον, κάποια πιο προηγμένα EVoD συστήματα επιτρέπουν στους εν κινήσει IPTV συνδρομητές να έχουν τον απομακρυσμένο έλεγχο του A/V εξοπλισμού τους όπως είναι τα DVRs.
- **Everything on Demand (XoD).** Αυτός ο τύπος VoD υπηρεσίας επιτρέπει στους συνδρομητές τη χρήση των IPTVCDs για την αγορά του ψηφιακού περιεχομένου και να την παρακολουθήσει του από οπουδήποτε.
- **Near Video on Demand (NVoD) Services.** Με τη χρήση αυτού του τύπου VoD υπηρεσίας ένα συγκεκριμένο βίντεο αναπαράγεται μέσα από ένα διαφορετικό αριθμό καναλιών, με μια διαφορά ως προς το χρόνο έναρξης του (π.χ. κάθε 10 λεπτά). Αυτό επιτρέπει στους συνδρομητές τη χρήση των fast forward και rewind λειτουργιών ανά 10 λεπτά σύμφωνα με το παράδειγμα. Σε αυτήν την περίπτωση ο συνδρομητής είναι σε θέση να εναλλάσσεται μεταξύ των καναλιών και να παρακολουθεί το πρόγραμμα από το σημείο που επιθυμεί. Επιπλέον, ο συνδρομητής μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα μενού οθόνης ή το EPG (Electronic Program Guide) σύστημα για να επιλέξει την επιθυμητή χρονική στιγμή παρακολούθησης του προγράμματος. Το μειονέκτημα του NVoD συστήματος είναι ότι οι χρήστες του πρέπει να περιμένουν αρκετό χρονικό διάστημα προκειμένου να ικανοποιηθεί το fast forward ή rewind αίτημα τους [15].



Σχήμα 2.3 Σύστημα διανομής EVoD [15]

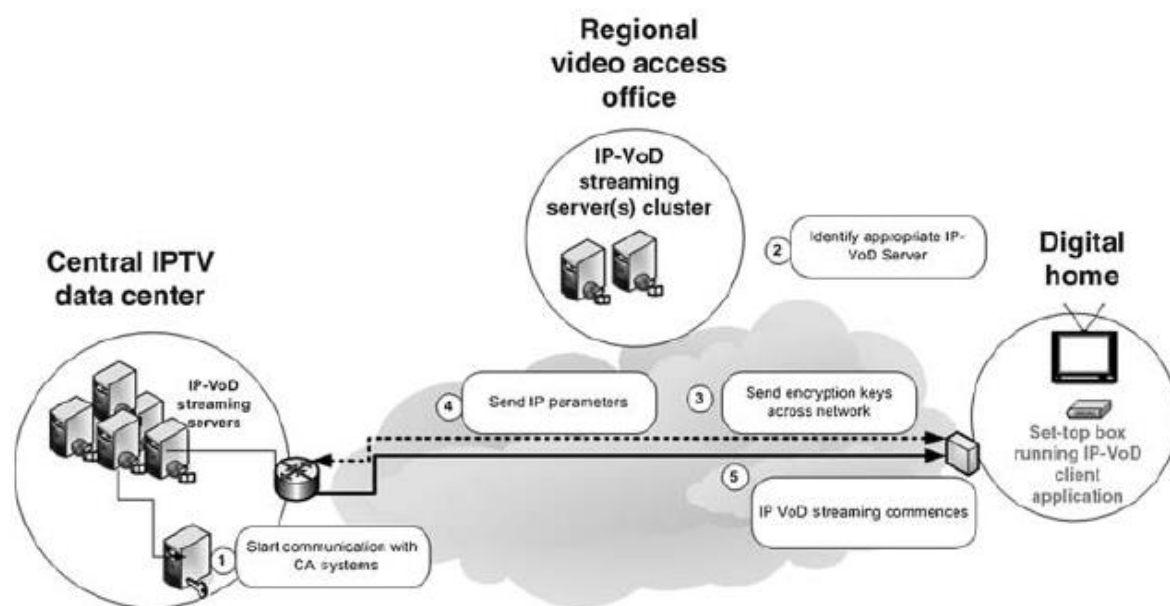
### 2.3.2 Λογισμικό VoD server

Ένα σύνολο VoD servers χρησιμοποιεί μια εφαρμογή λογισμικού για τη μέτρηση της απόδοσης του VoD συστήματος, τη βελτιστοποίηση των διεργασιών διανομής του VoD περιεχομένου, καθώς και την απλοποίηση των καθημερινών λειτουργιών του. Μία τέτοια εφαρμογή λογισμικού εκτελεί τις παρακάτω λειτουργίες:

- **Διαχείριση ψηφιακών ροών.** Η εγκαθίδρυση, ο τερματισμός (teardown) και ο έλεγχος των session διανομής αποτελούν λειτουργίες του λογισμικού ενός VoD server. Το σχήμα 2.4 δείχνει τα βήματα τα οποία συσχετίζονται με την εγκαθίδρυση μιας τέτοιας ροής μεταξύ του IP set-top box του πελάτη και του VoD server. Τα βήματα αυτά είναι τα εξής:
  - *Έναρξη επικοινωνίας με το CA σύστημα.* Κατά την παραλαβή ενός αιτήματος από το IP set-top box το λογισμικό του server επικοινωνεί με το CA (Conditional Access) σύστημα για να προσδιορίσει εάν ο IPTV συνδρομητής έχει την έγκριση (authorization) παρακολούθησης του VoD περιεχομένου.
  - *Προσδιορισμός του κατάλληλου VoD server.* Κατόπιν της διαδικασίας της έγκρισης του χρήστη, το λογισμικό προσδιορίζει τον κατάλληλο server για την εκπλήρωση του αιτήματός του.
  - *Αποστολή κλειδιών κρυπτογράφησης στο δίκτυο.* Εν συνεχεία το λογισμικό αυτό ή το CA σύστημα αποστέλλει ένα κλειδί

αποκρυπτογράφησης για την επίτευξη της αποκρυπτογράφησης του VoD περιεχομένου.

- *Αποστολή IP παραμέτρων.* Οι παράμετροι αυτοί καθώς και η IP διεύθυνση αποστέλλονται στο IP set-top box.
- *Έναρξη αποστολής VoD ροών.* Κατόπιν της κατανομής εύρους ζώνης ξεκινά η αποστολή των ροών του VoD περιεχομένου. Το IP set-top box χρησιμοποιεί το RTSP (Real - Time Streaming Protocol) πρωτόκολλο για τη διαχείριση της διανομής των ροών αυτών.
- **Ενημέρωση ψηφιακού περιεχομένου.** Το VoD λογισμικό πρέπει να είναι ικανό να διαχειρίζεται αυτόματα την ανανέωση του προς αποστολή VoD περιεχομένου.
- **Διαχείριση αντιγραφής.** Στην περίπτωση που ένα νέο VoD περιεχόμενο είναι διαθέσιμο, είναι ευθύνη του λογισμικού αυτού η αντιγραφή του για τη διανομή στους υπόλοιπους servers του δικτύου.
- **Διαχείριση των μεταδεδομένων.** Για την αποθήκευση διάφορων λεπτομερειών που σχετίζονται με το ψηφιακό περιεχόμενο (μεταδεδομένα) χρησιμοποιείται μία βάση δεδομένων. Τα μεταδεδομένα έχουν τη μορφή ενός XML αρχείου και χρησιμοποιούνται για την αναζήτηση και την περιήγηση στο VoD περιεχόμενο. Το περιεχόμενο των μεταδεδομένων που σχετίζεται με μια ταινία περιλαμβάνει το είδος, την περίληψη, το όνομα των παραγωγών των ηθοποιών, την ημερομηνία προβολής, τις λεπτομέρειες χορήγησης αδείας της ταινίας, κ.λπ.
- **Διαχείριση της πρόσβασης του ψηφιακού περιεχομένου.** Το λογισμικό του VoD server είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με τον πάροχο των υπηρεσιών αυτών, για τη διευθέτηση ζητημάτων σχετικά με την υπό όρους πρόσβαση, τη διαχείριση των ψηφιακών δικαιωμάτων και την κοστολόγηση του προς διανομή VoD περιεχομένου [15].



Σχήμα 2.4 Εγκαθίδρυση VoD ροής [15]

### 2.3.3 VoD πρωτόκολλα διανομής

Οι IP VoD servers χρησιμοποιούν το Real-time Transport Protocol (RTP) και το Real -Time Control Protocol (RTCP) πρωτόκολλο για τη διανομή των ροών βίντεο στις IPTVCDs. Εν συνεχεία χρησιμοποιείται το RTSP πρωτόκολλο για τον έλεγχο των ροών αυτών. Επιπλέον γίνεται χρήση του Resource Reservation Protocol (RSVP) πρωτοκόλλου για τη διασφάλιση της ποιότητας μετάδοσης. Στις ακόλουθες παραγράφους δίνεται μια συνοπτική επισκόπηση των τριών αυτών πρωτοκόλλων [15].

#### 2.3.3.1 Real-Time Transport Protocol

Το RTP είναι ένα πρότυπο του επιπέδου εφαρμογών του TCP/IP μοντέλου το οποίο δημοσιεύθηκε με στόχο τη διανομή σημάτων για ένας εύρος real-time εφαρμογών μονόδρομης ή και αμφίδρομης μετάδοσης [16] (VoD, VoIP και εφαρμογών τηλεδιάσκεψης). “Τρέχει” πάνω από τα επίπεδα των UDP και IP πρωτοκόλλων διότι παρέχει τους κατάλληλους QoS μηχανισμούς για τον εντοπισμό προβλημάτων που δεν είναι ανιχνεύσιμα από το UDP [15]. Αν και αρχικά σχεδιάστηκε για τη multicast διανομή real-time δεδομένων, μπορεί ωστόσο να χρησιμοποιηθεί και στη unicast μετάδοση [16].

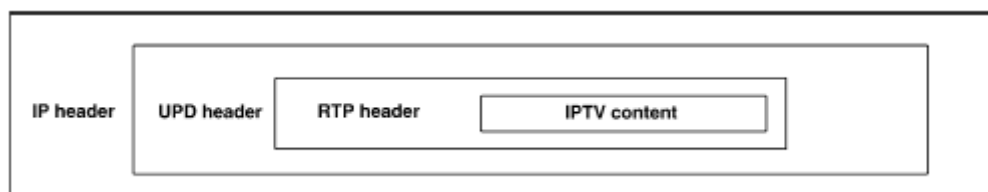


Το RTP περιγράφει δύο υποπρωτόκολλα, το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων το οποίο είναι αρμόδιο για το συγχρονισμό, την αναδημιουργία, τον έλεγχο διανομής, την ασφάλεια και την ανίχνευση των απολεσθέντων δεδομένων των real-time εφαρμογών και το RTCP το οποίο ελέγχει την ποιότητα των real-time υπηρεσιών και το συγχρονισμό μεταξύ των ροών [17].

Πιο συγκεκριμένα το RTP διανέμει τα δεδομένα ήχου και εικόνας σε δύο διαφορετικές ροές. Κατά τη λήψη των πακέτων ο χρήστης χρησιμοποιεί την time stamping λειτουργία του RTP για την αναπαραγωγή των δεδομένων στο σωστό ρυθμό μετάδοσης. Επιπλέον με τη χρήση της λειτουργίας αυτής διασφαλίζεται ότι μια IPTVCD μπορεί να συγχρονίσει τη ροή ήχου με τη ροή εικόνας [16], καθώς επίσης προσφέρεται η δυνατότητα διόρθωσης της μεταβολής της καθυστέρησης καθώς και της ανίχνευσης των δεδομένων τα οποία φθάνουν με λάθος σειρά. Το RTP εξετάζει επίσης το format του ωφέλιμου φορτίου το οποίο δείχνει το σχήμα κωδικοποίησης των δεδομένων [17]. Στα formats του ωφέλιμου φορτίου μιας ροής ήχου περιλαμβάνονται τα G.711, G.723, G.726, G.729, GSM, MP3, DTMF, κ.λπ., ενώ αντίστοιχα στα formats του ωφέλιμου φορτίου μιας ροής βίντεο περιλαμβάνονται τα H.261, H.263, H.264, MPEG, κ.λπ. [17].

Αν και το TCP πρωτόκολλο τυποποιήθηκε για χρήση από το RTP, δε χρησιμοποιείται συχνά εξαιτίας της καθυστέρησης που εισάγει κατά την εγκαθίδρυση της σύνδεσης και της διόρθωσης των σφαλμάτων. Αντ' αυτού το RTP βασίζεται στο UDP διότι στις real-time εφαρμογές η απώλεια κάποιων πακέτων είναι προτιμότερη από την αναμονή λήψης των καθυστερημένων πακέτων [18].

Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζεται η ενθυλάκωση των RTP πακέτων στα IP πακέτα. Ωστόσο το RTP έχει και κάποια μειονεκτήματα. Δε διαθέτει λειτουργίες ελέγχου της ροής και της συμφόρησης (flow and congestion control) για την εγγύηση του χρόνου μετάδοσης. Τις λειτουργίες αυτές αναλαμβάνουν πρωτόκολλα χαμηλότερου επιπέδου. Η μη διανομή των πακέτων και η τυχόν διανομή τους σε



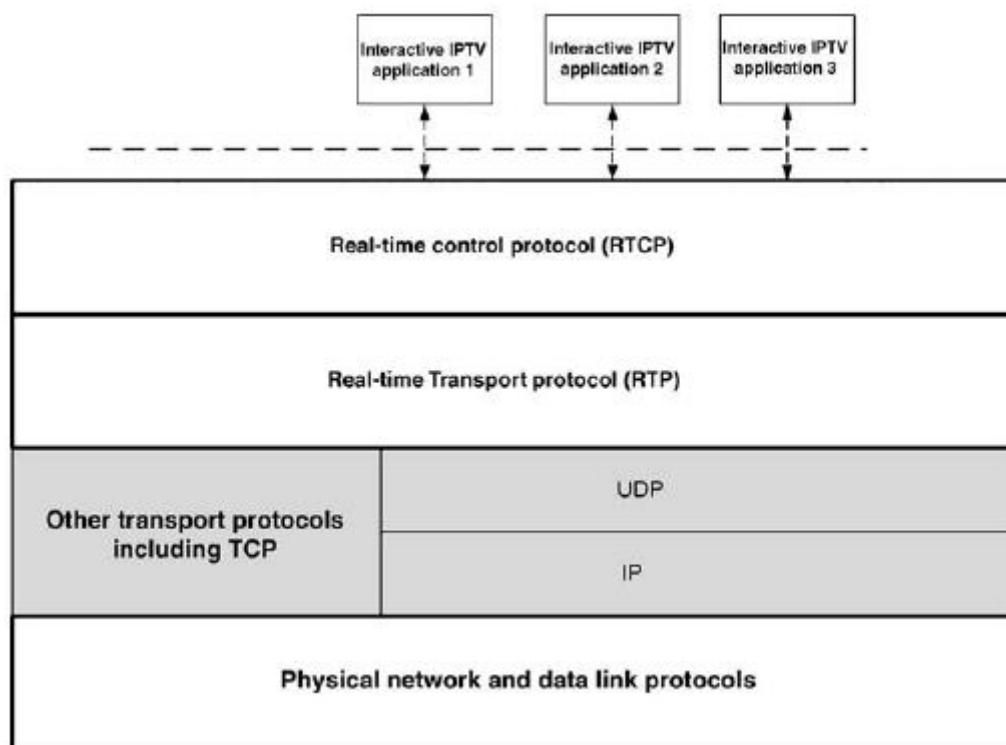
Σχήμα 2.5 Ενθυλάκωση RTP πακέτου [15]

λάθος σειρά είναι εκτός των αρμοδιοτήτων του RTP πρωτοκόλλου. Επιπλέον το RTP δεν υποστηρίζει την πολύπλεξη η οποία όμως υποστηρίζεται από το UDP και IP πρωτόκολλο [15].

Άλλα πρωτόκολλα μεταφοράς τα οποία έχουν σχεδιασθεί συγκεκριμένα για real-time εφαρμογές είναι το SCTP (το οποίο εφαρμόζει τη διόρθωση σφαλμάτων [18]) και το DCCP, αλλά η χρήση τους δεν είναι ακόμη διαδεδομένη. Στην περίπτωση των VoIP εφαρμογών το RTP ελέγχεται από το H.323 και το SIP πρωτόκολλο [17].

### **2.3.3.2 Real - Time Control Protocol**

Το RTCP συνεργάζεται με το RTP για τη διανομή των δεδομένων αλλά δε μεταφέρει μόνο του οποιαδήποτε δεδομένα. Στόχος του είναι ο έλεγχος της ποιότητας των real - time υπηρεσιών. Η κύρια λειτουργία του είναι να συνεργάζεται με πρωτόκολλα όπως το UDP, για την περιοδική αποστολή feedback πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα των διανεμηθέντων δεδομένων καθώς και πληροφοριών ελέγχου της ροής και συμφόρησης μιας RTP ροής στο IPTV data center. Το RTCP συλλέγει πληροφορίες οι οποίες περιλαμβάνονται στα RTCP πακέτα και σχετίζονται με το πλήθος των απολεσθέντων πακέτων, τη μεταβολή της καθυστέρησης και το χρόνο καθυστέρησης των διανεμηθέντων πακέτων. Κατόπιν μια αλληλεπιδραστική IPTV εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες αυτές για τον έλεγχο των QoS παραμέτρων, έτσι ώστε να προβεί στη μείωση του ρυθμού μετάδοσης των frames από τον IPTV server ή την εξέταση της δυνατότητας χρήσης ενός υψηλότερου σχήματος συμπίεσης του προς μετάδοση περιεχομένου. Έτσι σε αντίθεση με το TCP πρωτόκολλο το οποίο κάνει αυτόματα τις ρυθμίσεις αυτές το RTP δίνει τον έλεγχο της επίλυσης του προβλήματος αυτού στην αλληλεπιδραστική IPTV εφαρμογή. Το RTCP δεν παρέχει μεθόδους κρυπτογράφησης ή επικύρωσης των ροών. Τέτοιες υπηρεσίες κρυπτογράφησης για τη μεταφορά του ωφέλιμου φορτίου παρέχονται με τη χρήση του SRTP πρωτοκόλλου [19]. Το ποσοστό του εύρους ζώνης που καταλαμβάνει το RTCP συγκριτικά με το RTP είναι αρκετά μικρότερο, της τάξης του 5% [17]. Στο σχήμα 2.6 που ακολουθεί φαίνεται η RTP στοίβα πρωτοκόλλων.



Σχήμα 2.6 Στοιβά RTP πρωτοκόλλων [15]

### 2.3.3.3 Real - Time Streaming Protocol

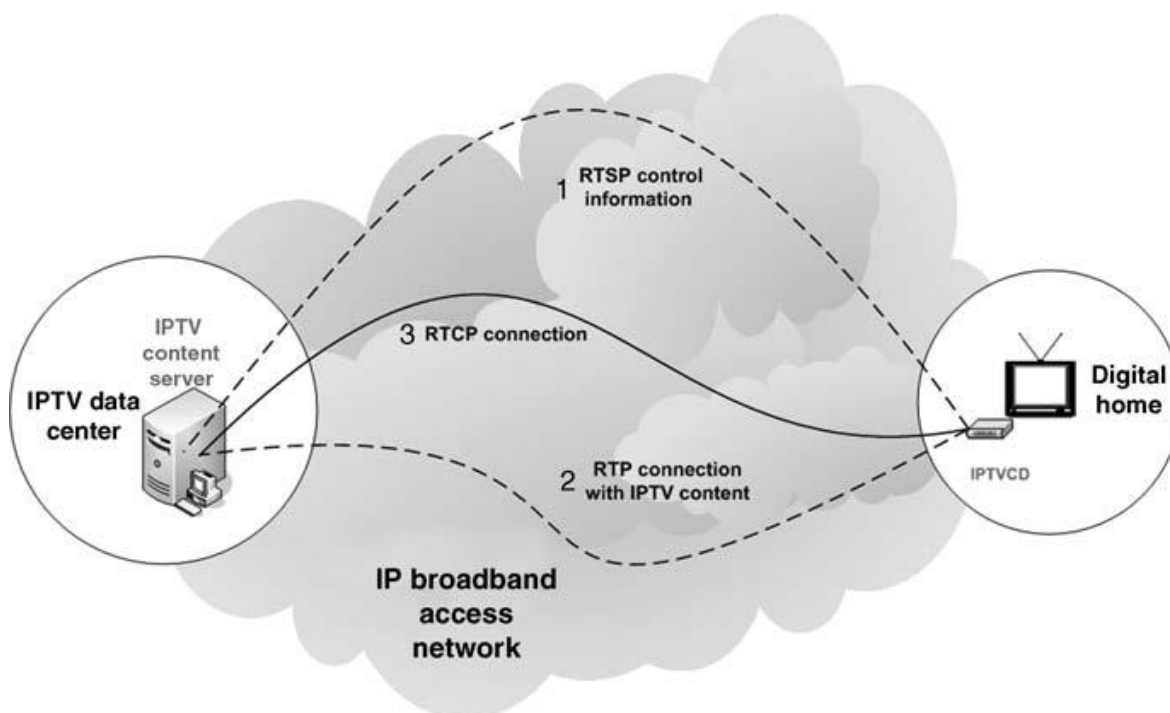
Το RTSP λειτουργεί σε συνδυασμό με το RTP για τη διανομή του IPTV περιεχομένου στο δίκτυο καθώς η μεταφορά αυτού του περιεχομένου δεν είναι αρμοδιότητα του RTSP [16]. Είναι ένα πρωτόκολλο του επιπέδου εφαρμογών του TCP/IP μοντέλου το οποίο επιτρέπει στις IPTVCDs την εγκαθίδρυση και τον έλεγχο των IPTV ροών. Επιτρέπει δηλαδή στις IPTVCDs τη χρήση VCR εντολών (play, pause record, teardown, κ.λπ.) προς τον IPTV server.

Το RTSP λειτουργεί με τη χρήση ενός client - server μοντέλου. Το μοντέλο αυτό το οποίο παρουσιάζεται στο σχήμα 2.7 χρησιμοποιεί τρεις συνδέσεις για την παροχή επικοινωνίας μεταξύ του RTSP client στην IPTVCD και του VoD server οι οποίες είναι οι εξής:

- Η πρώτη σύνδεση ορίζεται για την μεταφορά των RTSP πληροφοριών ελέγχου.
- Η δεύτερη σύνδεση είναι μια RTP σύνδεση για τη μεταφορά του κωδικοποιημένου IPTV περιεχομένου.

- Η τρίτη σύνδεση φέρει feedback πληροφορίες στο server για την ποιότητα της ροής που διενεμήθη σε μια IPTVCD [15].

Το RTSP υποστηρίζει τόσο τη unicast όσο και τη multicast διανομή για τον έλεγχο των on demand και των real-time ροών. Ωστόσο στη multicast διανομή δεν υποστηρίζονται οι rewind και fast forward λειτουργίες. Το RSTP στοχεύει να παρέχει τις ίδιες υπηρεσίες κατά τη διανομή βίντεο και ήχου, με αυτές που προσφέρει το HTTP για τις ροές κειμένων και γραφικών. Ωστόσο σε αντίθεση με το HTTP το οποίο είναι ένα ασύμμετρο πρωτόκολλο στο οποίο ένας client αποστέλλει αιτήματα και ο server αποκρίνεται, στο RTSP είναι δυνατή η αποστολή αιτημάτων και από το server. Επιπλέον ενώ το HTTP χρησιμοποιεί το “<http://>” αναγνωριστικό, ενώ το RTSP χρησιμοποιεί το “rtsp” για τον εντοπισμό ενός συγκεκριμένου VoD περιεχομένου [16].



Σχήμα 2.7 RTSP μοντέλο επικοινωνίας [15]

#### 2.3.3.4 Resource Reservation Protocol

Το RSVP πρωτόκολλο το οποίο λειτουργεί πάνω από το IP, στο επίπεδο μεταφοράς του TCP/IP μοντέλου, στοχεύει στη διασφάλιση της ποιότητας μετάδοσης. Το RSVP δεν αποτελεί πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων αλλά μοιάζει με το IGMP (Internet Group Membership Protocol) και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης χωρίς ωστόσο να αποτελεί πρωτόκολλο δρομολόγησης αλλά ουσιαστικά είναι διαλειτουργικό με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Με το πρωτόκολλο αυτό ο χρήστης μπορεί να απαιτήσει από το δίκτυο την παροχή συγκεκριμένου εύρους ζώνης καθώς και τη μέγιστη καθυστέρηση που μπορεί να ανεχθεί για το περιεχόμενο που πρόκειται να λάβει. Οι real-time εφαρμογές χρησιμοποιούν το RSVP για τη δέσμευση των απαραίτητων πόρων στους δρομολογητές έτσι ώστε το απαιτούμενο εύρος ζώνης να είναι διαθέσιμο όταν ξεκινήσει η μετάδοση [16].

Τα κύρια χαρακτηριστικά του RSVP είναι τα εξής:

- **Υποστήριξη ετερογενών δεσμεύσεων.** Σε μια multicast διανομή κάθε δέκτης μπορεί να ζητήσει διαφορετικό επίπεδο ποιότητα υπηρεσίας.
- **Δυναμική μεταβολή της ποιότητας υπηρεσίας.** Ανά πάσα στιγμή κάθε δέκτης μπορεί να μεταβάλλει τις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας μιας ροής χωρίς να είναι απαραίτητη η προσωρινή κατάργηση και η εκ νέου επανεγκατάστασή της.
- **Δέσμευση πόρων του δικτύου από το δέκτη της ροής και όχι από τον πομπό.** Ο δέκτης μπορεί να ζητήσει τη δέσμευση λιγότερων πόρων από ότι ορίζεται στο προφίλ κίνησης του πομπού.

Ο πομπός στέλνει ένα PATH μήνυμα προκειμένου να ενημερώσει το δέκτη αλλά και τους ενδιάμεσους δρομολογητές για τα χαρακτηριστικά της κίνησης που πρόκειται να εκπέμψει. Ένα συγκεκριμένο PATH μήνυμα μπορεί να αποστέλλεται σε περισσότερους των ένα δεκτών οι οποίοι θα πρέπει ανήκουν στην multicast ομάδα για να το λάβουν [16]. Εν συνεχεία ο δέκτης αποστέλλει ένα RESV μήνυμα για τη δέσμευση των αντιστοίχων πόρων. Το RESV μήνυμα περιέχει το μέγεθος των πόρων που απαιτεί ο δέκτης να δεσμεύσει από το δίκτυο για την ροή πακέτων που περιγράφεται από το PATH μήνυμα που έλαβε. Η επεξεργασία του RESV μηνύματος στους ενδιάμεσους δρομολογητές περιλαμβάνει δύο ελέγχους. Την εξακρίβωση της ταυτότητας του δέκτη, τον έλεγχο του δικαιώματος του δέκτη

δέσμευσης των πόρων από το δίκτυο (Policy Control) καθώς και την εξακρίβωση της ύπαρξης αρκετών διαθέσιμων εσωτερικών πόρων για την εξυπηρέτηση της συγκεκριμένης δέσμευσης (Flow Admission Control). Εάν ένας από τους δύο ελέγχους αποτύχει, αποστέλλεται το κατάλληλο μήνυμα σφάλματος (RESV\_ERR) στο δέκτη που ζήτησε τη συγκεκριμένη δέσμευση πόρων. Σε αντίθετη περίπτωση το RESV μήνυμα αποστέλλεται στον επόμενο δρομολογητή. Κάποιοι δρομολογητές λαμβάνουν περισσότερα του ενός RESV μηνύματα για το ίδιο PATH μήνυμα. Στην περίπτωση αυτή ο δρομολογητής αποστέλλει στον επόμενο δρομολογητή μόνο ένα RESV μήνυμα του οποίου η τιμή για το εύρος ζώνης που πρέπει να δεσμευθεί θα είναι η μεγαλύτερη των υπολοίπων RESV μηνυμάτων που έλαβε ο συγκεκριμένος δρομολογητής.

## 2.4 Επίλογος

Η VoIP τεχνολογία χρησιμοποιεί το IP πρωτόκολλο για τη διανομή των πακέτων φωνής μέσω των IP δικτύων. Για τη σύνδεση του συνδρομητή με τους φορείς παροχής των VoIP υπηρεσιών είναι απαραίτητη η χρήση μιας ATA συσκευής για τη σύνδεση ενός αναλογικού τηλεφώνου σε ένα IP δίκτυο, η χρήση ενός VoIP τηλεφώνου για τη διεξαγωγή VoIP κλήσεων χωρίς τη χρήση κάποιου Η/Υ ή απλά η χρήση ενός λογισμικού που εγκαθίσταται στον Η/Υ. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της είναι η φορητότητα και το χαμηλό κόστος, ωστόσο η αξιοπιστία της επηρεάζεται από την ποιότητα της ευρυζωνικής σύνδεσης και από τους περιορισμούς που τίθενται από τους Η/Υ. Επιπλέον η υπηρεσία αυτή δεν καθίσταται διαθέσιμη στην περίπτωση διακοπής της ηλεκτρικής ενέργειας. Για την εγκαθίδρυση μιας διαδρομής και τη μετάδοση της φωνής μέσα από ένα IP δίκτυο η VoIP τεχνολογία χρησιμοποιεί τα H.323 και SIP πρωτόκολλα σηματοδότησης. Οι τεχνικές μέτρησης της ποιότητας του ήχου μιας VoIP κλήσης είναι η MOS και η PSQM. Καθώς η κρυπτογράφηση δεν είναι πολύ συνήθης από το SIP πρωτόκολλο το οποίο ελέγχει την επικύρωση των VoIP κλήσεων, οι χρήστες εκτίθενται σε διάφορες παραβιάσεις ασφαλείας. Για τη χρήση της υπηρεσίας έκτακτης ανάγκης (911) από τους VoIP χρήστες, είναι απαραίτητο κάθε φορά που αλλάζει η τοποθεσία από την οποία χρησιμοποιείται η υπηρεσία αυτή να

δηλώνεται εκ νέου η φυσική διεύθυνση τους, κάτι το οποίο δεν ισχύει στην περίπτωση των PSTN δικτύων.

Η Video on Demand υπηρεσία οποία επιτρέπει στους χρήστες να επιλέξουν και να παρακολουθήσουν το οπτικοακουστικό περιεχόμενο που επιθυμούν σε πραγματικό χρόνο ή την επιθυμητή χρονική στιγμή. Τα VoD συστήματα συνήθως διανέμουν το περιεχόμενο σε ένα set-top box, για την αναπαραγωγή του από έναν τηλεοπτικό δέκτη και ο χρήστης διαθέτει τη δυνατότητα χρήσης ενός πλήθους VCR λειτουργιών όπως η pause, η fast forward και η fast rewind. Η VoD τεχνολογία παρέχει ένα ευρύ φάσμα on demand εφαρμογών όπως είναι η αποθήκευση, η καταγραφή και η αγορά του ψηφιακού περιεχομένου από ένα VoD server στο σκληρό δίσκο του εξοπλισμού του συνδρομητή. Επιπλέον παρέχει τη δυνατότητα της κατά προτίμησης αύξησης της χωρητικότητας του δικτύου του για τη μεταφόρτωση εφαρμογών περιεχομένου υψηλής ευκρίνειας καθώς και την πρόσβαση στο on demand περιεχόμενο μέσα από το διαδίκτυο. Οι VoD servers χρησιμοποιούν μια εφαρμογή λογισμικού για την εγκαθίδρυση, τον τερματισμό, τη βελτιστοποίηση των διεργασιών διανομής του VoD περιεχομένου, τον προσδιορισμό του κατάλληλου VoD server, τη μέτρηση της απόδοσης του VoD συστήματος, τη διαχείριση της αντιγραφής και την ενημέρωση του ψηφιακού περιεχομένου. Επιπλέον οι VoD servers χρησιμοποιούν διάφορα πρωτόκολλα όπως το Real-time Transport Protocol και το Real -Time Control Protocol για τη διανομή των ροών βίντεο στις IPTVCDs, κατόπιν το RTSP πρωτόκολλο για τον έλεγχο των ροών αυτών καθώς και το Resource Reservation Protocol για τη διασφάλιση της ποιότητας μετάδοσης.

## 2.5 Βιβλιογραφία

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Voice\\_over\\_Internet\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Voice_over_Internet_Protocol) (Τελευταία πρόσβαση 14/04/2010)
- [2] [http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wimax\\_VoIP/index.html](http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wimax_VoIP/index.html) (Τελ. πρόσβ. 14/04/2010)
- [3] <http://www.fcc.gov/VoIP/> (Τελευταία πρόσβαση 21/04/2010)
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/H.323> (Τελευταία πρόσβαση 14/04/2010)
- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/Session\\_Initiation\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Session_Initiation_Protocol) (Τελευταία πρόσβαση 18/04/2010)
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/Softswitch> (Τελευταία πρόσβαση 16/04/2010)
- [7] [http://en.wikipedia.org/wiki/Media\\_Gateway](http://en.wikipedia.org/wiki/Media_Gateway) (Τελευταία πρόσβαση 16/04/2010)
- [8] <http://www.VoIPplanet.com/backgrounders/article.php/3555296> (Τελ. πρόσβ. 16/04/2010)
- [9] <http://www.VoIP-info.org/wiki/view/QoS> (Τελευταία πρόσβαση 14/04/2010)
- [10] [http://el.wikipedia.org/wiki/Man-in-the-middle\\_attack](http://el.wikipedia.org/wiki/Man-in-the-middle_attack) (Τελευταία πρόσβαση 14/04/2010)
- [11] <http://VoIP.about.com/od/security/a/SecuThreats.html> (Τελευταία πρόσβαση 14/04/2010)
- [12] <http://www.vonage.com/911/> (Τελευταία πρόσβαση 21/04/2010)
- [13] [http://searchtelecom.techtarget.com/sDefinition/0,,sid103\\_gci1264507,00.html](http://searchtelecom.techtarget.com/sDefinition/0,,sid103_gci1264507,00.html) (Τελευταία πρόσβαση 29/04/2010)
- [14] [http://en.wikipedia.org/wiki/Video\\_on\\_demand](http://en.wikipedia.org/wiki/Video_on_demand) (Τελευταία πρόσβαση 29/04/2010)
- [15] O'Driscoll G. (2008), Next Generation IPTV Services and Technologies, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- [16] [http://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-97/ftp/ip\\_multimedia/index.htm#rtp](http://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-97/ftp/ip_multimedia/index.htm#rtp) (Τελευταία πρόσβαση 25/04/2010)
- [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/Real-time\\_Transport\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_Transport_Protocol) (Τελευταία πρόσβαση 25/04/2010)
- [18] [http://en.wikipedia.org/wiki/User\\_Datagram\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol) (Τελευταία πρόσβαση 25/04/2010)
- [19] [http://en.wikipedia.org/wiki/RTP\\_Control\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/RTP_Control_Protocol) (Τελευταία πρόσβαση 25/04/2010)



---

# Κεφάλαιο 3

## Internet Protocol Television

---

### 3.1 Εισαγωγή

Το ακρώνυμο IPTV, γνωστό και ως TELCO TV ή ευρυζωνική τηλεόραση, περιγράφει την ασφαλή μετάδοση υψηλής ποιότητας τηλεοπτικού σήματος και ήχου διαμέσου ενός ευρυζωνικού ιδιωτικού δικτύου. Ο επίσημος ορισμός που αποδίδεται από την ITU FG IPTV (International Telecommunication Union Focus Group on IPTV), χαρακτηρίζει την IPTV τεχνολογία ως ένα σύνολο διανομής πολυμεσικών υπηρεσιών όπως αυτών της τηλεόρασης, του βίντεο, του ήχου, του κείμενου και των γραφικών που μεταδίδονται μέσω IP δίκτυων, για τη παροχή του απαιτούμενου επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας, ποιότητας εμπειρίας (Quality of Experience - QoE), ασφάλειας, αλληλεπίδρασης και αξιοπιστίας.

Από την προοπτική του χρήστη, η IPTV τεχνολογία μοιάζει να λειτουργεί ακριβώς όπως η υπηρεσία της συνδρομητικής τηλεόρασης, ενώ από την προοπτική ενός φορέα παροχής υπηρεσιών περιλαμβάνει τη λήψη, την επεξεργασία, και την ασφαλή διανομή περιεχομένου βίντεο διαμέσου ενός IP δικτύου.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της IPTV τεχνολογίας διακρίνονται στα εξής:

- **Υποστήριξη αλληλεπιδραστικής τηλεόρασης.** Οι διπλής κατεύθυνσης ικανότητες των IPTV συστημάτων επιτρέπουν στους φορείς παροχής υπηρεσιών τη μετάδοση ενός συνόλου αλληλεπιδραστικών εφαρμογών τηλεόρασης, όπως τη μετάδοσης τηλεοπτικών προγραμμάτων (standard live TV) και προγραμμάτων υψηλής ευκρίνειας, εφαρμογές αλληλεπιδραστικών παιχνιδιών και την υψηλής ταχύτητας περιήγηση στο διαδίκτυο.
- **Time shifting.** Η IPTV τεχνολογία σε συνδυασμό με τη χρήση ενός ψηφιακού καταγραφέα βίντεο, επιτρέπει τη χρονική μετατόπιση του περιεχομένου ενός προγράμματος. Παρέχει δηλαδή ένα μηχανισμό καταγραφής και αποθήκευσης του IPTV περιεχομένου για τη προβολή του στην επιθυμητή χρονική στιγμή.
- **Προσωποποίηση συνηθειών του χρήστη.** Ένα IPTV σύστημα το οποίο υποστηρίζει την αμφίδρομη επικοινωνία επιτρέπει στους χρήστες του την προσωποποίηση των συνηθειών τους παρέχοντάς τους τη δυνατότητα να αποφασίσουν τι θέλουν να παρακολουθήσουν και πότε.
- **Χαμηλή απαίτηση εύρους ζώνης.** Σε αντίθεση με τη μετάδοση κάθε επιμέρους καναλιού στο χρήστη όπως συνέβαινε μέχρι τώρα από τα

παραδοσιακά συστήματα τηλεόρασης, η IPTV τεχνολογία επιτρέπει στους φορείς παροχής υπηρεσιών τη μετάδοση μόνο των καναλιών τα οποία ο χρήστης επιθυμεί. Αυτό το ελκυστικό χαρακτηριστικό γνώρισμα επιτρέπει στους χειριστές δικτύων την εξοικονόμηση εύρους ζώνης των δικτύων τους.

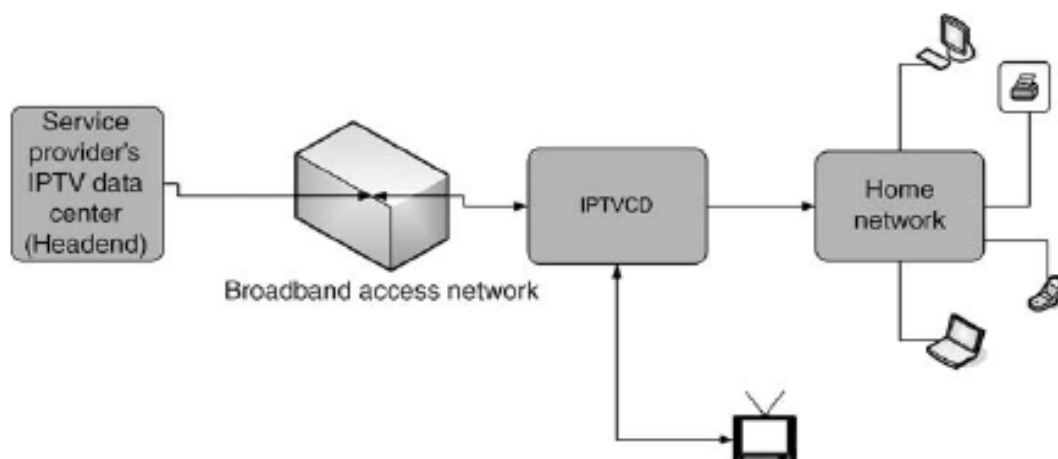
- **Προσβασιμότητα από πλήθος διαφορετικών συσκευών.** Γενικά η μετάδοση του τηλεοπτικού περιεχομένου μέσω της τεχνολογίας αυτής δε περιορίζεται μόνο στη χρήση των τηλεοράσεων. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτό και μέσω των Η/Υ τους, των κινητών τηλεφώνων ή άλλων φορητών συσκευών [1].

### 3.2 Διαφορές μεταξύ IPTV και Internet TV

Είναι σύνηθες να επικρατεί μία σύγχυση μεταξύ της IPTV μετάδοσης και της Internet TV μετάδοσης. Αν και τα δύο αυτά περιβάλλοντα βασίζονται στον ίδιο τεχνολογικό πυρήνα διαφέρουν στους εξής τομείς:

- **Διαφορετικές πλατφόρμες μετάδοσης υπηρεσιών.** Ενώ στην περίπτωση της τηλεόρασης μέσω Internet χρησιμοποιείται το διαδίκτυο για τη μετάδοση περιεχομένου στους χρήστες, η IPTV χρησιμοποιεί ασφαλή ιδιωτικά δίκτυα με τη λειτουργία τους να ρυθμίζεται από τον πάροχο των IPTV υπηρεσιών.
- **Γεωγραφική κάλυψη.** Τα δίκτυα που ελέγχονται από τηλεπικοινωνιακούς φορείς δεν είναι προσπελάσιμα από τους χρήστες του διαδικτύου και καλύπτουν κάποιες συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, εν αντιθέσει οι χρήστες του διαδικτύου δε συναντούν γεωγραφικούς περιορισμούς και μπορούν να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες τηλεόρασης από κάθε σημείο του πλανήτη.
- **Ποιότητα μετάδοσης.** Όταν ένα βίντεο αποστέλλεται μέσω του διαδικτύου, κάποια από τα πακέτα ενδέχεται να καθυστερήσουν ή να χαθούν κατά τη μεταφορά του σε κάποιο από τα δίκτυα από τα οποία απαρτίζεται το διαδίκτυο. Κατά συνέπεια οι προμηθευτές αυτών των βίντεο δεν μπορούν να εγγυηθούν την αντίστοιχη ποιότητα μετάδοσης με αυτήν της επίγειας καλωδιακής ή της δορυφορικής τηλεόρασης.

- **Μηχανισμός προσπέλασης.** Για την προσπέλαση και την αποκωδικοποίηση του περιεχομένου που μεταδίδεται μέσω ενός IPTV συστήματος απαιτείται πάντοτε ένας ψηφιακός μετασχηματιστής, με τον ίδιο τρόπο που απαιτείται σχεδόν πάντα ένας υπολογιστής για την προσπέλαση των υπηρεσιών της διαδικτυακής τηλεόρασης. Ο τύπος του λογισμικού που χρησιμοποιείται από τον υπολογιστή εξαρτάται από το περιεχόμενο της διαδικτυακής τηλεόρασης και συνήθως είναι ένας media player. Επιπλέον απαιτείται ένα ισχυρό ψηφιακό σύστημα διαχείρισης δικαιωμάτων (Digital Rights Management - DRM) για την υποστήριξη αυτού του μηχανισμού πρόσβασης.
- **Κόστος.** Ενώ οι χρήστες της IPTV τεχνολογίας καλούνται να πληρώσουν κάποια συνδρομή, ένα μεγάλο μέρος του τηλεοπτικού περιεχομένου που διανέμεται μέσω του δημόσιου διαδικτύου διατίθεται στους χρήστες δωρεάν. Ωστόσο αυτό με την πάροδο του χρόνου αλλάζει, καθώς ολοένα αυξανόμενος είναι ο αριθμός των επιχειρήσεων που εισάγουν κάποια συνδρομή στις υπηρεσίες της Internet TV. Η κοστολόγηση που εφαρμόζεται στις IPTV υπηρεσίες είναι όμοια με αυτή της μηνιαίας συνδρομής που εφαρμόζεται από τους προμηθευτές της συνδρομητικής τηλεόρασης. Ωστόσο αναλυτές επισημαίνουν ότι στο μέλλον θα υπάρξει σύγκλιση των εννοιών της IPTV και της Internet TV.
- **Μεθοδολογίες παραγωγής περιεχομένου.** Ένα μεγάλο μέρος του περιεχομένου που μεταδίδεται μέσω της Internet TV παράγεται από τους ίδιους τους χρήστες (User Generated Content - UGC), ενώ οι πάροχοι της IPTV τεχνολογίας περιορίζονται γενικότερα στη διανομή τηλεοπτικών προγραμμάτων και ταινιών οι οποίες παρέχονται από εταιρείες μέσω μαζικής ενημέρωσης [1].



Σχήμα 3.1 Απλοποιημένο διάγραμμα ενός IPTV συστήματος [1]

### 3.3 Δομή ενός δικτύου IPTV

Οι οντότητες οι οποίες συνθέτουν ένα IPTV δίκτυο όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.1 είναι οι ακόλουθες:

- **IPTV Data Center.** Το κέντρο δεδομένων ενός IPTV συστήματος, γνωστό επίσης και ως “άνω άκρο” (headend) λαμβάνει τα προς μετάδοση δεδομένα από ένα πλήθος πηγών όπως αυτές των παραγωγών περιεχομένου, των καλωδιακών και των δορυφορικών καναλιών. Κατόπιν της ολοκλήρωσης της λήψης περιεχομένου, ένα σύνολο συσκευών όπως κωδικοποιητές, βίντεο servers, IP δρομολογητές καθώς και υλικό ασφαλείας χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία του προς μετάδοση τηλεοπτικού περιεχομένου μέσω του IP δικτύου. Η φυσική θέση του IPTV data center υπαγορεύεται από την υποδομή του δικτύου που χρησιμοποιείται από τον εκάστοτε φορέα παροχής υπηρεσιών. Επιπλέον απαιτείται ένα σύστημα διαχείρισης συνδρομητών για τη διαχείριση του προφίλ και του λογαριασμού συνδρομής τους.
- **Broadband Delivery Network.** Η παροχή των IPTV υπηρεσιών απαιτεί μία point-to-point σύνδεση για κάθε συνδρομητή. Στην περίπτωση των μεγάλων IPTV συστημάτων οι απαιτήσεις εύρους ζώνης του δικτύου αυξάνονται σημαντικά. Η τεχνολογική πρόοδος των δικτύων τα τελευταία χρόνια επιτρέπει στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους τη χρήση μεγάλων ευρυζωνικών δικτύων μετάδοσης για τη κατάλληλη

διανομή του IPTV περιεχομένου, όπως είναι αυτά των ομοαξονικών καλωδίων και των οπτικών ινών.

- **IPTV Consumer Devices.** Ο εξοπλισμός των IPTV συνδρομητών συνδέεται με το ευρυζωνικό δίκτυο, επιτρέποντας έτσι τη πρόσβαση τους στις IPTV υπηρεσίες. Παράδειγμα τέτοιων συσκευών αποτελούν τα IP set-top boxes, οι κονσόλες παιχνιδιών και οι media servers. Οι συσκευές αυτές είναι υπεύθυνες για την αποκωδικοποίηση και την επεξεργασία των εισερχόμενων ροών. Επίσης υποστηρίζουν προηγμένες τεχνολογίες που ελαχιστοποιούν ή εξαλείφουν πλήρως την επίδραση των προβλημάτων των δικτύων κατά την επεξεργασία του IPTV περιεχομένου. Με τη βελτίωση των ευρυζωνικών δικτύων απαιτείται και η αντίστοιχη βελτίωση των IPTVCDs.
- **Home Network.** Ένα οικιακό δίκτυο συνδέει τις διάφορες ψηφιακές συσκευές στα πλαίσια μιας μικρής γεωγραφικής περιοχής, παρέχοντας προσπέλαση σε πληροφορίες φωνής, ήχου, δεδομένων και ψυχαγωγίας μέσα από ένα πλήθος διαφορετικών ψηφιακών συσκευών. Στόχος του είναι η βελτίωση της επικοινωνίας μέσω του διαμοιρασμού των ψηφιακών πόρων. Έτσι οι συνδρομητές μπορούν να εξοικονομήσουν χρόνο και χρήματα αφού συσκευές όπως οι εκτυπωτές, οι σαρωτές και οι ευρυζωνικές συνδέσεις διαδικτύου μπορούν να διαμοιραστούν [1].

### 3.4 Βασικές υπηρεσίες IPTV

Οι δύο βασικοί τύποι εφαρμογών που παρέχονται από την IPTV τεχνολογία είναι αυτές της εκπομπής ψηφιακής τηλεόρασης και της κατ' απαίτησης μετάδοση περιεχομένου (Content on Demand - CoD).

#### 3.4.1 Εκπομπή ψηφιακής τηλεόρασης

Το 1941, η εθνική επιτροπή τηλεοπτικών συστημάτων (National Television System Committee - NTSC) στις Ηνωμένες Πολιτείες ανέπτυξε ένα σύνολο οδηγιών (πρότυπα εκπομπής) για τη μετάδοση της ηλεκτρονικής τηλεόρασης. Η ομοσπονδιακή επιτροπή επικοινωνιών (Federal Communications Commission -

FCC) υιοθέτησε τις νέες αυτές οδηγίες και κατά αυτόν τον τρόπο ξεκίνησε η εκπομπή της τηλεόρασης. Το πρώτο NTSC πρότυπο αναπτύχθηκε το 1941 και προοριζόταν για την ασπρόμαυρη μετάδοση. Το 1953 υιοθετήθηκε μια δεύτερη τροποποιημένη έκδοση του αρχικού προτύπου η οποία επέτρεπε την έγχρωμη εκπομπή και η οποία ήταν συμβατή με τους υπάρχοντες ασπρόμαυρους δέκτες. Η έννοια του NTSC ταυτίζεται με τη τεχνολογία του αναλογικού συστήματος μετάδοσης τηλεόρασης και αποτέλεσε το πρώτο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα έγχρωμης εκπομπής στις περισσότερες των περιοχών της Αμερικής, την Ιαπωνία, τη Νότια Κορέα και την Ταϊβάν. Η Ιαπωνία υιοθέτησε τα NTSC πρότυπα τη δεκαετία του '60 ενώ στο τέλος αυτής η Ευρώπη εισήγαγε δύο νέα πρότυπα αναλογικής τηλεοπτικής μετάδοσης, το SECAM (Systeme Electronique Couleur Avec Memoire) για την εκπομπή στη Γαλλία, την Ανατολική Ευρώπη και τη Μέση Ανατολή και το PAL (Phase Alternating Line) το οποίο αποτελεί το κυρίαρχο πρότυπο μετάδοσης στην Ευρώπη. Μετά από μια περίοδο χρήσης μεγαλύτερη των πενήντα ετών, η πλειοψηφία των μεταδόσεων του NTSC συστήματος αντικαταστάθηκε από το ATSC (Advanced Television Systems Committee) σύστημα ψηφιακής μετάδοσης. Ο πρώτος έγχρωμος τηλεοπτικός δέκτης με ενσωματωμένη τεχνολογία επεξεργασίας ψηφιακού σήματος ήταν διαθέσιμη στην αγορά το 1983. Η αρχή για τη μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση έγινε με την υπογραφή του νόμου του 1996 (Telecommunications Act of 1996) [2]. Το ίδιο έτος η FCC όρισε το ATSC πρότυπο για την ψηφιακή τηλεοπτική μετάδοση.

Οι χρήστες της ψηφιακής τηλεόρασης απολαμβάνουν μια σειρά πλεονεκτημάτων έναντι αυτών της αναλογικής τηλεόρασης τα οποία είναι:

- **Βελτιωμένη εμπειρία τηλεθέασης.** Η εμπειρία τηλεθέασης βελτιώνεται μέσω εικόνων κινηματογραφικής ποιότητας και ήχου ποιότητας αντίστοιχης ενός CD. Ακόμη παρέχονται εκατοντάδες νέων καναλιών με δυνατότητα αλλαγής γωνίας θέασης-λήψης της κάμερας και προσπέλαση σε μια σειρά νέων υπηρεσιών ψυχαγωγίας, χωρίς τη παρουσία των “ρωγμών” της εικόνας όπου συναντάται στα αναλογικά συστήματα τηλεόρασης.
- **Βελτιωμένη κάλυψη.** Τόσο τα αναλογικά όσο και τα ψηφιακά σήματα εξασθενούν με την αύξηση της απόστασης. Ωστόσο ενώ η εικόνα σε ένα αναλογικό σύστημα τηλεόρασης υποβαθμίζεται σταδιακά με την αύξηση της

απόστασης από το σημείο εκπομπής, η ποιότητα εικόνας της ψηφιακής τηλεόρασης παραμένει σταθερή έως ότου η λήψη του ψηφιακού σήματος να καθίσταται αδύνατη.

- **Αυξημένη χωρητικότητα και παροχή νέων υπηρεσιών.** Μέσω της ψηφιακής τεχνολογίας οι φορείς παροχής υπηρεσιών έχουν τη δυνατότητα μετάδοσης περισσότερων πληροφοριών μέσω της συμπίεσης του περιεχομένου. Με τη λειτουργία της συμπίεσης τα δεδομένα καταλαμβάνουν μικρότερο εύρος ζώνης από αυτό που συνήθως απαιτείται από τα αναλογικά συστήματα. Το εναπομείναν εύρος ζώνης μπορεί να αξιοποιηθεί για VoD υπηρεσίες, για υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, διαδικτύου, αλληλεπιδραστικής εκπαίδευσης καθώς και για την παροχή αλληλεπιδραστικών εμπορικών υπηρεσιών.

- **Αυξημένη ευελιξία πρόσβασης.** Ενώ στο παρελθόν τα αναλογικά συστήματα τηλεόρασης εξέπεμπαν μόνο μέσω του παραδοσιακού τηλεοπτικού δέκτη, σήμερα η πρόσβαση αυτή διευρύνεται μέσα από πλήθος συσκευών όπως είναι αυτές των κινητών τηλεφώνων και των ηλεκτρονικών υπολογιστών [1].

#### 3.4.1.1 Οργανισμοί τυποποίησης ψηφιακής τηλεόρασης

Μερικοί από τους πιο γνωστούς διεθνείς οργανισμούς που συμβάλλουν στην τυποποίηση της ψηφιακής τηλεόρασης είναι οι:

- **ATSC.** Η προηγμένη επιτροπή τηλεοπτικών συστημάτων συστάθηκε το 1982 από τις οργανώσεις των μελών της JCIC (Joint Committee on Intersociety Coordination) όπως είναι το IEEE, για την καθιέρωση ενός συνόλου τεχνικών προτύπων αναμετάδοσης τηλεοπτικών σημάτων στην περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών. Σήμερα η ATSC αριθμεί 163 μέλη [3] τα οποία σχετίζονται με τον τομέα της εκπομπής, τον εξοπλισμό, τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τα μέσα μετάδοσης όπως καλώδια και δορυφόροι και τις βιομηχανίες ημιαγωγών. Η ψηφιακή τηλεόραση αποτελείται από 18 formats που έχουν γίνει αποδεκτά από την ATSC. Σε αυτά περιλαμβάνονται η Standard Definition (SD) και η High Definition τεχνικές εκπομπής. Τα ATSC πρότυπα καλύπτουν την απευθείας μετάδοσης δορυφορικών σημάτων σε οικιακό περιβάλλον στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ένα ATSC σύστημα μπορεί να υποστηρίξει τόσο τον ψηφιακό όσο και τον αναλογικό τρόπο μετάδοσης. Η επίσημη εφαρμογή



της ψηφιακής τηλεόρασης στις ΗΠΑ, με το σύνολο αυτών των προτύπων να έχει αντικαταστήσει ένα μεγάλο μέρος του NTSC αναλογικού τηλεοπτικού συστήματος έγινε στις 12 Ιουνίου 2009. Στον Καναδά το NTSC προβλέπεται να αντικατασταθεί μέχρι τις 31 Αυγούστου 2011 και μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2021 στο Μεξικό [4]. Επιπλέον η Νότια Κορέα, η Ταϊβάν, και η Αργεντινή έχουν συμφωνήσει στη χρήση αυτών των προτύπων.

- **DVB (Digital Video Broadcasting)**. Ο DVB οργανισμός εγκαινιάστηκε το 1993 και σήμερα αποτελεί μια κοινοπραξία τριακοσίων περίπου επιχειρήσεων στους τομείς της εκπομπής, της κατασκευής, της λειτουργίας δικτύων, και της καθιέρωσης κοινών διεθνών προτύπων για τη μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση. Το αποτέλεσμα της εργασίας των μελών αυτού του οργανισμού είναι ένα σύνολο προδιαγραφών για την υλοποίηση της ψηφιακής τηλεόρασης σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Τα DVB πρότυπα καλύπτουν όλες τις πτυχές της ψηφιακής τηλεόρασης όπως τη μετάδοση μέσω διεπαφών, την ασφάλεια και την αλληλεπίδραση για το ψηφιακό βίντεο, τον ήχο, και τα δεδομένα. Οι διαφορετικές προσεγγίσεις εκπομπής τηλεόρασης (καλωδιακή, επίγεια, δορυφορική) κάνουν χρήση διαφορετικών DVB προτύπων. Η διαφορά αυτών των προτύπων έγκυται στα διαφορετικά σχήματα διαμόρφωσης και στους διαφορετικούς κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων που χρησιμοποιούν. Τα DVB πρότυπα είναι ανοικτά και έτσι όλοι οι κατασκευαστές μπορούν να εγγυηθούν ότι ο ψηφιακός εξοπλισμός τους θα είναι διαλειτουργικός με τον εξοπλισμό άλλων κατασκευαστών. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην Ευρώπη αλλά μπορούν να εφαρμοστούν στη βόρεια και νότιο Αμερική, την Κίνα, την Αφρική, την Ασία, και την Αυστραλία. Κατά τη διάρκεια του 2008 ο DVB έχει μελετήσει τις πτυχές του ενδεχομένου παροχής τρισδιάστατης τηλεόρασης. Μια τεχνική έκθεση αυτής της μελέτης που έχει οριστικοποιηθεί πρόσφατα οδήγησε στην επίσημη δημιουργία της TM-3DTV ομάδας [5].

- **ARIB (Association of Radio Industries and Businesses)**. Ο ARIB είναι ένας οργανισμός τυποποίησης της Ιαπωνίας [6], ο οποίος πραγματοποιεί μελέτες και έρευνες, συνεργάζεται με άλλους διεθνείς οργανισμούς και ορίζει έναν αριθμό προτύπων που σχετίζονται με την κωδικοποίηση βίντεο, ήχου και την πολύπλεξη στο τομέα εκπομπής της ψηφιακής τηλεόρασης. Επίσης παρέχει υπηρεσίες διαβουλευσεως για την αποδοτική χρήση του φάσματος και υπηρεσίες

υποστήριξης αλλαγής των συχνοτήτων για την ομαλή εισαγωγή στην εκπομπή ψηφιακής τηλεόρασης [1].

### **3.4.2 Video on Demand (VoD)**

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακές υπηρεσίες τηλεόρασης όπου το τηλεοπτικό περιεχόμενο (μαγνητοσκοπημένα βίντεο) μεταδίδεται βάση ενός προκαθορισμένου χρονικά προγράμματος, η VoD υπηρεσία παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να επιλέξουν, να μεταφορτώσουν και έπειτα να παρακολουθήσουν το πρόγραμμα που τους ενδιαφέρει μέσα από μία βιβλιοθήκη αποθηκευμένων τίτλων περιεχομένου.

### **3.5 Παράγοντες ανάπτυξης IPTV**

Πολλοί είναι οι παράγοντες που συμβάλουν έτσι ώστε η τεχνολογία της IPTV να αποτελεί εμπορικά και τεχνολογικά μια δυνατή πραγματικότητα. Στον τεχνολογικό τομέα η στροφή από τον αναλογικό στον ψηφιακό τρόπο μετάδοσης από τους φορείς παροχής υπηρεσιών, η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών για την καταγραφή και την αποθήκευση του περιεχομένου αλλά και η χρήση αποτελεσματικότερων τεχνολογιών συμπίεσης λόγω της διαθεσιμότητας μεγαλύτερου εύρους ζώνης, ικανοποιούν την ολοένα και αυξανόμενη απαίτηση των χρηστών για τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας. Στον εμπορικό τομέα ο ανταγωνισμός μεταξύ των τηλεπικοινωνιακών εταιρειών οδήγησε στη παροχή IPTV καλύτερων υπηρεσιών στους συνδρομητές τους. Οι IPTV υπηρεσίες σε συνδυασμό με τις υπηρεσίες διαδικτύου και τις τηλεφωνικές υπηρεσίες συνιστούν ένα πακέτο υπηρεσιών το λεγόμενο triple play. Επιπλέον των τηλεπικοινωνιακών εταιρειών η χρήση της IPTV τεχνολογίας είναι επιτρεπτή και διαμέσου εταιρειών δορυφορικής τεχνολογίας. Προς αυτή τη κατεύθυνση βοήθησε και η αύξηση του αριθμού των συνδρομητών των ευρυζωνικών συνδέσεων. Η τεχνολογική πρόοδος έχει εισβάλει στα σπίτια των ανθρώπων διευκολύνοντας τη ζωή τους αλλά και ψυχαγωγώντας τους. Η μείωση του κόστους των Η/Υ, οι κονσόλες παιχνιδιών και οι τηλεοπτικοί δέκτες νέας τεχνολογίας μπορούν να κάνουν χρήση μιας κοινής ολοκληρωμένης υπηρεσίας μέσων ενημέρωσης και ψυχαγωγίας όπως είναι η IPTV [1].

**Πίνακας 3.1** Πρόβλεψη πλήθους IPTV συνδρομητών σε παγκόσμιο επίπεδο, 2005-2010 [1]

|                  | 2005A | 2006A | 2007E | 2008E | 2009E | 2010E | 5 Year CAGR |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Units (millions) | 3.22  | 4.84  | 10.12 | 16.4  | 26.8  | 37.4  | 63.31%      |

Σήμερα η IPTV τεχνολογία αποτελεί κυρίαρχη τάση στο κλάδο των τηλεπικοινωνιών με περίπου 26.8 εκατομμύρια συνδρομητών το 2009 ενώ το 2010 προβλέπεται να αγγίξουν τα 37.4 εκατομμύρια όπως δείχνει και ο πίνακας 3.1.

### 3.6 Οργανισμοί τυποποίησης IPTV

Όπως ισχύει στους τομείς της καλωδιακής και της συνδρομητικής τηλεόρασης, έτσι και στον τομέα της IPTV απαιτείται ο ορισμός ενός συνόλου προτύπων που θα προάγουν τον ανταγωνισμό, τη μείωση των δαπανών που υφίστανται οι συνδρομητές, τη μείωση της σύγχυσης που επικρατεί στην αγορά και γενικότερα τη βελτίωση των προς μετάδοση IPTV υπηρεσιών. Για το σκοπό αυτό έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός οργανισμών πιστοποίησης και βιομηχανιών κοινοπραξίας οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι:

- **DSL Forum.** Το DSL Forum είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός ο οποίος περιλαμβάνει οδηγίες για την ανάπτυξη και επέκταση των DSL δικτύων. Επίσης έχει ορίσει έναν αριθμό συστάσεων οι οποίες σχετίζονται με τον τομέα της βιομηχανίας της IPTV.
- **MPEG (Moving Pictures Experts Group).** Η MPEG είναι μία ομάδα εργασίας του ISO/IEC η οποία έχει υπό την ευθύνη της την ανάπτυξη διεθνών προτύπων συμπίεσης, αποσυμπίεσης, επεξεργασίας και κωδικοποιημένης αναπαραστάσης βίντεο, ήχου ή και του συνδυασμού αυτών. Το 1993 η MPEG ολοκλήρωσε τον ορισμό των εννοιών του MPEG-2 βίντεο, του MPEG-2 ήχου, και των MPEG-2 συστημάτων. Εκτός των προτύπων κωδικοποίησης βίντεο, η ομάδα έχει αναπτύξει επίσης το ISO/IEC 23004 (MPEG-E M3W) πρότυπο middleware. Το MPEG-E

αποτελείται από ένα πλήθος διεπαφών προγραμμάτων εφαρμογής (Application Program Interfaces - APIs) οι οποίες ορίζονται από οκτώ διαφορετικά μέρη όπως φαίνεται από τον πίνακα 3.2 .

- **ETSI** Το ETSI, το 2003 συγκρότησε μια ομάδα τη λεγόμενη TISPAN (Telecoms & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networks) για την ανάπτυξη προδιαγραφών των σταθερών και ασύρματων υποδομών δικτύωσης επόμενης γενιάς. Η TISPAN αποτελείται από υποομάδες οι οποίες εργάζονται για την ανάπτυξη προδιαγραφών σε θέματα που είναι ιδιαίτερος σημαντικά για τον τομέα της IPTV βιομηχανίας, όπως αυτά της οικιακής δικτύωσης, της ασφάλειας, της διαχείρισης ενός δικτύου καθώς και της διευθυνσιοδότησης.
- **Open IPTV Forum** Το Open IPTV Forum αποτελεί μια κοινοπραξία τυποποίησης που συγκροτήθηκε από μια ομάδα χειριστών δικτύων, προμηθευτών εξοπλισμού υποδομής δικτύων και προμηθευτών ηλεκτρονικών για τους καταναλωτές. Σκοπός αυτής της ομάδας είναι να συνεργαστεί με τις ήδη υπάρχουσες ομάδες πιστοποίησης ώστε να ορίσει τις προδιαγραφές για τη μετάδοση των IPTV υπηρεσιών διαμέσου ενός πλήθους διαφορετικών αρχιτεκτονικών δικτύου.
- **WirelessHD Consortium.** Η WirelessHD κοινοπραξία είναι μία ομάδα επιχειρήσεων τεχνολογίας και ηλεκτρονικών ειδών η οποία συστάθηκε το 2006. Εργάζεται πάνω στη πιστοποίηση μιας ασύρματης ψηφιακή διεπαφής για την αποστολή ασυμπίεστου IP περιεχομένου στις HD οθόνες. Αυτή η διεπαφή ενσωματώνεται σε συσκευές όπως τα IP set-top boxes και στις υψηλής ευκρίνειας επίπεδες οθόνες.
- **ITU-T FG IPTV** Την άνοιξη του 2006, συστάθηκε από τον ITU η FG IPTV, για το συντονισμό και την προώθηση της ανάπτυξης καθολικών IPTV προτύπων.
  - Η ομάδα επικεντρώνει τις ενέργειές της σε πέντε βασικούς τομείς:
    - Την αρχιτεκτονική.
    - Τη διαχείριση ψηφιακών δικαιωμάτων.
    - Τις μετρικές ποιότητας υπηρεσίας.
    - Τα μεταδεδομένα.
    - Τη διαλειτουργικότητα και τη δοκιμή (testing).

- **DVB-IP** Ο DVB οργανισμός συγκρότησε την DVB-IP (DVB Technical Module Ad Hoc Group on IP Infrastructure) ομάδα, για την ανάπτυξη προτύπων για τη μετάδοση υπηρεσιών ψηφιακής τηλεόρασης μέσω IP δικτύων. Στόχος της ομάδας αυτής είναι ο προσδιορισμός των τεχνολογιών οι οποίες θα επιτρέπουν στον καταναλωτή τη χρήση DVB-IP set-top boxes για την πρόσβαση στις DVB υπηρεσίες διαμέσου IP δικτύων χωρίς πολύπλοκες ρυθμίσεις [1].

### 3.7 Τεχνολογίες δικτύων διανομής IPTV

Η διανομή των IPTV υπηρεσιών ικανοποιείται μέσω έξι διαφορετικού τύπου ευρυζωνικών δικτύων, τα οποία είναι αρκετά ευέλικτα ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες εύρους ζώνης της IPTV και τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Δίκτυα οπτικών ινών
- Δίκτυα DSL
- Δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης
- Δορυφορικά δίκτυα
- Ασύρματα δίκτυα
- Internet

Πίνακας 3.2 Μέρη του MPEG-E προτύπου [1]

| Part Number     | Part (API) Description          |
|-----------------|---------------------------------|
| ISO/IEC 23004-1 | Architecture                    |
| ISO/IEC 23004-2 | Multimedia API                  |
| ISO/IEC 23004-3 | Component model                 |
| ISO/IEC 23004-4 | Resource and quality management |
| ISO/IEC 23004-5 | Component download              |
| ISO/IEC 23004-6 | Fault management                |
| ISO/IEC 23004-7 | System integrity management     |
| ISO/IEC 23004-8 | Reference software              |

### 3.7.1 IPTV διαμέσου οπτικών ινών

Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης εύρους ζώνης, σε συνδυασμό με την απουσία ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, αλλά και εξαιτίας της πρόσφατης μείωσης του κόστους του εξοπλισμού και της ανάπτυξης αυτού του τύπου δικτύων, η μετάδοση IP υπηρεσιών όπως αυτή της IPTV παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον. Επιπλέον, τα δίκτυα οπτικών ινών προσφέρουν στους συνδρομητές μια αφιερωμένη σύνδεση (dedicated connection), η οποία ενδείκνυται για τη μετάδοση IPTV περιεχομένου. Η υλοποίηση αυτού του τύπου δικτύων γίνεται σύμφωνα με τις ακόλουθες αρχιτεκτονικές δικτύου:

- **Fiber to the regional office (FTTRO)** Η αρχιτεκτονική αυτή αναφέρεται στην εγκατάσταση οπτικής ίνας από το IPTV κέντρο δεδομένων στο πλησιέστερο regional office (RO). Στο υπόλοιπο τμήμα από το regional office μέχρι το τελικό χρήστη χρησιμοποιείται η ήδη υπάρχουσα καλωδίωση χαλκού.
- **Fiber to the neighborhood (FTTN)** Γνωστό επίσης και ως fiber to the node αναφέρεται στην εγκατάσταση οπτικής ίνας από το IPTV κέντρο δεδομένων μέχρι το splitter μιας γειτονιάς. Ο κόμβος αυτός πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση από το συνδρομητή μικρότερη του 1.5 Km. Για την τελική σύνδεση με το πελάτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί το DSL έναντι της καλωδίωσης χαλκού.
- **Fiber To The Curb (FTTC)** Μια FTTC υποδομή δικτύωσης περιλαμβάνει την εγκατάσταση οπτικής ίνας μέχρι το κράσπεδο των πεζοδρομίων, με την οπτική ίνα να απέχει το πολύ 300 μέτρα από μία οικία ή μια επιχείρηση. Για τη σύνδεση από το οπτικό καλώδιο μέχρι τις εγκαταστάσεις του IPTV συνδρομητή χρησιμοποιείται ένα ομοαξονικό καλώδιο ή καλώδιο χαλκού. Αυτού του είδους η αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται κυρίως κατά την κατασκευή συγκροτημάτων νέων κατοικιών.
- **Fiber To The Home (FTTH)** Σε αυτή την αρχιτεκτονική ολόκληρη η διαδρομή από το IPTV κέντρο δεδομένων μέχρι μια οικία καλύπτεται από οπτική ίνα. Αυτού του είδους τα συστήματα είναι ικανά να μεταφέρουν στους συνδρομητές δεδομένα μεγάλου όγκου και αποτελούν full-duplex συστήματα επικοινωνίας κατάλληλα για τη διαδραστική φύση των IPTV υπηρεσιών.

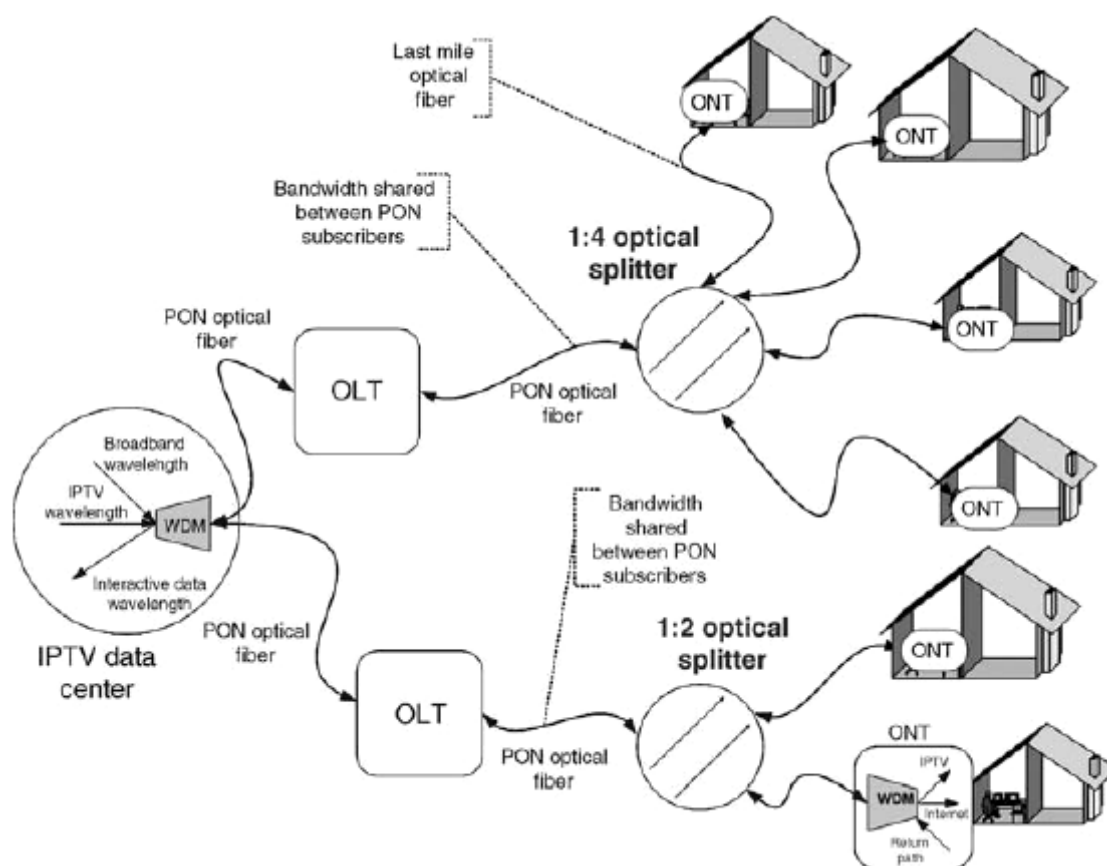
- **Fiber To The Apartment (FTTA)** Η αρχιτεκτονική αυτή κάνει χρήση οπτικών ινών στο εσωτερικό μέρος μιας πολυκατοικίας [1].

Η λειτουργία αυτών των αρχιτεκτονικών ενεργοποιείται μέσω των PON και των AON δικτύων.

### 3.7.1.1 PON δίκτυα

Ένα παθητικό οπτικό δίκτυο (Passive Optical Network - PON) ακολουθεί την point-to-multipoint τοπολογία δικτύωσης. Χρησιμοποιεί κύματα φωτός για τη μεταφορά των δεδομένων στο δίκτυο και συνεπώς δεν απαιτεί ηλεκτρονικά στοιχεία μεταξύ του IPTV data center και του προορισμού των δεδομένων. Μια FTTx αρχιτεκτονική που βασίζεται στο PON δίκτυο συμβαδίζει με τα χαρακτηριστικά που ορίζει η G.983 προδιαγραφή. Αποτελείται από ένα σημείο τερματισμού της οπτικής γραμμής (optical line termination - OLT) το οποίο βρίσκεται στο IPTV data center και διάφορα τερματικά του οπτικού δικτύου (optical network terminals - ONTs ή optical network units - ONUs), τα οποία τοποθετούνται στις εγκαταστάσεις των συνδρομητών, στο σημείο που τελειώνει η οπτική ίνα σε κάθε γειτονιά. Σε αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιούνται καλώδια χαλκού υψηλών ταχυτήτων όπως είναι το DSL για τη μεταφορά των IPTV υπηρεσιών εντός της οικίας των συνδρομητών.

Ένα OLT χρησιμοποιεί καλώδια οπτικών ινών και οπτικά splitters για τη δρομολόγηση των δεδομένων στα ONTs. Οι μικρές απώλειες μετάδοσης, οι χαμηλές παρεμβολές και το υψηλό εύρος ζώνης των οπτικών ινών τις καθιστά ιδανικό μέσο μετάδοσης. Η G.983 προδιαγραφή επιτρέπει στα PON δίκτυα τη μετάδοση σημάτων σε απόσταση έως 20 Km χωρίς τη χρήση ενισχυτών. Τα οπτικά splitters διαχωρίζουν ένα οπτικό σήμα (downstream signal) σε πολλαπλά οπτικά σήματα και το αντίστροφο, δηλαδή συνθέτουν πολλαπλά σήματα σε ένα ενιαίο σήμα (upstream signal). Επίσης επιτρέπουν σε 32 μέχρι 128 συνδρομητές να μοιραστούν το διαθέσιμο εύρος ζώνης [7]. Στα δίκτυα αυτά τα καλώδια οπτικών ινών και τα οπτικά splitters είναι “παθητικά” και έτσι εξαλείφεται η ανάγκη απομακρυσμένης τροφοδότησης με συνέπεια οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησής τους να περιορίζεται.



Σχήμα 3.2 IPTV FTTH δίκτυο με χρήση των PON τεχνολογιών [1]

Ο κύριος σκοπός του ONT είναι να παράσχει στους IPTV συνδρομητές μια διεπαφή στο PON δίκτυο. Λαμβάνει τα οπτικά σήματα, και εξετάζοντας τη διεύθυνση που περιλαμβάνεται στα πακέτα του δικτύου, τα μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα. Το ONT μπορεί να βρίσκεται εντός ή εκτός των κατοικιών και τροφοδοτείται από μια τοπική πηγή έτσι ώστε να επιτρέπεται η λειτουργία του τηλεφώνου σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.

Το σχήμα 3.2 απεικονίζει τη βασική δομή ενός PON δικτύου το οποίο υποστηρίζει τη διανομή των IPTV και υψηλής ταχύτητας υπηρεσιών Internet υπηρεσιών σε έξι κατοικίες.

Τα PON δίκτυα διακρίνονται στις παρακάτω επιμέρους κατηγορίες:

- **BPON (Broadband PON).** Ένα BPON δίκτυο βασίζεται στην G.983 προδιαγραφή και βασίζεται στο APON (ATM PON). Τα ATM δίκτυα είναι δημοφιλή για τη μετάδοση εφαρμογών δεδομένων φωνής και βίντεο υψηλών ταχυτήτων. Το ATM αποτελεί ένα connection orientated πρωτόκολλο και η



ικανότητα των ATM δικτύων να συντηρούν bandwidth για τις time-sensitive εφαρμογές, είναι ένα ιδιαίτερος χρήσιμο χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων για τη μετάδοση των IPTV υπηρεσιών. Τα BPON δίκτυα υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 622 Mbps στο downstream και μέχρι 155 Mbps στο upstream. Ο ασύμμετρος αυτός τύπος μετάδοσης οφείλεται στην point-to-point τοπολογία μεταξύ του OLT και κάθε ONT. Τέλος γίνεται ανάθεση συγκεκριμένων καναλιών για τις διαφορετικού τύπου υπηρεσίες η οποία βοηθά στην απομάκρυνση των παρεμβολών.

- **EPON (Ethernet PON)** . Το EPON χρησιμοποιεί το Ethernet ως μηχανισμό μεταφοράς. Οι ρυθμοί μετάδοσης που υποστηρίζει εξαρτώνται από την απόσταση μεταξύ του OLT και των ONTs.
- **GPON (Gigabit PON)**. Το GPON αποτελεί βελτίωση του BPON, υποστηρίζοντας συνεπώς το ATM, καθώς το Ethernet και το SONET πρωτόκολλο και παρέχει επιπλέον χαρακτηριστικά ασφαλείας. Η υποστήριξη πολλαπλών πρωτοκόλλων από το GPON επιτρέπει στους διαχειριστές των δικτύων την παροχή και της παραδοσιακής τηλεόρασης εκτός των IPTV υπηρεσιών, επιτυγχάνοντας κάλυψη σε αποστάσεις έως 20 Km.
- **10G-EPON (10 Gigabit Ethernet PON)**. Το 10G-EPON είναι συμβατό με το EPON (backward compatible) και υποστηρίζει τόσο τη συμμετρική όσο και την ασύμμετρη μετάδοση. Στη συμμετρική μετάδοση οι ρυθμοί που επιτυγχάνονται είναι 10 Gbps και προς τις δύο κατευθύνσεις των δεδομένων, ενώ στην ασύμμετρη μετάδοση επιτυγχάνονται ρυθμοί 10 Gbps στην κάτω ζεύξη και 1 Gbps στην άνω. Το πρότυπο αυτό εγκρίθηκε το Σεπτέμβριο του 2009 και αναμένεται να είναι εμπορικά διαθέσιμο το 2010 [7].

Ο πίνακας 3.3 συνοψίζει τα κύρια χαρακτηριστικά των διάφορων PON τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των IPTV σημάτων.

### 3.7.1.2 AON δίκτυα

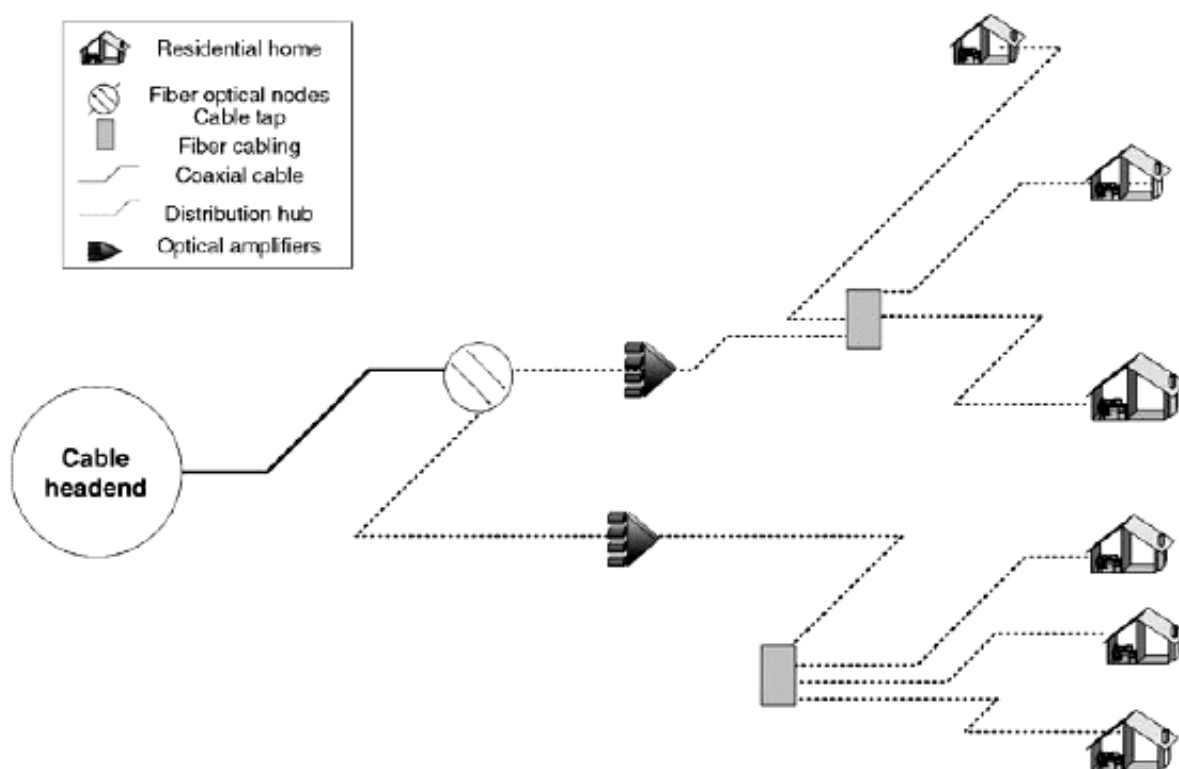
Τα ενεργά οπτικά δίκτυα (Active Optical Networks - AON) χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά μέρη μεταξύ του συνδρομητή και του IPTV κέντρου δεδομένων, όπως είναι τα Ethernet switches.

**Πίνακας 3.3** Σύγκριση των διαφόρων PON τεχνολογιών [1]

|      | ITU-T Specification | Data Rates                                     | Transmission Protocol   |
|------|---------------------|--|---|
| BPON | G.983               | 622 Mbps downstream<br>and 155 Mbps upstream   | Primarily ATM however IP<br>over Ethernet will also<br>operate on the network |
| GPON | G.984               | 2.5 Gbps downstream<br>and 1.5 Gbps upstream   | Ethernet and SONET  |
| EPON | P802.3ah            | 1.25 Gbps downstream<br>and 1.25 Gbps upstream | Gigabit Ethernet  |

### 3.7.2 IPTV διαμέσου δικτύων καλωδιακής τηλεόρασης

Σε μια περιοχή που διαθέτει ένα καλωδιακό σύστημα τηλεόρασης οι κάτοικοί της μπορούν να έχουν πρόσβαση στις IPTV υπηρεσίες μέσω μιας υβριδικής τεχνολογίας που βασίζεται στην οπτική ίνα και στην ομοαξονική καλωδίωση (Hybrid Fiber/Coax - HFC). Τα δίκτυα που βασίζονται στη HFC τεχνολογία μπορούν να μεταδίδουν ταυτοχρόνως αναλογικές και ψηφιακές υπηρεσίες, χαρακτηριστικό σημαντικό για τους διαχειριστές δικτύων που αναπτύσσουν τις IPTV υπηρεσίες σε μια σταδιακή βάση. Η HFC τεχνολογία ικανοποιεί την ανάγκη για επέκταση της χωρητικότητας και τις ανάγκες αξιοπιστίας ενός IPTV συστήματος. Επίσης τα φυσικά χαρακτηριστικά των καλωδίων χαλκού και των οπτικών ινών υποστηρίζουν τη λειτουργία του δικτύου σε πολλά Gigabits το δευτερόλεπτο. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3 ένα HFC δίκτυο αποτελείται από τον πυρήνα δικτύου που βασίζεται στην οπτική ίνα συνδεδεμένο μέσω ενός οπτικού κόμβου με το ομοαξονικό δίκτυο [1].



Σχήμα 3.3 Παράδειγμα HFC δικτύου [1]

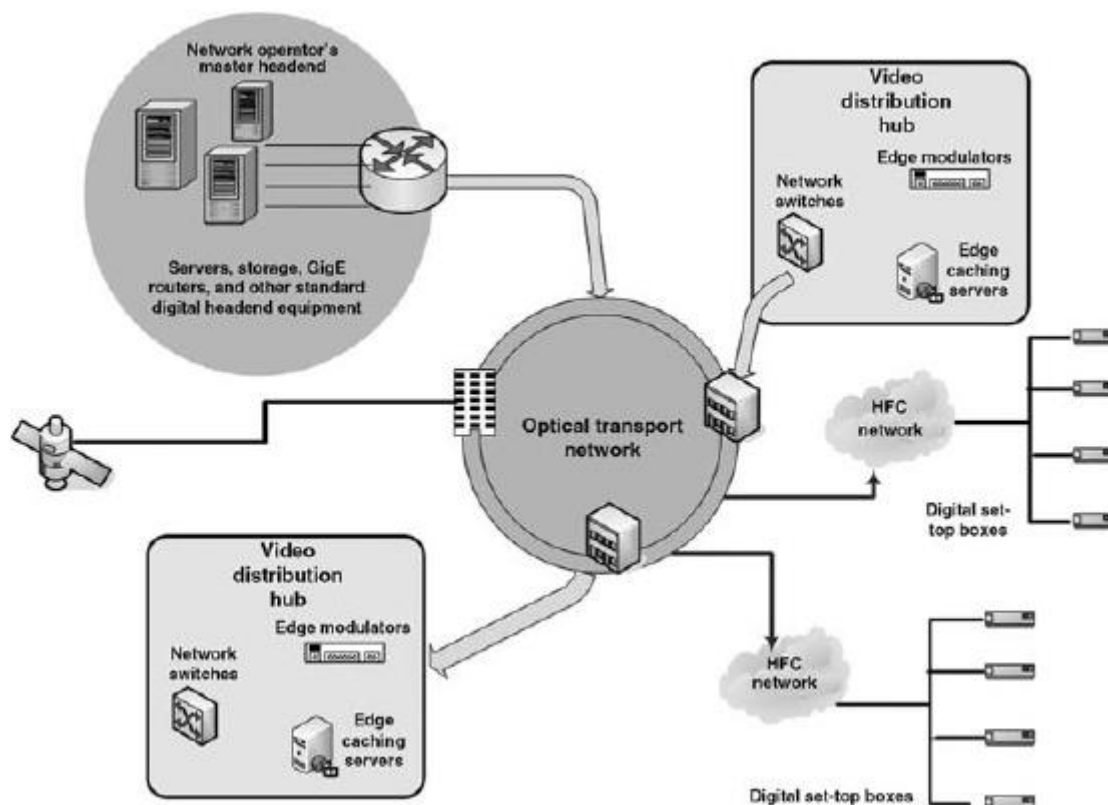
Η μετάβαση από ένα δίκτυο σε ένα ψηφιακό περιβάλλον βασισμένο στο IP προσφέρει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ένα μεγάλο μέρος του διαθέσιμου bandwidth απελευθερώνεται εξαιτίας του γεγονότος ότι ο διαχειριστής πρέπει να διαβιβάσει μόνο το τηλεοπτικό κανάλι που ο συνδρομητής απαιτεί στο set-top box, σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα όπου όλα τα κανάλια μεταδίδονται στους συνδρομητές και άρα το εύρος ζώνης που εξοικονομείται διατίθεται για τη μετάδοση IPTV υπηρεσιών
- Οι διαχειριστές του καλωδιακού εξοπλισμού μπορούν να ελέγξουν και να μετρήσουν επακριβώς το τι παρακολουθούν οι συνδρομητές του. Αυτό είναι ένα σημαντικό για τους διαχειριστές οι οποίοι θέλουν κερδίσουν έσοδα μέσω της διαφήμισης.

Από τεχνικής απόψεως ένα καλωδιακό IPTV σύστημα αποτελείται από ένα συνδυασμό RF και IP συσκευών οι οποίες είναι:

- **GigE switches ή δρομολογητές** Το Gigabit Ethernet (GigE) είναι ένα πρωτόκολλο μεταφοράς για τη σύνδεση των τμημάτων ενός IP δικτύου. Χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά από εφαρμογές υψηλής χωρητικότητας όπως είναι το VoD. Ο GigE δρομολογητής αθροίζει την IPTV κίνηση την οποία διασυνδέει με το δίκτυο πυρήνα.
- **Optical transport network** Το δίκτυο πυρήνα είναι το μονοπάτι μεταξύ των βίντεο servers στο IPTV data center και των διαμορφωτών (modulators). Το SONET και το ATM αποτελούν παραδείγματα τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το δίκτυο πυρήνα.
- **Edge modulators** Οι διαμορφωτές που βρίσκονται στα regional offices λαμβάνουν το IPTV περιεχόμενο από το δίκτυο πυρήνα, μετατρέπουν το τηλεοπτικό περιεχόμενο το οποίο βασίζεται σε IP πακέτα σε RF πακέτα και το διανέμουν μέσω του HFC δικτύου στα set-top boxes.

Ο μηχανισμός κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στα HFC δίκτυα είναι το MPEG-2, επομένως απαιτείται η εγκατάσταση επιπλέον υλικού στο IPTV data center για τη μεταφορά των MPEG-2 κωδικοποιημένων ρευμάτων κατά μήκος ενός καλωδιακού ευρυζωνικού IP δικτύου. Το σχήμα 3.4 απεικονίζει ένα τυπικό παράδειγμα καλωδιακής IPTV αρχιτεκτονικής.



Σχήμα 3.4 Παράδειγμα μικτής IPTV αρχιτεκτονικής [1]

### 3.7.2.1 IPTV διαμέσου DOCSIS

Το DOCSIS® (Data Over Cable Service Interface Specification) αποτελεί μια προδιαγραφή η οποία σχεδιάστηκε αρχικά για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών Internet πάνω από ένα ήδη υπάρχον σύστημα καλωδιακής τηλεόρασης [8]. Την πρώτη προδιαγραφή του DOCSIS αποτέλεσε η έκδοση 1.0, η οποία εκδόθηκε το Μάρτιο του 1997, ενώ τον Απρίλιο του 1999 τη διαδέχεται η 1.1 αναθεωρημένη έκδοση η οποία περιέχει χαρακτηριστικά για την υποστήριξη QoS. Εξαιτίας των αυξανόμενων απαιτήσεων για συμμετρικές υπηρεσίες όπως η IP τηλεφωνία, η προδιαγραφή αναθεωρείται ξανά με την έκδοση του DOCSIS 2.0 το Δεκέμβρη του 2001 για την ενίσχυση των υποστηριζόμενων ταχυτήτων μετάδοσης [8]. Σήμερα η πιο πρόσφατη έκδοση του DOCSIS (DOCSIS 3.0) αφίχθη τον Αύγουστο του 2006 και υποστηρίζει ικανοποιητικά τη διανομή IPTV υπηρεσιών κατά μήκος των HFC δικτύων. Η προδιαγραφή προσδιορίζει τα πρωτόκολλα και τα σχήματα διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται για την παροχή IP ευρυζωνικών υπηρεσιών μέσω ενός δικτύου καλωδιακής τηλεόρασης. Στόχος της ήταν η αύξηση των ταχυτήτων μετάδοσης τόσο στο upstream όσο και στο downstream. Ο πίνακας 3.4 συνοψίζει τα χαρακτηριστικά όλων των εκδόσεων του DOCSIS. Το

DOCSIS 3.0 υποστηρίζει επίσης το IPv6 πρωτόκολλο, ενώ στην Ευρώπη χρησιμοποιείται αντίστοιχα η EuroDocsis προδιαγραφή. Η διαφορά τους έγγυται στο διαφορετικό πλάτος καναλιών με τη EuroDOCSIS προδιαγραφή να κάνει χρήση καναλιού 8 MHz ενώ το DOCSIS 3.0 έχει χωρητικότητα 6 MHz ανά κανάλι. Στον πίνακα 3.5 απεικονίζονται οι διαφορές μεταξύ του του DOCSIS και του EuroDoCSIS.

**Πίνακας 3.4** Χαρακτηριστικά εκδόσεων του DOCSIS [8]

|   | DOCSIS 1.0                                  | DOCSIS 1.1                                  | DOCSIS 2.0   | DOCSIS 3.0   |
|---|---|---|--|--|
| <b>Maximum downstream broadband capacity (Mbps)</b> | 40 and 55                                   | 40 and 55                                   | 40 and 55  | 160  |
| <b>Downstream frequency range (MHz)</b>             | 50_750                                      | 50_750                                      | 88_870   | 88-1002  |
| <b>Maximum upstream broadband capacity (Mbps)</b>   | 10  | 10  | 30   | 120 and above  |
| <b>Upstream frequency range (MHz)</b>               | 5-42  | 5-42  | 5-42   | Support for 5-42 MHz is mandatory. Manufacturers also have an option of using the 5-85 MHz frequency range |
| <b>Modulation scheme</b>                            | QPSK and 16 QAM                             | QPSK and 16 QAM                             | QPSK, 8 QAM, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, and 128 QAM     | QPSK, 8 QAM, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, and 128 QAM   |
| <b>Upstream channel width</b>                       | 200 kHz, 400 kHz, 800 kHz, 1.6 MHz, 3.2 MHz | 200 kHz, 400 kHz, 800 kHz, 1.6 MHz, 3.2 MHz | 200 kHz, 400 kHz, 800 kHz, 1.6 MHz, 3.2 MHz, 6.4 MHz | 1.6,3.2 and 6.4 MHz. Note that support for the 0.2, 0.4 and 0.8 MHz channels are optional for this version |

**Πίνακας 3.5** Διαφορές μεταξύ DOCSIS και EuroDOCSIS [8]

| Channel configuration         |                             | Downstream throughput |            | Upstream throughput |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|---------------------|
| Number of downstream channels | Number of upstream channels | DOCSIS                | EuroDOCSIS |                     |
| 4                             | 4                           | 152 Mbit/s            | 200 Mbit/s | 108 Mbit/s          |
| 8                             | 4                           | 304 Mbit/s            | 400 Mbit/s | 108 Mbit/s          |

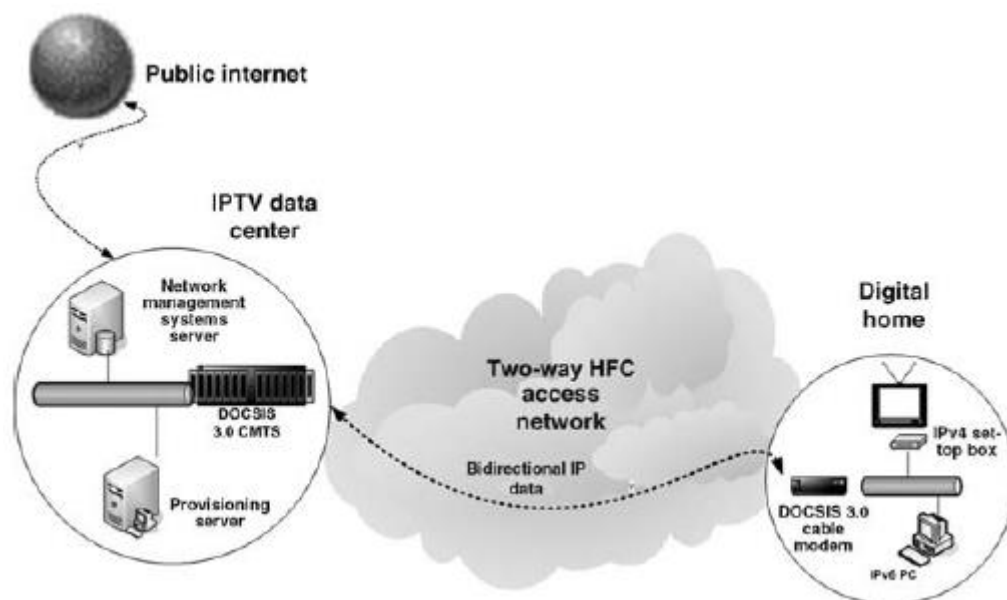
Η αρχιτεκτονική του DOCSIS περιλαμβάνει δύο κύρια στοιχεία. Ένα modem στο χώρο του συνδρομητή και το CMTS (Cable Modem Termination System) το οποίο συναντάται στο IPTV data center και δρομολογεί την κίνηση μεταξύ του HFC και του Internet. Πολλές εκ των λειτουργιών ενός CMTS είναι όμοιες με αυτές ενός DSLAM σε ένα DSL σύστημα [9].

Στο φυσικό επίπεδο το DOCSIS 3.0 ορίζει δύο μεθόδους πρόσβασης, την TDMA και τη SCDMA (Synchronous Code Division Multiple Access). Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τη μέθοδο πρόσβασης αλλά και από την κατεύθυνση της κίνησης στο δίκτυο, δηλαδή την upstream ή την downstream κατεύθυνση.

Στο MAC επίπεδο υποστηρίζεται η λειτουργία της πολυεκπομπής (multicasting) με τη χρήση δύο νέων χαρακτηριστικών, της τεχνικής συνένωσης καναλιών και της εξισορρόπησης φορτίου (load balancing). Η τεχνική της συνένωσης καναλιών επιτρέπει τη δημιουργία ενός μεγαλύτερου λογικού καναλιού εύρους ζώνης, με σκοπό την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης μέσω του HFC δικτύου για την επίτευξη της παροχής των IPTV υπηρεσιών. Ο μηχανισμός αυτός μειώνει τις καθυστερήσεις που προκαλούνται λόγω της συμφόρησης των πακέτων που αποστέλλονται μέσα από ένα ενιαίο κανάλι. Η εξισορρόπηση φορτίου είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό γνώρισμα των μεγάλων δικτύων καλωδιακής τηλεόρασης που κάνουν χρήση εκατοντάδων και σε μερικές περιπτώσεις χιλιάδων modems. Η

DOCSIS 3.0 προδιαγραφή μέσω της εξισορρόπησης φορτίου, λαμβάνει μέτρα για την αντιμετώπιση των δεδομένων μεγάλου όγκου που διακινούνται εξαιτίας των πολυμεσικών IPTV εφαρμογών.

Σε επίπεδο ασφαλείας η αποτροπή της κλοπής των IPTV υπηρεσιών ενός DOCSIS δικτύου γίνεται μέσω της χρήσης του BPI+ (Baseline Privacy Plus) σχήματος το οποίο απαρτίζεται από δύο πρωτόκολλα. Ένα πρωτόκολλο ενθυλάκωσης και ένα πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιού. Το πρωτόκολλο ενθυλάκωσης κρυπτογραφεί τα IPTV πακέτα δεδομένων που προορίζονται για τους IPTV και τους triple-play συνδρομητές. Επιπλέον χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση πληροφοριών πρωτοκόλλων, όπως το DHCP και το TFTP καθώς και διάφορων μηνυμάτων διαχείρισης που μεταφέρονται μέσω του MAC επιπέδου. Το DOCSIS 3.0 υποστηρίζει τον 128 bit AES αλγόριθμο κρυπτογράφησης. Ένα πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιού εξασφαλίζει τη διανομή των στοιχείων διαμόρφωσης (keying data) μεταξύ των modems και του CMTS και ονομάζεται BPKM (Baseline Privacy Key Management). Τα μηνύματα διαχείρισης στα οποία προαναφερθήκαμε χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά πληροφοριών του BPKM πρωτοκόλλου. Η ασφάλεια σ' ένα δίκτυο DOCSIS βελτιώνεται σημαντικά μόνο όταν επιτρέπονται οι εταιρικές κρίσιμες επικοινωνίες χωρίς να επιτρέπεται στο τελικό χρήστη η επικοινωνία στη δικτυακή υποδομή, δηλαδή όταν μια εταιρεία δε



Σχήμα 3.5 Δικτυακή υποδομή DOCSIS 3.0 [1]



μοιράζεται τον ίδιο χαλκό με το χρήστη. Ωστόσο ένα δίκτυο DOCSIS δεν είναι αρκετά ασφαλές όταν το CMTS παραμετροποιείται ώστε να είναι συμβατό με τα modems που χρησιμοποιούνταν στις προηγούμενες εκδόσεις του DOCSIS 1.1 [8]. Στο σχήμα 3.5 απεικονίζεται ένα τυπικό παράδειγμα δικτύου με τη χρήση του DOCSIS 3.0

### **3.7.3 IPTV διαμέσου DSL δικτύων**

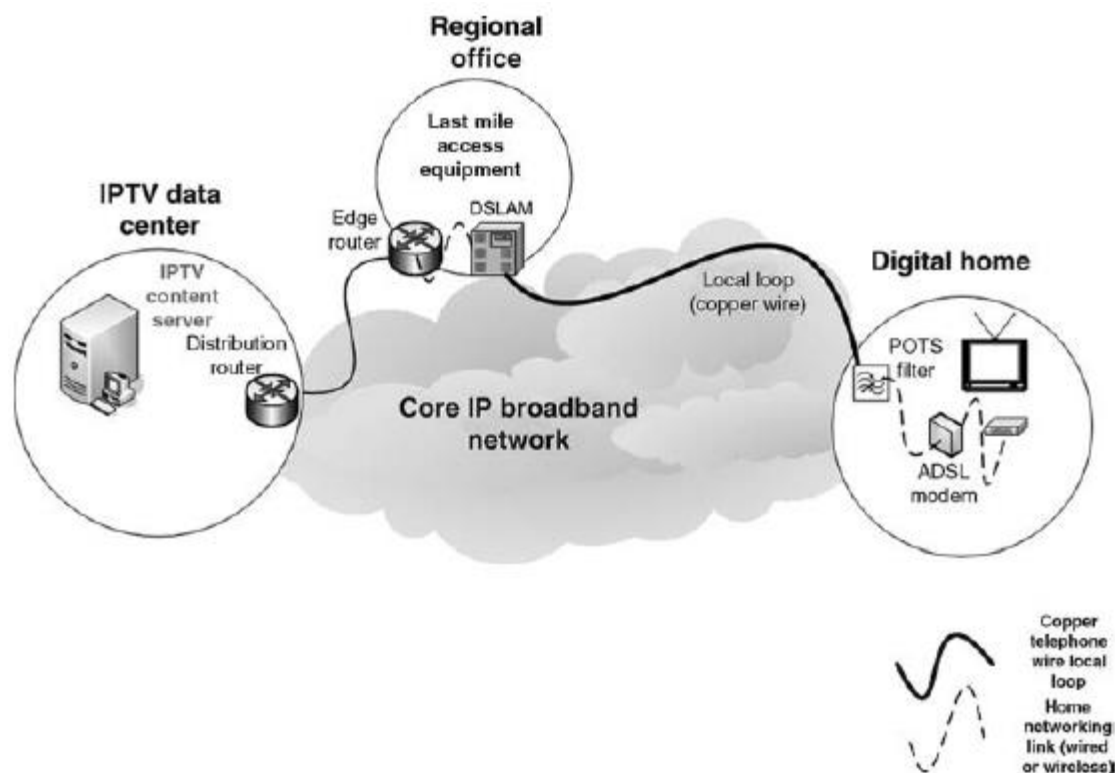
Οι εταιρίες τηλεπικοινωνιών (TELCOs), προκειμένου να αντιμετωπίσουν τον ανταγωνισμό των παρόχων της καλωδιακής τηλεόρασης και των ασύρματων ευρυζωνικών παρόχων, εκμεταλλεύονται τη δυνατότητα της DSL υποδομής τους για την παροχή IPTV υπηρεσιών πέραν των υπηρεσιών του διαδικτύου και του τηλεφώνου. Το κύριο πλεονέκτημα της DSL υποδομής για τα IPTV συστήματα είναι ότι χρησιμοποιούν τα ήδη υπάρχοντα τηλεφωνικά καλώδια τα οποία χρησιμοποιούνται στα περισσότερα σπίτια ανά τον κόσμο. Πολλά από τα δίκτυα που βασίζονται στη DSL τεχνολογία δεν υποστηρίζουν τις απαιτήσεις μετάδοσης υπηρεσιών βίντεο υψηλών ταχυτήτων. Ωστόσο αυτές οι απαιτήσεις μετάδοσης ικανοποιούνται μέσω των ADSL, ADSL2+ και VDSL (Very high speed Digital Subscriber Lines) τεχνολογιών.

#### **3.7.3.1 ADSL**

Το ADSL είναι αυτήν τη στιγμή η δημοφιλέστερη εκδοχή της DSL τεχνολογίας στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα για την παροχή ευρυζωνικών συνδέσεων υψηλών ταχυτήτων. Υιοθετεί την point-to-point τοπολογία σύνδεσης χαρακτηριστικό που επιτρέπει στους παρόχους τη μετάδοση υπηρεσιών που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης όπως είναι το IP βίντεο μέσω των υπαρχουσών τηλεφωνικών γραμμών. Επίσης ως ασύμμετρη τεχνολογία επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης 8 Mbps στη κάτω ζεύξη και 1.5 Mbps στην άνω ζεύξη. Δηλαδή η μετάδοση δεδομένων από το IPTV data center στο IPTVCD είναι πιο γρήγορη από τη μετάδοση από το IPTVCD στο IPTV data center. Βάση αυτών μια ADSL σύνδεση μπορεί να υποστηρίξει δύο MPEG-2 SDTV κανάλια και μια υψηλής ταχύτητας σύνδεση Internet. Το κύριο μειονέκτημα μιας ADSL σύνδεσης είναι ότι η διαθεσιμότητα της εξαρτάται από την απόσταση των συνδρομητών από το κέντρο του παρόχου (central office - CO). Οι

συνδρομητές οι οποίοι απέχουν από το κέντρο του παρόχου σε απόσταση μικρότερη των 5.5 χιλιομέτρων χαίρουν ADSL υπηρεσιών ικανοποιητικής ποιότητας. Οι τηλεφωνικές γραμμές είναι σχεδιασμένες ώστε να υποστηρίζουν υπηρεσίες φωνής χαμηλών συχνοτήτων. Η λειτουργία των γραμμών σε υψηλές συχνότητες προκαλεί συνήθως παραμόρφωση και παρεμβολές γι' αυτό θα πρέπει να υπάρχει κατάλληλη κατανομή του εύρους ζώνης για την ελαχιστοποίηση αυτών των φαινομένων και συνεπώς την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης. Η κατανομή συχνοτήτων μιας ADSL γραμμής απαιτεί 4 kHz για τις υπηρεσίες τηλεφώνου ενώ τα κανάλια εκπομπής και λήψης δεδομένων απαιτούν ένα εύρος συχνοτήτων που κυμαίνεται από 26 kHz έως 1.1 MHz. Ο διαχωρισμός των σημάτων φωνής χαμηλής συχνότητας από τα υψίσυχα σήματα δεδομένων γίνεται με τη βοήθεια ενός splitter.

Τόσο στο συνδρομητή όσο και στο IPTV data center χρησιμοποιούνται modems για τη μετατροπή των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά και το αντίστροφο. Για τη διαμόρφωση των σημάτων χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές, η CAP (Carrierless Amplitude and Phase) και η DMT (Discrete Multitone). Η CAP όπου είναι παρεμφερής της QAM διαμόρφωσης και είναι ευρέως χρησιμοποιημένη σε εφαρμογές καλωδιακής και δορυφορικής τηλεόρασης επί έτη. Η DMT τεχνική διαμόρφωσης η οποία είναι προτιμότερη της CAP, υποδιαιρεί το εύρος ζώνης σε κανάλια προσαρμόζοντας τα χαρακτηριστικά κάθε τηλεφωνικής γραμμής και μεγιστοποιώντας έτσι το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων. Η DMT είναι παρεμφερής της OFDM τεχνικής διαμόρφωσης. Η ADSL τεχνολογία χρησιμοποιεί DSLAMs (Digital Subscriber Line Access Multiplexers) τα οποία είναι εγκατεστημένα στο regional office του παρόχου των IPTV υπηρεσιών και συνδέεται με τους συνδρομητές μέσω καλωδίων χαλκού. Το DSLAM συνδέεται με το IPTV κέντρο δεδομένων μέσω οπτικών ινών στο δίκτυο πυρήνα. Για την παροχή των IPTV υπηρεσιών τα DSLAMs υποστηρίζει τη multicast μετάδοση κάτι που καταργεί την ανάγκη αποστολής ενός καναλιού σε κάθε συνδρομητή ξεχωριστά. Τα DSLAMs διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα Layer 2 DSLAMs και τα IP-aware DSLAMs. Τα Layer 2 DSLAMs αποτρέπουν τις παρεμβολές μεταξύ των IPTV συνδρομητών, ενώ τα IP-aware DSLAMs υποστηρίζουν προηγμένες λειτουργίες εντολών εκτέλεσης για την αλλαγή καναλιού αλλά δεν υποστηρίζουν multicast μετάδοση. Αν και η ADSL τεχνολογία είναι ιδανική για μια σειρά διαδραστικών υπηρεσιών δεν αποτελεί τη βέλτιστη λύση για τη μετάδοση IPTV



Σχήμα 3.6 Αρχιτεκτονική IPTV με χρήση εξοπλισμού ADSL [1]

περιεχομένου. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο ότι οι ρυθμοί μετάδοσης των 8 Mbps που υποστηρίζει δεν ικανοποιούν τις ανάγκες μετάδοσης HDTV καναλιών, αλλά και στο ότι ο ασύμμετρος ρυθμός μετάδοσης δεν είναι ιδανικός για peer-to-peer υπηρεσίες οι οποίες απαιτούν τον ίδιους ρυθμούς μετάδοσης τόσο στο upstream όσο και στο downstream. Το σχήμα 3.6 απεικονίζει την αρχιτεκτονική ενός IPTV δικτύου που βασίζεται στην ADSL τεχνολογία [1].

### 3.7.3.2 ADSL2

Η αρχική έκδοση του ADSL2 εγκρίθηκε από το ITU το 2003 και περιελάμβανε πλήθος βελτιώσεων του αρχικού ADSL προτύπου, δηλαδή υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης στη downstream λειτουργία του modem του συνδρομητή και σε μεγαλύτερες αποστάσεις από το CO. Επιπλέον του ADSL2 υπάρχουν οι εξής δύο εκδόσεις:

- **ADSL2+** Σύντομα μετά την τυποποίηση του ADSL2, υιοθετήθηκε από την ITU το ADSL2+. Το πρότυπο αυτό βασίζεται στο ADSL2 και επιτρέπει

στους φορείς παροχής υπηρεσιών την παροχή ρυθμών μετάδοσης μέχρι 20 Mbps σε αποστάσεις έως και 1.5 Km από το CO. Το ADSL2+ κάνει χρήση σημάτων εύρους ζώνης 138 kHz έως 2.208 MHz.

- **ADSL-Reach Extended** Η ADSL-Reach Extended τεχνολογία γνωστή και ως RE-ADSL2 τυποποιήθηκε το 2003 για να επιτρέψει στους φορείς παροχής των IPTV υπηρεσιών την κάλυψη συνδρομητών που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 6 Km από το CO.

### 3.7.3.3 VDSL

Το VDSL βασίζεται στην ίδια τεχνολογία με το ADSL2+. Εξαλείφει τη συμφόρηση (last mile bottleneck) που προκαλείται στο δίκτυο από προηγούμενες εκδόσεις και υποστηρίζει μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης που επιτρέπουν την παροχή στους IPTV συνδρομητές μιας πληθώρας υπηρεσιών όπως η VoD καθώς και την εκπομπή HDTV καναλιών. Η VDSL τεχνολογία σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίζει ATM κίνηση βασισμένη στο IP πρωτόκολλο, πάνω από χαλκό, το οποίο είναι χρήσιμο για τους παρόχους που θέλουν να μετατρέψουν τη παλιά ATM υποδομή τους σε IP. Οι εκδόσεις της VDSL τεχνολογίας είναι οι εξής:

- **VDSL1** Το VDSL1 επικυρώθηκε το 2004 και υποστηρίζει ρυθμού μετάδοσης έως 55 Mbps στο downstream και έως 15 Mbps στο upstream. Εντούτοις έχει περιορισμένο εύρος κάλυψης και η χρήση του είναι περιορισμένη.
- **VDSL2.** Αυτή η έκδοση αποτελεί βελτίωση της VDSL1 και υποδιαιρείται σε δύο επιμέρους εκδόσεις, τη VDSL2 Long Reach και τη VDSL2 Short Reach.
- **VDSL2 Long Reach.** Η VDSL2 Long Reach έκδοση δημιουργήθηκε ούτως ώστε να εξυπηρετηθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμός συνδέσεων υψηλών ταχυτήτων. Επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης 30 Mbps σε αποστάσεις 1.2 - 1.5 Km από το κέντρο του παρόχου, με εύρος κάλυψης 1.5 Km. Χρησιμοποιεί 30 MHz εύρους ζώνης σε σχέση με τη VDSL1 που χρησιμοποιεί εύρος ζώνης 12 MHz. Υποστηρίζει επίσης προηγμένους μηχανισμούς διόρθωσης σφαλμάτων για τη βελτίωση της αξιοπιστίας αυτού του είδους των συνδέσεων.

- **VDSL2 Short Reach.** Η VDSL2 Short Reach βασίζεται στο DMT σχήμα διαμόρφωσης. Το πρότυπο αυτό επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης 100Mbps στο downstream για αποστάσεις έως 350 m από το κέντρο του παρόχου, υπερβαίνοντας κατά πολύ τις ταχύτητες των ADSL2+ δικτύων στο upstream με τις τιμές να είναι ρεαλιστικές στην περίπτωση καλής ποιότητας των καλωδίων χαλκού και απουσίας παρεμβολών. Στα νέα χαρακτηριστικά της VDSL2 συγκαταλέγονται οι QoS μηχανισμοί, η ικανότητα διαχωρισμού των ευαίσθητων στην καθυστέρηση δεδομένων (dual latency) δηλαδή των IPTV δεδομένων από άλλα δεδομένα, καθώς και οι βελτιωμένες τεχνικές κωδικοποίησης οι οποίες είναι κατάλληλες για τη διανομή triple-play εφαρμογών. Η συμβατότητα του VDSL (backward compatibility) με τις προηγούμενες εκδόσεις του ADSL επιτρέπει στους IPTV παρόχους την ομαλή μετάβαση τους στη VDSL τεχνολογία. Οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή του VDSL στα δίκτυα των παρόχων είναι δύο. Η πρώτη αναφέρεται στην τοποθέτηση του VDSL2 εξοπλισμού στο κέντρο (regional office) των παρόχων και την παράλληλη λειτουργία του DSLAM με τις ήδη υπάρχουσες ADSL και ADSL2 τεχνολογίες. Η δεύτερη προσέγγιση αναφέρεται στην τοποθέτηση του εξοπλισμού αυτού στη πλευρά του IPTV συνδρομητή [1].

#### **3.7.4 IPTV διαμέσου δορυφορικών δικτύων**

Η χρήση των δορυφόρων για τη διανομή IPTV υπηρεσιών ξεπερνά τους περιορισμούς που προκύπτουν ως προς το εύρος ζώνης και την ταχύτητα από τα επίγεια δίκτυα μετάδοσης. Το αρχικό περιεχόμενο λαμβάνεται κωδικοποιείται και κρυπτογραφείται στο κέντρο λειτουργίας του διαχειριστή του δορυφόρου αποστέλλεται στο δορυφόρο και από εκεί αναμεταδίδεται πίσω, κάτω στα διάφορα video hubs. Αυτά τα video hubs χρησιμοποιούνται από τις εταιρίες τηλεπικοινωνιών ή τις καλωδιακές επιχειρήσεις για τη διανομή των IPTV υπηρεσιών στους συνδρομητές τους. Μέσω των δορυφόρων είναι δυνατή η μετάδοση δεδομένων με ρυθμούς μεγαλύτερους των 100Gbit/s [10].

Η διανομή των IPTV υπηρεσιών στους συνδρομητές μέσω ενός δορυφόρου, είναι εφικτή με τους εξής τρόπους:

- **Ανάπτυξη υβριδικών δορυφορικών IP set-top boxes** Αυτό ο τύπος set-top boxes επιτρέπει στους συνδρομητές τη πρόσβαση στις παραδοσιακές δορυφορικές υπηρεσίες αλλά και στις IPTV υπηρεσίες μέσω μιας ευρυζωνικής σύνδεσης. Με τη χρήση αυτής της αρχιτεκτονικής η οποία είναι γνωστή ως IPTV-DTH είναι δυνατή η λήψη ορισμένου περιεχομένου μέσω της ευρυζωνικής σύνδεσης και κάποιου άλλου περιεχομένου, όπως η λήψη καναλιών ζωντανής μετάδοσης μέσω του δορυφόρου [10].
- **Χρήση των standard IP set-top boxes** Η περίπτωση αυτή περιλαμβάνει η διανομή των καναλιών χρησιμοποιώντας τις τυποποιημένες τεχνικές δορυφορικής μετάδοσης στα μεγάλα συγκροτήματα κατοικιών, τη μετατροπή των δορυφορικών καναλιών σε κανάλια IP και τη διανομή τους στα IP set-top boxes.
- **Παροχή στους συνδρομητές με set-top boxes** Οι μεγάλες απαιτήσεις εύρους ζώνης για τη διανομή on-demand περιεχομένου καθιστούν δύσκολη τη διανομή IPVoD εφαρμογών για τα περισσότερα δορυφορικά συστήματα. Εντούτοις, μερικοί φορείς παροχής δορυφορικών υπηρεσιών παρακάμπτουν αυτούς τους περιορισμούς με τη χρήση set-top boxes που ενσωματώνουν έναν σκληρό δίσκο με το IP-VoD περιεχόμενο να αποθηκεύεται απευθείας εκεί. Η ενσωμάτωση ενός σκληρού δίσκου σε ένα set-top box επιτρέπει επίσης την παύση της μετάδοσης ενός ζωντανού προγράμματος
- **Χρήση δορυφορικών ευρυζωνικών modems** Για τη διανομή δορυφορικών IPTV υπηρεσιών, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ευρυζωνικά modems. Τα modems αυτά συμμορφώνονται με ένα από τα εξής πρότυπα:
  - IPoS (IP over satellite)*. Το πρότυπο αυτό υποστηρίζει ρυθμούς Μετάδοσης δεδομένων μέχρι 120 Mbps.
  - DVB-RCS (DVB return channel via satellite)*. Ενώ τα περισσότερα πρότυπα για την τηλεοπτική μετάδοση περιλαμβάνουν μια μονόδρομη μετάδοση, το DVB-RCS χρησιμοποιεί ένα κανάλι επιστροφής για να επιτρέψει μεταδόσεις διπλής κατεύθυνσης [11]. Ορίζει ένα ρυθμό μετάδοσης 40 Mbps και ένα κανάλι επιστροφής χωρητικότητας περίπου 2 Mbps.
  - DOCSIS over satellite* Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτού του προτύπου και

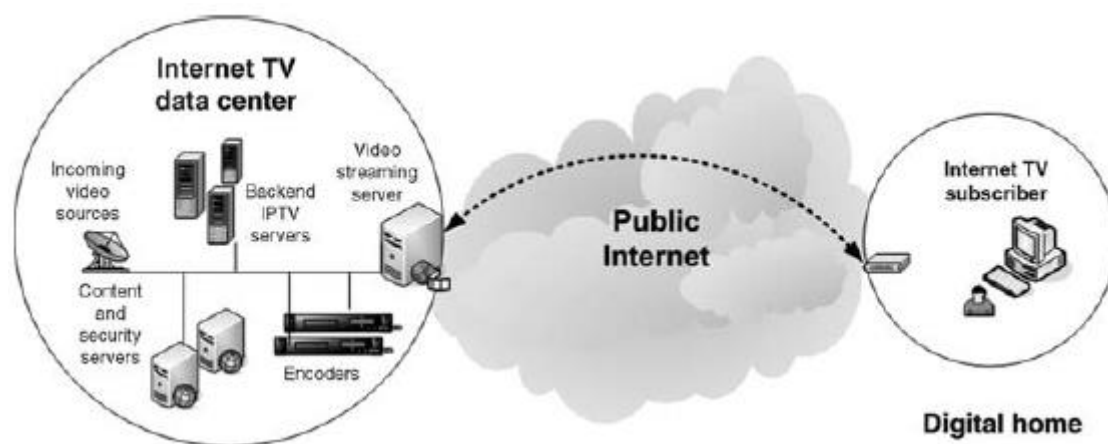
του cable DOCSIS είναι στη χρήση του QPSK σχήματος διαμόρφωσης έναντι του QAM που χρησιμοποιείται στα HFC δίκτυα. Οι αρχικές εκδόσεις του πρωτοκόλλου αυτού υποστηρίζουν ταχύτητες μετάδοσης 1.5 Mbps, ενώ οι νεώτερες εκδόσεις μπορούν να επιτύχουν πολύ υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων [1].

### **3.7.5 IPTV διαμέσου Internet**

Οι βελτιωμένες ευρυζωνικές ταχύτητες σε συνδυασμό με την εξέλιξη των μεθόδων συμπίεσης είναι μερικοί από τους λόγους για τους οποίους οι καταναλωτές έχουν αρχίσει να στρέφονται όλο και περισσότερο στο διαδίκτυο για την ψυχαγωγία τους. Το προς μετάδοση περιεχόμενο είναι διαθέσιμο μέσω τηλεοπτικών καναλιών διαδικτύου (Internet TV channels) και διανέμεται σε πραγματικό χρόνο προσεγγίζοντας την παραδοσιακή τηλεόραση.

#### **3.7.5.1 Διανομή τηλεοπτικών καναλιών διαδικτύου**

Η διανομή ενός τηλεοπτικού καναλιού διαδικτύου ξεκινά από τον streaming server όπου το τηλεοπτικό περιεχόμενο διασπάται σε πολλαπλά IP πακέτα, συμπιέζεται και κατόπιν μεταφέρεται διαμέσου του Internet στο χρήστη. Η συσκευή που χρησιμοποιεί ένας χρήστης για την προβολή των τηλεοπτικών καναλιών διαδικτύου είναι συνήθως ένας Η/Υ ή ένα media center PC. Τα κανάλια αυτά μπορούν να διανεμηθούν επίσης μέσω ενός κινητού τηλεφώνου ή ενός IP set top box. Ένας Η/Υ περιλαμβάνει ένα λογισμικό που συνήθως είναι ένας browser για την αποκωδικοποίηση του τηλεοπτικού περιεχομένου. Το χρονικό διάστημα μεταξύ της επιλογής ενός τηλεοπτικού καναλιού και της έναρξης της προβολής του είναι γενικά αρκετά μικρό και εξαρτάται από την ταχύτητα σύνδεσης που είναι διαθέσιμη μεταξύ του πελάτη και του server. Ένας streaming server επαρκεί για τη διανομή ενός μικρού αριθμού τηλεοπτικών καναλιών διαδικτύου σε ένα περιορισμένο πλήθος χρηστών. Για τη μετάδοση πολλαπλάσιων καναλιών σε χιλιάδες ή ενδεχομένως σε εκατοντάδες χιλιάδες IPTV συνδρομητών είναι απαραίτητη η χρήση πολλαπλών streaming servers σε διάφορα σημεία του δικτύου. Εκτός των λειτουργιών της αναπαραγωγής του τηλεοπτικού περιεχομένου



Σχήμα 3.7 Αρχιτεκτονική διανομής Internet TV καναλιού [1]

είναι υπ' ευθύνη του streaming server, η αποθήκευση και η ανάκτηση αυτού του περιεχομένου. Επίσης ελέγχει το ρυθμό με τον οποίο τα IP πακέτα διανέμονται στον εξοπλισμό του πελάτη και εκτελεί τις εντολές τις οποίες αιτείται ο Internet TV θεατής. Σε επίπεδο ασφαλείας το περιεχόμενο που διανέμεται είναι αρκετά ασφαλές επειδή δεν αποθηκεύεται στη συσκευή πρόσβασης του πελάτη, αποτρέποντας έτσι την αντιγραφή περιεχομένου. Στο σχήμα 3.7 απεικονίζεται ένα απλοποιημένο παράδειγμα όσων περιγράφηκαν παραπάνω.

### 3.7.5.2 Μεταφορτώσεις διαδικτύου

Σε μια μεταφόρτωση διαδικτύου οι συνδρομητές «κατεβάζουν» και παρακολουθούν το κατ' απαίτηση περιεχόμενο. Κάποιες ιστοσελίδες προσφέρουν τη δική τους βιβλιοθήκη με το διαθέσιμο προς μεταφόρτωση IPTV περιεχόμενο. Οι περισσότερες IPTV υπηρεσίες μεταφόρτωσης από το διαδίκτυο απαιτούν την καταβολή συνδρομής ή την πληρωμή ανά μεταφόρτωση και σε αυτές περιλαμβάνονται τοπικές ειδήσεις, προβλέψεις καιρικών συνθηκών, ταινίες, μουσική, οδηγοί ψυχαγωγίας και διαφημίσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται Η/Υ για την παρακολούθηση του περιεχομένου αυτού αλλά υπάρχει και η δυνατότητα παροχής των συνδρομητών που προτιμούν να παρακολουθούν τα βίντεο αυτά σε άλλες συσκευές με set-top boxes.



### **3.7.5.3 Peer-to-Peer διανομή βίντεο**

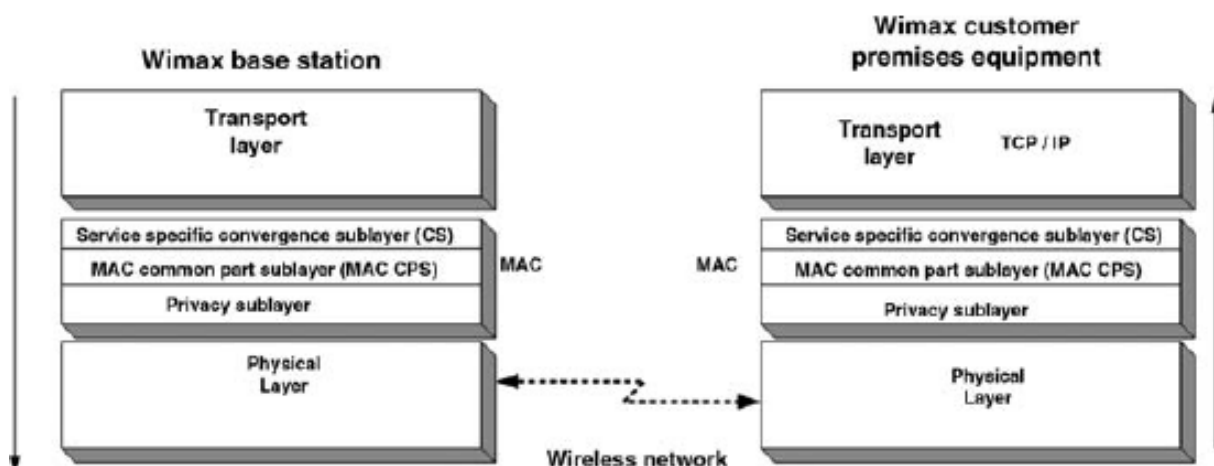
Μια peer-to-peer εφαρμογή διανομής βίντεο επιτρέπει στους χρήστες να το διαμοιραστούν online και να το παρακολουθήσουν. Η χρήση μιας P2P εφαρμογής είναι αρκετά απλή και απαιτεί τη μεταφόρτωση και την εγκατάσταση εξειδικευμένου λογισμικού. Η λήψη του περιεχομένου μπορεί να γίνει από πολλές πηγές (προμηθευτές) ταυτόχρονα και σε αντίθεση με το παραδοσιακό client - server μοντέλο σε αυτή την αρχιτεκτονική δικτύου, οι συνδρομητές μπορούν να είναι προμηθευτές και καταναλωτές ταυτόχρονα. Οι συνδρομητές που συμμετέχουν σε αυτή τη διαδικασία, επιτρέπουν ένα μέρος των πόρων τους να διατίθεται σε άλλους συνδρομητές χωρίς την ανάγκη συντονισμού τους από κάποιο server [1].

### **3.7.6 IPTV διαμέσου ασύρματων τεχνολογιών**

Τα νέα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα παρέχουν στους διαχειριστές των τηλεπικοινωνιών μια εναλλακτική πλατφόρμα μετάδοσης IPTV υπηρεσιών. Οι διαθέσιμες επιλογές περιγράφονται στις ακόλουθες παραγράφους.

#### **3.7.6.1 Fixed WiMAX**

Στο σταθερό WiMAX προτιμούνται οι αδειοδοτούμενες ζώνες συχνοτήτων για τη μετάδοση IPTV εφαρμογών πραγματικού χρόνου εξαιτίας των μικρών παρεμβολών που υφίσταται η συγκεκριμένη ασύρματη τεχνολογία. Στο φυσικό επίπεδο το OFDMA αποτελεί ιδανική επιλογή εξαιτίας της υποκαναλοποίησης στο upstream, ενώ στο υπόστρωμα ασφαλείας του MAC επιπέδου διαχειρίζεται την επικύρωση των IPTV συνδρομητών και την κρυπτογράφηση του τηλεοπτικού περιεχομένου. Σε επίπεδο μεταφοράς χρησιμοποιείται το TCP/IP πρότυπο για την επιβεβαίωση της μετάδοσης των IPTV υπηρεσιών όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.8. Οι γεωγραφικές τοπολογίες σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες όπως οι προδιαγραφές του εξοπλισμού και οι καιρικές συνθήκες μπορεί να έχουν επίδραση στην επικοινωνία μεταξύ ενός IPTVCD και ενός WiMAX σταθμού βάσης. Το WiMAX έχει μια θεωρητική μέγιστη ταχύτητα της τάξης των 60 Mbps σε μια περιοχή κάλυψης 6-10 χιλιομέτρων ανάλογα με τις υλοποιήσεις και τον εξοπλισμό



Σχήμα 3.8 WiMAX μοντέλο επικοινωνιών [1]

που χρησιμοποιείται. Οι τιμές αυτές επιτρέπουν στους συνδρομητές να έχουν πρόσβαση στις IPTV υπηρεσίες στις περιοχές όπου καλύπτονται από το Wimax.

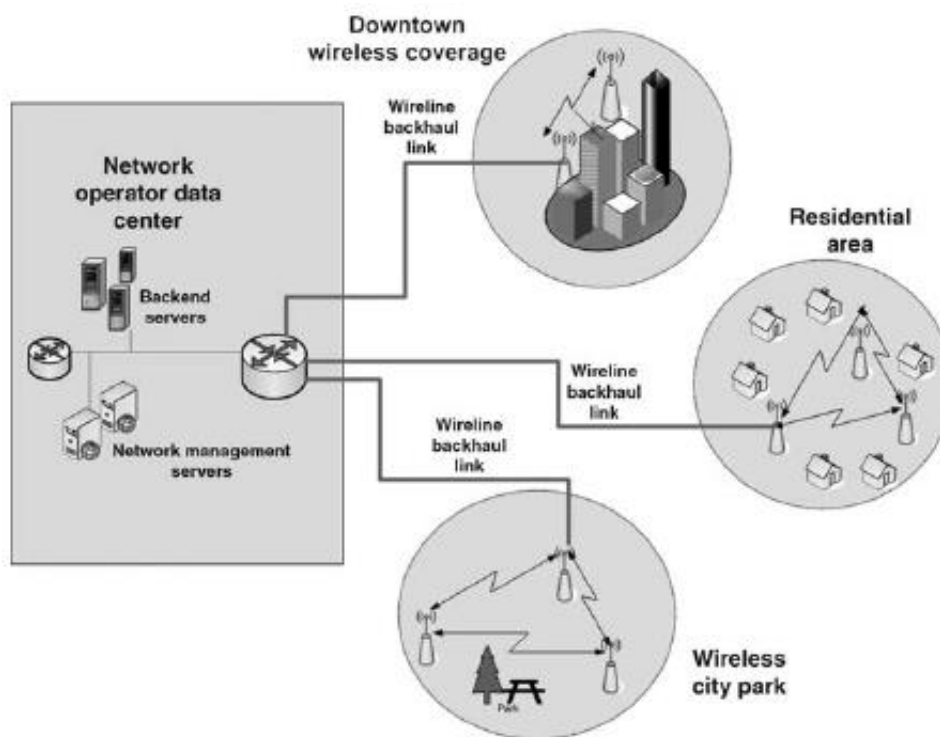
### 3.7.6.2 Mobile WiMAX

Το mobile WiMAX περιλαμβάνει διάφορα χαρακτηριστικά τα οποία είναι απαραίτητα για τη διανομή IPTV υπηρεσιών και εφαρμογών. Η τεχνολογία αυτή παρέχει ρυθμούς μετάδοσης μεγέθους 32-46 Mbps. Αυτές οι ταχύτητες αν χρησιμοποιηθούν σωστά επιτρέπουν τη μετάδοση συμπιεσμένου IP περιεχομένου υψηλής ευκρίνειας σε κινητούς δέκτες. Η χρήση του OFDMA και των μεταπομπών επιτρέπει τη διανομή multicast καναλιών στους συνδρομητές, σε γεωγραφικές περιοχές που είναι ευπαθείς στην επίδραση της πολυδιόδευσης. Το mobile WiMAX ενσωματώνεται με το IMS, το οποίο απλοποιεί την αλληλεπίδραση μεταξύ των IPTV εφαρμογών και των άλλων IP υπηρεσιών όπως η υψηλών ταχυτήτων πρόσβαση στο Internet και το VoIP. Το IMS αποτελεί μία αρχιτεκτονική η οποία επιτρέπει στους διαχειριστές δικτύων την επιτάχυνση και την απλοποίηση των IP υπηρεσιών. Τέλος το mobile WiMAX παρέχει αυξημένο επίπεδο υποστήριξης ποιότητας υπηρεσιών (advanced QoS), χαρακτηριστικό ωφέλιμο για IPTV εφαρμογές πραγματικού χρόνου [1].

### 3.7.6.3 Ασύρματα δημοτικά δίκτυα βρόχου

Τα ασύρματα δημοτικά δίκτυα βρόχου (Wireless Municipal Mesh Networks), είναι μία ακόμη ασύρματη πλατφόρμα που υπόσχεται να υποστηρίξει τη διανομή των IPTV υπηρεσιών. Τα ασύρματα δημοτικά δίκτυα λειτουργούν σε υπαίθριο περιβάλλον είτε στην «ελεύθερη» ζώνη των 2.4 GHz είτε στα 5 GHz. Το Wi-Fi, είναι η τεχνολογία που επιλέχθηκε για τη δημιουργία αυτών των δικτύων βρόχου, εξαιτίας του ότι οι περισσότεροι φορητοί Η/Υ κατασκευάζονται με ενσωματωμένες Wi-Fi διεπαφές.

Η κατασκευή των Wi-Fi δικτύων σε υπαίθριο περιβάλλον απαιτεί τη χρήση ενός μεγάλου αριθμού σημείων πρόσβασης (Mesh Wi-Fi Access Points) συνδεδεμένων μεταξύ τους αλλά και συνδεδεμένων μέσω μιας ενσύρματης σύνδεσης οι οποία παρέχει συνδεσιμότητα (wired backhaul connectivity) στον πάροχο των ευρυζωνικών υπηρεσιών (σχήμα 3.9). Η ενσύρματη backhaul σύνδεση απαιτείται για την επικοινωνία με το IP data center και στη συνέχεια με το Internet. Συνήθως χρησιμοποιείται η VLANs (virtual LANs) τεχνολογία για το διαχωρισμό των υπηρεσιών όπως συμβαίνει με τους δρομολογητές στα LANs. Τα access points είναι συνήθως συνδεδεμένα σε σταθερές φυσικές κατασκευές όπως είναι οι στύλοι φωτισμού, τα ψηλά κτήρια και οι πύργοι τηλεπικοινωνιών. Το κόστος της



Σχήμα 3.9 Αρχιτεκτονική ασύρματου δημοτικού δικτύου βρόχου [1]

διασύνδεσης των access points σε ένα κεντρικό σημείο με τη χρήση κάποιου τύπου φυσικής καλωδίωσης είναι συνήθως απαγορευτικό. Έτσι διασυνδέονται μεταξύ τους αλλά και με μία AP πύλη (AP gateway).

Οι δύο κατηγορίες access points που συναντώνται σε αυτόν τον τύπο δικτύων είναι:

- **Single Wi-Fi radio-mesh APs** Αυτός ο τύπος κάνει χρήση ενός μόνου καναλιού για την υποστήριξη πρόσβασης συσκευών χρηστών πολλαπλών τύπων, καθώς και για τη μεταφορά της κίνησης από και προς το δίκτυο βρόχου. Για την ελαχιστοποίηση των περιορισμών που προκύπτουν και τη αύξηση της αποδοτικότητας αυτά τα APs ομαδοποιούνται σε σύνολα (clusters) με κάθε σύνολο να λειτουργεί σε διαφορετικές συχνότητες από ένα γειτονικό του.
- **Dual Wi-Fi radio-mesh APs** Ο τύπος αυτός χρησιμοποιεί διαφορετικά κανάλια για τη μεταφορά της κίνησης βρόχου, αλλά και για την πρόσβαση στις Wi-Fi συσκευές χρηστών, στη 2.4 GHz ζώνη συχνοτήτων. Η χρήση δύο διαφορετικών καναλιών με το καθένα να έχει διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας προσφέρει αυξημένα επίπεδα απόδοσης και μειωμένα επίπεδα καθυστέρησης, κάτι το οποίο καθιστά τα dual channel APs καταλληλότερα για την μεταφορά IPTV εφαρμογών πραγματικού χρόνου.

Η μέση ταχύτητα κάτω ζεύξης περιορίζεται στο 1 Mbps, η οποία δεν επαρκεί για τη διανομή IPTV υπηρεσιών με αποτέλεσμα η χρήση αυτών των δικτύων να περιορίζεται στη μετάδοση IPTV περιεχομένου από Wi-Fi κάμερες.

#### 3.7.6.4 3G τεχνολογίες δικτύου

Τα 3G κινητά δίκτυα όπως το EV-DO και το HSDPA είναι ικανά για τη μετάδοση κινητών εφαρμογών IPTV, με το EV-DO να υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων στο downstream έως 4.9 Mbps και το HSDPA έως 14 Mbps. Αν και τα δίκτυα αυτά δεν αποτελούν την ιδανική πλατφόρμα μετάδοσης IPTV υπηρεσιών, επιτρέπουν στους χειριστές δικτύων τη μετάδοση IPTV υπηρεσιών σε συνδρομητές που ζουν σε περιοχές που δεν εξυπηρετούνται επαρκώς από τα DSL ή τα καλωδιακά ευρυζωνικά συστήματα [1].

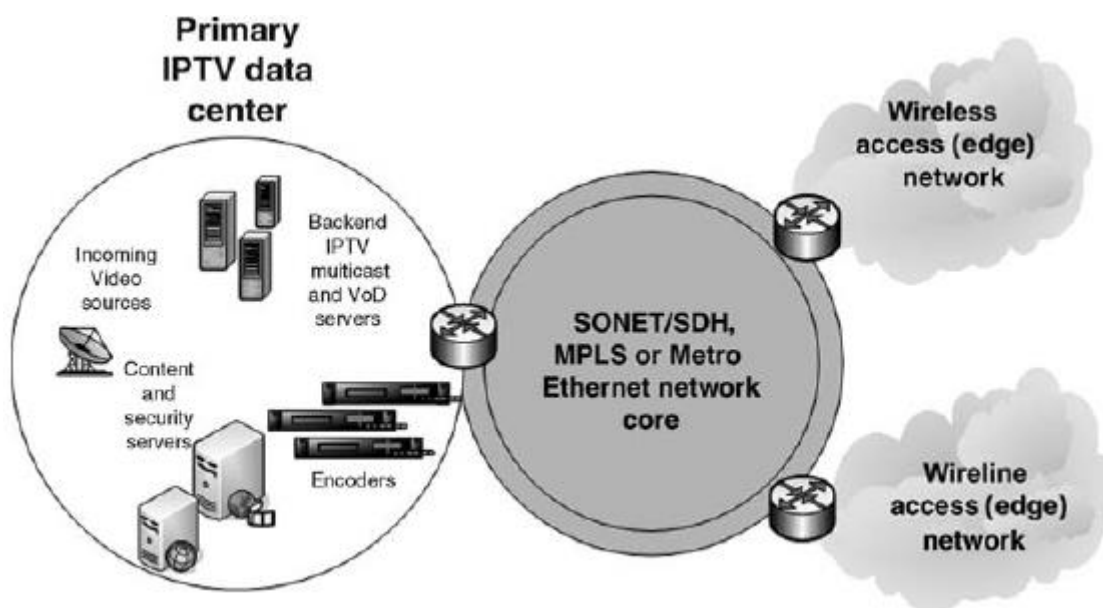
### 3.8 Τεχνολογίες πυρήνα δικτύου IPTV

Ο πυρήνας (core/backbone) ενός IPTV δικτύου επωμίζεται τη διανομή τηλεοπτικού περιεχομένου μεγάλου όγκου, μεταξύ του IPTV data center και του last mile δικτύου διανομής σε υψηλές ταχύτητες (σχήμα 3.10). Το μέρος αυτού του δικτύου χρησιμοποιεί πρότυπα τα οποία παρέχουν πολυδιόδευση (multipath) και προστασία σύνδεσης για να εξασφαλιστεί η υψηλή αξιοπιστία του. Κάθε πρότυπο από αυτά περιέχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και η εξελξιμότητά (scalability) του. Οι τρεις διαφορετικοί τύποι τεχνολογιών μετάδοσης που χρησιμοποιούνται από τον πυρήνα ενός IPTV δικτύου είναι οι εξής:

- ATM και SONET/SDH
- IP και MPLS
- Metro Ethernet

#### 3.8.1 ATM και SONET/SDH

Η ATM τεχνολογία μετάδοσης δεδομένων υλοποιείται ως ένα πρωτόκολλο δικτύου το οποίο μπορεί να υποστηρίξει τη διανομή των απαιτητικών σε εύρος ζώνης IPTV εφαρμογών με χαμηλή καθυστέρηση μετάδοσης. Το ATM βρίσκει εφαρμογή σε δίκτυα ομοαξονικών και συνεστραμμένων καλωδίων αλλά προτιμάται

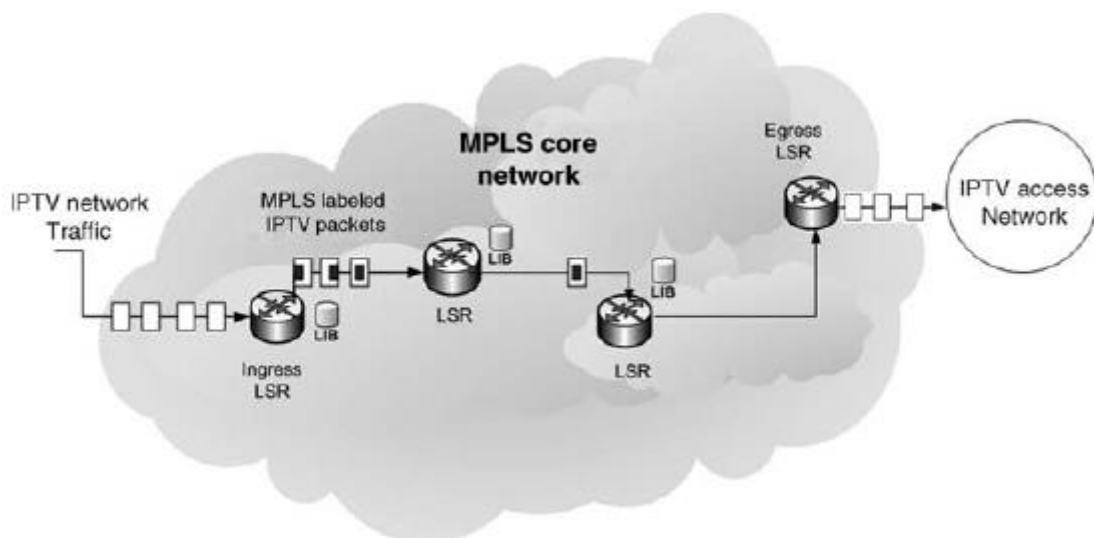


Σχήμα 3.10 Υποδομή IPTV δικτύου πυρήνα [1]

η εφαρμογή του στα δίκτυα οπτικών ινών λόγω των μεγαλύτερων ταχυτήτων που επιτυγχάνει. Το SONET είναι ένα πρωτόκολλο για την υψηλών ταχυτήτων μετάδοση μέσω οπτικών ινών και χρησιμοποιείται στις περιοχές των ΗΠΑ και του Καναδά. Το SDH (Synchronous Digital Hierarchy) είναι ένα πρωτόκολλο αντίστοιχο του SONET για τη μετάδοση σε δίκτυα οπτικών ινών σε περιοχές εκτός των Ηνωμένων Πολιτειών. Το SONET/SDH επιλέγεται για τη μεταφορά των ATM πλαισίων. Συνεπώς κατά μία έννοια δεν αποτελεί πρωτόκολλο επικοινωνίας αλλά πρωτόκολλο μεταφοράς. Με το SONET/SDH η σύνθετη δομή του ATM αντικαθίσταται από ένα μεγάλο πλαίσιο στο οποίο τοποθετούνται τα ATM πλαίσια [12]. Το SONET χρησιμοποιεί πολύπλεξη διαίρεσης χρόνου (TDM) για την ταυτόχρονη αποστολή των ροών δεδομένων. Οι SONET συσκευές λαμβάνουν έναν αριθμό ροών δεδομένων τις οποίες συνδυάζουν σε μία ενιαία εξερχόμενη ροή, την οποία εν συνεχεία αποστέλλουν στο δίκτυο οπτικών ινών. Ο ρυθμός μετάδοσης της εξερχόμενης ροής είναι ίσος με το άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης των εισερχόμενων ροών στο SONET εξοπλισμό [1].

### **3.8.2 IP και MPLS**

Το IP δε σχεδιάστηκε εξ' αρχής για την υποστήριξη QoS μηχανισμών, ούτε για το διαχωρισμό της κυκλοφορίας των δεδομένων ανάλογα με τον τύπο τους (βίντεο, ήχος, δεδομένα). Ωστόσο το IP μπορεί να υποστηρίξει επαρκώς τη μετάδοση διάφορων υπηρεσιών όταν συνδυαστεί με την MPLS (Multiprotocol Label Switching) τεχνολογία. Όπως δείχνει η σχήμα 3.11 μια MPLS πλατφόρμα χρησιμοποιεί δρομολογητές μεταγωγής ετικέτας (Label Switch Routers - LSRs). Αυτό οι δρομολογητές είναι αρμόδιοι για την εγκαθίδρυση connection-oriented μονοπατιών συγκεκριμένου προορισμού στο IPTV δίκτυο. Αυτά τα εικονικά μονοπάτια αποκαλούνται LSPs (Label Switched Paths) και παραμετροποιούνται με τη χρήση πολλών πόρων για την ομαλή μεταφορά των IPTV δεδομένων στο MPLS. Η χρήση των LSPs απλοποιεί και επιταχύνει τη δρομολόγηση των πακέτων στο δίκτυο, επειδή ο έλεγχος των πακέτων γίνεται μόνο κατά την είσοδο τους στο δίκτυο χωρίς να απαιτείται περαιτέρω έλεγχος κατά τη μετάβαση από τον ένα δρομολογητή στον άλλο. Μια άλλη κύρια λειτουργία των LSRs είναι ο



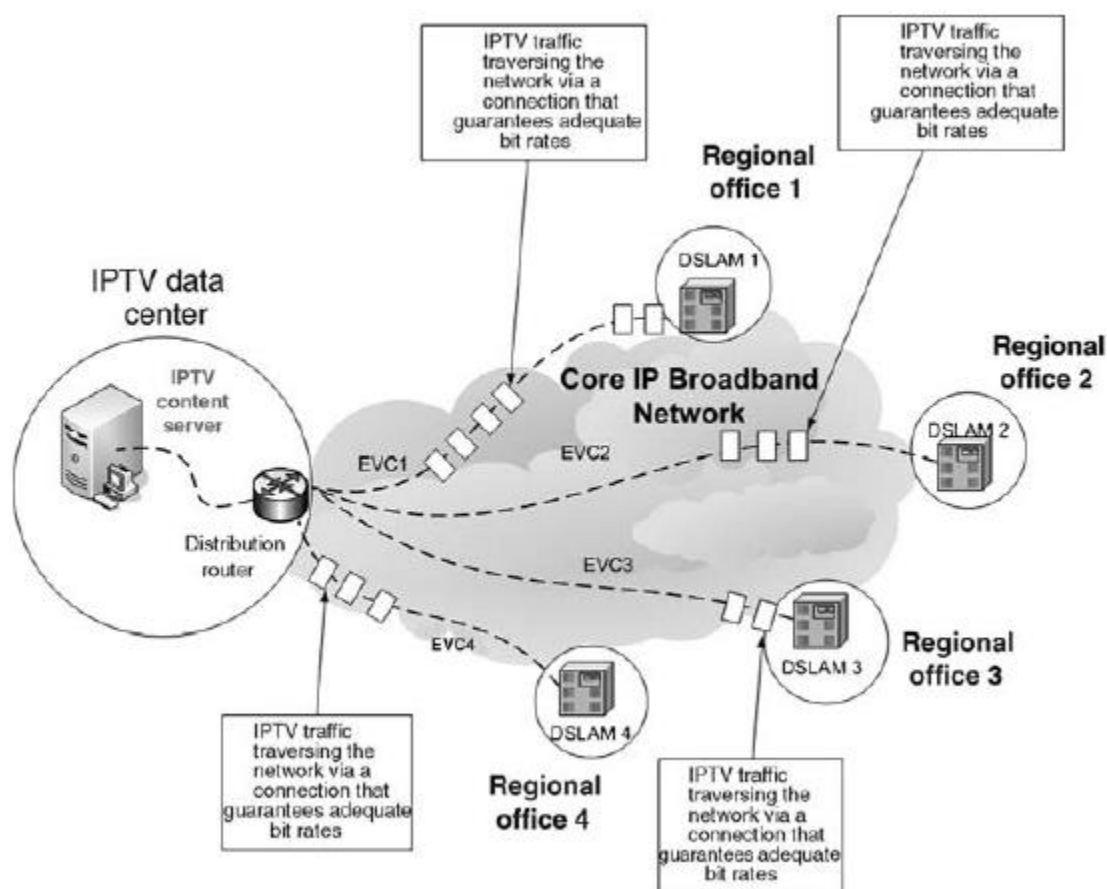
Σχήμα 3.11 MPLS τοπολογία δικτύου πυρήνα [1]

προσδιορισμός του τύπου της κίνησης στο δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη μιας MPLS κεφαλίδας στην αρχή κάθε IPTV πακέτου. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.11 η κεφαλίδα προστίθεται το LSR εισόδου και αφαιρείται από το LSR εξόδου, καθώς εξέρχεται από το MPLS δίκτυο. Καθώς το IPTV περιεχόμενο διασχίζει τους MPLS δρομολογητές, δημιουργείται ένας αριθμός τοπικών πινάκων που ονομάζονται LIBs (Label Information Bases) και χρησιμοποιούνται για να παίρνονται οι αποφάσεις της δρομολόγησης των πακέτων. Ένα άλλο πλεονέκτημα των MPLS δικτύων είναι η ανθεκτικότητά τους κατά την εμφάνιση σφαλμάτων [1].

### 3.8.3 Metro Ethernet

Μια ακόμη τεχνολογία που μπορεί χρησιμοποιηθεί από ένα δίκτυο πυρήνα είναι το Metro Ethernet. Βασίζεται στο Ethernet και προορίζεται για μητροπολιτικά δίκτυα. Το Metro Ethernet Forum (MEF) είναι μια ένωση φορέων παροχής υπηρεσιών, προμηθευτών εξοπλισμού καθώς και άλλες διακεκριμένων επιχειρήσεων του τομέα των δικτύων, αρμόδια για την καθιέρωση των προδιαγραφών και την ενσωμάτωση των Ethernet τεχνολογιών στα υψηλής χωρητικότητας δίκτυα πυρήνα. Το MEF πιστοποιεί τον Ethernet εξοπλισμό για τη χρήση του στα δίκτυα πυρήνα των διαφόρων φορέων παροχής υπηρεσιών.

Τα κύρια τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του Metro Ethernet εκπληρώνουν τις απαιτήσεις ενός δικτύου πυρήνα ως προς την ανθεκτικότητα, την υψηλή απόδοση, και την επεκτασιμότητα. Αποτελεί οικονομικότερη λύση συγκριτικά με το SONET/SDH και μπορεί να συνδεθεί εύκολα σε ένα συνδρομητικό δίκτυο, λόγω της τάσης που επικρατεί στα εταιρικά και στα οικιακά δίκτυα να χρησιμοποιούν το Ethernet [13]. Επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης έως 100 Gbps κατά μήκος μεγάλων αποστάσεων καθιστώντας ιδανική τη μετάδοση IPTV υπηρεσιών στα διάφορα διασκορπισμένα γεωγραφικά κέντρα (regional offices). Παρέχει ένα μηχανισμό αποκατάστασης του δικτύου σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας του, παρέχοντας έτσι την απρόσκοπτη λειτουργία των IPTV υπηρεσιών. Επιπλέον τα μικρά ποσοστά καθυστέρησης και απώλειας πακέτων το καθιστούν ιδανική τεχνολογία δικτύου για τη μετάδοση αυτών των υπηρεσιών. Η τεχνολογία του Metro Ethernet μετρό υποστηρίζει τη χρήση connection orientated εικονικών κυκλωμάτων (virtual connection



Σχήμα 3.12 Χρήση Ethernet εικονικών συνδέσεων για τη διασύνδεση κατά μήκος του δικτύου πυρήνα [1]



orientated) για τη διανομή υψηλής ποιότητας βίντεο περιεχομένου στο δίκτυο πυρήνα. Αυτά τα εικονικά κυκλώματα καλούνται και Ethernet εικονικές συνδέσεις (Ethernet Virtual Connections - EVCs) μεταξύ του IPTV κέντρου δεδομένων και των regional offices (σχήμα 3.12).

### 3.9 Παράγοντες δικτύου που επηρεάζουν την ανάπτυξη της IPTV

Οι παράγοντες που θα πρέπει να εξεταστούν πριν προωθηθούν οι IPTV υπηρεσίες στο εμπόριο είναι:

- **Το μέγεθος του δικτύου** Για την υποστήριξη της μεταφοράς ενός βίντεο, τα IPTV δίκτυα διανομής απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης το οποίο συνήθως είναι πολλαπλάσιο από αυτό που απαιτείται για την υποστήριξη υπηρεσιών VoIP και υπηρεσιών διαδικτύου. Το συνολικό εύρος ζώνης που απαιτείται για την παροχή των IPTV υπηρεσιών εξαρτάται από τον αριθμό των προσφερόμενων multicast καναλιών και συνυπολογισμό των IP-VoD υπηρεσιών. Οι διαστάσεις του δικτύου περιπλέκονται περαιτέρω στη περίπτωση που παρέχονται και IP-VoD εφαρμογές. Πρόκειται για unicast εφαρμογές που μεταφέρονται από τον on-demand βίντεο server στις συσκευές των συνδρομητών. Αυτός ο τύπος εφαρμογών καταλαμβάνει ένα μεγάλο ποσοστό εύρους ζώνης του κεντρικού δικτύου (core network).
- **Την αξιοπιστία** Η υποδομή ενός IPTV δικτύου πρέπει να είναι αξιόπιστη έτσι ώστε η διανομή των IPTV υπηρεσιών να μη μπορεί να διακοπεί από ένα ενδεχόμενο σφάλμα κάποιας συσκευής, στη περίπτωση μιας unicast ή μιας multicast εφαρμογής. Για αυτό είναι απαραίτητη η ύπαρξη εφεδρικών συνδέσεων ώστε να μπορούν χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε χρειαστεί.
- **Τη γρήγορη απόκριση** Το δίκτυο πρέπει να υποστηρίζει τους ελάχιστους χρόνους απόκρισης έτσι ώστε η μετάβαση από το ένα κανάλι στο άλλο να είναι άμεση χωρίς χρονικές καθυστερήσεις.
- **Τη πρόβλεψη επίδοσης** Οι διαχειριστές των IPTV υπηρεσιών πρέπει να ορίζουν τους κατάλληλους πόρους δικτύου όσο δύσκολη και αν είναι

η πρόβλεψη των απαιτήσεων της διανομής ενός βίντεο, ειδικά όταν πρόκειται για βίντεο πραγματικού χρόνου.

- **Το επίπεδο QoS** Βάσει του γεγονότος ότι οι περισσότερες IPTV υπηρεσίες λειτουργούν μέσω ενός ιδιωτικού ευρυζωνικού δικτύου με τους χρήστες να επιβαρύνονται με κάποια συνδρομή, είναι απαραίτητη η επιβολή κάποιας πολιτικής όσον αφορά τη ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η επιβολή QoS μηχανισμών συντηρεί το τηλεοπτικό σήμα και μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης σφαλμάτων κατά τη διαβίβαση του σε μεγάλες αποστάσεις η κατά την πολυεκπομπή. Ένα QoS σύστημα περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές δικτύου και υποστηρίζει πρωτόκολλα τα οποία εγγυώνται στους IPTV συνδρομητές υψηλού επιπέδου ποιότητα τηλεθέασης [1].

### 3.10 Πραγματικόχρονη κωδικοποίηση

Πριν την ανάλυση της διαδικασίας της κωδικοποίησης είναι χρήσιμη η κατανόηση των διαδικασιών που συμβαίνουν πριν την κωδικοποίηση. Η πρώτη διαδικασία είναι αυτή της καταγραφής του βίντεο με μια κάμερα σε αναλογική μορφή. Η δεύτερη διαδικασία είναι αυτή της ψηφιοποίησης του αναλογικού σήματος σε μια σειρά ψηφιακών bits. Η ψηφιοποίηση γίνεται με τη βοήθεια του υλικού του ψηφιακού μετατροπέα (analog to digital/AD converter). Κατά την επεξεργασία του σήματος εφαρμόζονται οι τεχνικές της δειγματοληψίας (sampling) και της κβαντοποίησης (quantization). Η δειγματοληψία αναφέρεται στον αριθμό δειγμάτων που λαμβάνονται από το εισερχόμενο αναλογικό σήμα ανά δευτερόλεπτο. Η κβαντοποίηση είναι το δεύτερο μέρος της διαδικασίας μετατροπής και περιλαμβάνει την ανάθεση ενός αριθμού bits κομματιών για κάθε δείγμα σήματος που λαμβάνεται. Μετά και από αυτή τη διαδικασία το ασυμπιεστο ψηφιακής μορφής πλέον βίντεο είναι έτοιμο για κωδικοποίηση. Η κωδικοποίηση των ψηφιοποιημένων bit ροών απαιτεί τη χρήση των συσκευών των κωδικοποιητών και γίνεται στο IPTV data center.

Στα πλεονεκτήματα της κωδικοποίησης συγκαταλέγονται όπως είναι αντιληπτό ο μειωμένος αποθηκευτικός χώρος που απαιτείται για τα αρχεία των video, η μειωμένη απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς αλλά και ο χρόνος μετάδοσης στο

δίκτυο ο οποίος σημαντικά μικρότερος. Επίσης η χρήση των IPTV υπηρεσιών είναι πλέον εφικτή και από ευρυζωνικές συνδέσεις καναλιών μικρής χωρητικότητας αν αναλογιστεί κανείς πως με τις παλιές μεθόδους κωδικοποίησης ένα HDTV κανάλι απαιτούσε 20-25 Mbps ενώ πλέον απαιτεί 8 Mbps. Στα μειονεκτήματα της διαδικασίας της κωδικοποίησης συγκαταλέγονται οι καθυστερήσεις που εισάγονται από τις τεχνικές συμπίεσης και αποσυμπίεσης των σημάτων, καθώς και η απώλεια κάποιων πληροφοριών κατά τη συμπίεση με αποτέλεσμα η ποιότητα της εικόνας να είναι χαμηλότερη αυτής των ασυμπίεστων σημάτων [1].

### **3.10.1 MPEG συμπίεση**

Οι μέθοδοι συμπίεσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τη συμπίεση χωρίς απώλειες (lossless compression) και τη συμπίεση με απώλειες (lossy compression). Η συμπίεση χωρίς απώλειες επιτρέπει σε μια IPTVCD την ακριβή επαναδημιουργία της εικόνας στην οθόνη χωρίς απώλειες στην ποιότητα της που προκαλείται εξαιτίας της συμπίεσης και μεταφοράς. Αυτό συμβαίνει σπάνια μιας και όλοι οι αλγόριθμοι συμπίεσης εισάγουν κάποιο ποσοστό απώλειας κατά τη διαδικασία της κωδικοποίησης, με αποτέλεσμα αυτοί οι αλγόριθμοι να χρησιμοποιούνται κυρίως για τη κωδικοποίηση εικόνων και όχι περιεχομένου βίντεο. Στη περίπτωση της συμπίεσης με απώλειες χρησιμοποιούνται κυρίως οι MPEG και VC-1 τεχνικές. Το ακρώνυμο MPEG προέρχεται από την Moving Pictures Experts Group βιομηχανική ομάδα, η οποία αναπτύσσει πρότυπα συμπίεσης για δορυφορικά, επίγεια και καλωδιακά συστήματα τηλεόρασης. Τα πρότυπα που έχουν συσταθεί από αυτή την ομάδα είναι τα MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 (Part 2 και 10), MPEG-7 και MPEG-21. Στον πίνακα 3.6 συνοψίζονται τα πρότυπα αυτά. Από τους παραπάνω τύπους συμπίεσης ο MPEG-2 και ο MPEG-4 Part 10 (ή αλλιώς H.264/AVC) είναι οι πιο ευρέως διαδεδομένοι από τους φορείς παροχής υπηρεσιών.

**Πίνακας 3.6** Σύνοψη των MPEG προτύπων

| MPEG Format     | Description  |
|-----------------|--|
| MPEG-1          | The MPEG-1 file format was originally developed in 1988 and was primarily used to compress video data at bit rates of 1.5 Mbps. MPEG-1 content is used for such services as DAB (Digital Audio Broadcasting). MPEG-1 is also the basis of the MP3 standard, which is widely used for music on the Internet.        |
| MPEG-2          | MPEG-2 builds on the powerful compression capabilities of the MPEG-1 standard. MPEG-2 is widely used in the delivery of broadcast-quality television and storing video content on DVDs. A number of international television standards are based on this compression format.                                       |
| MPEG-4 (Part 2) | MPEG-4, whose formal ISO/IEC designation is ISO/IEC 14496, was finalized in October 1998 and became an international standard in 2000. Part 2 of the standard is divided into a number of profiles that address the requirements of various video applications ranging from mobile phones to surveillance cameras. |
| MPEG-4 Part 10  | MPEG-4 Part 10 also called H.264/AVC is designed to deliver broadcast and DVD-quality video at minimum data rates.   |

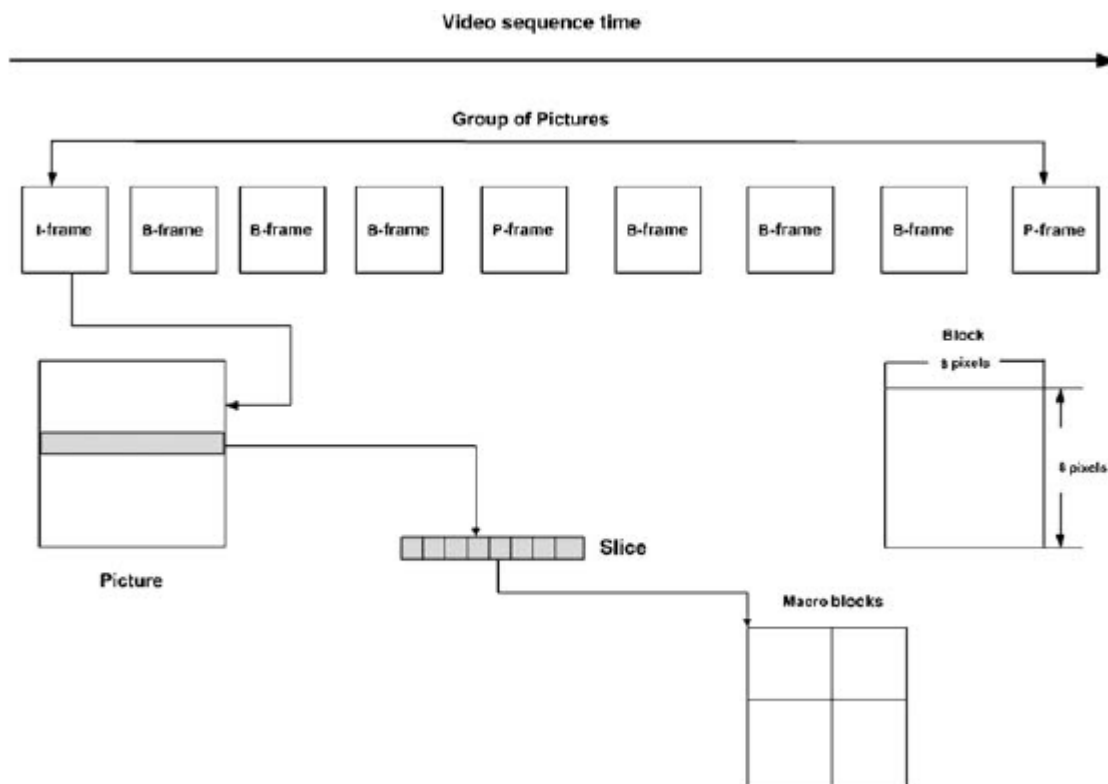
### 3.10.1.1 MPEG-2

Το MPEG-2 είναι το κυρίαρχο πρότυπο μεταφοράς και κωδικοποίησης το οποίο χρησιμοποιείται για την ψηφιακή συμπίεση σημάτων ήχου και βίντεο. Το MPEG-2 μπορεί να κωδικοποιήσει SDTV ροές με ρυθμούς μετάδοσης 3-15 Mbps και HDTV ροές με ρυθμούς 15-30 Mbps [14].

Το βίντεο στη πιο απλή του μορφή αποτελείται από μια ακολουθία εικόνων κάθε μία από τις οποίες ονομάζεται frame. Τα frames σε μια ροή από bits προσδιορίζονται το καθένα ξεχωριστά από μια κεφαλίδα. Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να παρακολουθήσει σε έναν τηλεοπτικό δέκτη περίπου 25 fps (frames per second). Το πρώτο στάδιο της συμπίεσης περιλαμβάνει μία διαδικασία που ονομάζεται υποδειγματοληψία (subsampling) η οποία μειώνει το μέγεθος του κάθε frame εξαλείφοντας έναν αριθμό από bits, με στόχο τη μείωση του εύρους ζώνης που απαιτείται για τη μεταφορά του σήματος. Στο δεύτερο στάδιο συμπίεσης του βίντεο-σήματος ένα frame διαιρείται σε 8X8 μπλοκ από pixels, τη μικρότερη μονάδα κωδικοποίησης του MPEG αλγορίθμου. Εν συνεχεία εφαρμόζεται ο DCT (Discrete Cosine Transform) αλγόριθμος σε κάθε μπλοκ ξεχωριστά. Ο αλγόριθμος αυτός διαχωρίζει τα μπλοκ μεταξύ τους ανάλογα με τη σπουδαιότητά τους. Τα

σημαντικά μπλοκ συντηρούνται για περαιτέρω επεξεργασία ενώ τα υπόλοιπα απορρίπτονται. Τα μπλοκ που ο αλγόριθμος απορρίπτει είναι συνήθως αυτά που το ανθρώπινο μάτι δεν παρατηρεί. Το επόμενο στάδιο της MPEG κωδικοποίησης είναι η κβαντοποίηση. Η κβαντοποίηση αναφέρεται στη μείωση του αριθμού των bits που απαιτούνται για την αναπαράσταση των μπλοκ. Εάν το επίπεδο κβαντοποίησης είναι υψηλό, τότε επιτυγχάνονται υψηλότερα ποσοστά συμπίεσης και άρα αφαιρείται ένας μεγάλος αριθμός από pixel. Η υψηλού επιπέδου κβαντοποίηση γίνεται εμφανής στην οθόνη των IPTV συνδρομητών με την υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας. Αφότου τα μπλοκ έχουν συμπιεσθεί, το MPEG διασπά το frame σε ένα νέο σύνολο από μπλοκ που ονομάζεται macroblocks. Κάθε macroblock αποτελείται από έναν 16X6 πίνακα από pixel. Αν υπάρχει διαφορά στα τρέχοντα και στα αρχικά blocks του frame τότε η MPEG συμπίεση μετακινεί τα blocks που διαφέρουν σε μια νέα τοποθεσία του τρέχοντος frame. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη μετάδοσης ενός εξολοκλήρου νέου frame, μειώνοντας συνεπώς ουσιαστικά τις απαιτήσεις εύρους ζώνης. Αυτό επιτυγχάνεται με τους εξής δύο τρόπους:

- **Τη χωρική συμπίεση.** Στην περίπτωση γειτονικών pixel με όμοιες τιμές, αντί της κωδικοποίησης κάθε μεμονωμένου pixel η τεχνική αυτή κωδικοποιεί τη διαφορά μεταξύ των γειτονικών pixel. Έτσι τα ποσά των bits που απαιτούνται για τη κωδικοποίηση της διαφοράς των γειτονικών pixel στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μικρότερα από αυτά που απαιτούνται για κάθε pixel ξεχωριστά.
- **Τη χρονική συμπίεση.** Η χρονική συμπίεση αναφέρεται στη μείωση των bits μεταξύ των διαδοχικών frames. Για παράδειγμα αν μια πληροφορία (για παράδειγμα η απεικόνιση ενός τοίχου) απεικονίζεται επί 30 συνεχόμενα frames, δηλαδή για περισσότερο από 1 δευτερόλεπτο η χρονική συμπίεση στέλνει μόνο τις πληροφορίες για τις προβλέψεις των κινήσεων μεταξύ των frames. Στην περίπτωση τοίχου, η πρόβλεψη κινήσεων είναι μηδέν.



Σχήμα 3.13 Δομή ιεραρχίας μιας MPEG ροής βίντεο [1]

Το επόμενο στάδιο της MPEG συμπίεσης είναι η κωδικοποίηση των macroblocks σε οριζόντιες λωρίδες (slices) εικόνων από τα αριστερά προς τα δεξιά. Ο συνδυασμός των slices μας δίνει την εικόνα με κάθε slice να κωδικοποιείται ξεχωριστά. Οι σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων που προαναφέραμε απεικονίζονται στο σχήμα 3.13.

Το MPEG πρότυπο καθορίζει τρία είδη εικόνων οι οποίες είναι οι :

- **Intra-frames (I-frames).** Οι τεχνικές συμπίεσης εκτελούνται στις πληροφορίες που περιλαμβάνονται στο τρέχον πλαίσιο, και όχι σε οποιοδήποτε άλλο frame της ακολουθίας των frames που συνθέτουν το βίντεο. Με άλλα λόγια, καμία χρονική επεξεργασία δεν εκτελείται έξω από την τρέχουσα εικόνα ή το πλαίσιο. Αυτοί οι τύποι πλαισίων χρησιμοποιούνται σαν βάση για την παραγωγή άλλων τύπων πλαισίων.
- **Forward predicted frames (P-frames).** Ένα P-frame βασίζεται σε παρελθοντικά I-frames. Ξεκινώντας με ένα I-frame, ο κωδικοποιητής μπορεί να προβλέψει το μελλοντικό P-frame, το οποίο μπορεί επίσης να προβλεφθεί από άλλα P-frames. Ουσιαστικά ένα P-frame δεν είναι μια

κωδικοποιημένη εικόνα αλλά περιέχει πληροφορίες κίνησης οι οποίες επιτρέπουν σε μια IPTVCD να επανασχηματίσει το πλαίσιο. Τα P-frames απαιτούν λιγότερο εύρος ζώνης από τα I-frames, χαρακτηριστικό σημαντικό για τα δίκτυα που παρέχουν IPTV υπηρεσίες.

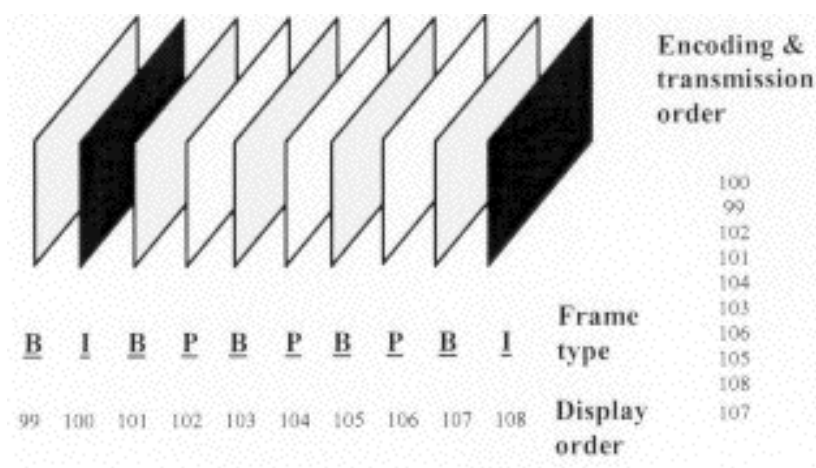
- **Bi-directional predicted frames (B-frames).** Τα B-frames αποτελούνται από πληροφορίες των I και P frames. Όπως φανερώνει και το όνομα τους τα B-frames είναι αμφίδρομα και βασίζονται μόνο στα frames που προηγούνται και που έπονται αυτών είτε αυτά είναι τα I-frames είτε τα P-frames. Τα B-frames καταλαμβάνουν μικρότερο διάστημα από τα I-frames ή τα P-frames. Έτσι σε ένα IPTV περιβάλλον μία ροή που περιέχει μεγάλο αριθμό B-frames απαιτεί λιγότερο εύρος ζώνης συγκριτικά με ψηφιακές ροές οι οποίες περιέχουν μεγάλο αριθμό από I και P frames. Το μόνο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής κωδικοποίησης είναι οι καθυστερήσεις. Χρονικές καθυστερήσεις δημιουργούνται επειδή μια IPTVCD θα πρέπει να περιμένει να εξετάσει δύο frames αναφοράς (προηγούμενα) προτού επεξεργαστεί ένα B-frame.

Αυτοί οι τρεις τύποι εικόνων συνδυάζονται για να διαμορφώσουν μια ακολουθία από frames τη λεγόμενη ομάδα εικόνων (Group Of Pictures - GOP). Κάθε ομάδα εικόνων αποτελείται κατά μέσο όρο από 12 - 15 frames και αρχίζει με ένα I-frame. Ένα τυπικό παράδειγμα MPEG ομάδας εικόνων μπορεί να έχει την ακόλουθη δομή:

**[I B B B P B B B P B B B P B B B P]**

Η διάταξη των πλαισίων που διαβιβάζονται στο ευρυζωνικό δίκτυο είναι διαφορετική από αυτή των πλαισίων που περιλαμβάνονται στην ασυμπιεστη ροή που τροφοδοτεί τον κωδικοποιητή (reordering διαδικασία). Αυτό συμβαίνει διότι στην IPTVCD η αποκωδικοποίηση απαιτεί πρώτα την επεξεργασία των I και P frames πριν την επανασυγκρότηση των B-frames. Στο σχήμα 3.14 η σειρά κωδικοποίησης και μεταφοράς των frames έχει ως εξής: Το πρώτο B-frame προβλέπεται από το πρώτο I-frame και το πρώτο P-frame. Το δεύτερο B-frame προβλέπεται από το δεύτερο και τρίτο P-frame, ενώ το τρίτο B-frame από το τρίτο P-frame και το πρώτο I-frame της επόμενης ομάδας εικόνων [15].

Οι ομάδες εικόνων διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις ανοικτές και τις κλειστές. Σε μία κλειστή ομάδα εικόνων το τελευταίο B-frame δεν απαιτεί ένα I-frame από



Σχήμα 3.14 Σειρά κωδικοποίησης και μεταφοράς των frames μιας ακολουθίας [15]

την επόμενη ομάδα εικόνων για την αποκωδικοποίηση. Οι ομάδες εικόνων στη συνέχεια συνδυάζονται για να παραχθεί το βίντεο.

Η MPEG-2 χρησιμοποιεί κάποια προφίλ κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης. Ένα προφίλ ορίζει την πολυπλοκότητα της διαδικασίας της κωδικοποίησης. Τα προφίλ που ορίζονται από το MPEG-2 είναι τα εξής:

- **Απλό προφίλ.** Στον απλό τύπο προφίλ δε χρησιμοποιούνται B-frames, συνεπώς δεν είναι εφαρμόζεται η reordering λειτουργία η οποία προσθέτει μια καθυστέρηση κωδικοποίησης περίπου 120 ms. Αυτό το προφίλ είναι κατάλληλο για εφαρμογές μικρής καθυστέρησης όπως η τηλεδιάσκεψη όπου η γενική καθυστέρηση είναι περίπου 100 ms [14].
- **Κύριο προφίλ.** Αυτό το προφίλ χρησιμοποιεί όλους τους τύπους των frames (I, P και B). Είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο προφίλ, με τη χρήση των B-frames να αυξάνει τη ποιότητα εικόνας αλλά να προσθέτει καθυστέρηση λόγω της reordering λειτουργίας. Χρησιμοποιείται συνήθως για multicast IPTV υπηρεσίες.
- **SNR (Signal-to-noise ratio).** Το SNR προτείνεται για επίγεια ψηφιακά συστήματα τηλεοπτικής μετάδοσης [16].
- **Χωρικό προφίλ.** Το χωρικό προφίλ χρησιμοποιεί ένα εργαλείο χωρικής εξελισιμότητας (spatial enhancement) για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της εικόνας.
- **Υψηλό προφίλ.** Το υψηλό προφίλ προορίζεται για HDTV εφαρμογές



Υπάρχουν δύο παραλλαγές στους ρυθμούς των bit ροών. Ο CBR (Constant Bit Rate) και ο VBR (Variable Bit Rate). Όπως και το όνομα της φανερώνει μία CBR ροή λειτουργεί με σταθερό ρυθμό κωδικοποίησης των frames ανεξαρτήτως της πολυπλοκότητας του τηλεοπτικού περιεχομένου. Αυτός ο τύπος είναι ιδανικός για DSL δίκτυα των οποίων το εύρος ζώνης των συνδέσεων είναι σταθερό. Αντιθέτως τα πλαίσια σε μια VBR ροή, κωδικοποιούνται χρησιμοποιώντας μεταβλητούς bit ρυθμούς. Δηλαδή ένα πολύπλοκο frame απαιτεί έναν μεγάλο αριθμό από bit, ενώ τα λιγότερο σύνθετα πλαίσια χρησιμοποιούν ένα μικρότερο αριθμό για την αναπαράσταση της εικόνας. Συχνά η VBR τεχνική χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη διαδικασία της στατιστικής πολύπλεξης. Με τη χρήση της στατιστικής πολύπλεξης ένα κανάλι (το οποίο μεταδίδει μια σκηνή με γρήγορες εναλλαγές) μπορεί να δανειστεί επιπλέον εύρος ζώνης από κάποιο άλλο κανάλι το οποίο μεταδίδει μία απλή σκηνή με μικρό μέγεθος frames τη δεδομένη χρονική στιγμή. Οι αρχιτεκτονικές δικτύων που χρησιμοποιούνται από τις IPTV υπηρεσίες δεν επιτρέπουν τη χρήση διαμοιραζόμενων καναλιών από άλλες ροές ταυτοχρόνως. Επομένως η CBR τεχνική κυριαρχεί στα δίκτυα που βασίζονται στην DSL τεχνολογία για τη παροχή IPTV υπηρεσιών.

Αν και η MPEG-2 κωδικοποίηση έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στα καλωδιακά και δορυφορικά δίκτυα δεν είναι κατάλληλη για δίκτυα περιορισμένου εύρους ζώνης, με το τηλεφωνικό δίκτυο να αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα συστήματος που δεν μπορεί να μεταφέρει MPEG-2 ροές τηλεοπτικού περιεχομένου. Για το παραπάνω λόγο αναπτύχθηκαν νέα βελτιωμένα σχήματα συμπίεσης με σκοπό τη μετάδοση τηλεοπτικού περιεχομένου σε δίκτυα με περιορισμένο εύρος ζώνης. Τα πιο σημαντικά εξ' αυτών των προτύπων είναι το MPEG-4 (part 10) και το VC-1 [1].

### **3.10.1.2 MPEG-4 Part 10 AVC/H.264**

Η χρήση της MPEG-4 συμπίεσης απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό στο IPTV data center και την εισαγωγή μιας νέας τεχνολογίας αποκωδικοποίησης στις IPTVCDs. Μέχρι προσφάτως ένα από τα κύρια μειονεκτήματα της MPEG-4 ήταν το γεγονός ότι απαιτούνταν επιπλέον επεξεργαστική ισχύ και μνήμη για την αποκωδικοποίηση του MPEG-4 περιεχομένου. Οι νέοι τύποι εφαρμογών που χρησιμοποιούνται όπως η HDTV και το VoD απαιτούν τη χρήση μεγάλου εύρους ζώνης. Για

παράδειγμα ένα HD κανάλι μπορεί να απαιτεί το εύρος ζώνης που απαιτείται για έξι SD κανάλια συνολικά. Για την ικανοποίηση των υψηλών αυτών απαιτήσεων εύρους ζώνης εισήχθη το 2002 η MPEG-4 Part 10 προδιαγραφή συμπίεσης η οποία είναι γνωστή και ως H.264/AVC ή ως εξελικτική κωδικοποίηση βίντεο (Scalable Video Coding - SVC) τα κύρια πλεονεκτήματα της οποίας είναι:

- Οι αυξημένες ικανότητες συμπίεσης αυτής της προδιαγραφής την καθιστά κατάλληλη για τη διανομή υπηρεσιών βίντεο υψηλής ποιότητας σε δίκτυα με περιορισμένο εύρος ζώνης καθώς επίσης απαιτεί μικρότερο χώρο αποθήκευσης από τους servers .
- Η MPEG-4 Part 10 επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα με την MPEG-2 προδιαγραφή συμπίεσης η οποία επιτρέπει τη χρήση της υπάρχουσας IP δικτυακής υποδομής.
- Το H.264/AVC συμπιεσμένο περιεχόμενο μπορεί να διανεμηθεί με τη χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων όπως είναι το ATM, το RTP, το UDP και το TCP.
- Προσαρμόζεται εύκολα σε δίκτυα χαμηλής ποιότητας χάριν των ενσωματωμένων μηχανισμών απόκρυψης και αποκατάστασης λαθών.
- Υιοθετείται από πλήθος διαφορετικών εφαρμογών όπως είναι αυτή της IPTV τηλεδιάσκεψης και της ψυχαγωγίας μέσω φορητών κονσόλων.
- Χρησιμοποιεί ένα Deblocking Loop φίλτρο για την αποτροπή της εμφάνισης pixels που δεν ανήκουν στην εικόνα (artifacts) [1].

### 3.10.2 VC-1 συμπίεση

Η VC-1 αποτελεί μια προδιαγραφή για τη συμπίεση η οποία δημοσιεύθηκε το 2006. Η WMV (Microsoft's Windows Media Video) 9 πλατφόρμα κωδικοποίησης πολυμέσων έχει υιοθετήσει αυτή την προδιαγραφή μεταξύ άλλων όπως το HD-DVD και το Blu-ray. Η VC-1 προδιαγραφή διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

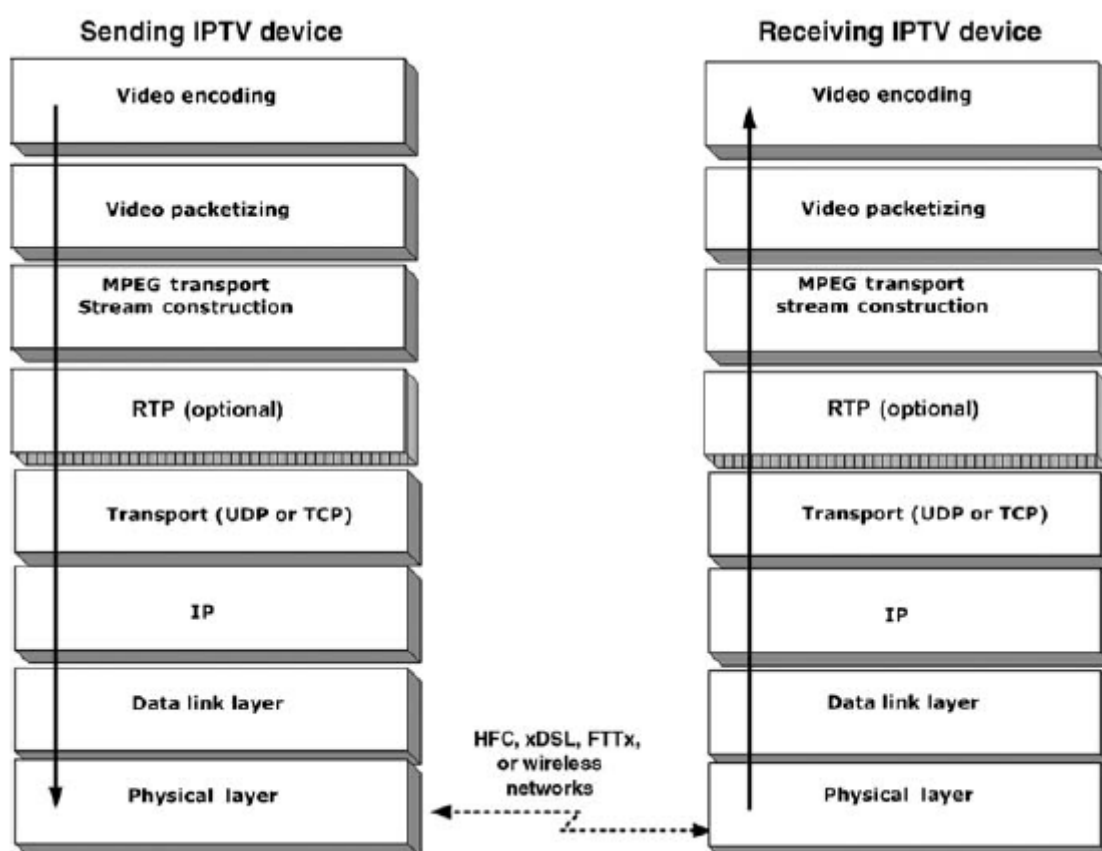
- Υποστηρίζεται από πλήθος διαφορετικών IPTVCDs όπως είναι τα DVD players, τα set-top boxes και τα κινητά τηλέφωνα.
- Υποστηρίζει τρεις διαφορετικούς τύπους προφίλ, το απλό, το κύριο και το προηγμένο (advanced). Κάθε επιμέρους προφίλ είναι κατάλληλο και για διαφορετικούς τύπους εφαρμογών. Συγκεκριμένα το απλό προφίλ είναι

κατάλληλο για τη διανομή Internet εφαρμογών χαμηλών ρυθμών μετάδοσης, ενώ το προηγμένο προφίλ είναι κατάλληλο για τη συμπίεση HDTV περιεχομένου. Το κύριο προφίλ είναι το καταλληλότερο για χρήση σε ένα IPTV περιβάλλον και συγκεκριμένα για τη διανομή βίντεο μέσω DSL δικτύων.

- Εκτός από την υποστήριξη μεγέθους μπλοκ 8X8 pixels, υποστηρίζει και μπλοκ των 4 X 4 pixels.
- Εισάγει τη χρήση ενός επιπλέον τύπου frame του BI frame, το οποίο είναι ένα είδος I-frame το οποίο όμως δε βασίζεται και δε χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη άλλων frames.

### 3.11 Επικοινωνιακό μοντέλο IPTV

Το IPTV επικοινωνιακό μοντέλο (IPTV Communications Model) αποτελείται από επτά υποχρεωτικά εννοιολογικά επίπεδα και ένα προαιρετικό (σχήμα 3.15). Στα ανώτερα επίπεδα εφαρμόζονται οι λειτουργίες της κωδικοποίησης και της



Σχήμα 3.15 Επικοινωνιακό μοντέλο IPTV [1]

πακετοποίησης ενός βίντεο, ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα είναι υπεύθυνα για λειτουργίες που σχετίζονται με τη διανομή των δεδομένων όπως η δρομολόγηση η διευθυνσιοδότηση και ο έλεγχος ροής. Κάθε επίπεδο προσθέτει ή ενθυλακώνει επιπλέον πληροφορίες ελέγχου στα πακέτα ενός βίντεο κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του έως ότου αυτό φθάσει στη συσκευή προορισμού του. Τα επίπεδα αυτά είναι τα εξής:

- **Video Encoding Layer.** Στο επίπεδο κωδικοποίησης, το ασυμπίεστο αναλογικό ή ψηφιακό σήμα συμπιέζεται με αποτέλεσμα ο κωδικοποιητής να παράγει μια βασική MPEG ροή (elementary MPEG stream). Μία βασική ροή μπορεί να περιέχει έναν τύπο πληροφοριών όπως ήχο, δεδομένα ή βίντεο. Ο τύπος των πληροφοριών που περιέχονται στη ροή σχετίζεται με τον τύπο και το ρυθμό των frames, τη θέση των blocks δεδομένων στην οθόνη και το aspect ratio. Στη περίπτωση της H.264/AVC προδιαγραφής το επίπεδο αυτό διαιρείται σε δύο επιμέρους επίπεδα, το VCL (Video Coding Layer) και το NAL (Network Abstraction Layer). Το VCL επίπεδο φροντίζει για τη συμπίεση του βίντεο και η έξοδος (output) αυτού του επιπέδου είναι μια σειρά γραμμών εικόνας (picture slices). Στο NAL επίπεδο μια bit ροή οργανώνεται σε πακέτα που ονομάζονται NAL units. Ένα NAL unit περιέχει το ωφέλιμο φορτίο ενός βίντεο αλλά είναι πιθανό να περιέχει και ένα άλλο είδος ωφέλιμου φορτίου όπως είναι οι πληροφορίες ελέγχου. Τα NAL units χαρακτηρίζονται και ως non-VCL units.
- **Video Packetizing Layer** Η βασική ροή δεν είναι κατάλληλη για μετάδοση, γιατί δεν είναι χωρισμένη σε πακέτα, δεν περιέχει ήχο, δηλαδή περιέχει δεδομένα ενός μόνο τύπου και γιατί έχει συγκεκριμένες αδυναμίες απέναντι σε σφάλματα μετάδοσης, παραδείγματος χάρη αν χαθεί το Sequence Header που βρίσκεται μόνο στην αρχή, δε μπορεί να αποκωδικοποιηθεί το βίντεο. Στη συνέχεια η βασική ροή τεμαχίζεται σε πακέτα και έτσι προκύπτει η PES (Packetised Elementary Stream) ροή, με τα πακέτα να ονομάζονται PES packets. Συνήθως ο τεμαχισμός γίνεται στα όρια των frames με κάθε frame να αντιστοιχεί σε ένα PES πακέτο. Άρα τα PES πακέτα δεν έχουν σταθερό μήκος. Με τον ίδιο τρόπο σχηματίζεται και ένα PES πακέτο για τον κωδικοποιημένο ήχο. Σε κάθε PES πακέτο προσαρτάται μία κεφαλίδα (PES packet header). Μεταξύ άλλων, η κεφαλίδα περιέχει το μήκος του πακέτου, το αναγνωριστικό της βασικής ροής που μεταφέρει, καθώς και πληροφορίες

χρονισμού (presentation time stamps – PTS και decoding time stamps - DTS) [17]. Επειδή η σειρά των πακέτων που εξέρχονται από το IPTV data center είναι διαφορετική από αυτή με την οποία λαμβάνονται από μια IPTVCD, οι πληροφορίες χρονισμού δείχνουν στον MPEG-2 αποκωδικοποιητή πότε να αποκωδικοποιήσει και πότε να παρουσιάσει το περιεχόμενο του πακέτου.

- **Transport Stream Construction Layer** Όπως προαναφέρθηκε τα PES πακέτα είναι μεταβλητού μεγέθους και δεν είναι κατάλληλα ούτε για μετάδοση ούτε για πολύπλεξη. Για το λόγο αυτό, γίνεται μια δεύτερη διαίρεση αυτών σε πακέτα. Ένα PES πακέτο υποδιαιρείται σε πακέτα σταθερού μεγέθους των 188 bytes τα λεγόμενα πακέτα μεταφοράς (Transport Packets - TPs) και έτσι προκύπτει η MPEG2 ροή μεταφοράς (MPEG-2 Transport Stream) με κάθε πακέτο μεταφοράς να περιέχει πάλι ένα τύπο πληροφοριών [17].
- **RTP Layer** Το επίπεδο αυτό είναι προαιρετικό και χρησιμοποιείται από πλήθος διαφορετικών IPTV εφαρμογών. Το RTP διανέμει τις ροές ήχου ή βίντεο ενθυλακώνοντας το περιεχόμενο αυτών σε πακέτα. Κάθε πακέτο αποτελείται από μία κεφαλίδα και το ωφέλιμο φορτίο. Για την αποτελεσματικότερη χρήση του εύρους ζώνης το ωφέλιμο φορτίο περιέχει περισσότερα του ενός πακέτα μεταφοράς. Η κεφαλίδα περιέχει εκείνες τις λειτουργίες που είναι ουσιαστικές για την επιτυχή διανομή των real-time δεδομένων κατά μήκος του δικτύου. Το κύριο πλεονέκτημα από την εισαγωγή του συμπιεσμένου περιεχομένου σε RTP πακέτα είναι ότι προστίθεται ένας αριθμός ακολουθίας ο οποίος βοηθά τον server και μία IPTVCD να ανιχνεύουν τα χαμένα πακέτα. Αυτός ο αριθμός μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί από τον αποκωδικοποιητή της IPTVCD για να ταξινομήσει τα πακέτα που φτάνουν από το IP δίκτυο σε λανθασμένη σειρά. Κατά την εισαγωγή της κεφαλίδας στο ωφέλιμο φορτίο, το RTP πακέτο αποστέλλεται στο TCP ή στο UDP πρωτόκολλο για περαιτέρω επεξεργασία. Σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατή η διανομή MPEG-2, H.264/AVC, ή VC-1 συμπιεσμένου περιεχομένου βίντεο, ήχου και δεδομένων κατά μήκος ενός IP δικτύου αποφεύγοντας τη χρήση ανώτερων επιπέδων του IPTVCM με την προσθήκη του περιεχομένου απευθείας σε ένα RTP πακέτο. Είναι άξιο αναφοράς ότι οι μηχανισμοί ενθυλάκωσης

γενικά εφαρμόζονται σε δίκτυα που δεν μπορούν να εγγυηθούν ικανοποιητικά επίπεδα QoS για τη διανομή των IPTV υπηρεσιών. Αν και το RTP βοηθά στην αύξηση των πιθανοτήτων να φτάσει μια ροή στο προορισμό με το περιεχόμενο της στη σωστή σειρά, δεν έχει σχεδιασθεί για να υποστηρίξει την ποιότητα των υπηρεσιών.

- **Transport Layer** Εξαιτίας του ότι το RTP επίπεδο είναι προαιρετικό, η χαρτογράφηση των MPEG πακέτων μπορεί να γίνει απευθείας στο ωφέλιμο φορτίο του επιπέδου αυτού αποφεύγοντας την πολυπλοκότητα που εισάγει το RTP επίπεδο. Το επίπεδο αυτό έχει σχεδιασθεί για την απόκρυψη της περίπλοκης δομής των IP δικτύων εξαιτίας των διεργασιών των ανώτερων επιπέδων. Εάν τα δεδομένα ενός βίντεο δε διανεμηθούν σωστά σε μια IPTVCD, το επίπεδο μεταφοράς μπορεί να προβεί στην επαναμετάδοση αυτών ή να απαιτήσει από τα ανώτερα επίπεδα τις απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες. Το TCP και το UDP είναι τα κύρια πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται από το επίπεδο αυτό. Το TCP είναι ένα connection oriented πρωτόκολλο, δηλαδή πρέπει να δημιουργηθεί μία σύνδεση μεταξύ του server στο IPTV data center και μιας IPTVCD πριν τη διανομή του περιεχομένου στο δίκτυο. Το TCP αντιμετωπίζει τα σφάλματα που εμφανίζονται κατά τη διανομή του περιεχομένου στο δίκτυο, όπως είναι η απώλεια, η λανθασμένη σειρά αλλά και η λήψη διπλών πακέτων στο IPTV περιβάλλον. Στο TCP οι συνδρομητές έρχονται συχνά αντιμέτωποι με την παύση της αναμετάδοσης του προγράμματος που παρακολουθούν καθώς περιμένουν κάποιο αργοπορημένο πακέτο να φτάσει ή να αντικατασταθεί στη περίπτωση που είναι κατεστραμμένο. Συνεπώς το TCP δεν αποτελεί την προτιμώμενη επιλογή πρωτοκόλλου μεταφοράς διότι χρησιμοποιεί μηχανισμούς ελέγχου ροής (flow control mechanisms) και οι real-time IPTV εφαρμογές δεν επιδέχονται καθυστερήσεις. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο το TCP χρησιμοποιείται σπάνια σε ένα live IPTV περιβάλλον. Εντούτοις χρησιμοποιείται εκτενώς από άλλες εφαρμογές όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και τη μεταφόρτωση Internet TV περιεχομένου. Το UDP είναι ένα connectionless πρωτόκολλο, δηλαδή δεν είναι απαραίτητη η δημιουργία σύνδεσης μεταξύ του server στο IPTV data center και μιας IPTVCD, πριν τη διανομή του περιεχομένου στο δίκτυο. Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται για να φτάσουν τα δεδομένα στον προορισμό τους είναι η

best effort. Η χρήση του UDP δεν εισάγει καθυστερήσεις στη διανομή του IPTV περιεχομένου. Ακόμη και αν υπάρχουν πακέτα που έχουν καθυστερήσει ή είναι κατεστραμμένα οι IPTV εφαρμογές διαθέτουν ειδικούς μηχανισμούς διόρθωσης και παρεμβολής ούτως ώστε ο τελικός χρήστης να μην παρατηρεί καμία αλλοίωση ή διακοπή στην ροή του ήχου και της εικόνας [18]. Το UDP δεν εγγυάται αξιόπιστη επικοινωνία. Τα πακέτα UDP που αποστέλλονται μπορεί να φτάσουν στο συνδρομητή με λάθος σειρά, διπλά ή να μην φτάσουν καθόλου εάν το δίκτυο έχει μεγάλο φόρτο. Αντιθέτως, το TCP διαθέτει όλους τους απαραίτητους μηχανισμούς ελέγχου και επιβολής της αξιοπιστίας. Η έλλειψη των μηχανισμών αυτών από το UDP το καθιστά αρκετά πιο γρήγορο και αποτελεσματικό, τουλάχιστον για τις εφαρμογές εκείνες που δεν απαιτούν αξιόπιστη επικοινωνία. Αν και το UDP δεν είναι τόσο αξιόπιστο ούτε τόσο κατάλληλο για το χειρισμό ασφαλιμάτων σε σχέση με το TCP, χρησιμοποιείται από τις περισσότερες IPTV εφαρμογές. Επιπλέον το UDP δεν απαιτεί κάποιο κανάλι επιστροφής, επιτρέποντας έτσι σε παρόχους δορυφορικών υπηρεσιών την multicast μετάδοση του IPTV περιεχομένου στους συνδρομητές τους. Σε αντίθεση με το TCP, το UDP υποστηρίζει την αποστολή ενός πακέτου σε όλους τους H/Y ενός δικτύου (broadcasting), καθώς και την αποστολή ενός πακέτου σε συγκεκριμένους υπολογιστές του δικτύου (multicasting). Η πολυεκπομπή χρησιμοποιείται πολύ συχνά σε εφαρμογές διανομής βίντεο και ήχου έτσι ώστε μία ροή ήχου ή εικόνας να μεταδίδεται ταυτόχρονα σε πολλούς συνδρομητές.

- **IP layer** Το επίπεδο αυτό χρησιμοποιείται για να την αποστολή των δεδομένων στο προορισμό τους μέσω συγκεκριμένων διαδρομών. Χρησιμοποιείται τόσο για τη unicast διανομή του περιεχομένου σε μια συσκευή συνδρομητή όσο και για τη multicast διανομή των δεδομένων σε πολλές IPTVCDs. Το επίπεδο αυτό χρησιμοποιεί την τέταρτη έκδοση του IP πρωτοκόλλου (IP version 4 – IPv4), η οποία αποτελεί σήμερα το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο για τα IPTV δίκτυα. Σε ένα IPTV περιβάλλον το IPTV data center χρησιμοποιεί κάποιες IPv4 διευθύνσεις των 32-bit για να προσδιορίσει τη φυσική τοποθεσία μιας IPTVCD στο δίκτυο. Το IP πρωτόκολλο χρησιμοποιεί έναν best effort μηχανισμό για τη διανομή των δεδομένων, αφού δεν περιλαμβάνει κάποια

ενσωματωμένη διαδικασία η οποία θα εγγυάται τη διανομή τους στο σωστό προορισμό. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ότι το IP δεν εγγυάται το σωστό χρόνο άφιξης τους, ούτε καθορίζει τη σειρά με την οποία τα πακέτα φθάνουν στη συσκευή του συνδρομητή. Επειδή το IP επίπεδο εισάγει καθυστερήσεις στη διανομή του περιεχομένου, οι περισσότεροι φορείς παροχής υπηρεσιών χρησιμοποιούν έναν QoS μηχανισμό για να ελαχιστοποιήσουν τις καθυστερήσεις που δημιουργεί αυτό το επίπεδο. Επομένως, το IP επίπεδο λειτουργεί σε συνδυασμό με τα πρωτόκολλα του επιπέδου μεταφοράς για να εξασφαλίσει ότι τα πακέτα θα φτάσουν σε μια IPTVCD εγκαίρως και στη σωστή σειρά. Τα IP δίκτυα υποδιαιρούνται σε λογικές μονάδες τα λεγόμενα subnets. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει στους φορείς παροχής υπηρεσιών να προσδιορίζουν και να ελέγχουν τα μεμονωμένα τμήματα ενός IPTV δικτύου χωρίς τη χρήση IPv4 διευθύνσεων. Οι διαχειριστές δικτύων διευθυνσιοδοτούν ένα subnet για να αποκρύψουν την εσωτερική δομή των ιδιωτικών δικτύων τους, προστατεύοντας τα από τις «επιθέσεις» του διαδικτύου. Οι διαχειριστές των IPTV δικτύων χρησιμοποιούν πρόσθετους αριθμούς αποκαλούμενους ως subnet masks για τη δημιουργία υποδικτύων σε ένα IPTV περιβάλλον. Τα subnet masks δεν είναι τίποτα άλλο από IP διευθύνσεις των 32-bit. Η δημιουργία των subnets υλοποιείται μέσω των δρομολογητών, με κάθε δρομολογητή να συνδέεται με περισσότερα του ενός δίκτυων και να είναι αυτό που αποφασίζει που να στείλει τα δεδομένα. Η αύξηση του μεγέθους του διαδικτύου οδηγεί γρήγορα στην εξάντληση των διαθέσιμων IP διευθύνσεων που προβλέπονται από το IPv4. Η ανάπτυξη δικτύων που υποστηρίζουν τις triple-play υπηρεσίες άρχισε να περιορίζει το σχήμα διευθυνσιοδότησης του IPv4. Για την άρση αυτού του περιορισμού δημιουργήθηκε το IPv6 πρωτόκολλο για να βρεθεί μια λύση στους περιορισμούς του υπάρχοντος σχεδίου διευθύνσεων IP. Το IPv6 καθορίζει μια διεύθυνση IP από 128-bit που είναι συμβατή με τη τρέχουσα υλοποίηση του IP. Το IPv6 περιλαμβάνει επίσης χαρακτηριστικά επικύρωσης (μέσω μιας κεφαλίδας επικύρωσης) και κρυπτογράφησης. Η χρήση του IPv6 στα IPTV δίκτυα είναι κατάλληλη λόγω του ενσωματωμένου QoS μηχανισμού που διαθέτει και της δυνατότητάς του να υποστηρίξει ουσιαστικά έναν απεριόριστο αριθμό IPTVCDs. Επιπλέον το IPv6 επιτρέπει στους φορείς



παροχής των IPTV υπηρεσιών να προσδιορίσουν συγκεκριμένα πακέτα που προορίζονται για συγκεκριμένες υπηρεσίες. Έτσι στη περίπτωση του triple-play οι δρομολογητές μπορούν να μεταχειριστούν διαφορετικά τα πακέτα που ανήκουν σε ένα βίντεο από τα πακέτα που περιέχουν Web περιεχόμενο. Στα επόμενα δύο έως πέντε χρόνια το IPv6 αναμένεται να αντικαταστήσει σταδιακά το IPv4 καθώς προβλέπεται τα δύο αυτά πρωτόκολλα να συνυπάρχουν για κάποια έτη μέχρι να ολοκληρωθεί η μεταβατική αυτή περίοδος.

- **Data Link Layer** Το επίπεδο αυτό παίρνει τα «ακατέργαστα» δεδομένα από το IP επίπεδο και τα μορφοποιεί σε πακέτα που είναι κατάλληλα για τη διανομή τους μέσω του φυσικού δικτύου. Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων διαφοροποιείται μεταξύ των διαφορετικών πρωτοκόλλων δικτύου, με το Ethernet να είναι το πιο δημοφιλές στα IPTV συστήματα. Οι λειτουργίες που περιλαμβάνει αυτό το επίπεδο για τα δίκτυα που βασίζονται στο Ethernet είναι:
  - *Η ενθυλάκωση.* Σε αυτό το επίπεδο προστίθεται μία κεφαλίδα στα πακέτα. Ο πιο κοινός τύπος ενθυλάκωσης του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων του IPTVCM είναι η Ethernet κεφαλίδα.
  - *Η διευθυνσιοδότηση.* Το σχήμα διευθυνσιοδότησης ποικίλει ανάλογα με τη τοπολογία του δικτύου, για παράδειγμα το Ethernet χρησιμοποιεί το MAC σχήμα διευθυνσιοδότησης. Η MAC διευθυνσιοδότηση επιτρέπει σε κάθε συσκευή που συνδέεται με ένα δίκτυο IPTV, δηλαδή να έχει ένα μοναδικό προσδιοριστικό.
  - *Έλεγχος σφαλμάτων.* Η λειτουργία ελέγχου σφαλμάτων χρησιμοποιείται από διάφορα επίπεδα του IPTVCM, συμπεριλαμβανομένου και του data link layer. Τα αλλοιωμένα πακέτα είναι ο πιο κοινός τύπος σφάλματος που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της διανομής του βίντεο μέσω ενός IP δικτύου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ελέγχου σφαλμάτων για την ανίχνευση ή την απόρριψη των αλλοιωμένων πακέτων είναι η μέθοδος CRC (cyclic redundancy check).
  - *Έλεγχος ροής.* Ο μηχανισμός ελέγχου ροής εφαρμόζεται πρώτιστα από το επίπεδο μεταφοράς. Ωστόσο και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων εκτελεί τις οποιεσδήποτε απαραίτητες ενέργειες ελέγχου ροής από κοινού με το επίπεδο μεταφοράς.

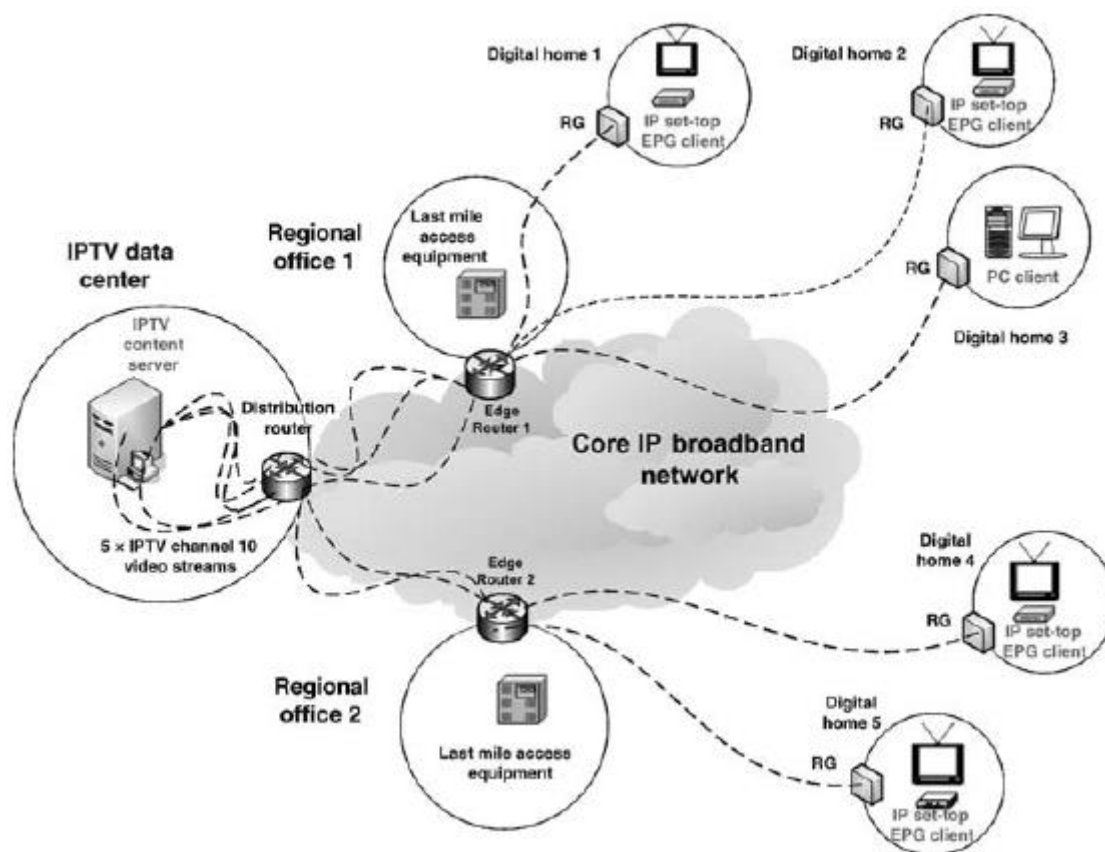
- **Physical Layer** Το φυσικό επίπεδο αναφέρεται στη διαχείριση των κανόνων που σχετίζονται με τη μεταφορά των ψηφιακών bits στο δίκτυο. Επικεντρώνεται στη διανομή των δεδομένων κατά μήκος ενός συγκεκριμένου τύπου φυσικού δικτύου όπως είναι το DOCSIS, το xADSL και το ασύρματο δίκτυο. Επιπλέον ορίζει τη φυσική δομή ενός δικτύου (τοπολογία), και τις απαραίτητες μηχανικές και ηλεκτρικές προδιαγραφές για τη χρησιμοποίηση του μέσου μετάδοσης [1].

### 3.12 Μεθοδολογίες διανομής IPTV περιεχομένου

Για τη μετάδοση του IPTV περιεχομένου χρησιμοποιούνται οι unicast, broadcast και multicast τεχνικές.

#### 3.12.1 Unicast

Στη unicast μετάδοση μία IPTV ροή αποστέλλεται σε μια IPTVCD. Εάν περισσότεροι του ενός συνδρομητές επιθυμούν να παρακολουθήσουν το ίδιο κανάλι κάθε IPTVCD απαιτεί μία ξεχωριστή unicast ροή. Η μεθοδολογία αυτή είναι απλή στην υλοποίηση της, εντούτοις όμως δεν κάνει αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Παραδείγματος χάριν αν πέντε συνδρομητές επιθυμούν να λάβουν το ίδιο κανάλι ο server παρέχει μια IP σύνδεση σε κάθε συνδρομητή που απαιτεί την πρόσβαση στο κανάλι αυτό ξεκινώντας συνολικά πέντε ξεχωριστές ροές από το server. Αυτή η μέθοδος διανομής βίντεο είναι κατάλληλη για VoD εφαρμογές αλλά και για τη ψηφιακή καταγραφή βίντεο (Network Based Digital Video Recording - NDVR).



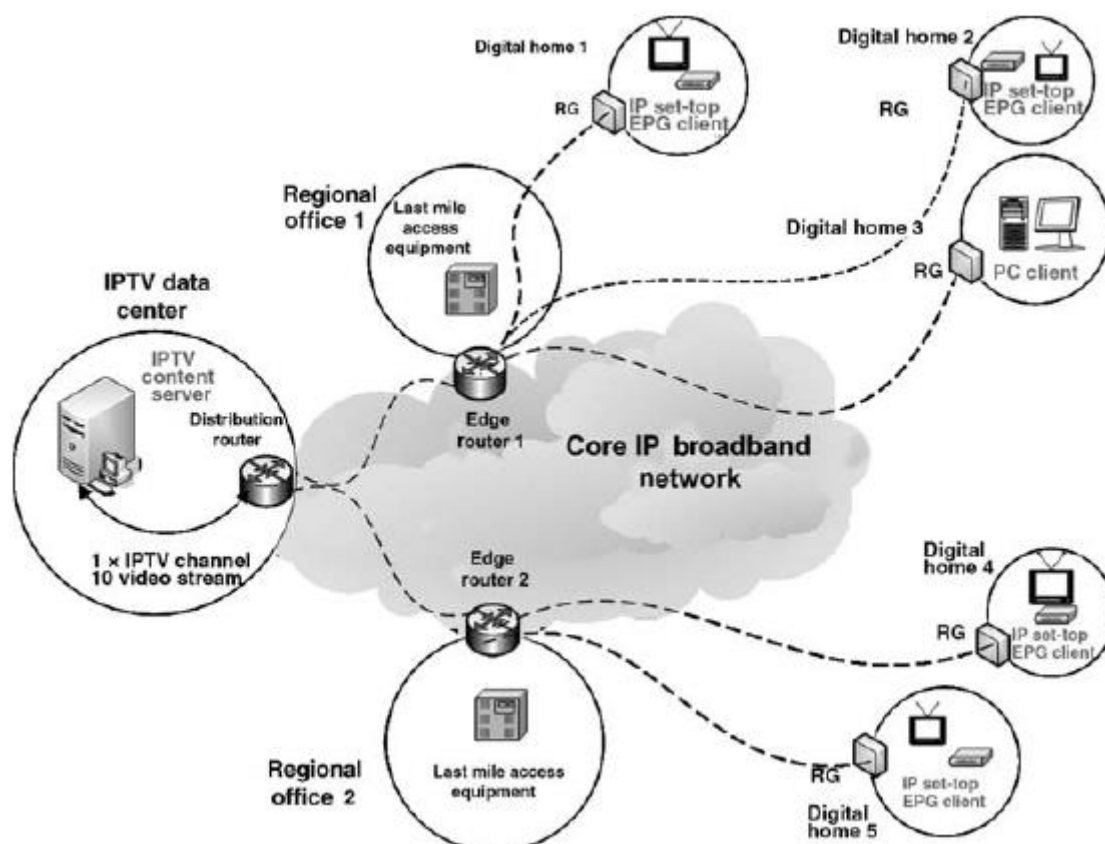
Σχήμα 3.16 Unicast συνδέσεις χρηστών ενός καναλιού [1]

### 3.12.2 Broadcast

Τα δίκτυα IP υποστηρίζουν επίσης τη λειτουργία broadcast μετάδοσης, όπου ένα IPTV κανάλι αποστέλλεται σε κάθε IPTVCD που συνδέεται με το ευρυζωνικό δίκτυο αν οι συνδρομητές έχουν ζητήσει το τηλεοπτικό αυτό ρεύμα ή όχι. Αυτό το ζήτημα είναι σημαντικό επειδή οι πόροι των IPTVCDs είναι μπλοκαρισμένοι στην επεξεργασία και των ανεπιθύμητων τηλεοπτικών πακέτων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό το οποίο καθιστά τη broadcast μετάδοση ακατάλληλη για τις IPTV εφαρμογές είναι το γεγονός ότι αυτή η τεχνική μετάδοσης δεν υποστηρίζει τη δρομολόγηση, αφού κάθε κανάλι αποστέλλεται σε όλους τους συνδρομητές ανεξαρτήτων αν αυτοί το έχουν ζητήσει ή όχι. Δεδομένου ότι τα περισσότερα δίκτυα IPTV κάνουν εκτενή χρήση των δρομολογητών, η χρήση της broadcast μετάδοσης είναι απαγορευτική.

### 3.12.3 Multicast

Στη περίπτωση της multicast μετάδοσης κάθε IPTV κανάλι διανέμεται μόνο στα set-top boxes των συνδρομητών που το επιλέγουν. Έτσι μειώνεται η χρήση του απαιτούμενου εύρους ζώνης καθώς και η επεξεργαστική ισχύς του server σε σχέση με τη unicast μετάδοση. Σύμφωνα με το σχήμα 3.17, ένα μόνο αντίγραφο του περιεχομένου αποστέλλεται από το server του IPTV data center στο δρομολογητή διανομής (distribution router). Ο δρομολογητής αυτός δημιουργεί δύο αντίγραφα της ροής και τα αποστέλλει στους δρομολογητές των regional offices μέσω δύο ξεχωριστών IP συνδέσεων. Κατόπιν κάθε ένας από τους δύο αυτούς δρομολογητές κατασκευάζει αντίγραφα των ροών για κάθε έναν από τους συνδρομητές. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιείται από τους φορείς παροχής υπηρεσιών για τη διανομή real-time IPTV προγραμμάτων. Ωστόσο η multicast μετάδοση δε χρησιμοποιεί κάποιο κανάλι επιστροφής για την επικοινωνία των IPTVCDs με το server.



Σχήμα 3.17 IP συνδέσεις multicast τεχνικής [1]

Η μείωση του απαιτούμενου εύρους ζώνης βοηθά στη διανομή IPTV περιεχομένου υψηλής ποιότητας, με όλους τους τηλεθεατές να λαμβάνουν το ίδιο σήμα χωρίς την ύπαρξη ξεχωριστών ροών για τον κάθε δέκτη. Ωστόσο η multicast μετάδοση έχει και κάποια πλεονεκτήματα τα οποία είναι:

- **Δεν υποστηρίζει επιλογές VCR.** Η multicast μετάδοση δεν επιτρέπει στους συνδρομητές να κάνουν χρήση των λειτουργιών rewind, pause, ή fast-forward του βίντεο το οποίο παρακολουθούν.
- **Περιορισμένη ευελιξία.** Όταν οι συνδρομητές ανοίγουν τους δέκτες τους μπορούν να παρακολουθήσουν το πρόγραμμα ενός καναλιού από το σημείο αναμετάδοσης που βρίσκεται σε εξέλιξη και όχι από την αρχή του προγράμματος, όπως ακριβώς συμβαίνει με τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες συνδρομητικής τηλεόρασης.
- **Οι δρομολογητές πρέπει να υποστηρίζουν τη multicast μετάδοση.** Οι φορείς παροχής υπηρεσιών πρέπει να εξασφαλίσουν ότι οι δρομολογητές που βρίσκονται μεταξύ του IPTV data center και του και των IPTVCDs υποστηρίζουν τη multicast μετάδοση. Ο περιορισμός αυτός δεν ισχύει μόνο για τους δρομολογητές αλλά και για όλα τα συστατικά μέρη ενός IPTV δικτύου.
- **Αύξηση φόρτου εργασίας των δρομολογητών.** Οι επιπλέον εργασίες όπως είναι η δημιουργία ροών αντιγράφων στη περίπτωση της multicast μετάδοσης, προκαλούν επιπλέον φόρτο εργασίας στους δρομολογητές.
- **Περιορισμός της multicast κίνησης.** Κάποιες συσκευές ή προγράμματα ασφαλείας όπως τα firewalls παραμετροποιούνται από τους διαχειριστές του δικτύου και φράσσουν τις multicast εφαρμογές. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα στην περίπτωση όπου ο πάροχος της υπηρεσίας είναι και ιδιοκτήτης του δικτύου ωστόσο πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στην περίπτωση παροχής IPTV υπηρεσιών διαμέσου του διαδικτύου [1].

### 3.13 Αρχιτεκτονική πολυεκπομπής δικτύου IPTV

Τα λογικά και φυσικά στοιχεία που απαιτούνται για τη διανομή των multicast IPTV υπηρεσιών κατηγοριοποιούνται στα εξής:

- Συσσκευές IGMP
- Multicasting ομάδες και διευθυνσιοδότηση
- IPTV multicasting πρωτόκολλα
- Αρχιτεκτονική multicast μετάδοσης

#### 3.13.1 Συσσκευές IGMP

Ένας multicast host ρυθμίζεται ώστε να αποστέλλει και να λαμβάνει (ή μόνο να αποστέλλει) multicast δεδομένα. Υπάρχουν δύο κατηγορίες συσκευών που χρησιμοποιούνται σε μια IGMP επικοινωνία:

- **IGMP host.** Ένας IGMP host είναι μία συσκευή client ή server, συνδεδεμένη με το IPTV δίκτυο. Σε αυτή την κατηγορία συσκευών ανήκουν τα set-top boxes, οι Η/Υ και τα κινητά τηλέφωνα.
- **Multicast δρομολογητές.** Οι multicast δρομολογητές οι οποίοι ονομάζονται και δρομολογητές IGMP, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τους δρομολογητές διανομής (Distribution Routers) και τους δρομολογητές συνάθροισης (Aggregation Routers – AR). Οι δρομολογητές διανομής είναι τοποθετημένοι στο IPTV data center και έρχονται σε άμεση επικοινωνία με τους server που περιέχουν τα αποθηκευμένα δεδομένα (contention servers). Στους δρομολογητές αυτού του είδους είναι διαθέσιμα όλα τα IPTV κανάλια. Οι δρομολογητές συνάθροισης είναι τοποθετημένοι κοντά στο συνδρομητή και σε αυτό το σημείο του δικτύου είναι διαθέσιμα μόνο τα κανάλια που προβάλλονται από τις IPTVCDs. Οι multicast δρομολογητές εκτός της δημιουργίας ροών αντιγράφων και της λήψης περιεχομένου πολυεκπομπής, λαμβάνουν διαχειρίζονται και επεξεργάζονται διάφορους τύπους IGMP μηνυμάτων. Επίσης διατηρούν κάποιους πίνακες δρομολόγησης οι οποίοι είναι οι ίδιοι πίνακες που χρησιμοποιούνται από τα unicast πρωτόκολλα που παραμετροποιούνται στο δρομολογητή. Αυτοί οι πίνακες ενημερώνονται από το λειτουργικό σύστημα των δρομολογητών [1].

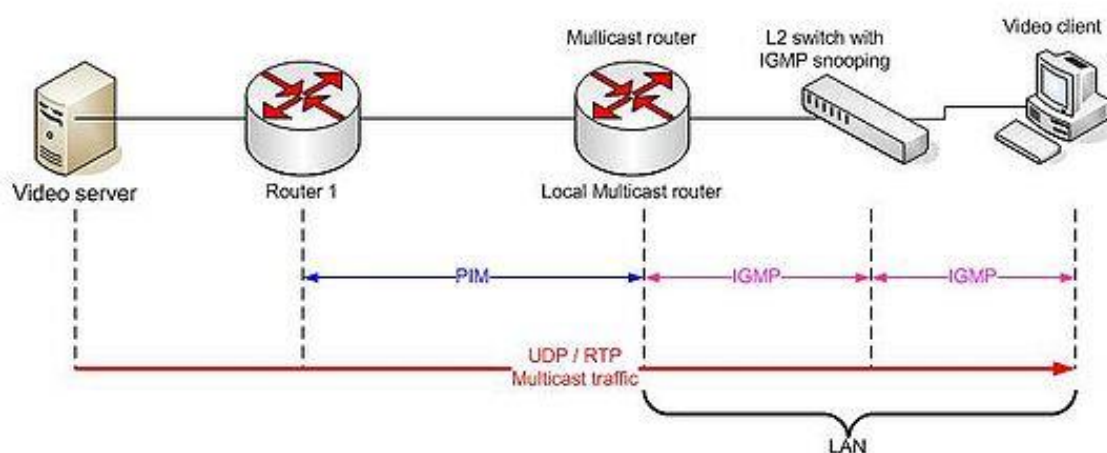
### 3.13.2 Ομάδες πολυεκπομπής και διευθυνσιοδότηση

Η multicast μετάδοση κατά μήκος ενός IPTV δικτύου πραγματοποιείται με την αποστολή πακέτων βίντεο σε μια ομάδα IPTVCDs που έχουν εκφράσει την επιθυμία λήψης ενός συγκεκριμένου καναλιού. Η ομάδα αυτή προσδιορίζεται από μια IP διεύθυνση κλάσης D. Το εύρος αυτών των διαθέσιμων IP διευθύνσεων υποδιαιρείται περαιτέρω σε ομάδες, με κάθε ομάδα να υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους εφαρμογών. Εν συνεχεία όλες αυτές οι IP διευθύνσεις μετατρέπονται σε MAC διευθύνσεις για την υποστήριξη των IPTV multicast υπηρεσιών.

### 3.13.3 IPTV πρωτόκολλα πολυεκπομπής

Η multicast μετάδοση χρησιμοποιεί κάποια εξειδικευμένα πρωτόκολλα για τη διανομή και τη δημιουργία ροών αντιγράφων του IPTV περιεχομένου. Το κύριο πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή για τη συμμετοχή ή την αποχώρηση μιας IPTVCD σε μία multicast ομάδα είναι το IGMP (Internet Group Management Protocol). Το IGMP χρησιμοποιείται τόσο από μια client συσκευή όσο και από τους multicast δρομολογητές [20] όπως απεικονίζεται και στο σχήμα 3.18.

Το IGMP λειτουργεί στο επίπεδο μεταφοράς, αν και στη πραγματικότητα δεν ενεργεί ως πρωτόκολλο μεταφοράς. Είναι ευάλωτο σε «επιθέσεις» ενώ τα firewalls επιτρέπουν στο χρήστη την απενεργοποίησή του. Το IGMP



Σχήμα 3.18 Αρχιτεκτονική multicast διανομής με τη χρήση του IGMP [19].

χρησιμοποιείται μόνο από τα IPv4 δίκτυα, καθώς τα IPv6 δίκτυα διαχειρίζονται διαφορετικά τη multicast μετάδοση [20].

Σήμερα υπάρχουν τρεις διαφορετικές εκδόσεις του IGMP, η IGMPv1, η IGMPv2 και η IGMPv3 μέσω του πρωτοκόλλου MLD (Multicast Listener Discovery).

### **3.13.3.1 IGMPv1**

Το IGMPv1 υποστηρίζει δύο τύπους μηνυμάτων, τα query και τα report μηνύματα. Ένα query μήνυμα αποστέλλεται από το δρομολογητή επιτρέποντάς του να εξετάσει κάποιες λεπτομέρειες των ιδιοτήτων των μελών της multicast ομάδας, ενώ ένα report μήνυμα μιας IPTVCD ενημερώνει το τοπικό δρομολογητή για την επιθυμία του να συμμετάσχει σε μια multicast ομάδα. Ένα report μήνυμα χρησιμοποιείται επίσης ως απόκριση σε ένα query μήνυμα για την αλλαγή ενός IPTV καναλιού που ο χρήστης παρακολουθεί. Η πρώτη έκδοση του IGMP χρησιμοποιείται σπάνια σήμερα. Στην πραγματικότητα, τα περισσότερα εάν όχι όλα τα IPTV συστήματα κάνουν χρήση της δεύτερης είτε της τρίτης έκδοσης του IGMP.

### **3.13.3.2 IGMPv2**

Η δεύτερη έκδοση του IGMP δημιουργήθηκε εξαιτίας της αδυναμίας της πρώτης έκδοσης να υποστηρίξει τη δυνατότητα αποχώρησης μιας IPTVCD από μία multicast ομάδα. Συνεπώς το IGMPv1 δεν υποστηρίζει τη multicast μετάδοση. Το IGMPv2 χρησιμοποιεί ένα επιπλέον μήνυμα που ονομάζεται leave group. Όταν ο δρομολογητής λάβει αυτό το μήνυμα σταματά να μεταδίδει αντίγραφα της συγκεκριμένης ροής. Συνεπώς μειώνεται η πιθανότητα συμφόρησης του δικτύου η οποία προκαλεί κακής ποιότητας μετάδοση βίντεο στους συνδρομητές με το εύρος ζώνης να διατίθεται σε άλλους χρήστες. Η διαδικασία της αποχώρησης από μία multicast ομάδα (δηλαδή η αλλαγή καναλιού), είναι σημαντική στην περίπτωση του περιορισμένου εύρους ζώνης των DSL δικτύων τα οποία μπορούν να λαμβάνουν μόνο ένα κανάλι μια δεδομένη χρονική στιγμή.



### 3.13.3.3 IGMPv3

Στις προηγούμενες εκδόσεις του IGMP πρωτοκόλλου, μια IPTVCD αποστέλλει ένα μήνυμα με το οποίο εκφράζει την επιθυμία της να συμμετάσχει σε μία multicast ομάδα, επιθυμεί δηλαδή να αρχίσει να λαμβάνει ένα συγκεκριμένο κανάλι. Το μήνυμα αυτό περιέχει την IP διεύθυνση αυτής της multicast ομάδας και έτσι ο συνδρομητής λαμβάνει το επιθυμητό κανάλι. Η IP διεύθυνση της multicast ομάδας γίνεται γνωστή στην IPTVCD μέσω του EPG.

Στα IGMPv1 και IGMPv2 πρωτόκολλα εφαρμόζεται η ASM (Any-Source Multicast) προσέγγιση, ένας πιο παραδοσιακός τρόπος πολυεκπομπής στον οποίο συμμετάσχουν πολλοί αποστολείς σε μία multicast ομάδα. Ωστόσο το IGMPv3 υποστηρίζει μια νέα προσέγγιση τη SSM (Service-Specific Multicast). Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει σε μια IPTVCD να προσδιορίσει ρητά ποιο κανάλι επιθυμεί να λάβει αλλά και την IP διεύθυνση μίας μόνο συγκεκριμένης πηγής (unicast IP διεύθυνση). Αυτό το χαρακτηριστικό είναι επιθυμητό διότι εξοικονομεί εύρος ζώνης στο δίκτυο. Έτσι η IPTVCD δε λαμβάνει ολόκληρη την κίνηση που μεταδίδεται σε μία multicast ομάδα από τις διάφορες πηγές (δηλαδή από πολλές συσκευές) και λαμβάνει ένα συγκεκριμένο κανάλι μέσω του συνδυασμού των (S, G) με το S αναπαριστά τη unicast διεύθυνση του ενός συγκεκριμένου server και η G αναπαριστά τη διεύθυνση της multicast ομάδας ενός συγκεκριμένου καναλιού.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες εκδόσεις το IGMPv3 απαιτεί το μισό πλήθος εντολών για ένα αίτημα αλλαγής καναλιού καθιστώντας την εναλλαγή καναλιών πιο γρήγορη. Το IGMPv3 υποστηρίζεται επίσης από το DOCSIS 3.0 πρωτόκολλο. Στο IGMPv3 ένας συνδρομητής μπορεί να σταματήσει να λαμβάνει περιεχόμενο από ένα συγκεκριμένο IPTV server δηλώνοντας αυτή του την επιθυμία μέσα στη multicast ομάδα, σε αντίθεση με τις προηγούμενες εκδόσεις όπου έπρεπε να αποστείλει ένα leave group μήνυμα στο δρομολογητή για να του δώσει εντολή διακοπής της τροφοδοσίας αυτού με μια συγκεκριμένη ροή [1].

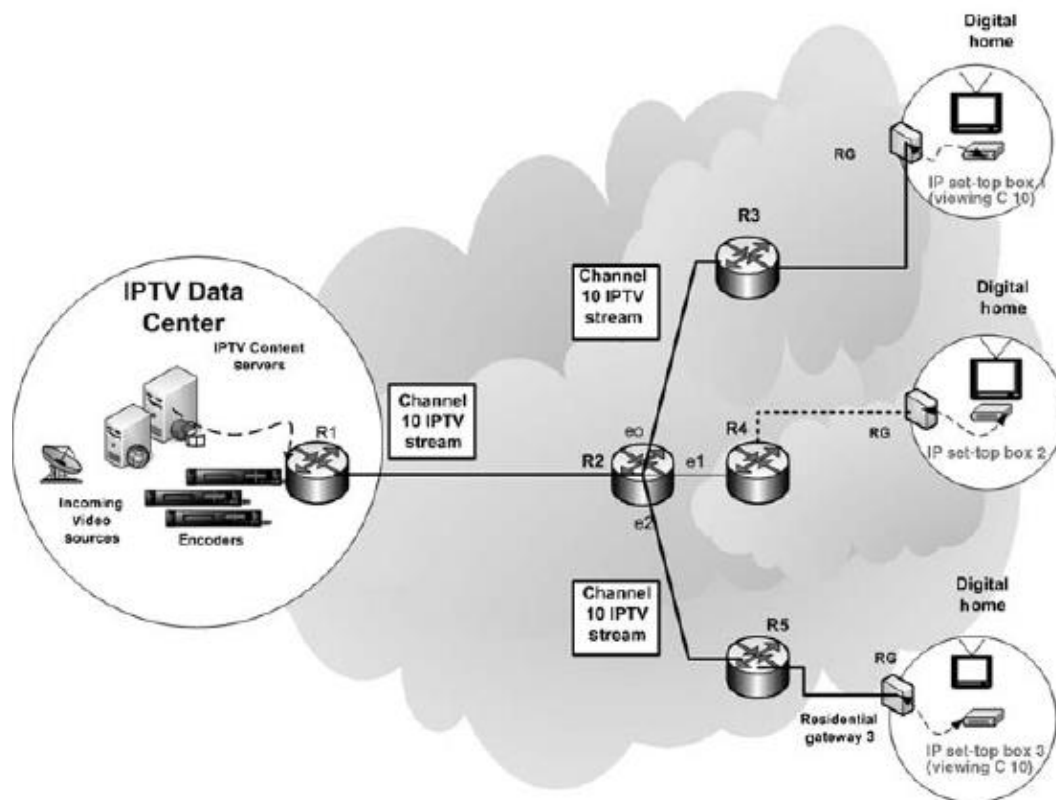
### 3.13.4 Αρχιτεκτονική multicast μετάδοσης

Η διανομή περιεχομένου βίντεο κατά μήκος ενός IP δικτύου χρησιμοποιεί κάποιες εξειδικευμένες τεχνολογίες δρομολόγησης οι οποίες είναι γνωστές ως multicast δέντρα και κάποια multicast πρωτόκολλα για τη δημιουργία αυτών των δέντρων.

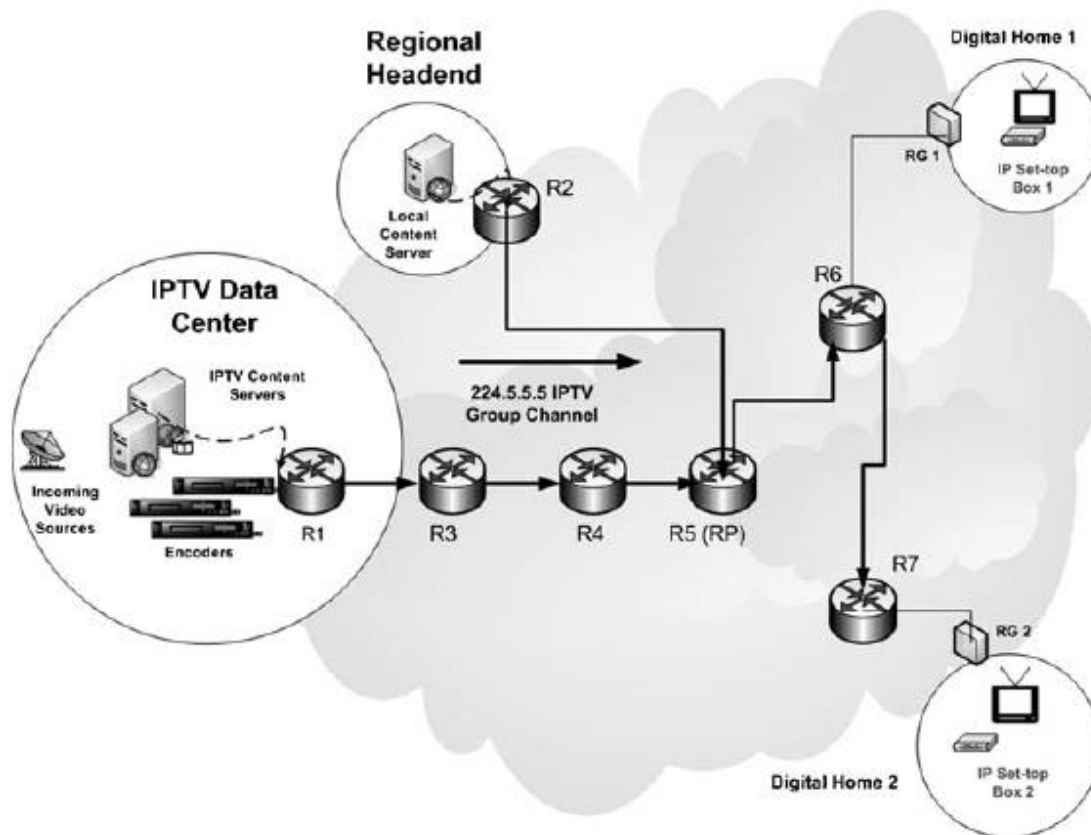
#### 3.13.4.1 Δέντρα multicast μετάδοσης

Ένα δέντρο multicast μετάδοσης χρησιμοποιείται για την αποτελεσματική διανομή υπηρεσιών τηλεόρασης από το server του IPTV data center ή από ενός από των regional offices, στις διάφορες IPTVCDs. Ένας multicast δρομολογητής χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που λαμβάνει από το IGMP πρωτόκολλο καθώς και από άλλες πηγές για τη δημιουργία λιστών από κόμβους (δρομολογητές) οι οποίες απεικονίζουν τη διαδρομή των πακέτων του IPTV περιεχομένου. Αυτές οι λίστες κόμβων ή οι διαδρομές ονομάζονται δέντρα multicast μετάδοσης. Τα δέντρα αυτά διακρίνονται στις παρακάτω δύο κατηγορίες:

- **Source trees.** Αυτός ο τύπος δέντρων ορίζει το συντομότερο δυνατό μονοπάτι από την πηγή της διανομής του IPTV περιεχομένου σε μια IPTVCD και γι' αυτό ονομάζονται και SPT (Shortest Path Tree). Ένα STB διατηρεί τις τιμές των χρονικών καθυστερήσεων στις ελάχιστες δυνατές και συνεπώς είναι ιδανικό για τη διανομή των IPTV υπηρεσιών. Γενικά ένα source δέντρο διαμορφώνεται όταν προστίθενται στο δίκτυο νέοι source servers. Όσοι από τους δρομολογητές του δικτύου χρησιμοποιούνται για τη διανομή ροών βίντεο σε ένα IP set-top box αποτελούν και μέλη του δέντρου. Εκτός από τον προσδιορισμό διαδρομών δρομολόγησης, τα δέντρα αυτά χρησιμοποιούνται επίσης από τους multicast δρομολογητές για την αποτελεσματική δημιουργία ροών αντιγράφων σε διάφορα τμήματα του δικτύου. Συνεπώς η δομή ενός δέντρου αλλάζει διαρκώς δεδομένου ότι οι IPTVCDs μπορούν να συμμετάσχουν ή να αποχωρήσουν από μια multicast ομάδα σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ένα τυπικό παράδειγμα SPT απεικονίζεται στο σχήμα 3.19.
- **Shared trees** Ένα διαμοιραζόμενο δέντρο δε θέτει ως ρίζα του το server στο IPTV data center ή το server ενός regional office αλλά ένα δρομολογητή ο οποίος ονομάζεται RP (Rendezvous Point) και ενεργεί ως μεσολαβητής μεταξύ των IPTV source servers και των IPTVCDs. Στο σχήμα 3.20 το RP εντοπίζεται στο R5 δρομολογητή και περιέχει λεπτομέρειες του source server του IPTV data center καθώς και του server στο regional office. Αυτός ο τύπος δέντρου απαιτεί λιγότερους πόρους σε σύγκριση με ένα SPT αλλά μπορεί να εισάγει καθυστερήσεις σε κάποια μονοπάτια, επειδή ολόκληρη η κίνηση διαβιβάζεται στο RP. Η ανεκτικότητα στη καθυστέρηση που προκαλείται ποικίλει από δίκτυο σε δίκτυο.



Σχήμα 3.19 Απλοποιημένο παράδειγμα IPTV multicast SPT [1]

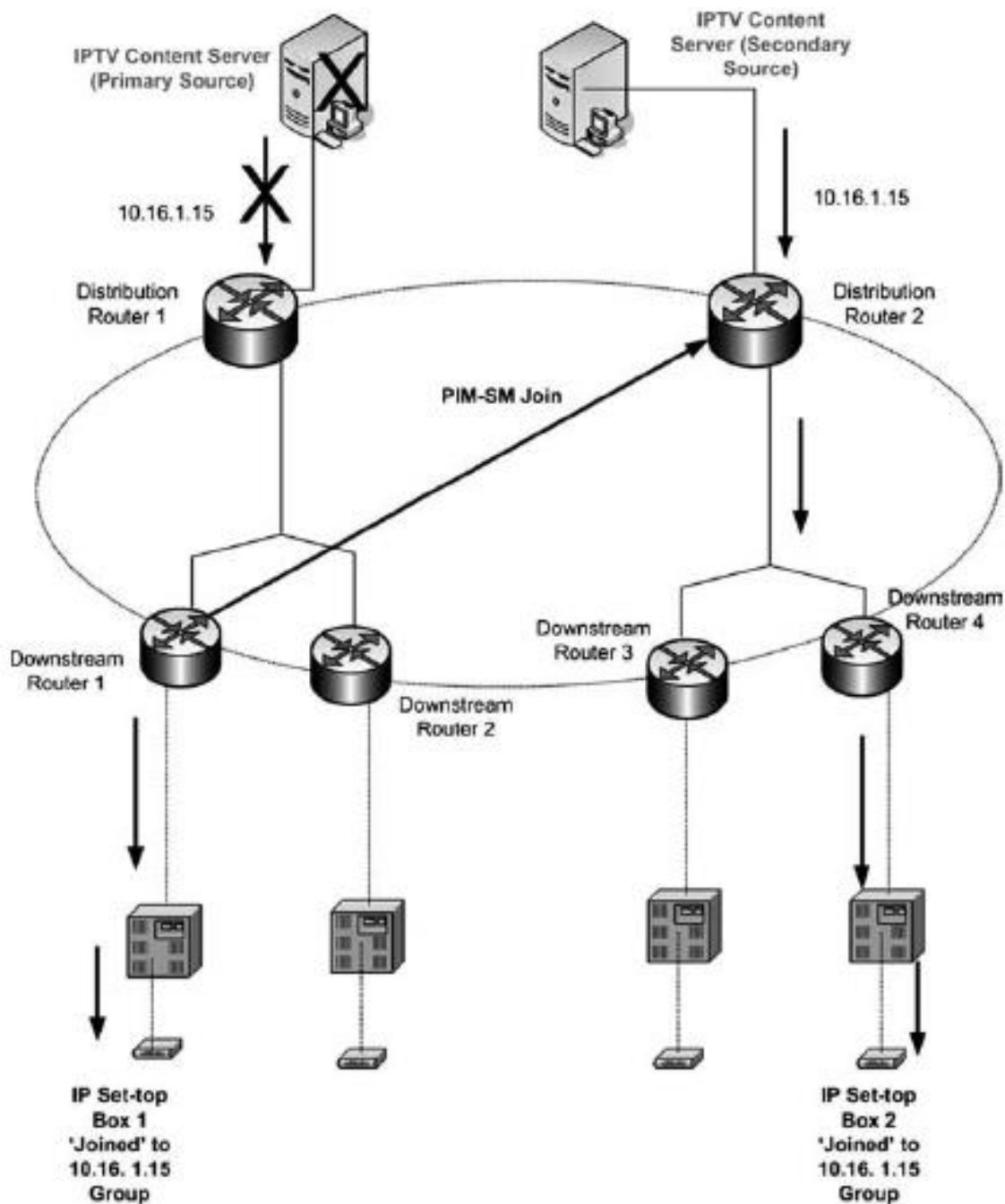


Σχήμα 3.20 Απλοποιημένο παράδειγμα IPTV multicast διαμοιραζόμενου δέντρου [1]

### 3.13.4.2 Πρωτόκολλο multicast μετάδοσης

Κατά τη multicast μετάδοση για τη δρομολόγηση του IPTV περιεχομένου, στη δημιουργία των multicast δέντρων διανομής χρησιμοποιείται το PIM (Protocol Independent Multicast) πρωτόκολλο. Για τη μετάδοση των διαφορετικών υπηρεσιών χρησιμοποιούνται οι εξής τέσσερις εκδοχές του PIM πρωτοκόλλου:

- **PIM Dense Mode (PIM-DM).** Η λειτουργία του βασίζεται στη διανομή των πακέτων σε όλους τους δρομολογητές στο δίκτυο. Οι δρομολογητές στους οποίους δεν υπάρχουν μέλη multicast ομάδων αποστέλλουν ένα μήνυμα στη πηγή των πακέτων για την παύση της μετάδοσης πακέτων σε αυτό το τμήμα του δικτύου. Αυτή η εκδοχή του PIM καταναλώνει μεγάλο εύρος ζώνης και χρησιμοποιείται σπάνια από ένα δίκτυο IPTV. Συνήθως χρησιμοποιείται για την υποστήριξη IP εφαρμογών που λειτουργούν στα πλαίσια LAN δικτύων.
- **PIM Sparse Mode (PIM-SM).** Αυτή η εκδοχή του PIM πρωτοκόλλου σχεδιάστηκε για τη διανομή των multicast ροών κατά μήκος WAN δικτύων, μόνο σε IPTVCDs οι οποίες έχουν εκφράσει επιθυμία να λάβουν κάποιο κανάλι. Συνεπώς αυτή η τεχνική βοηθά στην εξοικονόμηση εύρους ζώνης. Συγκεκριμένα, καθορίζει πώς οι δρομολογητές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους για τη δημιουργία και την συντήρηση των διάφορων τύπων δέντρων multicast διανομής. Η υλοποίηση του PIM-SM μπορεί να βοηθήσει στην ανίχνευση και την αποκατάσταση τμημάτων του δικτύου όπως είναι οι κωδικοποιητές και οι servers. Στην περίπτωση αποτυχίας ενός server, το PIM-SM αποστέλλει ένα αίτημα για την πρόσβαση σε κάποιον άλλο server έτσι ώστε το set-top box που επηρεάστηκε από το σφάλμα του πρώτου server να συνεχίσει να λαμβάνει πακέτα από το δεύτερο. Η λειτουργία αυτού του πρωτοκόλλου φαίνεται στο σχήμα 3.21.
- **PIM source specific multicast (PIM-SSM).** Το πρωτόκολλο αυτό προκύπτει από το PIM-SM και λειτουργεί στο τρίτο επίπεδο του IPTVCM. Όπως φανερώνει το όνομά του το PIM-SSM υποστηρίζει το SSM το οποίο όπως προαναφέρθηκε επιτρέπει στις IPTVCDs να καθορίσουν ποια κανάλια θέλουν να λάβουν.
- **Bidirectional PIM (BIDIR-PIM)** Το PIM-SM αδυνατεί να παρέχει ενθυλάκωση αλλά και την υποστήριξη source δέντρων. Αυτή η αδυναμία του PIM-SM αντιμετωπίζεται με τη χρήση του BIDIR-PIM.



Σχήμα 3.21 Παράδειγμα χρήσης του πρωτοκόλλου PIM-SM [1]

### 3.13.4.3 Λειτουργία IGMP Snooping

Κατά τη διάρκεια της IGMP επικοινωνίας, τα IGMP μηνύματα συχνά διέρχονται μέσω άλλων ενδιάμεσων συσκευών όπως αυτές των DOCSIS 3.0 CMTSs, των DSLAMs, των switches και των residential gateways. Τα μηνύματα αυτά ελέγχονται από τις ενδιάμεσες συσκευές μέσω της IGMP snooping διαδικασίας. Αυτή η λειτουργία εμποδίζει τη ροή multicast πακέτων ενός switch σε όλες τις

πόρτες, περιορίζοντας τη διανομή των πακέτων αυτών μόνο στις πόρτες που υπάρχουν IPTV χρήστες οι οποίοι ζητούν ένα συγκεκριμένο κανάλι. Συνεπώς αυτή η λειτουργία περιορίζει την άσκοπη χρήση του εύρους ζώνης και της επεξεργαστικής δυνατότητας των σταθμών από δεδομένα που δεν τους αφορούν [21].

#### **3.13.4.4 Λειτουργία IGMP Proxy**

Η IGMP proxy λειτουργία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση της multicast δρομολόγησης. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη διανομή των IGMP frames όταν δεν υπάρχει η ανάγκη χρήσης κάποιου πιο προηγμένου πρωτοκόλλου όπως αυτή του PIM. Τα κύρια χαρακτηριστικά της λειτουργίας του είναι τα εξής:

- Παρέχει απλούστερη υλοποίηση της multicast δρομολόγησης.
- Χρησιμοποιείται σε τοπολογίες όπου το PIM-SM δεν είναι κατάλληλο.
- Απαιτεί λιγότερους πόρους για τη λειτουργία της συγκριτικά με το PIM-SM.
- Είναι απλή στην παραμετροποίηση της [22].

Ωστόσο η IGMP proxy λειτουργία δεν είναι κατάλληλη στην περίπτωση μιας περίπλοκης multicast δρομολόγησης. Η IGMP proxy λειτουργία επιτρέπει σε συσκευές όπως τα DSLAMs και τα CMTSs την έκδοση IGMP μηνυμάτων, αντί της έκδοσης αυτών των μηνυμάτων από τους hosts (όπως είναι οι IPTVCDs), μέσω των ενεργοποιημένων IGMP διεπαφών. Οι IPTVCDs λαμβάνουν αυτά τα μηνύματα μέσω των ενεργοποιημένων IGMP διεπαφών των δρομολογητών τους. Κάθε μία από αυτές οι συσκευές (DSLAMs, CMTSs) ενεργούν σαν ένας proxy, δηλαδή σαν IGMP servers για τις IPTVCDs και σαν client συσκευές για τους δρομολογητές διανομής. Αν αυτές οι διεπαφές στο δρομολογητή δεν είναι ενεργοποιημένες σαν IGMP proxy διεπαφές τότε η IGMP κίνηση σε αυτές αγνοείται [22].

### 3.14 Λειτουργία αλλαγής καναλιών

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα της μετάδοσης real-time περιεχομένου σε ένα IP δίκτυο, είναι η ταχύτητα με την οποία οι χρήστες μπορούν να μεταβαίνουν από ένα κανάλι σε ένα άλλο κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης αυτών. Σε ένα IPTV δίκτυο η διαδικασία αλλαγής καναλιού πραγματοποιείται σε ένα server. Εξαιτίας του γεγονότος ότι το set-top box αλληλεπιδρά με το δίκτυο κατά τη διάρκεια της αλλαγής καναλιών, είναι πιθανό να προξενήσει καθυστερήσεις εκτός από τις ήδη υπάρχουσες καθυστερήσεις που προκαλούνται από το IPTV data center και τις συσκευές στο οικιακό περιβάλλον. Συνεπώς οι καθυστερήσεις που εισάγονται στη διαδικασία εναλλαγής καναλιού είναι αποτέλεσμα καθυστερήσεων στους εξής τρεις τομείς:

- **Στο IPTV data center.** Οι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη διαδικασία αλλαγής καναλιών στο IPTV data center είναι:
  - Το σύστημα κωδικοποίησης.
  - Τα υπό όρους πρόσβασης (*Conditional Access - CA*) συστήματα και τα συστήματα διαχείρισης ψηφιακών δικαιωμάτων (*Digital Rights Management - DRM*) συστήματα. Λειτουργίες όπως η κρυπτογράφηση των καναλιών για την προστασία των πνευματικών δικαιωμάτων, η παραγωγή κλειδιών και η αποστολή κλειδιών κρυπτογράφησης στο δίκτυο, μπορεί να προξενήσουν επιπλέον καθυστέρηση στη διαδικασία αλλαγής ενός καναλιού. Επιπλέον χρήση των DRM συστημάτων περιπλέκει τις λειτουργίες ασφαλείας και συνεπώς εισάγει επιπλέον καθυστερήσεις. Ωστόσο το middleware και οι servers εφαρμογών γενικά δεν έχουν επίδραση στο χρόνο εκτέλεσης ενός αιτήματος αλλαγής καναλιού.
- **Στο δίκτυο.** Σε ένα δίκτυο διανομής οι διάφοροι δρομολογητές, οι φυσικές συνδέσεις, και τα regional offices όπως τα DSLAMs, μπορούν να εισάγουν καθυστέρηση σε ένα αίτημα αλλαγής καναλιών. Η ταχύτητα με την οποία τα DSLAMs και οι δρομολογητές αποκρίνονται στα IGMP αιτήματα συμμετοχής και αποχώρησης, είναι καίριας σημασίας για το χρόνο απόκρισης σε ένα τέτοιο αίτημα. Το RTSP πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται γενικά για την εγκαθίδρυση μιας unicast σύνδεσης, μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να χρησιμοποιηθεί για την πρόσβαση σε ένα multicast κανάλι μέσω διάφορων μηνυμάτων αίτησης και απόκρισης. Συνεπώς και αυτό μπορεί να εισάγει επιπλέον καθυστερήσεις. Τέλος

κάποιοι άλλοι παράγοντες επίδρασης όπως ποιο από τα PIM πρωτόκολλα και ποια από τις εκδόσεις του IGMP επιδρούν διαφορετικά στο χρόνο αλλαγής ενός καναλιού.

- **Στο οικιακό περιβάλλον.** Σε ένα οικιακό περιβάλλον η ταχύτητα αλλαγής καναλιού μπορεί να επηρεαστεί από τους ακόλουθους παράγοντες:
  - *Αποκωδικοποίηση:* Η αποκωδικοποίηση του εισερχόμενου συμπιεσμένου σήματος στην IPTVCD διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις καθυστερήσεις που προκαλούνται κατά τη διάρκεια της αλλαγής των καναλιών. Για παράδειγμα, κατά τη χρήση του MPEG αλγορίθμου συμπίεσης, μια IPTVCD πρέπει να περιμένει ένα I-frame στην εισερχόμενη ροή πριν ξεκινήσει την αποκωδικοποίηση. Όπως ήδη γνωρίζουμε το I-frame περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται για να αναδημιουργία της κωδικοποιημένης εικόνας. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την άφιξη ενός I-frame εξαρτάται από το πλήθος των I-frames που μεταδίδονται από τον κωδικοποιητή ανά δευτερόλεπτο.
  - *Αποκρυπτογράφηση:* Εάν ένα multicast κανάλι είναι κρυπτογραφημένο, για την αποκρυπτογράφηση των πακέτων του είναι απαραίτητη η λήψη των κλειδιών αποκρυπτογράφησης. Τα κλειδιά αυτά συχνά μεταφέρονται μέσω πινάκων σε μια IPTV ροή. Η συχνότητα με την οποία αυτοί οι πίνακες είναι διαθέσιμοι στη ροή καθορίζει πόσο γρήγορα μια IPTVCD μπορεί να αρχίσει την αποκρυπτογράφηση της εισερχόμενης ροής. Σε κάποια CA συστήματα τα κλειδιά αυτά ενημερώνονται περιοδικά και έτσι μια IPTVCD πρέπει να διασφαλίσει ότι λαμβάνει τα κλειδιά μετά την τελευταία ενημέρωση αυτών. Η καθυστέρηση που εισάγεται από τη διαδικασία της αποκρυπτογράφησης κυμαίνεται από 0 έως 1500 ms. Ωστόσο σε κάποια δίκτυα η καθυστέρηση μπορεί να υπερβεί αυτούς τους χρόνους εάν μια IPTVCD χρειαστεί να περιμένει και το τελευταίο σύνολο κλειδιών αποκρυπτογράφησης.
  - *Buffering:* Εξαιτίας της μεταβλητής φύσης του ρυθμού μετάδοσης των bits ενός βίντεο υπάρχει μία χρονική διακύμανση στην άφιξη τους η οποία είναι γνωστή ως jitter. Η χρονική αυτή διακύμανση μπορεί να οφείλεται είτε στο server είτε στο δίκτυο. Συνεπώς χρησιμοποιείται ένας buffer για να εξασφαλίσει ότι τα δεδομένα είναι παρόντα για επεξεργασία και προβολή. Επιπλέον ένας buffer μπορεί να απαιτήσει την επαναμετάδοση των πακέτων εάν αυτή κρίνεται απαραίτητη. Ωστόσο όμως ένας buffer πρέπει



να γεμίσει πριν την έναρξη της αποκωδικοποίησης. Το γεγονός αυτό καθώς και το μέγεθος της μνήμης του buffer εισάγουν επιπλέον καθυστερήσεις στο χρόνο αλλαγής ενός καναλιού.

Τέλος καθυστερήσεις μπορούν να επιφέρουν η επεξεργαστική ισχύς της CPU και η αποδοτικότητα της μνήμης καθώς και η επεξεργασία των πακέτων μίας RG (Residential Gateway). Μία RG βρίσκεται μεταξύ του δικτύου διανομής και μιας IPTVCD. Σε ένα DSL περιβάλλον, ένα RG περιλαμβάνει ένα modem στο οποίο και συμβαίνει η διαδικασία της αλλαγής των καναλιών [1].

### **3.14.1 Βασικές αρχές της αλλαγής καναλιών**

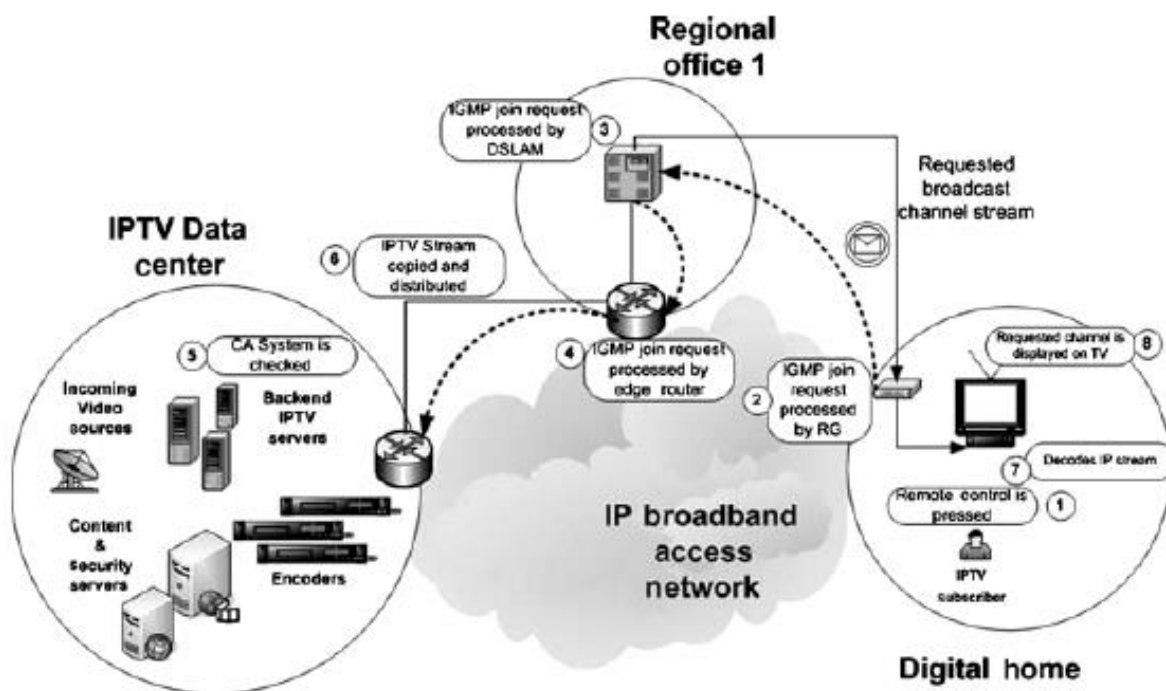
Υπάρχουν δύο τύποι αλληλεπίδρασης των συνδρομητών με τις multicast IPTV ροές. Η αλληλεπίδραση με τη χρήση του τηλεχειριστηρίου για την επιλογή ενός καναλιού και η αλληλεπίδραση για την αλλαγή ενός καναλιού σε ένα άλλο.

#### **3.14.1.1 Επιλογή καναλιού**

Στα παραδοσιακά δίκτυα της καλωδιακής ή της δορυφορικής τηλεόρασης, η επιλογή ενός καναλιού και η αλλαγή αυτού είναι απλή διότι όλα τα κανάλια είναι διαθέσιμα σε διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας. Ωστόσο η επιλογή ενός IPTV καναλιού είναι πιο περίπλοκη επειδή όλα τα κανάλια δεν είναι διαθέσιμα ταυτοχρόνως στο δίκτυο με τα βήματα για την επιλογή ενός καναλιού να εξαρτώνται από την εκάστοτε υποδομή δικτύωσης. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ολοκλήρωση της επιλογής ενός καναλιού εξαρτάται από τη θέση του ζητούμενου αυτού καναλιού. Παραδείγματος χάριν, εάν το κανάλι είναι διαθέσιμο σε έναν κοντινό δρομολογητή, η καθυστέρηση είναι αμελητέα. Εντούτοις, εάν η ροή αυτή πρέπει να αποκτηθεί από ένα server στο IPTV data center υπολογιστή στο κεντρικό κέντρο στοιχείων IPTV, απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για τη διανομή αυτής σε μια IPTVCD.

Στην περίπτωση ενός αιτήματος λήψης ενός καναλιού το οποίο είναι διαθέσιμο στο δρομολογητή διανομής του IPTV data center απαιτούνται τα εξής βήματα (σχήμα 3.22):

1. Όταν ο συνδρομητής επιθυμεί να λάβει ένα κανάλι τότε είτε επιλέγει το κανάλι αυτό από το τηλεχειριστήριό του, είτε το επιλέγει μέσω της EPG εφαρμογής.
2. Το IP set-top box λαμβάνει αυτήν την εντολή με τη μορφή ενός IGMP αιτήματος συμμετοχής και την αποστέλλει σε μια RG συσκευή. Το αίτημα αυτό κατόπιν αποστέλλεται στο DSLAM είτε εξετάζεται το ενδεχόμενο το κανάλι αυτό να είναι διαθέσιμο σε κάποια από τις πόρτες της RG συσκευής. Στη περίπτωση αυτή η RG αντιγράφει τη ροή και την αποστέλλει στη συσκευή που την απαιτεί. Η RG συσκευή θα πρέπει να υποστηρίζει την IGMP snooping λειτουργία.
3. Εάν το κανάλι αυτό δεν είναι διαθέσιμο στην RG ή δεν υποστηρίζεται η IGMP snooping λειτουργία, το αίτημα αυτό αποστέλλεται στο DSLAM στην περίπτωση των DSL δικτύων. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα CMTSS χρησιμοποιούνται στην περίπτωση των καλωδιακών ευρυζωνικών δικτύων. Κατόπιν αν υποστηρίζονται οι IGMP proxy και IGMP snooping λειτουργίες, επιτρέπεται στο DSLAM να εξετάσει αν το ζητούμενο κανάλι είναι διαθέσιμο σε κάποιο από τις πόρτες του, να το αντιγράψει και να το προωθήσει σε μια IPTVCD. Ωστόσο αν αυτές οι λειτουργίες δεν υποστηρίζονται ή το κανάλι δεν είναι διαθέσιμο στο DSLAM, το αίτημα αποστέλλεται εν συνεχεία στους ανωτέρω δρομολογητές διανομής.
4. Το αίτημα αυτό εν τέλει φθάνει στο IPTV data center όπου εκεί είναι διαθέσιμα όλα τα κανάλια. Ένα κανάλι γενικά προσδιορίζεται από μια IP διεύθυνση. Κατόπιν το CA σύστημα ελέγχει αν ο συνδρομητής είναι εξουσιοδοτημένος να παρακολουθήσει το συγκεκριμένο αυτό κανάλι.
5. Μετά την έγκριση του συνδρομητή η IP διεύθυνση του IP set-top box του συνδρομητή προστίθεται στη multicast λίστα. Έτσι εν συνεχεία το κανάλι αντιγράφεται και αποστέλλεται στο IP set-top box.
6. Το set-top box λαμβάνει το κανάλι που ζήτησε καθώς και επιπλέον πληροφορίες ασφαλείας όπως CA πίνακες και κλειδιά κρυπτογράφησης. Κατόπιν τα αποθηκεύει στη μνήμη του και περιμένει ένα I-frame πριν ξεκινήσει την αποκωδικοποίηση του καναλιού.

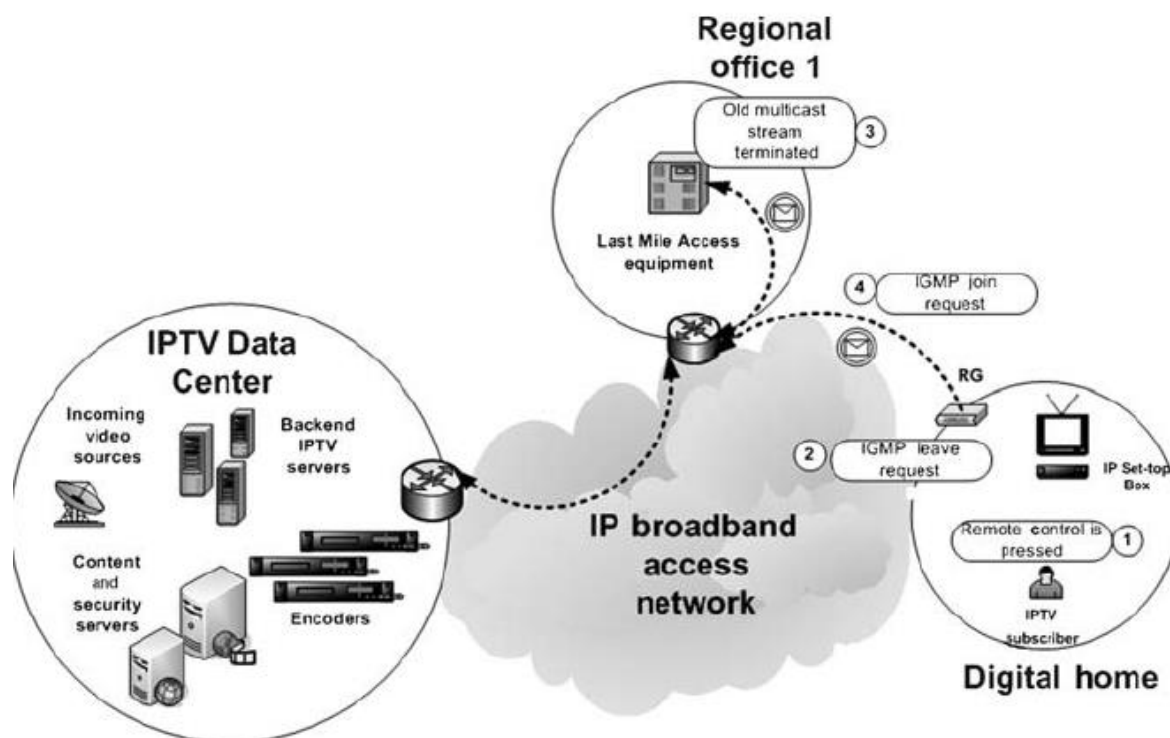


Σχήμα 3.22 Πιθανά βήματα επιλογής ενός IPTV καναλιού [1]

### 3.14.1.2 Εναλλαγή καναλιών

Όπως απεικονίζεται και στο σχήμα 3.23, η διαδικασία εναλλαγής ενός καναλιού σε ένα άλλο είναι όμοια με τη διαδικασία επιλογής ενός καναλιού, περιλαμβάνοντας κάποια επιπλέον βήματα:

- Όταν ένας συνδρομητής θέλει να αλλάξει το κανάλι που παρακολουθεί το αίτημα αυτό λαμβάνεται από το set-top box. Το set-top box αποστέλλει ένα μήνυμα αποχώρησης για τον τερματισμό της ροής του παλιού καναλιού.
- Ο τερματισμός της ροής του καναλιού ανάλογα με το επίπεδο λειτουργίας του IGMP, γίνεται είτε σε μια RG συσκευή είτε στο DSLAM και το CMTS. Παραδείγματος χάριν εάν μια RG συσκευή υποστηρίζει την IGMP proxy λειτουργία μπορεί να τερματίσει τη ροή του καναλιού. Ο τερματισμός αυτός προϋποθέτει να άλλες IPTVCDs στο περιβάλλον ενός συνδρομητή που να εκπέμπουν το συγκεκριμένο κανάλι. Ένα δεν υποστηρίζεται το IGMP τότε το αίτημα αλλαγής καναλιού αποστέλλεται στο DSLAM είτε στο δρομολογητή διανομής του IPTV data center. Στην περίπτωση που το DSLAM υποστηρίζει την IGMP snooping λειτουργία τερματίζει το παλιό κανάλι. Είναι σημαντικό η λειτουργία του τερματισμού της ροής καναλιού να



Σχήμα 3.23 Αλλαγή IPTV καναλιών [1]

γίνεται γρήγορα διότι υπάρχει το ενδεχόμενο το νέο κανάλι να φτάσει στο IPTV set-top box προτού τερματιστεί η ροή του προηγούμενου καναλιού. Αυτό μπορεί να διπλασιάσει της απαιτήσεις εύρους ζώνης η οποία δεν υποστηρίζεται από τη σύνδεση και να οδηγήσει σε υποβάθμιση της εικόνας του νέου καναλιού [1].

### 3.14.2 Τεχνικές μείωσης απαιτούμενου χρόνου αλλαγής καναλιών

Για την εμπορική επιτυχία του IPTV ο απαιτούμενος χρόνος αλλαγής ενός καναλιού θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με το χρόνο απαιτείται για την αλλαγή του καναλιού ενός δικτύου καλωδιακής τηλεόρασης ο οποίος είναι 500 ms. Οι τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους φορείς παροχής υπηρεσιών για την ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου αυτού του χρόνου είναι οι:

- **Υλοποίηση της IGMP proxy λειτουργίας στα DSLAMs.** Εάν μια ομάδα συνδρομητών λαμβάνει κάποιο συγκεκριμένο κανάλι και σε αυτή την ομάδα θέλει να συμμετάσχει κάποιος νέος συνδρομητής, η IGMP proxy συσκευή μπορεί να διανέμει το συγκεκριμένο κανάλι στο νέο συνδρομητή αμέσως

χωρίς να χρειαστεί η μετάδοση κάποιου IGMP μηνύματος στο server του IPTV data center. Συνεπώς ο χρόνος που δαπανάται για την αλλαγή του καναλιού είναι ο ελάχιστος δυνατός. Επιπλέον οι proxy συσκευές ελέγχουν ποιες IPTVCDs έχουν αποχωρήσει από μια multicast ομάδα ενός συγκεκριμένου καναλιού και στην περίπτωση που δεν υπάρχει καμία IPTVCD αποστέλλουν ένα μήνυμα αποχώρησης στο δρομολογητή διανομής του IPTV data center ώστε να σταματήσει να στέλνει το συγκεκριμένο κανάλι. Εάν είναι αδύνατη η εφαρμογή της IGMP proxy λειτουργίας στο DSLAM ή το κόστος αυτής είναι απαγορευτικό, τότε αυτή εφαρμόζεται στο δρομολογητή διανομής του IPTV data center. Ο δρομολογητής αυτός θα πρέπει να διαθέτει αρκετά μεγάλη επεξεργαστική ισχύ ώστε να διαχειρίζεται γρήγορα τα IGMP αιτήματα αποχώρησης και συμμετοχής που λαμβάνονται από τα διάφορα DSLAMs και CMTSs.

- **Αύξηση του αριθμού των I-frames που παράγονται από τον κωδικοποιητή στο IPTV data center.** Το πρόβλημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι τα I-frames απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης και συνεπώς αυξάνεται ο χρόνος που απαιτείται για την εναλλαγή των καναλιών. Συνεπώς οι φορείς παροχής υπηρεσιών πρέπει να βρουν μία χρυσή τομή, δηλαδή να εξισορροπήσουν τις απαιτήσεις για μικρότερους χρόνους αλλαγής καναλιών έναντι των απαιτήσεων υψηλού εύρους ζώνης.
- **Αύξηση της συχνότητας λήψης των CA πινάκων.** Όπως προαναφέρθηκε μια IPTVCD πρέπει να περιμένει τα κλειδιά κρυπτογράφησης και τους CA πίνακες να φθάσουν προτού να ξεκινήσει η διαδικασία αποκρυπτογράφησης. Η αύξηση της συχνότητας αυτών των πληροφοριών μέσα στο ρεύμα μπορεί να επιταχύνει το χρόνο αλλαγής των καναλιών. Αυτό η προσέγγιση όπως είναι αναμενόμενο προκαλεί αύξηση των απαιτήσεων εύρους ζώνης.
- **Μείωση του μεγέθους των buffers των IP set-top boxes.** Οι IPTVCDs που έχουν μεγάλο μέγεθος buffers είναι πιο πιθανό να αναπαραγάγουν καλύτερης ποιότητας βίντεο σε σύγκριση με συσκευές με μικρότερο μέγεθος buffers. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στα δίκτυα που εμφανίζεται η μεταβολή της καθυστέρησης. Το μόνο μειονέκτημα του μεγάλου μεγέθους των buffers είναι ότι απαιτείται αρκετός χρόνος να γεμίσουν και έτσι απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος για την αλλαγή των καναλιών. Έτσι η ελαχιστοποίηση

του απαιτούμενου αυτού χρόνου είναι εφικτή μόνο στη περίπτωση των δικτύων στα οποία δεν εμφανίζεται μεταβολή της καθυστέρησης και άρα έχουν μικρό μέγεθος buffers.

- **Προσωποποίηση συνηθειών του χρήστη.** Η τεχνολογία αυτή εξετάζει τις προηγούμενες συνηθειες του συνδρομητή και προβλέπει ποια μπορεί να είναι τα πιθανά κανάλια που ο συνδρομητής θα ζητήσει να συντονιστεί στο μέλλον. Αυτή είναι μια καλή τεχνική για τη βελτίωση του χρόνου αλλαγής των καναλιών. Αυτή η τεχνική είναι κατάλληλη κυρίως για VDSL και FTTH δίκτυα, ωστόσο μπορεί να μην υπάρχει αρκετό εύρος ζώνης διαθέσιμο για τη διανομή πολλαπλών IPTV καναλιών. Το μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι ένα κανάλι είναι πάντα διαθέσιμο δεσμεύοντας bandwidth ακόμη και αν ο συνδρομητής δεν είναι συντονισμένος στο κανάλι αυτό. Μια ακόμη παρόμοια τεχνική βασίζεται στη συνεχή διαθεσιμότητα ενός συγκεκριμένου καναλιού σε ένα συγκεκριμένο σημείο στο δίκτυο, όπως είναι το DSLAM ή οι RG συσκευές σε κάποιες περιπτώσεις. Οι φορείς παροχής υπηρεσιών διαθέτουν κάποια στατιστικά μοντέλα προκειμένου να επιλέξουν την κατάλληλη μεταξύ αυτών των δύο τεχνικών [1].

### 3.15 Ποιότητα Υπηρεσίας IPTV

Η ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) αναφέρεται στην ικανότητα ενός δικτύου να προσφέρει καλύτερες υπηρεσίες σε ένα συγκεκριμένο σημείο της μετάδοσης. Μηχανισμοί ελέγχου δίνουν προτεραιότητα σε κάποιους χρήστες, ή εγγυώνται διαφορετικά QoS επίπεδα ανάλογα με τον τύπο των υπηρεσιών. Στη real-time μετάδοση όπως είναι αυτή της IPTV και της VoIP, απαιτείται ένα εγγυημένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών εξαιτίας της απαίτησης σταθερού ρυθμού μετάδοσης (CBR) και της sensitive-delay φύσης αυτών των υπηρεσιών. Συνεπώς η ποιότητα μιας real-time υπηρεσίας εξαρτάται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- **Το ρυθμό μετάδοσης.** Γνωρίζοντας το ρυθμό μετάδοσης μπορεί να διαπιστωθεί εάν ένα δίκτυο ορισμένης χωρητικότητας υποστηρίξει ένα συγκεκριμένο τύπο μετάδοσης. Ο υπολογισμός του ρυθμού μετάδοσης

γίνεται με τη διαίρεση όλων των bytes που αποστέλλονται με τη διάρκειας της μετάδοσης.

- **Καθυστέρηση.** Η χρόνος που χρειάζεται να φθάσουν τα πακέτα στον προορισμό τους εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων στη διαδρομή που διανύουν τα πακέτα, την κίνηση στο δίκτυο και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης.
- **Jitter.** Τα πακέτα που αποστέλλονται μπορεί να φθάσουν στον προορισμό μέσα από διαφορετικές διαδρομές και έτσι η καθυστέρηση των πακέτων μπορεί να διαφέρει.
- **Τον αριθμό των απολεσθέντων πακέτων.** Κάποια πακέτα μπορεί να χαθούν ή να εξαλειφθούν από ένα δρομολογητή αν ο buffer του είναι γεμάτος ή τα πακέτα αυτά είναι αλλοιωμένα
- **Τον αριθμό των επαναταξινομημένων πακέτων (reordered packets).** Όταν τα πακέτα αποστέλλονται με μια συγκεκριμένη είναι πιθανό να φθάσουν στο δέκτη σε διαφορετική από την αρχική τους σειρά, εξαιτίας των πιθανών διαφορετικών πορειών που επιλέγονται από τους δρομολογητές. Αυτή η διαδικασία είναι σημαντική ειδικά για τη διανομή βίντεο και τις VoIP εφαρμογές, όπου η ποιότητα επηρεάζεται από την καθυστέρηση.
- **Τον αριθμό των διπλότυπων πακέτων (duplicated packets).** Η εμφάνιση διπλότυπων πακέτων υποδηλώνει ότι υπάρχουν κάποια λάθη παραμετροποίησης στο δίκτυο ή ότι κάποιες συσκευές είναι ελαττωματικές.
- **Τον αριθμό των αλλοιωμένων πακέτων (corrupted packets).** Κατά τη διανομή των πακέτων στο δίκτυο μερικά από αυτά μπορεί να αλλοιωθούν. Αυτό το είδος σφάλματος δεν έχει μεγάλη επίπτωση στην ποιότητα εφ' όσον ο αριθμός των αλλοιωμένων πακέτων είναι μικρός.

Επιπλέον μια VoD μετάδοση επηρεάζεται και από τις εξής παραμέτρους:

- **Καθυστέρηση εκκίνησης (start delay).** Η καθυστέρηση εκκίνησης μετράται στο δέκτη και αναφέρεται στη διάρκεια μεταξύ της στιγμής που το πρώτο πακέτο TCP που περιέχει τη σηματοδότηση αποστέλλεται από τον πελάτη μέχρι τη στιγμή που το πρώτο RTP πακέτο δεδομένων εκπέμπεται από το server.

- **Καθυστέρηση παύσης / επανεκκίνησης (pause / resume delay).** Η VoD μετάδοση χρησιμοποιεί το RTSP πρωτόκολλο το οποίο δίνει τον έλεγχο της μετάδοσης των δεδομένων στο δέκτη. Η επανεκκίνηση της μετάδοσης μπορεί να γίνει από κάποιο από το σημείο που σταμάτησε η μετάδοση ή από σημείο που προηγείται ή έπεται του σημείου παύσης.

### 3.16 Ποιότητα εμπειρίας IPTV

Η ποιότητα εμπειρίας (Quality of Experience – QoE) αναφέρεται στην ικανοποίηση των προσδοκιών των χρηστών από τις IPTV υπηρεσίες. Η ικανοποίηση των χρηστών πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από αυτή των υπηρεσιών της καλωδιακής ή δορυφορικής τηλεόρασης και επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- **Τεχνικοί παράγοντες.** Οι τεχνικοί παράγοντες σχετίζονται με τις τεχνολογίες και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για τη διανομή των IPTV υπηρεσιών και αναφέρονται στην ταχύτητα αλλαγής των καναλιών, την ποιότητα του ήχου και της εικόνα, καθώς και την ασφάλεια IPTV υπηρεσιών.
- **Εμπορικοί παράγοντες (commercial factors).** Οι εμπορικοί παράγοντες αναφέρονται στο κόστος και το είδος του περιεχομένου των IPTV υπηρεσιών.
- **Παράγοντες χρηστικότητας (usability factors).** Οι παράγοντες χρηστικότητας αναφέρονται σε ζητήματα όπως η ευκολία εγκατάστασης ενός set-top box, η ευκολία χρήσης ενός ηλεκτρονικού οδηγού προγράμματος (EPG) και η απλουστευμένη λειτουργία του τηλεχειριστηρίου [23].

Η μέτρηση της ποιότητας εμπειρίας μπορεί να γίνει μόνο με την εξέταση των τεχνικών παραγόντων. Η αποδεκτή καθυστέρηση αλλαγής των καναλιών είναι περίπου 1 sec. Για τη διατήρηση αυτού του χρόνου η επιμέρους καθυστέρηση των μηνυμάτων συμμετοχής και αποχώρησης από μια multicast ομάδα πρέπει να κυμαίνεται από 10 ms έως 200 ms [24]. Επιπλέον παράγοντες δυσλειτουργίας όπως η απώλεια πακέτων, τα σφάλματα στις ακολουθίες μετάδοσης (sequence



errors) και η μεταβολή της καθυστέρησης μπορεί να έχουν αρνητικά αποτελέσματα στην ορατή τηλεοπτική ποιότητα. Τα αρνητικά αυτά φαινόμενα είναι συνήθως τα εξής:

- **Blockiness.** Αναφέρεται στο «σπάσιμο» ενός τμήματος της εικόνας σε τετράγωνα η οποία μπορεί να οφείλεται στην υπερβολική συμπίεση [25].
- **Blurring.** Αναφέρεται στη διαστρέβλωση της εικόνας που χαρακτηρίζεται από τη μειωμένη ευκρίνεια των ακρών της [26].
- **Judder.** Αναφέρεται στο «τράνταγμα», την κίνηση δηλαδή της εικόνας.
- **Ο οπτικός θόρυβος.**

Επίσης μπορεί να προκύψουν προβλήματα ως προς το συγχρονισμό του ήχου και της σχήματος [23].

Η multicast διανομή του IPTV περιεχομένου δεν εγγυάται σταθερή τηλεοπτική ποιότητα μεταξύ όλων των χρηστών που λαμβάνουν το ίδιο κανάλι. Λόγω του πεπερασμένου διαθέσιμου εύρους ζώνης, όσοι περισσότεροι είναι συνδρομητές που ζητούν μια IPTV υπηρεσία τόσο μικρότερος είναι ο βαθμός της QoE. Συνεπώς είναι σημαντικό ο εξοπλισμός των δικτύων να εξετάζεται κάτω από μια αυξανόμενη κλίμακα ως προς το πλήθος των συνδρομητών και των IPTV καναλιών, για να προσδιοριστεί σε πιο σημείο η ποιότητα εμπειρίας ανά συνδρομητή φθάνει σε μη αποδεκτά επίπεδα. Παραδείγματος χάριν εάν ένα δίκτυο μπορεί να φιλοξενήσει χίλιους συνδρομητές ταυτόχρονα, ο χιλιοστός πρώτος χρήστης θα μπορούσε ενδεχομένως να υποβιβάσει τη ποιότητα εμπειρίας όλων των συνδρομητών.

Τέλος σε ένα triple-play περιβάλλον υπηρεσιών οι συνδρομητές μπορεί ταυτόχρονα να αλλάζουν κανάλι, να κάνουν χρήση του διαδικτύου και της VoIP υπηρεσίας. Αυτή η δυναμική συμπεριφορά μπορεί επίσης να επηρεάσει την ποιότητα εμπειρίας των χρηστών. Επομένως είναι σημαντικό οι μετρήσεις της ποιότητας εμπειρίας ανά συνδρομητή να γίνονται σε συνάρτηση με τη δυναμική συμπεριφορά των χρηστών [24].

### **3.17 Ασφάλεια τεχνολογίας IPTV**

Η ασφάλεια είναι η κυρίαρχη προτεραιότητα των φορέων παροχής IPTV υπηρεσιών. Ο σκοπός ενός συστήματος ασφαλείας είναι να παρέχει τη βεβαιότητα ότι μόνο οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες, δηλαδή οι χρήστες που έχουν καταβάλει την απαιτούμενη συνδρομή θα μπορούν να έχουν πρόσβαση στα IPTV κανάλια και στο VoD περιεχόμενο. Οι παραγωγοί βίντεο περιεχομένου είναι απρόθυμοι να χορηγήσουν άδεια διανομής του περιεχομένου αυτού αν δεν υπάρχει ένας ισχυρός μηχανισμός ασφαλείας. Για την ασφάλεια του IPTV περιεχομένου που διανέμεται υπάρχουν δύο τεχνικές προστασίας, η υπό όρους πρόσβαση (CA) και η διαχείριση των ψηφιακών δικαιωμάτων (DRM) [1].

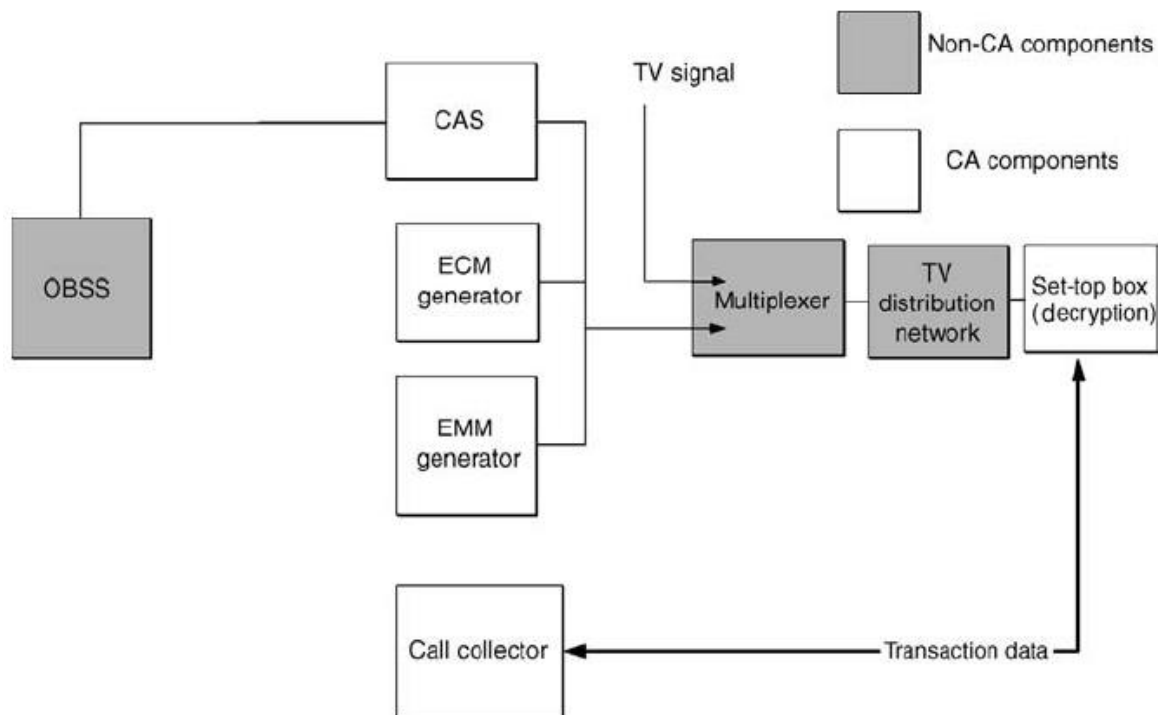
#### **3.17.1 CA συστήματα ασφαλείας**

Ένα CA σύστημα περιγράφεται σαν μια εικονική πύλη (virtual gateway) και είναι αρμόδιο για την αποτροπή της πρόσβασης μη-εξουσιοδοτημένων χρηστών στις IPTV υπηρεσίες. Θεωρητικά η κλοπή των IPTV υπηρεσιών είναι πιο δύσκολη εξαιτίας του ότι τα κανάλια διανέμονται περιοδικά σε ένα τέτοιο δίκτυο και όχι με συνεχή ροή. Συνεπώς το σύστημα ασφαλείας που χρησιμοποιείται σε ένα IPTV δίκτυο είναι διαφορετικό των συστημάτων ασφαλείας των καλωδιακών, δορυφορικών ή των δικτύων επίγειας τηλεόρασης. Υπάρχουν οι εξής τρεις εναλλακτικές προσεγγίσεις στα υπό όρους IPTV συστήματα πρόσβασης:

- CA συστήματα προσανατολισμένα στο υλικό
- CA συστήματα προσανατολισμένα στο λογισμικό
- Υβριδικά CA συστήματα

##### **3.17.1.1 CA συστήματα προσανατολισμένα στο υλικό**

Η αρχιτεκτονική ενός CA συστήματος η οποία είναι προσανατολισμένη στο υλικό (hardware centric CA system), βασίζεται σε μια client – server υποδομή δικτύωσης. Ένα απλοποιημένο διάγραμμα της διαλειτουργικότητας των κύριων συστατικών στοιχείων, των οποίων η λειτουργίες περιγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν απεικονίζεται στο σχήμα 3.24.



Σχήμα 3.24 Κύρια συστατικά στοιχεία ενός hardware centric CA συστήματος [1]

#### 3.17.1.1.1 Σύστημα έγκρισης πελατών

Το σύστημα έγκρισης πελατών (Customer Authorization System - CAS) περιλαμβάνει μια βάση δεδομένων για την αποθήκευση πληροφοριών του multicast και του VoD περιεχομένου, των αριθμών αναγνώρισης των έξυπνων καρτών, λεπτομερειών του προφίλ των συνδρομητών και δεδομένων χρονοπρογραμματισμού. Διασυνδέεται με το OBSS (Operational and Business Support System), στόχος του οποίου είναι να εξασφαλίσει ότι οι συνδρομητές έχουν πρόσβαση σε ότι ακριβώς έχουν πληρώσει. Το OBSS είναι ένα σύστημα διαχείρισης συνδρομητών το οποίο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία του IPTV δικτύου για την ενεργοποίηση των IPTV υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο και την ικανοποίηση των απαιτήσεων των συνδρομητών. Οι τύποι των πληροφοριών που διαχειρίζεται ένα OBSS είναι:

- Το όνομα και τη διεύθυνση των συνδρομητών.

- Λεπτομέρειες τιμολόγησης και πληρωμής.
- Τα multicast IPTV προγράμματα που απαιτούνται.
- Το απαιτούμενο εύρος ζώνης για την παροχή μιας νέας υπηρεσίας.
- Τη IP διεύθυνση μιας νέας υπηρεσίας.
- Τον επιθυμητό χρόνο ετοιμασίας του δικτύου των συνδρομητών για μια νέα υπηρεσία.

Το OBSS διαβιβάζει πληροφορίες σε ένα CA σύστημα όταν οι συνδρομητές αποκτήσουν τα δικαιώματα πρόσβασης. Αυτές οι πληροφορίες διαβιβάζονται στο CAS μέσω ενός EMM (Entitlement Management Message) μηνύματος το οποίο στέλνεται μέσω του δικτύου σε μια smart card η οποία είναι τοποθετημένη στο set-top box. Ένα EMM μήνυμα περιέχει τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Κλειδιών εξουσιοδότησης των IPTV υπηρεσιών.
- Πιστωτικών μονάδων (credits) για μελλοντικές αγορές.
- Ακύρωσης και ανανέωσης υπηρεσιών.
- Άλλες πληροφορίες χρηστών όπως διευθύνσεις και λεπτομέρειες κοστολόγησης.

Το CA σύστημα παράγει EMM μηνύματα και στην περίπτωση αλλαγής των λεπτομερειών της συνδρομής ενός χρήστη. Παραδείγματος χάριν, όταν ένας συνδρομητής απαιτήσει μια νέα on-demand υπηρεσία, ένα EMM μήνυμα αποστέλλεται για την εξουσιοδότηση της πρόσβασης σε αυτή την υπηρεσία. Γενικά τα EMM μηνύματα αποστέλλονται ξεχωριστά της IPTV ροής κάνοντας συχνά χρήση του TCP για να φθάσουν σε μια IPTVCD [1].

#### **3.17.1.1.2 Κρυπτογράφηση**

Ένα CA σύστημα χρησιμοποιεί ένα κλειδί κρυπτογράφησης σε συνδυασμό με έναν αλγόριθμο για την κρυπτογράφηση και την αποκρυπτογράφηση των πληροφοριών. Η κρυπτογράφηση εφαρμόζεται μόνο στο ωφέλιμο φορτίο ενός βίντεο και όχι στην κεφαλίδα των πακέτων. Για την κρυπτογράφηση των διαφορετικών καναλιών χρησιμοποιούνται και διαφορετικά κλειδιά κρυπτογράφησης. Τα κλειδιά αυτά αποστέλλονται σε ένα set-top box ή μία IPTVCD σε μια κρυπτογραφημένη μορφή ως μέρος του ECM (Entitlement Control

Message) μηνύματος. Τα ECM μηνύματα παράγονται στο IPTV data center και ανανεώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα για τη μεγιστοποίηση του βαθμού ασφαλείας. Σε αντίθεση με τα EMM μηνύματα που απευθύνονται στο συνδρομητή τα ECM μηνύματα απευθύνονται σε ένα κανάλι. Η κρυπτογράφηση ανάλογα με τον τύπο του περιεχομένου εφαρμόζεται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στη multicast μετάδοση του IPTV περιεχομένου εφαρμόζεται σε real-time χρόνο δηλαδή κατά τη μετάδοση του περιεχομένου. Στην περίπτωση μετάδοσης VoD περιεχομένου η κρυπτογράφηση μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε πραγματικό χρόνο, είτε πριν από τη unicast μετάδοση του περιεχομένου [1].

#### **3.17.1.1.3 Μονοπάτι επιστροφής**

Ένα CA σύστημα εκμεταλλεύεται την αμφίδρομη φύση των IP ευρυζωνικών δικτύων για συλλέξει πληροφορίες από τις IPTVCDs. Οι πληροφορίες αυτές διαφέρουν μεταξύ των συστημάτων αυτών με τα περισσότερα συστήματα να συλλέγουν πληροφορίες όπως:

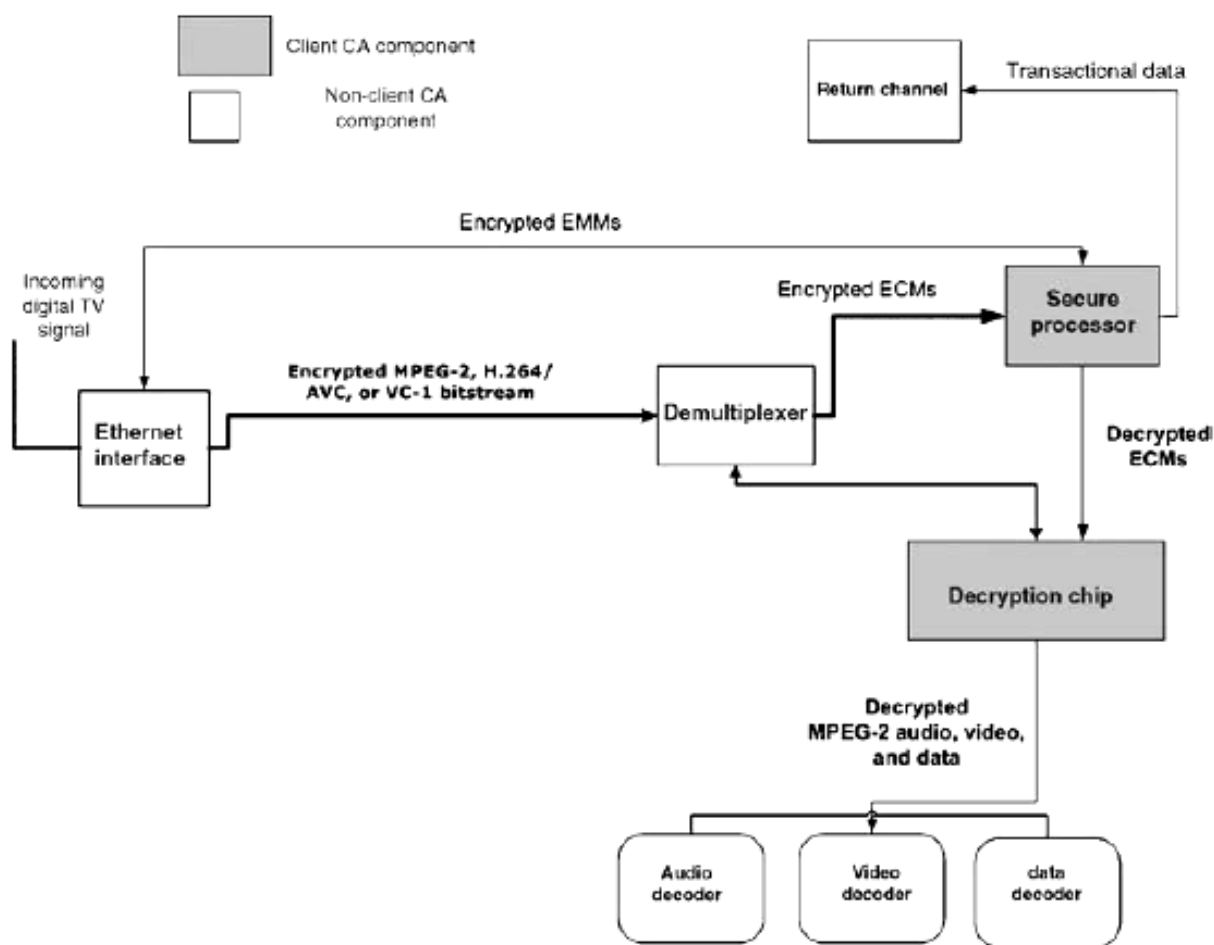
- Κωδικούς αναγνώρισης των smart cards και των IPTVCDs
- Το VoD περιεχόμενο που ο συνδρομητής απαιτεί
- Οι πιστωτικές μονάδες του συνδρομητή

#### **3.17.1.1.4 Έξυπνες κάρτες**

Ένα IPTV CA σύστημα χρησιμοποιεί ένα σύστημα ασφαλείας δύο επιπέδων. Το πρώτο περιλαμβάνει την κρυπτογράφηση του περιεχομένου και το δεύτερο περιλαμβάνει την επικύρωση των IPTVCDs. Μια έξυπνη κάρτα (smart card) μερικές φορές χρησιμοποιείται για τη παροχή επικυρωμένων υπηρεσιών στο CA σύστημα. Ουσιαστικά αυτή η κάρτα ανήκει σε ένα φορέα παροχής υπηρεσιών και προσδιορίζει τους συνδρομητές των multicast και των VoD υπηρεσιών. Αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή, λογισμικό, μνήμη και το μέγεθος της δε ξεπερνά αυτό μίας πιστωτικής κάρτας.

### 3.17.1.1.5 Client CA σύστημα

Σε ένα client CA σύστημα (σχήμα 3.25), γίνεται η αποκρυπτογράφηση των καναλιών στην αρχική τους μορφή. Αποτελείται από ένα chip κρυπτογράφησης το οποίο διατηρεί κάποιο τμήμα του αλγορίθμου του CA συστήματος και έναν επεξεργαστή ασφαλείας (security processor) περιέχει τα απαραίτητα κλειδιά για την αποκρυπτογράφηση των ψηφιακών υπηρεσιών τηλεόρασης. Ένα ECM μήνυμα το οποίο αποστέλλεται μαζί με κάθε ροή βίντεο είναι κρυπτογραφημένο εξάγεται από τη ροή αυτή και αποστέλλεται στον επεξεργαστή ασφαλείας για αποκρυπτογράφηση. Η αποκρυπτογράφηση του ECM πραγματοποιείται αφότου εγκριθεί. Η έγκριση αυτή παρέχεται από ένα EMM μήνυμα, το οποίο υποβάλλεται σε επεξεργασία τον επεξεργαστή ασφαλείας επίσης. Το ECM περιέχει ένα κλειδί, το οποίο αναπαράγεται από τον επεξεργαστή και αποστέλλεται στο chip



Σχήμα 3.25 Συστατικά στοιχεία client CA συστήματος [1]

αποκρυπτογράφησης. Το κλειδί αυτό έπειτα χρησιμοποιείται για τη παραγωγή της IPTV ροής. Εν συνεχεία λαμβάνει χώρα η αποκωδικοποίηση των συμπιεσμένων IPTV πακέτων. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι ενσωματωμένο μέσα σε ένα set-top box ή σε μία smart card.

#### **3.17.1.1.6 Αφαιρούμενα security modules**

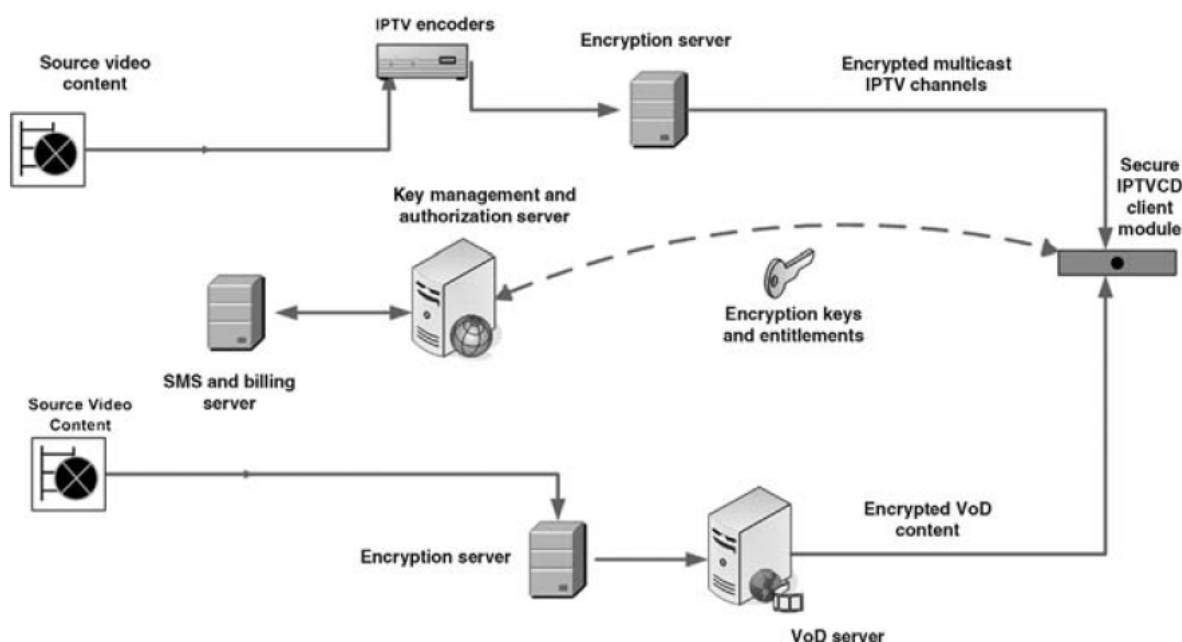
Ένα αφαιρούμενο security module είναι ένα αυτόνομο κομμάτι υλικού που εκτελεί τις λειτουργίες του ενσωματωμένου CA συστήματος, δηλαδή την αποκρυπτογράφηση του ψηφιακού περιεχομένου. Διαθέτει μέγεθος μιας PCMCIA κάρτας η οποία χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά στα laptops. Περιέχει chipsets και το σχετικό λογισμικό που απαιτείται για την αποκρυπτογράφηση του τηλεοπτικού περιεχομένου. Το αφαιρούμενο από το set-top box security module, επιτρέπει την αγορά των set-top boxes ανεξαρτήτως του φορέα παροχής υπηρεσιών. Έτσι αν ο συνδρομητής θέλει να αλλάξει φορέα παροχής υπηρεσιών μπορεί απλά να αντικαταστήσει το security module διατηρώντας το αρχικό set-top box.

#### **3.17.1.2 CA συστήματα προσανατολισμένα στο λογισμικό**

Η υιοθέτηση ενός CA συστήματος βασισμένο στο λογισμικό (σχήμα 3.26) είναι μία ακόμη προσέγγιση για την ασφαλή διανομή του ψηφιακού περιεχομένου. Ο τύπος αυτού του CA συστήματος περιλαμβάνει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Δεν απαιτεί τη χρήση κάποιας smart card.
- Γρήγορη αποκατάσταση των παραβιάσεων ασφαλείας.
- Υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους IPTV δικτύων.
- Υποστηρίζει τα ήδη καθιερωμένα πρότυπα κρυπτογράφησης.
- Λειτουργεί παράλληλα με ένα CA σύστημα ασφαλείας που βασίζεται στο υλικό.

Ένα απλοποιημένο διάγραμμα της διαλειτουργικότητας των κύριων συστατικών στοιχείων ενός software centric CA συστήματος, των οποίων η λειτουργίες περιγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν απεικονίζεται στο σχήμα 3.26.



Σχήμα 3.26 Κύρια συστατικά στοιχεία ενός software centric CA συστήματος [1]

### 3.17.1.2.1 Server Κρυπτογράφησης

Αυτός ο server είναι αρμόδιος για τη κρυπτογράφηση του ψηφιακού περιεχομένου πριν τη διανομή αυτού στο δίκτυο. Ένας τέτοιος server χρησιμοποιεί αλγόριθμους κρυπτογράφησης όπως είναι ο DES και ο AES για να καθιστήσει το ψηφιακό περιεχόμενο μη-αναγνώσιμο από αυτούς που δεν έχουν εξουσιοδότηση πρόσβασης σε αυτό.

### 3.17.1.2.2 Server έγκρισης και διαχείρισης κλειδιού

Ένας server έγκρισης και διαχείρισης κλειδιού (Key Management and Authorization Server - KMAS) είναι αρμόδιος για:

- Την παραγωγή, την αποθήκευση σε μία βάση δεδομένων και τη διαχείριση των κλειδιών κρυπτογράφησης.
- Την ασφαλή διανομή αυτών των κλειδιών στους εξουσιοδοτημένους χρήστες.
- Την παροχή πληροφοριών στο OBSS σύστημα.
- Την ανανέωση αυτών των κλειδιών σε τακτά χρονικά διαστήματα.



### 3.17.1.2.3 IPTV module ασφαλείας πελάτη

Το IPTV module ασφαλείας του πελάτη (Secure IPTVCD Client Module) είναι ένα τμήμα λογισμικού, είναι αρμόδιο για την real-time αποκρυπτογράφηση του περιεχομένου και την παροχή πρόσβασης στους χρήστες που έχουν πληρώσει για το περιεχόμενο αυτό. Είναι ενσωματωμένο μέσα σε μια IPTVCD και αναβαθμίζεται εύκολα με κάποιο άλλο λογισμικό που παρέχεται από το IPTV data center.

Ένα τυπικό παράδειγμα λειτουργίας ενός CA συστήματος που βασίζεται στο λογισμικό περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Το set-top box ελέγχει το δίκτυο προκειμένου να ανιχνεύσει ένα server που θα παρέχει τα κλειδιά αποκρυπτογράφησης και τις εξουσιοδοτημένες υπηρεσίες για ένα χρήστη. Η IP διεύθυνση αυτού του server είναι προκαθορισμένη στην IPTVCD.
- Μετά τον εντοπισμό του server, το λογισμικό ασφαλείας του set-top box ενημερώνει το IPTV data center για την παρουσία του στο δίκτυο και ζητά ένα κλειδί για την αποκρυπτογράφηση του εισερχόμενου περιεχομένου.
- Μετά τη λήψη αυτού του αιτήματος, ο server ζητά από το λογισμικό του set-top box κάποιες λεπτομέρειες επικύρωσης.
- Κατόπιν το λογισμικό αυτό φορτώνει ένα ψηφιακό πιστοποιητικό στο server.
- Μόλις αυτό το πιστοποιητικό ληφθεί και επικυρωθεί από το server, ανακτάται το κλειδί από τη βάση δεδομένων, κρυπτογραφείται και αποστέλλεται ξανά πίσω στο λογισμικό του set-top box. Σε αυτό το σημείο το κλειδί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποκρυπτογράφηση του περιεχομένου πριν να περάσει στο chip του αποκωδικοποιητή για περαιτέρω επεξεργασία.

### 3.17.1.3 Υβριδικά CA συστήματα

Η υβριδική προσέγγιση αναφέρεται στη λειτουργία της αποκρυπτογράφησης απευθείας στο set-top box χωρίς τη χρήση κάποιας smart card. Η αποκρυπτογράφηση του περιεχομένου σε αυτή τη περίπτωση λαμβάνει χώρα μέσα στον επεξεργαστή βίντεο ή σε έναν ειδικό επεξεργαστή ασφαλείας.

### 3.17.2 DRM συστήματα ασφαλείας

Ένα DRM σύστημα εκτός από τη προστασία του περιεχομένου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραμετροποίηση του χρόνου παροχής των υπηρεσιών αλλά και για την ανάκληση των δικαιωμάτων ενός χρήστη στο περιεχόμενο πρόσβασης. Αρχικά το DRM προοριζόταν μόνο για τη διανομή VoD περιεχομένου. Αργότερα όμως όλο και περισσότεροι φορείς παροχής υπηρεσιών άρχισαν να το εφαρμόζουν στη real-time διανομή των IPTV καναλιών. Η υλοποίηση αυτού του real-time DRM συστήματος περιλαμβάνει τη σύνδεση ενός server που τρέχει το DRM λογισμικό με τον αποκωδικοποιητή, εξασφαλίζοντας έτσι ότι το περιεχόμενο προστατεύεται πριν τη διανομή του.

#### 3.17.2.1 Αρχιτεκτονική υλικού και λογισμικού ενός DRM συστήματος

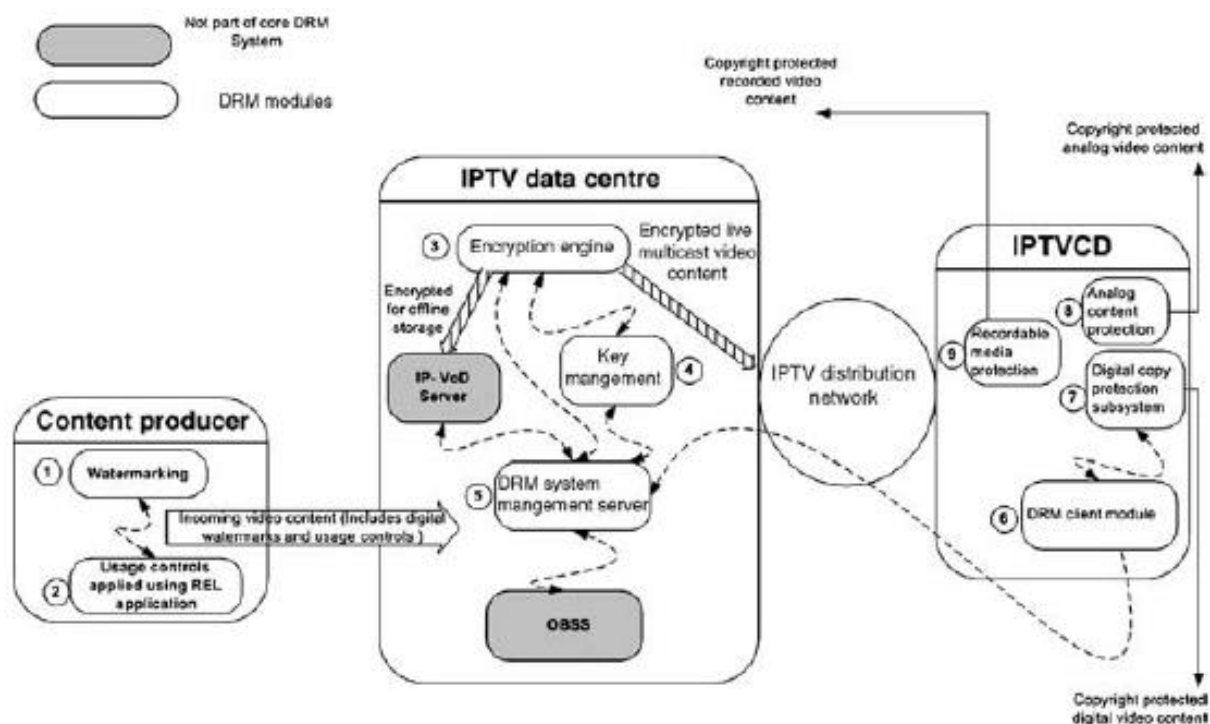
Τα συστατικά στοιχεία ενός DRM συστήματος είναι τα εξής:

- **Digital Watermarks.** Τα digital watermarks είναι ένα σύνολο από bits για τον προσδιορισμό του ονόματος του δημιουργού και του διανομέα μιας IPTV ροής δεδομένων. Αυτά τα bits είναι αόρατα στο χρήστη και διεσπαρμένα σε όλη τη ροή που διανέμεται είτε αυτή είναι ροή βίντεο είτε ροή ήχου και είναι δύσκολο να κάποιος τα εντοπίσει ή να τα αλλάξει. Η διαδικασία αυτή εμποδίζει την αντιγραφή που προσπαθεί να κάνει ο χρήστης στο περιεχόμενο και επίσης δίνει τη δυνατότητα στους διαχειριστές του IPTV δικτύου να εντοπίζουν την παράνομη αναδιανομή του. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα digital watermarks είναι αρκετά ανθεκτικά ώστε να μην αλλοιώνονται από διαδικασίες όπως είναι η συμπίεση, η αποσυμπίεση, η κρυπτογράφηση, και η μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό. Κατά την αντιγραφή μιας ροής δεδομένων αντιγράφονται επίσης και τα digital watermarks. Ωστόσο στη διαδικασία αυτή τα digital watermarks μπορεί να είναι ορατά στην εικόνα όπως στην περίπτωση του διανομέα ενός τηλεοπτικού προγράμματος που τοποθετεί το λογότυπο του στη γωνία του βίντεο [27].

- **Γλώσσα έκφρασης δικαιωμάτων.** Η γλώσσα έκφρασης δικαιωμάτων είναι μια DRM τεχνολογία η οποία επιτρέπει στους κατόχους του περιεχομένου να καθορίζουν τα δικαιώματα χρήσης που θέλουν να διανείμουν.
- **DRM μηχανισμός κρυπτογράφησης.** Ο μηχανισμός κρυπτογράφησης ενός DRM συστήματος ο οποίος υλοποιείται στο IPTV data center, εξασφαλίζει την πρόσβαση μόνο των εξουσιοδοτημένων χρηστών στο IPTV περιεχόμενο.
- **Διαχείριση κλειδιών.** Για τη διαδικασία της κρυπτογράφησης είναι απαραίτητη η χρήση κάποιων κλειδιών η παραγωγή των οποίων γίνεται από το IPTV data center.
- **Server διαχείρισης DRM συστήματος.** Ο server διαχείρισης βρίσκεται στον πυρήνα του DRM συστήματος. Διασυνδέεται με το OBSS σύστημα και λαμβάνει λεπτομέρειες των δικαιωμάτων θέασης για κάθε συνδρομητή. Ελέγχει αν εφαρμόζονται τα δικαιώματα πρόσβασης και είναι επίσης υπεύθυνος για τη συλλογή στατιστικών στοιχείων όπως είναι ο αριθμός προβολών κάθε περιεχομένου. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για να βεβαιωθούν οι ιδιοκτήτες του περιεχομένου ότι οι φορείς παροχής υπηρεσιών έχουν καταβάλει τις κατάλληλες αμοιβές δικαιωμάτων.
- **DRM module πελάτη.** Αυτό το υποσύστημα λογισμικού περιλαμβάνεται στις IPTVCDs προκειμένου να προστατεύσει το IPTV περιεχόμενο από τους μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Συγκεκριμένα διαχειρίζεται κάποιους κανόνες που τίθενται όπως οι τύποι των συσκευών στις οποίες μπορεί να αναπαραχθεί το περιεχόμενο αυτό ή το κόστος για την αντιγραφή του.
- **Υποσύστημα προστασίας της αντιγραφής του ψηφιακού προγράμματος.** Η ευρεία ανάπτυξη των set-top boxes που υποστηρίζουν διεπαφές εξόδου υψηλής χωρητικότητας προς τις IPTVCDs αυξάνει την ανησυχία για την προστασία των ψηφιακών δικαιωμάτων του IPTV περιεχομένου. Έτσι για την ελαχιστοποίηση αυτού του κινδύνου προστίθεται στις IPTVCDs ένα υποσύστημα προστασίας της αντιγραφής του ψηφιακού προγράμματος. Για αυτό το σκοπό υπάρχουν δύο διαθέσιμες τεχνολογίες η DTCP και η HDCP.

- **Σύστημα προστασίας αναλογικού περιεχομένου.** Κατά τη μετατροπή του ψηφιακού περιεχομένου σε αναλογικό η προστασία της πνευματικής ιδιοκτησίας χάνεται. Έτσι όμοια με τη προστασία των δικαιωμάτων των ψηφιακών διεπαφών είναι απαραίτητη η χρήση ενός μηχανισμού ασφαλείας στις αναλογικές διεπαφές.
- **Προστασία της πνευματικής ιδιοκτησίας από τα μέσα εγγραφής.** Η χρήση προηγμένων IPTVCDs περιλαμβάνει μονάδες DVD η οποίες επιτρέπουν στο χρήστη τη καταγραφή του IPTV περιεχομένου. Η αντιγραφή για προσωπική χρήση είναι γενικά αποδεκτή. Εντούτοις στη προσπάθεια του περιορισμού της αντιγραφής από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες το DRM σύστημα κάνει χρήση δύο τεχνολογιών προστασίας της πνευματικής ιδιοκτησίας από τα μέσα εγγραφής, της CPRM και της VCPS. Η CPRM (Content Protection for Recordable Media - CPRM) τεχνολογία ενσωματώνεται σε συσκευές αποθήκευσης δεδομένων και παρεμποδίζει την αντιγραφή «κλειδωμένων» αρχείων. Συσκευές αποθήκευσης δεδομένων όπως οι σκληροί δίσκοι και οι κάρτες μνήμης τύπου flash, οι οποίες χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν τα «προστατευμένα» αρχεία και να απαγορεύουν την αντιγραφή τους. Αυτό ισχύει μόνο για τα προστατευμένα αρχεία, ενώ με τα «κοινά» αρχεία ο χρήστης δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα [28]. Το περιεχόμενο που διανέμεται γενικά χαρακτηρίζεται ως «copy once», «copy free» ή «copy never». Στην περίπτωση του «copy once» IPTV περιεχομένου, το περιεχόμενο μπορεί να αποθηκεύεται μόνο στο σκληρό δίσκο μιας συσκευής εγγραφής αλλά όχι να αντιγράφεται [29]. Ωστόσο με τη χρήση της VCPS τεχνολογίας σε DVD+R/+RW δίσκους και συσκευές είναι δυνατή η αντιγραφή IPTV του «copy-once» περιεχομένου [30].

Το σχήμα 3.27 απεικονίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των μονάδων υλικού και λογισμικού ενός DRM συστήματος.



Σχήμα 3.27 Αρχιτεκτονική ενός IPTV DRM συστήματος [1]

Η διαδικασία που ακολουθείται από ένα DRM σύστημα είναι η εξής:

- Όταν το IPTV περιεχόμενο κωδικοποιηθεί και είναι έτοιμο προς αποστολή στο δίκτυο αποστέλλεται στο DRM σύστημα. Στο σύστημα αυτό μια εφαρμογή λογισμικού προσθέτει στο περιεχόμενο αυτό τα δικαιώματα ιδιοκτησίας και στοιχεία του ιδιοκτήτη.
- Το προστατευόμενο πλέον περιεχόμενο αποστέλλεται στον IP-VoD server όπου είναι πλέον διαθέσιμο για διανομή στο δίκτυο.
- Για την αναπαραγωγή του προστατευόμενου περιεχομένου μια IPTVCD πρέπει να διαθέτει ένα DRM module πελάτη για την προβολή του στις τηλεοράσεις των συνδρομητών.

### 3.18 Επίλογος

Οι IPTV τεχνολογία σήμερα σε συνδυασμό με τις υπηρεσίες διαδικτύου και τις υπηρεσίες τηλεφωνίας συνιστούν το λεγόμενο triple play πακέτο υπηρεσιών. Η διανομή των IPTV υπηρεσιών ικανοποιείται μέσα από ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών δικτύωσης όπως είναι τα οπτικά, τα ADSL, τα δορυφορικά, τα ασύρματα δίκτυα, τα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης, καθώς και το διαδίκτυο. Οι τύποι τεχνολογιών μετάδοσης που χρησιμοποιούνται από τον πυρήνα ενός IPTV δικτύου είναι το ATM και SONET/SDH, IP και MPLS και το Metro Ethernet. Για την κωδικοποίηση των δεδομένων του προς μετάδοση IPTV περιεχομένου χρησιμοποιείται συνήθως την MPEG-4 τεχνική συμπίεσης, ενώ για τη μετάδοση του IPTV περιεχομένου χρησιμοποιούνται οι unicast, broadcast και multicast τεχνικές διανομής. Κατά τη broadcast διανομή δεν υποστηρίζονται οι VCR (pause, fast-forward, κ.λπ.) λειτουργίες, ενώ η multicast διανομή χρησιμοποιεί το IGMP πρωτόκολλο για τη διανομή, τη δημιουργία ροών αντιγράφων του IPTV περιεχομένου και για τη συμμετοχή ή την αποχώρηση μιας IPTVCD σε μία multicast ομάδα. Για την ασφάλεια του διανεμηθέν IPTV περιεχομένου υπάρχουν δύο τεχνικές προστασίας, η υπό όρους πρόσβαση (Conditional Access - CA) και η διαχείριση των ψηφιακών δικαιωμάτων (Digital Rights Management - DRM).

### 3.19 Βιβλιογραφία

- [1] O'Driscoll G. (2008), Next Generation IPTV Services and Technologies, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- [2] <http://www.hdtvinfoport.com/Digital-TV.html>
- [3] <http://www.atsc.org/members/>
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/ATSC\\_\(standards\)](http://en.wikipedia.org/wiki/ATSC_(standards))
- [5] <http://www.dvb.org/>
- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/Association\\_of\\_Radio\\_Industries\\_and\\_Businesses](http://en.wikipedia.org/wiki/Association_of_Radio_Industries_and_Businesses)
- [7] [http://en.wikipedia.org/wiki/Passive\\_optical\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_optical_network)
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/DOCSIS>
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/Cable\\_modem\\_termination\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Cable_modem_termination_system)
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/IPTV>
- [11] <http://www.radio-electronics.com/info/broadcast/digital-video-broadcasting/what-is-dvb-rcts-tutorial.php>
- [12] <http://en.wikipedia.org/wiki/SONET>
- [13] [http://en.wikipedia.org/wiki/Metro\\_Ethernet](http://en.wikipedia.org/wiki/Metro_Ethernet)
- [14] [http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/paper\\_14/paper\\_14.shtml](http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/paper_14/paper_14.shtml)
- [15] <http://www.cs.cf.ac.uk/Dave/Multimedia/node258.html>
- [16] [http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/paper\\_14/paper\\_14.shtml](http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/paper_14/paper_14.shtml)
- [17] [http://aias.iit.demokritos.gr/~gardikis/material/DTV\\_3\\_Multiplexing.pdf](http://aias.iit.demokritos.gr/~gardikis/material/DTV_3_Multiplexing.pdf)
- [18] <http://el.wikipedia.org/wiki/UDP>
- [19] [http://www.search.com/reference/Internet\\_Group\\_Management\\_Protocol](http://www.search.com/reference/Internet_Group_Management_Protocol) (Τελ. πρόσβαση 03/03/2010)
- [20] [http://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_Group\\_Management\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Group_Management_Protocol) (Τελ. πρόσβαση 26/02/2010)
- [21] <http://tedkkavalas.gr/doc/ansers.doc>.
- [22] <http://wiki.mikrotik.com/wiki/IGMP-Proxy>
- [23] <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-4051EN.pdf> (Τελ. πρόσβαση 27/02/2010)
- [24] <http://www.compactpci-systems.com/pdfs/Agilent.Sep06.pdf> (Τελ. πρόσβαση 27/02/2010)
- [25] <http://www.pctechguide.com/glossary/WordFind.php?wordInput=Blockiness> (Τελ. πρόσβ. 27/02/2010)
- [26] [http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-005/\\_0686.htm](http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-005/_0686.htm) (Τελευταία πρόσβαση 27/02/2010)
- [27] [http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_watermarking](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_watermarking) (Τελ. πρόσβαση 25/02/2010)
- [28] <http://www.in.gr/news/article.asp?lngEntityID=212855> (Τελ. πρόσβαση 26/02/2010)
- [29] <http://en.wikipedia.org/wiki/ISDB> (Τελ. πρόσβαση 26/02/2010)
- [30] <https://www.ip.philips.com/licensing/vcps/index.html> (Τελ. πρόσβαση 26/02/2010)

---

# Κεφάλαιο 4

## WiMAX

---



#### 4.1 Εισαγωγή

Πριν την απόδοση της έννοιας του WiMAX, κρίνεται απαραίτητη μια σύντομη αναφορά στο IEEE 802 σύνολο προτύπων (προδιαγραφών). Αυτό το σύνολο περιλαμβάνει διεθνή πρότυπα για τοπικά και μητροπολιτικά κυρίως δίκτυα, όπως το IEEE802.3 (γνωστό και ως Ethernet), εξετάζοντας τη μετάδοση μέσω του φυσικού (PHY) και του MAC επιπέδου (MAC layer), αφήνοντας το επίπεδο δικτύου (Transport layer) και τα ανωτέρω του σε άλλα διεθνή πρότυπα. Το σύνολο αυτών των προτύπων αναγνωρίζονται μετέπειτα από τον ISO.

Το 1998 συστάθηκε η ομάδα IEEE 802.16, για την ανάπτυξη ενός προτύπου εναέριας διεπαφής για την ασύρματη ευρυζωνική μετάδοση στην περιοχή ζώνης συχνοτήτων 10 - 66GHZ, με διάδοση σημάτων σε περιβάλλον οπτικής επαφής (Line of sight - LOS). Η IEEE 802.16 ομάδα ακολούθως θέλησε να επεκτείνει τη χρήση του προτύπου και σε περιβάλλον μη οπτικής επαφής (Non Line of Sight - NLOS) στο διάστημα 2 - 11GHZ. Η τροποποίηση του αρχικού αυτού προτύπου ονομάστηκε IEEE 802.16a. Το 2004 ένα νέο πρότυπο ονόματι IEEE 802.16-2004, ήλθε να αντικαταστήσει τις προηγούμενες εκδόσεις προτύπων και αποτέλεσε τη βάση για την πρώτη λύση WiMAX. Το Δεκέμβρη του 2005 η IEEE ομάδα ολοκλήρωσε και ενέκρινε το IEEE 802.16e-2005 το οποίο δημοσιεύθηκε το Φεβρουάριο του 2006. Το προαναφερθέν πρότυπο αποτελεί τροποποίηση του IEEE 802.16-2004, στο οποίο προστέθηκε η υποστήριξη της εν κινήσει λειτουργίας. Το IEEE 802.16e-2005 αποτέλεσε τη βάση για τις νομαδικές και εν κινήσει εφαρμογές και συχνά προσφωνείται mobile WiMAX. Σήμερα η τρέχουσα έκδοση είναι η IEEE 802.16-2009 η οποία εν συνεχεία τροποποιήθηκε από το IEEE 802.16j-2009 πρότυπο. Το σύνολο των IEEE 802.16 προτύπων είναι γνωστά και ως πρότυπα ασύρματης ευρυζωνικής μετάδοσης (Broadband Wireless Access - BWA).

Το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), είναι μια τεχνολογία τηλεπικοινωνιών για την ασύρματη μετάδοση δεδομένων. Συχνά επικρατεί μία σύγχυση σχετικά με τον όρο "WiMAX πρότυπο". Το WiMAX δεν είναι ένα πρότυπο αλλά ένας όρος marketing ο οποίος έχει γίνει συνώνυμος με τα BWA δίκτυα που χρησιμοποιούν την IEEE 802.16 (επισήμως) σειρά προτύπων, με τον ίδιο τρόπο που το WiFi είναι συνώνυμο των BWA δικτύων που χρησιμοποιούν την IEEE 802.11 σειρά προτύπων. Ο όρος IEEE 802.16 χαρακτηρίζει το σύνολο των

προτύπων που έχει συγγράψει το ινστιτούτο ηλεκτρολόγων και ηλεκτρονικών μηχανικών για την ανάπτυξη προτύπων WMANs δικτύων σε παγκόσμιο επίπεδο.

#### 4.2 WiMAX Forum

Το WiMAX Forum συστάθηκε τον Απρίλιο του 2001 και αποτελεί ένα μη κερδοσκοπικό διεθνή οργανισμό με σκοπό την πιστοποίηση της συμβατότητας και της διαλειτουργικότητας των προϊόντων που βασίζονται στα IEEE 802.16 και ETSI HIPERMAN πρότυπα. Επειδή το IEEE καθορίζει μόνο τις προδιαγραφές, αλλά δεν ελέγχει τον εξοπλισμό ως προς τη συμμόρφωση του με αυτές τις προδιαγραφές, το WiMAX Forum δημιούργησε στα μέσα του 2005 ένα εργαστήριο πιστοποίησης της συμμόρφωσης και της διαλειτουργικότητας για σταθερούς εξοπλισμούς, αρχικά για λειτουργία στο φάσμα των 3.5 και 5.8 GHz. Κάποιοι προμηθευτές οι οποίοι δεν είναι επισήμως πιστοποιημένοι από το WiMAX Forum, προσέφεραν ήδη προϊόντα υποστηρίζοντας ότι μέσω μιας αναβάθμισης λογισμικού ο εξοπλισμός τους είναι "WiMAX-ready", "WiMAX-compliant", ή "pre-WiMAX".

Οι πρώτες πιστοποιήσεις εκδόθηκαν στις αρχές του 2006 μόνο για εξοπλισμούς προϊόντων για σταθερή λειτουργία. Τα προϊόντα αυτά επιδεικνύουν πάνω τους το λογότυπο πιστοποίησης "WiMAX Forum Certified", με το λογότυπο αυτό να αποτελεί βασικό κριτήριο για τη βιωσιμότητα τους στην αγορά

Τα μέλη του WiMAX Forum είναι κατασκευαστές συστημάτων και ημιαγωγών, προμηθευτές εξοπλισμού, φορείς εκμετάλλευσης δικτύου, ακαδημαϊκοί και άλλοι παράγοντες τηλεπικοινωνιών. Στις μέρες μας το WiMAX Forum περιλαμβάνει περισσότερες από 420 εταιρείες-μέλη. Από τον Οκτώβριο του 2009, το WiMAX Forum ισχυρίζεται ότι έχουν αναπτυχθεί περισσότερα από 500 WiMAX δίκτυα (σταθερά και κινητά) σε περισσότερες από 145 χώρες.

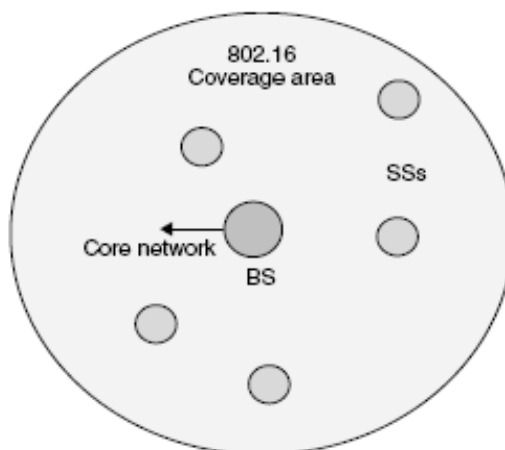
Το WiMAX Forum διαρθρώνεται από οκτώ ομάδες εργασίας (Working Groups) κάθε μία από τις οποίες εξετάζει τις ιδιαίτερες πτυχές του WiMAX για την εξασφάλιση της επιτυχούς υιοθέτησης και επέκτασής του. Αυτές οι ομάδες καλύπτουν τους εξής τομείς [9, 10]:

- Εφαρμογής (Application Working Group - AWG)
- Πιστοποίησης (Certification Working Group - CWG)
- Εξελικτική τεχνική ομάδα (Evolutionary Technical Working Group -

- ETWG)
- Καθολικής περιαγωγής (Global Roaming Working Group - GRWG)
- Μάρκετινγκ (Marketing Working Group - MWG)
- Δικτύωσης (Network Working Group - NWG)
- Ρυθμιστική (Regulatory Working Group - RWG)
- Φορέων παροχής υπηρεσιών (Service Provider Working Group - SPWG)
- Τεχνική (Technical Working Group - TWG)

### **4.3 Δομή δικτύου WiMAX**

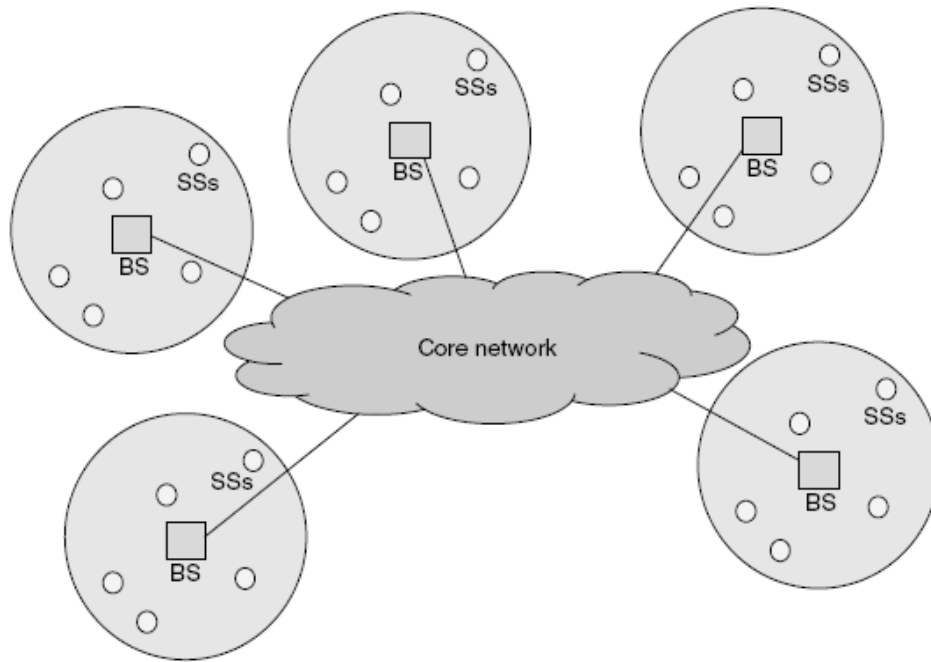
Το μοντέλο ενός WiMAX δικτύου είναι όμοιο με το μοντέλο των κυψελοειδών τηλεφωνικών δικτύων. Κάθε περιοχή κάλυψης του WiMAX δικτύου αποτελείται από ένα σταθμό βάσης (Base Station - BS) και έναν ή περισσότερους σταθμούς συνδρομητών (Subscriber Station - SS). Ένας σταθμός συνδρομητή στη περίπτωση της IEEE802.16e-2005 προδιαγραφής συναντάται με τον όρο MS (Mobile Station). Οι σταθμοί βάσης παρέχουν υπηρεσίες σύνδεσης σε δίκτυα πυρήνα (Core Networks - CNs). Ένας σταθμός βάσης διαθέτει μία ή περισσότερες κεραίες ευρείας ζώνης κάθε μία από τις οποίες κατατέμνεται σε μικρότερους τομείς (sectors), οι οποίοι όλοι μαζί παρέχουν μία ολοκληρωμένη κάλυψη 360°. Αυτή η υλοποίηση είναι όμοια με αυτή του κυψελοειδούς μοντέλου. Οι σταθμοί συνδρομητών είναι το σύνολο του εξοπλισμού στη περιοχή του συνδρομητή η οποία παρέχει πρόσβαση στο τελικό χρήστη του ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου. Η αρχιτεκτονική που μόλις περιγράφηκε απεικονίζεται στο σχήμα 4.1 η οποία αντιπροσωπεύει την απλούστερη μονάδα (cell) κάλυψης δικτύων.



**Σχήμα 4.1** Περιοχή κάλυψης του 802.16 δικτύου [1]

Αυτές οι μονάδες περιοχών κάλυψης μπορούν να ομαδοποιηθούν για να σχηματίσουν ένα μεγαλύτερο WiMAX δίκτυο, όπου οι σταθμοί βάσης θα διασυνδέονται μέσω ενός CN όπως απεικονίζεται στο σχήμα 4.2.

Ο εξοπλισμός στο χώρο του συνδρομητή (Customer Premise Equipment - CPE) διακρίνεται στον εξοπλισμό εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Ο εξωτερικός εξοπλισμός είναι περίπου όσο το μέγεθος ενός φορητού υπολογιστή, και η εγκατάστασή του είναι παρόμοια με αυτή μιας οικιακής δορυφορικής κεραίας. Ο εσωτερικός εξοπλισμός είναι συγκρίσιμος σε μέγεθος με το μέγεθος ενός καλωδιακού μόντεμ ή DSL μόντεμ, ή μπορεί να έχει τη μορφή μιας PCMCIA κάρτας ενσωματωμένης σε ένα laptop ή ένα κινητό τηλέφωνο. Με τη χρήση του εξοπλισμού εσωτερικού χώρου υπάρχουν απώλειες σήματος και ο συνδρομητής θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σταθμό βάσης [1]. Οι συσκευές που υποστηρίζουν το mobile WiMAX διαθέτουν ενσωματωμένες πανκατευθυντικές κεραίες και είναι λιγότερο αποδοτικές αλλά έχουν το πλεονέκτημα της φορητότητας. Οι τρέχουσες υλοποιήσεις επιτυγχάνουν παραδείγματος χάριν ρυθμοαπόδοση 2 Mbit/s για συμμετρική/παράλληλη μετάδοση σε ακτίνα 10 km. Στη περίπτωση που η μετάδοση είναι ασύμμετρη η ταχύτητα μπορεί να διαμορφώνεται στα 1.5 Mbit/s στην άνω ζεύξη και 0.5 Mbit/s στη κάτω ζεύξη ή αντίστροφα.



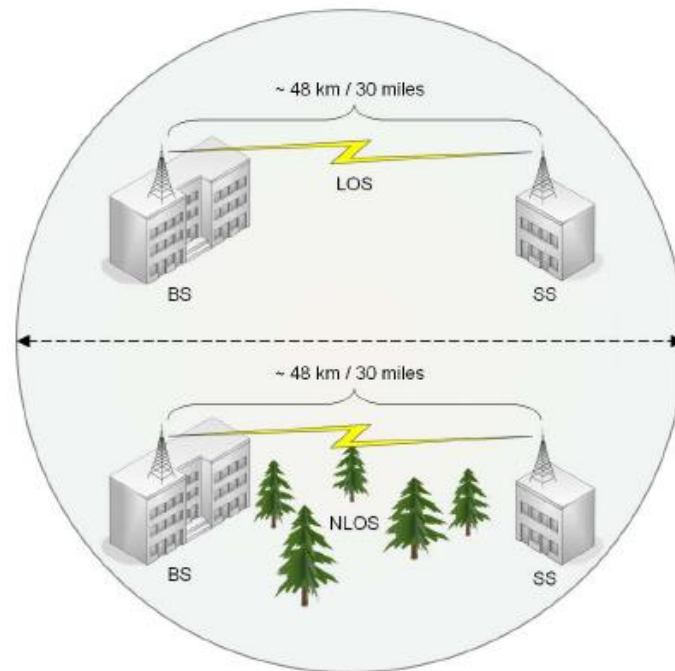
Σχήμα 4.2 Παράδειγμα 802.16 δικτύου [1]

#### 4.3.1 Τοπολογίες σύνδεσης δικτύου

Στο WiMAX διατυπώνονται οι εξής τοπολογίες σύνδεσης: Η Point-To-point (PTP), η Point-To-Consecutive-Point (PTCP), η Point-To-Multipoint (PMP), η τοπολογία πλέγματος (mesh topology) και η multihop relay τοπολογία.

##### 4.3.1.1 Point-To-Point

Όπως υποδηλώνεται από το όνομά της η PTP τοπολογία, συνδέει απευθείας δύο διακριτούς κόμβους. Η μέγιστη περιοχή κάλυψης που προσφέρει είναι περίπου 48 χιλιόμετρα, υποστηρίζοντας τη LOS ή NLOS διάδοση σήματος. Η PTP τοπολογία σύνδεσης προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έναντι των PMP και mesh τοπολογιών (σχήμα 4.3) [5].



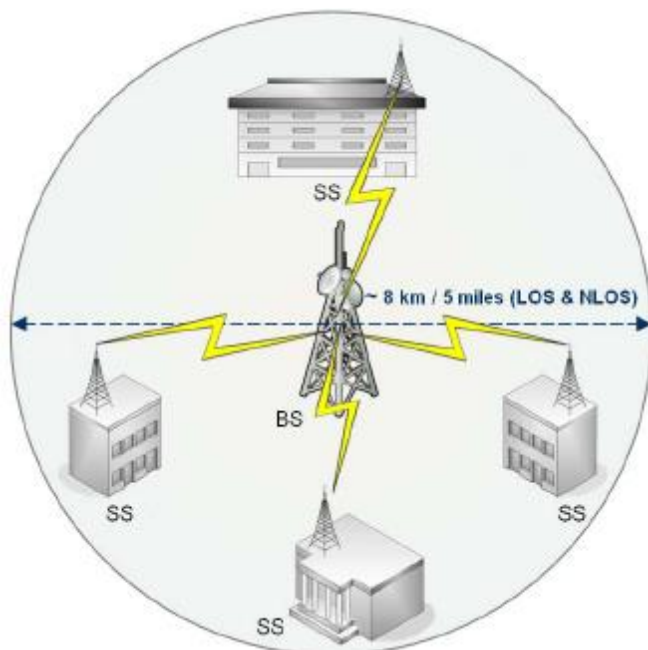
Σχήμα 4.3 PTP τοπολογία σύνδεσης [5]

#### 4.3.1.2 Point-To-Consecutive-Point

Η PTCP τοπολογία ορίζει τη δημιουργία κλειστού βρόχου με πολλαπλές PTP συνδέσεις.

#### 4.3.1.3 Point-To-Multipoint

Το WiMAX χρησιμοποιεί πιο συχνά τη PMP τοπολογία σύνδεσης. Η PMP τοπολογία αποτελείται από ένα κεντρικό σταθμό βάσης υποστηρίζοντας πολλαπλούς σταθμούς συνδρομητών. Τα PMP δίκτυα λειτουργούν σε περιοχές οπτικής ή μη διάδοσης σήματος. Κάθε PMP σταθμός βάσης έχει μια τυπική κλίμακα λειτουργίας της τάξης των 8 Km. Τα κυψελοειδή δίκτυα τηλεφώνου είναι ένα τυπικό παράδειγμα χρήσης της PMP τοπολογίας (σχήμα 4.4) [5].



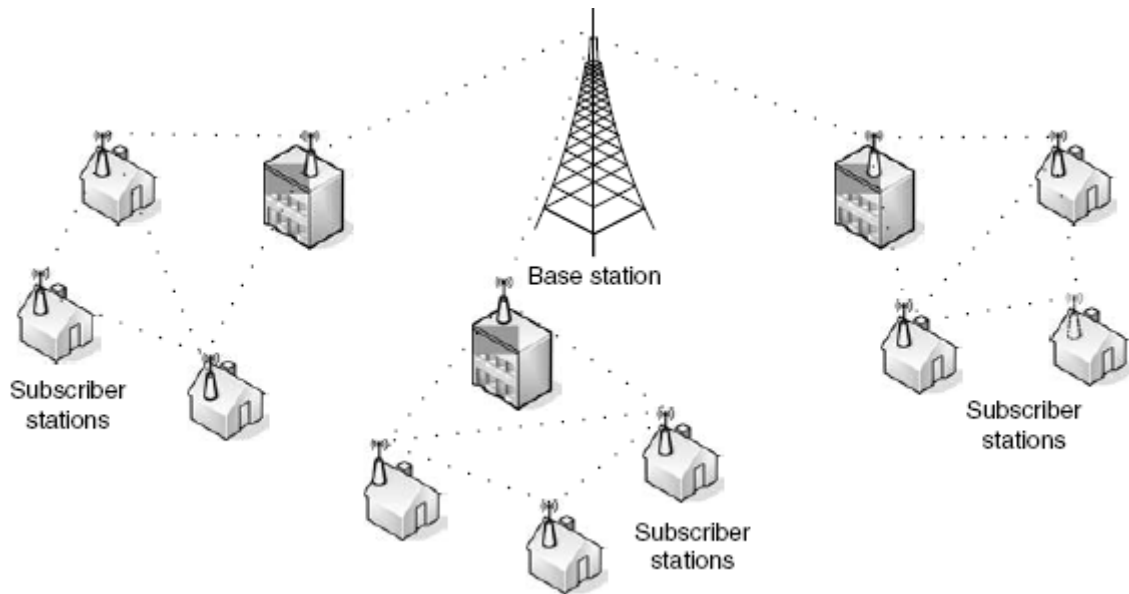
Σχήμα 4.4 PTM τοπολογία σύνδεσης [5]

#### 4.3.1.4 Τοπολογία πλέγματος

Μια πιο πρόσφατη ασύρματη τοπολογία δικτύωσης που έχει εφαρμοστεί και στη Wi-Fi τεχνολογία είναι η τοπολογία πλέγματος (mesh topology). Εκτός των PTP και PMP τοπολογιών, το πρότυπο IEEE 802.16a υιοθετεί τη τοπολογία πλέγματος σύμφωνα με την οποία κάθε σταθμός συνδρομητή μπορεί να λειτουργήσει σαν δρομολογητής, για την αναμετάδοση δεδομένων σε κόμβους οι οποίοι δεν έχουν οπτική επαφή με το σταθμό βάσης. Αποτελεί συνεπώς μια πιο εύκαμπτη, αποτελεσματική, αξιόπιστη, και φορητή δικτυακή αρχιτεκτονική βασισμένη στην έννοια του multihop. Η τοπολογία πλέγματος είναι ένας συνδυασμός των PTP και PMP τοπολογιών με κάθε κόμβο συνδρομητή να είναι ικανός να επικοινωνεί απευθείας με άλλους κόμβους. Τα ασύρματα δίκτυα που ακολουθούν τη τοπολογία πλέγματος χαρακτηρίζονται από σταθμούς συνδρομητών με περισσότερη νοημοσύνη σε σχέση με τους σταθμούς συνδρομητών και τους σταθμούς βάσης που ακολουθούν την PTP και PMP τοπολογία. Σε ένα PMP δίκτυο, όλες οι συνδέσεις πρέπει να διέρχονται από το σταθμό βάσης, ενώ στη τοπολογία πλέγματος, κάθε σταθμός συνδρομητή μπορεί να ενεργήσει σαν ένα σημείο πρόσβασης (access point) το οποίο είναι ικανό να δρομολογεί πακέτα στους γειτονικούς σταθμούς συνδρομητών, ώστε να διευρύνει τη γεωγραφική

κάλυψη ενός δικτύου. Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου πλέγματος παρουσιάζεται στο σχήμα 4.5. Η δρομολόγηση κατά μήκους του δικτύου μπορεί να χρησιμοποιεί τους προκαθορισμένους πίνακες δρομολόγησης είτε να παράγει τις διαδρομές μετά από απαίτηση. Η τοπολογία πλέγματος υποδιαιρείται σε δύο επιμέρους τοπολογίες, τη switched mesh και τη routed mesh τοπολογία. Στη switched mesh υπάρχει μια σταθερή προκαθορισμένη διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων του δικτύου με όλα τα πακέτα να ακολουθούν την ίδια διαδρομή κατά τη μεταφορά τους, χωρίς όμως να υπάρχει ένα μόνο μονοπάτι μεταξύ πηγής και προορισμού. Αν η σύνδεση είναι ανενεργή ή η ποιότητα υπηρεσίας έχει υποβαθμιστεί, καθιερώνεται μια νέα διαδρομή αντικαθιστώντας τη παλιά. Στη routed mesh τοπολογία τα πακέτα μπορούν να ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές για να φτάσουν από την ίδια πηγή στον ίδιο προορισμό. Ωστόσο διακρίνουμε δύο επιμέρους περιπτώσεις. Στη πρώτη περίπτωση ένας κόμβος γνωρίζει όλους τους κόμβους του δικτύου και στη δεύτερη κάθε κόμβος γνωρίζει μόνο τους γειτονικούς του. Η πρώτη περίπτωση είναι προτιμότερη της δεύτερης διότι επιλέγεται το καλύτερο μονοπάτι για τη μετάδοση των δεδομένων. Ωστόσο αποτελεί μια μέθοδο η οποία είναι πιο πολύπλοκη και δαπανηρή εξαιτίας του ότι απαιτείται μεγαλύτερο μέγεθος μνήμης, υψηλότερη επεξεργαστική ισχύς και ένα σύνθετο αλγόριθμο δρομολόγησης. Όταν το φορτίο των δεδομένων που διακινούνται είναι μεγάλο τότε η τοπολογία πλέγματος χρησιμοποιεί κάποιο εναλλακτικό μονοπάτι εκμεταλλευόμενη έτσι αποτελεσματικά το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Ένα πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας η μείωση των δαπανών που απαιτούνται. Εξαιτίας των χαρακτηριστικών ευφυΐας των κόμβων των συνδρομητών απαιτείται μικρότερος αριθμός εξοπλισμού (όπως routers, switches κλπ). Ωστόσο η αύξηση του αριθμού των κόμβων στη τοπολογία πλέγματος εισάγει επιπλέον καθυστέρηση στο δίκτυο υποβαθμίζοντας έτσι τη ποιότητα υπηρεσιών ευαίσθητων στη καθυστέρηση όπως είναι αυτή της VoIP.

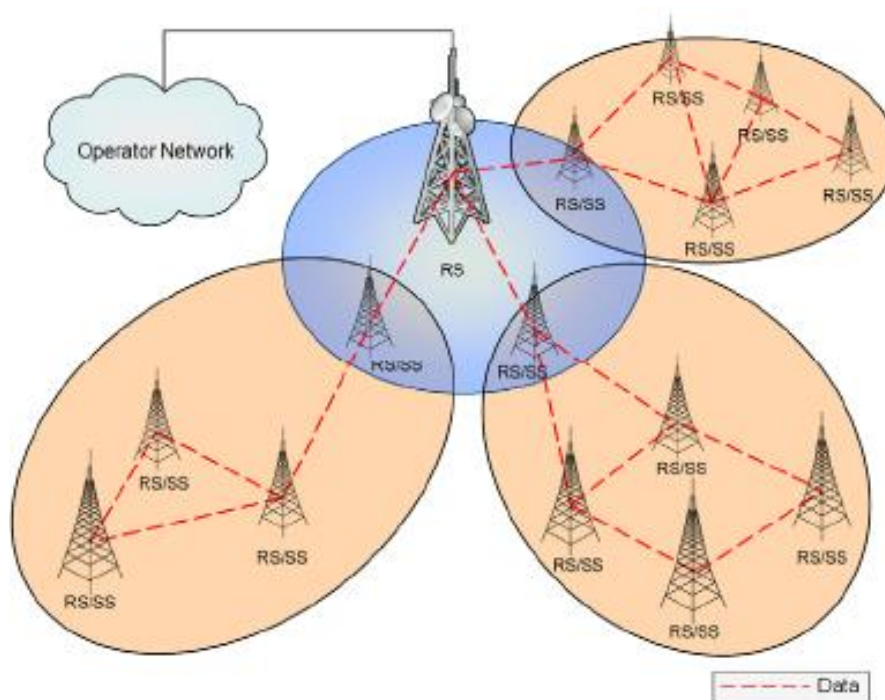




Σχήμα 4.5 Τοπολογία πλέγματος [1]

#### 4.3.1.5 Multi-Hop Relay

Η multi-hop relay τοπολογία (σχήμα 4.6) όπως ορίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16j-2009 στοχεύει στην επέκταση του εύρους της περιοχής που καλύπτει ο σταθμός βάσης, επιτρέποντας στους SSs/MSs την αναμετάδοση δεδομένων δρώντας έτσι σαν σταθμοί αναμετάδοσης (Relay Stations – RSs). Τα δεδομένα που προορίζονται για μετάδοση σε έναν RS ή SS/MS σε εύρος μεγαλύτερο από αυτό που ο σταθμός βάσης μπορεί να υποστηρίξει, αναμεταδίδονται μέσω ενός γειτονικού RS. Ένας RS μπορεί να προωθήσει δεδομένα μόνο σε έναν SS/MS που μπορεί να παίξει με τη σειρά του το ρόλο του RS. Αν και εξ' ορισμού η συγκεκριμένη τοπολογία προορίζεται για την NLOS διάδοση σήματος, τεχνικά μπορεί να λειτουργήσει και σε LOS συνθήκες. Το μέγιστο εύρος λειτουργίας κάθε κόμβου μιας multi-hop relay τοπολογίας είναι περίπου 8 Km.



Σχήμα 4.6 Multi-hop τοπολογία σύνδεσης [5]

#### 4.4 Υποστηριζόμενες ζώνες συχνοτήτων

Κάθε πρότυπο ορίζει διαφορετικές ζώνες λειτουργίας συχνοτήτων στις οποίες μπορεί να εκπέμψει ο σταθμός βάσης και ο σταθμός συνδρομητή, οι οποίες θα πρέπει να είναι τόσο στην άνω όσο και στη κάτω ζεύξη πολλαπλάσιες των 250 KHz. Η αρχική έκδοση του WiMAX (IEEE 802.16) σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε συχνότητες από 10 έως 66 GHz. Η ζώνη αυτή προοριζόταν για μεταδόσεις σε συνθήκες οπτικής επαφής, επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 120Mbps. Κατόπιν το IEEE 802.16a πρότυπο εκτός της ζώνης των 10 – 66 GHz, υιοθέτησε επιπλέον μια χαμηλότερη ζώνη συχνοτήτων για τη λειτουργία του που κυμαίνεται μεταξύ 2 - 11 GHz. Η ζώνη αυτή προορίζεται για μεταδόσεις σε συνθήκες μη οπτικής επαφής με ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων που φθάνουν τα 70Mbps. Το εύρος ζώνης του καναλιού παίρνει τιμές οι οποίες διαιρούνται με οποιαδήποτε δύναμη του 2, αλλά όχι μικρότερες από 1.25 MHz, με τις τιμές των καναλιών στο εσωτερικό των ζωνών αυτών είναι συνήθως πλάτους 25 ή 28 MHz. Εν συνεχεία η IEEE802.16-2004 προδιαγραφή διευκρινίζει τη λειτουργία της στα 2.5, 3.5 και 5.8 GHz. Συνεπώς τα προϊόντα που χρησιμοποιούν τη συχνότητα 5.8 GHz θα πρέπει να είναι πλήρως συμβατά με την IEEE 802.16-2004 προδιαγραφή.

Ωστόσο κάποια προϊόντα που λειτουργούν σε αυτή τη συχνότητα δεν είναι πιστοποιημένα από το WiMAX Forum. Άρα η πρόταση περί συμβατότητας των προϊόντων με το IEEE 802.16-2004 είναι εν μέρει σωστή μιας και η προδιαγραφή αυτή χρησιμοποιεί τα 5.8 GHz ως συχνότητα λειτουργίας.

Οι διάφορες χώρες διακρίνουν τις ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούν σε δύο κατηγορίες τις αδειοδοτούμενες (licensed) και τις ελεύθερες (license - exempt). Αυτές οι δύο κατηγορίες ζωνών συχνοτήτων δεν είναι ανταγωνιστικές μιας και δεν χρησιμοποιούνται για τον ίδιο τύπο υπηρεσιών. Παραδοσιακά το IEEE 802.16-2004 χρησιμοποιεί τις ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων και το IEEE 802.16e-2005 τις αδειοδοτούμενες ζώνες. Η IEEE 802.16e-2005 προδιαγραφή μπορεί χρησιμοποιώντας την ελεύθερη ζώνη να υποστηρίξει και τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το IEEE 802.16-2004 πρότυπο. Για παράδειγμα η χρήση των 2.5 GHz για όσους δε μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα 3.5 GHz στο IEEE 802.16-2004, θεωρείται ότι ανήκει στην αδειοδοτούμενη ζώνη συχνοτήτων. Σε κάποιες χώρες, ορισμένες ζώνες συχνοτήτων οι λεγόμενες agnostic licensed bands μπορούν να χρησιμοποιούνται από δύο διαφορετικές τεχνολογίες (για παράδειγμα από τη 3G και από τη UMTS ταυτοχρόνως). Αυτό ωστόσο δεν είναι επιτρεπτό σε όλες τις χώρες. Για παράδειγμα, η αδειοδοτούμενη ζώνη συχνοτήτων του WiMAX μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο από τη WiMAX τεχνολογία. Επιπλέον περιορισμοί που τίθενται, είναι ότι η IEEE 802.16e-2005 προδιαγραφή δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάποιες χώρες. Ο πίνακας 4.1 δείχνει τις συχνότητες λειτουργίας του WiMAX ανά τον κόσμο [4].

**Πίνακας 4.1** Συχνότητες λειτουργίας WiMAX ανά τον κόσμο [4]

| <b>Περιοχή</b>             | <b>Αναφερόμενες ζώνες συχνοτήτων WiMAX</b> |
|----------------------------|--|
| ΗΠΑ                        | 2.3, 2.5 και 5.8 GHz                       |
| Κεντρική και νότια Αμερική | 2.5, 3.5 και 5.8 GHz                       |
| Ευρώπη                     | 3.5 and 5.8 GHz; πιθανόν: 2.5 GHz          |
| Νοτιοανατολική Ασία        | 2.3, 2.5, 3.3, 3.5 και 5.8 GHz             |

#### 4.5 Πρότυπα WiMAX

Η IEEE 802.16 σειρά προτύπων έχει εξελιχθεί μέσα από τις παρακάτω γενιές:

- **IEEE 802.16:** υποστηρίζει υψηλές ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, PTP τοπολογία σύνδεσης σε συνθήκες οπτικής επαφής και σταθερούς σταθμούς συνδρομητών (SSs).
- **IEEE 802.16-2004:** υποστηρίζει μία μέση ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, PTP και PMP τοπολογία σύνδεσης για σταθερούς σταθμούς συνδρομητών.
- **IEEE 802.16-2005:** Παρέχει χαμηλούς και μέσους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, στις PTP και PMP τοπολογία σύνδεσης για σταθερούς ή κινητούς σταθμούς συνδρομητών (SSs/MSs).

Αρχικά τα διάφορα πρότυπα δεν ήταν συμβατά μεταξύ τους, δηλαδή ένας σταθμός βάσης που υποστήριζε για παράδειγμα η IEEE 802.16-2004 προδιαγραφή δε μπορούσε να διαλειτουργήσει με ένα σταθμό συνδρομητή που υποστήριζε την IEEE802.16e-2005 και αντίστροφα. Ωστόσο, οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές έχουν ήδη κατασκευάσει chipset διπλής λειτουργίας (dual-mode) που παρέχουν υποστήριξη και για τις δύο προδιαγραφές.

##### 4.5.1 IEEE 802.16

Η IEEE 802.16 (πρώην 802.16.1) προδιαγραφή, η οποία εγκρίθηκε το Δεκέμβριο του 2001 και εκδόθηκε τον Απρίλιο του 2002 είναι η πρώτη έκδοση της 802.16 σειράς προτύπων. Λειτουργεί στη 10 - 66GHz ζώνη συχνοτήτων σε κανάλια εύρους ζώνης 20-25 MHz για τις Ηνωμένες Πολιτείες και εύρους ζώνης 28 MHz για την Ευρώπη. Δεδομένου ότι οι συχνότητες αυτές είναι υψηλές το μήκος κύματος είναι μικρό και άρα η διάδοση είναι δυνατή μόνο σε περιβάλλον οπτικής επαφής. Υποστηρίζει μόνο τη PTP και PMP τοπολογία σύνδεσης και χρησιμοποιεί τη τεχνική διαμόρφωσης μονού φέροντος (Single Carrier - SC), με το φυσικό επίπεδο του wirelessMAN-SC υιοθετεί το QPSK, το 16-QAM, ή το 64-QAM σχήμα διαμόρφωσης ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι (πίνακας 4.2).

**Πίνακας4.2** Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων ανά σχήμα διαμόρφωσης και μέγεθος καναλιού προδιαγραφής 802.16.1 [1]

| Channel Size (MHz) | Bit Rate (Mbps) |       |       |
|--------------------|-----------------|-------|-------|
|                    | QPSK            | 16QAM | 64QAM |
| 20                 | 32              | 64    | 96    |
| 25                 | 40              | 80    | 120   |
| 28                 | 44.8            | 89.6  | 134.4 |

#### 4.5.2 IEEE 802.16a

Η IEEE 802.16a (πρώην 802.16.3) προδιαγραφή η οποία επικυρώθηκε τον Ιανουάριο του 2003, αποτελεί τροποποίηση της IEEE 802.16. Επεκτείνει τη χρήση της και στη 2-11GHz ζώνη συχνοτήτων για διάδοση σε περιβάλλον μη οπτικής επαφής. Το φυσικό επίπεδο αυτής της προδιαγραφής, επεκτείνεται ώστε να περιλαμβάνει επιπλέον της διαμόρφωσης απλού φέροντος (WirelessMan SC2), την τεχνική ορθογωνικής πολύπλεξης διαίρεσης συχνότητας (OFDM) και την ορθογωνική διαίρεση συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA) που θα εξετασθούν παρακάτω. Επειδή το φαινόμενο των παρεμβολών συναντάται πιο συχνά στην 2-11 GHz ζώνη συχνοτήτων είναι ιδανικό για τη "last mile" <sup>[1]</sup> παροχή σταθερής ευρυζωνικής πρόσβασης. Το πρότυπο αυτό υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 70 Mbps και μέγιστο εύρος μετάδοσης δεδομένων μέχρι 50 km. Κάποιες power-sensitive συσκευές όπως οι φορητοί υπολογιστές και οι συσκευές χειρός αντιμετωπίζουν πρόβλημα στη μετάδοση τους στο σταθμό βάσης όταν το εύρος ζώνης του καναλιού είναι πολύ μεγάλο. Έτσι το IEEE 802.16a είναι εύελικτο ως προς την επιλογή του εύρους ζώνης του καναλιού παίρνοντας τιμές από 1.25 έως 28 MHz. Επιπλέον των PTP και PMP τοπολογιών σύνδεσης η IEEE 802.16a προδιαγραφή εισάγει και τη χρήση της mesh τοπολογίας. Τέλος ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που εισάγει η IEEE 802.16a τροπολογία είναι αυτό της

<sup>[1]</sup> Ο όρος last mile αναφέρεται στο μέρος της υποδομής που βρίσκεται κοντά στο χρήστη σε απόσταση περίπου 1.5 χιλιομέτρου. Με άλλα λόγια η τεχνολογική υποδομή σε συνοικιακό επίπεδο. Η last mile τεχνολογία αποτελεί πρόκληση για μεμονωμένους χρήστες απομακρυσμένων περιοχών, όπου το κόστος της παροχής ευρυζωνικών συνδέσεων με τη χρήση ενσύρματων μέσων ή οπτικών ινών καθίσταται απαγορευτικό.

προσαρμοστικής διαμόρφωσης (adaptive modulation) σύμφωνα με την οποία παρέχεται ευελιξία ως προς την επιλογή του σχήματος διαμόρφωσης ανάλογα με ένα πλήθος διαφορετικών παραγόντων. Τα σχήματα διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται είναι τα QPSK, 16QAM, και 64QAM. [1]

#### **4.5.3 IEEE 802.16-2004**

Το Σεπτέμβριο του 2003, ορίστηκε το IEEE802.16-2004 πρότυπο αναθεώρησης με σκοπό την ευθυγράμμιση του με τις πτυχές του ETSI HiperMAN προτύπου. Αυτό το πρότυπο ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2004 με την άφιξη του IEEE 802.16-2004 εκτοπίζοντας τα 802.16-2001, 802.16c-2002, και 802.16a-2003 πρότυπα. Συνεπώς τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι όμοια με των προτύπων που αντικατέστησε. Η IEEE 802.16-2004 προδιαγραφή συχνά ονομάζεται και IEEE 802.16d ή προσφωνείται σταθερό WiMAX (fixed WiMAX), δεδομένου προορίζεται για σταθερή και νομαδική πρόσβαση και δεν υποστηρίζει τους εν κινήσει χρήστες του WiMAX. Λειτουργεί τόσο στη 2 - 11 GHz ζώνη συχνοτήτων όσο και στην 10-66GHz ζώνη. Η ζώνη μεταξύ των 2 - 11GHz επιτρέπει την αυτόματη επαναμετάδοση αιτημάτων (Automatic Repeat reQuest - ARQ) ως μια προαιρετική λειτουργία του φυσικού επιπέδου. Επιπλέον, η ζώνη αυτή επιτρέπει τη χρήση της beamforming τεχνικής των προσαρμοστικών κεραιών και παρέχει επικύρωση διπλής κατεύθυνσης για την ικανοποίηση των αυξημένων απαιτήσεων ασφαλείας. Στο φυσικό επίπεδο υποστηρίζει τρεις τύπους διαμόρφωσης τον SC, OFDM και OFDMA και τα BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM σχήματα διαμόρφωσης. Πλήν των PTP και PMP τοπολογιών υποστηρίζει και τη mesh τοπολογία σύνδεσης για την ευρύτερη κάλυψη περιοχών από το σταθμό βάσης [1].

#### **4.5.4 IEEE 802.16e-2005**

Τον Ιούλιο του 2002, μια ομάδα μελέτης ονόματι IEEE 802.16 Mobile WirelessMAN Task Group άρχισε να εργάζεται για τη παραγωγή μιας τροπολογίας που θα καλύπτε το φυσικό και MAC επίπεδο για λειτουργία τόσο σε σταθερό όσο και σε κινητό επίπεδο υπηρεσιών στην αδειοδοτούμενη ζώνη συχνοτήτων. Η τροπολογία εγκρίθηκε το Δεκέμβριο του 2005 με το νέο πρότυπο να ονομάζεται

IEEE 802.16e-2005 (γνωστό και ως mobile WiMAX) και δημοσιεύθηκε τον Φεβρουάριο του 2006. Στόχος του εν λόγω προτύπου είναι να παράσχει υποστήριξη κινητικότητας στους συνδρομητές που μετακινούνται με τροχαίες ταχύτητες.

Εκτός από τις διορθώσεις για το IEEE 802.16d πρότυπο που αναπτύχθηκε ως IEEE 802.16-2004/Cor1-2005 και δημοσιεύεται μαζί με το IEEE802.16e-2005, στο πρότυπο αυτό εισάγεται η έννοια του κινητού σταθμού (mobile station - MS) ο οποίος είναι ουσιαστικά ο σταθμός συνδρομητή. Οι κατάλληλες ζώνες συχνοτήτων για υποστήριξη της κινητικότητας είναι αυτές κάτω των 6GHz με τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων να φθάνουν μέχρι 15Mbps. Το IEEE 802.16e-2005 αρχικά δεν υπήρξε συμβατό με το IEEE802.16d γι' αυτό κρίθηκε απαραίτητο να γίνουν κάποιες ενημερώσεις στο hardware και στο software. Το IEEE 802.16e αναπτύχθηκε με στόχο την υποστήριξη ενός μεγάλου αριθμού κινητών χρηστών και σε αυτό συντέλεσε η λειτουργία του soft και hard handover, νέου χαρακτηριστικού του MAC επιπέδου που αποτελεί τη βάση για το mobile WiMAX. Στο MAC επίπεδο επίσης επαναπροσδιορίστηκε ολοκληρωτικά το υπόστρωμα ασφαλείας, παρέχεται υποστήριξη βελτιστοποιημένων επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας για VoIP εφαρμογές ή online παιχνίδια και προστέθηκαν μηχανισμοί εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο φυσικό επίπεδο υιοθετείται μια νέα τεχνική διαμόρφωσης το scalable OFDMA (SOFDMA) για την υποστήριξη της μεταφοράς δεδομένων σε κανάλια με εύρος ζώνης μεταξύ 1.25 έως 20 MHz μέχρι 2048 υποφερόντων, σε αντίθεση με τη σταθερή προδιαγραφή του WiMAX, καθιστώντας αυτό το τύπο δικτύου ισχυρό παρά την ύπαρξη των παρεμβολών. Με την προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση σε συνθήκες καλής ποιότητας σήματος χρησιμοποιείται το 64 QAM σχήμα κωδικοποίησης, ενώ στη περίπτωση ενός πιο φτωχού σήματος χρησιμοποιείται το BPSK σχήμα κωδικοποίησης. Σε ενδιάμεσες συνθήκες ποιότητας σήματος μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν το 16 QAM και το QPSK. Η εισαγωγή της υποκαναλοποίησης και στη κατερχόμενη ροή και γενικότερα η καλύτερη απόδοση της υποκαναλοποίησης στο πρότυπο αυτό αυξάνει τη διαπεραστικότητα στους εσωτερικούς χώρους των χρηστών. Άλλες βασικές βελτιώσεις που εισάγονται στο πρότυπο αυτό αφορούν τον FFT αλγόριθμο, τα υβριδικά αυτόματης αναμετάδοσης αιτήματα (Hybrid ARQs) για ακόμη πιο επιτυχή διόρθωση των σφαλμάτων, τα προηγμένα σχήματα FEC

ελέγχου λαθών όπως οι στριβλοκώδικες (turbo codes) και ο LDPC (Low-Density Parity Code) κώδικας έλεγχου για τη προαιρετική κωδικοποίηση καναλιού, η τεχνική των προσαρμοστικών κεραιών καθώς και η τεχνολογία MIMO κεραιών προκειμένου το WiMAX να λειτουργεί ακόμη πιο ικανοποιητικά σε περιοχές μη οπτικής επαφής [1].

Ο πίνακας 4.3 συγκρίνει τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των προτύπων που περιγράφηκαν.

**Πίνακας 4.3** Συγκριτικός πίνακας IEEE 802.16, 802.16a, 802.16-2004 και 802.16e προτύπων [1]

|                                | 802.16   | 802.16a   | 802.16-2004  | 802.16e   |
|--------------------------------|--|---|--|---|
| Frequency range                | 10–66 GHz  | 2–11 GHz,   | 2–11 GHz,<br>10–66 GHz   | 2–6 GHz   |
| Channel conditions             | Line-of-sight only   | Nonline-of-sight  | Nonline-of-sight   | Nonline-of-sight  |
| Channel bandwidth              | 20, 25, and 28 MHz   | 1.25–28 MHz   | 1.25–28 MHz  | 1.25–20 MHz   |
| Modulation scheme              | QPSK, 16QAM, and 64QAM   | OFDM, QPSK, 16QAM, and 64QAM  | OFDM, QPSK, 16QAM, and 64QAM   | OFDM, QPSK, 16QAM, and 64QAM  |
| Network architecture supported | PTP, PMP   | PTP, PMP, mesh  | PTP, PMP, mesh   | PTP, PMP, mesh  |
| Bit rate                       | 32–134 Mbps  | Up to 75 Mbps   | Up to 75 Mbps  | Up to 15 Mbps   |
| Mobility                       | Fixed  | Fixed   | Fixed  | Pedestrian mobility—regional roaming, maximum mobility support: 125 km/h                    |
| Typical cell radius            | 1–3 miles  | Maximum range is 30 miles on the basis of antenna height, antenna gain, and transmit power  | Maximum range is 30 miles on the basis of antenna height, antenna gain, and transmit power | 1–3 miles   |
| Applications                   | Replacement of E1/T1 services for enterprises, backhaul for hot spots, residential broadband access, SOHO (small office/home office) | Alternative to E1/T1, DSL, cable backhaul for cellular and WiFi, VoIP, Internet connections | 801.16 plus 802.16a applications   | 802.16-2004 applications plus fixed VoIP, QoS-based applications, and enterprise networking |



#### **4.5.5 IEEE 802.16f-2005**

Το πρότυπο αυτό δημοσιεύθηκε το Σεπτέμβριο του 2005 και αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση του IEEE802.16-2004 προτύπου για σταθερή ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση. Στόχος του είναι ο καθορισμός μιας βάσης διαχείρισης πληροφοριών (Management Information Base - MIB) για το MAC και το φυσικό επίπεδο, καθώς και συναφών διαδικασιών διαχείρισης που θα επιτρέπουν τη διαχείριση των τυποποιημένων 802.16 συσκευών [1].

#### **4.5.6 IEEE 802.16j-2009**

Το IEEE802.16j πρότυπο το οποίο ολοκληρώθηκε το 2008, προτάθηκε για την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και του ποσοστού εύρους κάλυψης των IEEE 802.16e δικτύων. Το πρότυπο αυτό βασίζεται στα multi-hop ασύρματα δίκτυα αναμετάδοσης. Η αρχιτεκτονική αυτών των τύπων δικτύων διαφοροποιείται ως προς τη παρουσία ενός ή περισσότερων σταθμών αναμετάδοσης (Relay Stations - RSs) μέσω των οποίων διεξάγεται η επικοινωνία του σταθμού βάσης και του σταθμού συνδρομητή. Η εισαγωγή του χαρακτηριστικού της αναμετάδοσης έχει σχεδιαστεί ώστε να μην έχει κάποια αρνητική επίδραση στις προδιαγραφές του SS/MS. Ο BS αντικαθίσταται από την έννοια του multihop relay BS (MR-BS). Κάθε σταθμός αναμετάδοσης να είναι υπό την εποπτεία του γονικού MR-BS. Ο SS/MS θα πρέπει επίσης να είναι ικανός να επικοινωνεί απευθείας με τον MR-BS. Το πρότυπο αυτό προορίζεται για τη λειτουργία στις αδειοδοτούμενες ζώνες συχνοτήτων και βασίζεται στο OFDMA φυσικό επίπεδο. Το φάσμα κάλυψης της περιοχής ενός σταθμού αναμετάδοσης εκτείνεται σε διάμετρο 200 - 500 μέτρων. Αυτό σημαίνει ότι η απαιτούμενη ισχύς μετάδοσης είναι σημαντικά μικρότερη έναντι εκείνης του BS. Ο σταθμός αναμετάδοσης δε διαθέτει κάποια ενσύρματη σύνδεση, λαμβάνοντας και διαβιβάζοντας δεδομένα στον MR-BS και στα τερματικά των χρηστών αντιστοίχως ασύρματα. Συνεπώς το κόστος της backhaul σύνδεσης με τη χρήση του RS μειώνεται. Ο σταθμός αναμετάδοσης μπορεί να είναι τοποθετημένος σε κάποιο σταθερό σημείο όπως ένα κτίριο είτε να κινείται με τροχαίες ταχύτητες (Mobile Multihop Relay - MMR). Ο ιστός στον οποίο τοποθετείται ο σταθμός αναμετάδοσης δεν απαιτείται να είναι τόσο υψηλός έναντι

αυτού του BS, μειώνοντας τις λειτουργικές δαπάνες της μίσθωσης και συντήρησης πύργων.

#### **4.5.7 IEEE 802.16m**

Το πρότυπο IEEE 802.16m είναι η βασική τεχνολογία για τη δεύτερη έκδοση του mobile WiMAX. Προσφέρει τέσσερις φορές μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων από την τρέχουσα έκδοση του mobile WiMAX και βασίζεται στη IEEE 802.16e τεχνολογία. Στόχος του προτύπου είναι η μακροπρόθεσμη εξέλιξη του WiMAX και η επίτευξη εν κινήσει ρυθμών μετάδοσης 100Mbit/s και 1Gbit/s σταθερού και νομαδικού εύρους ζώνης για λειτουργία στην αδειοδοτούμενη ζώνη συχνοτήτων, όπως ορίζεται από την ITU για τα 4G κινητά δίκτυα επόμενης γενιάς. Προς το παρόν δεν υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με το εύρος ζώνης συχνοτήτων που θα χρησιμοποιηθεί από το πρότυπο αν και αναμένεται να είναι 20 MHz ή μεγαλύτερο. Η δεύτερη έκδοση προορίζεται να είναι συμβατή για τους ήδη υπάρχοντες χρήστες του mobile WiMAX αλλά θα υπάρχει και δυνατότητα αναβάθμισης της πρώτης έκδοσης στη δεύτερη. Η δεύτερη έκδοση του mobile WiMAX αναμένεται να είναι διαθέσιμη στο καταναλωτικό κοινό στο χρονικό διάστημα 2011-2012.

## **4.6 Τεχνολογία Έξυπνων Κεραίων**

### **4.6.1 Συστήματα Κεραίων Πολλαπλής Εισόδου/Εξόδου**

Οι μεταδόσεις σημάτων παραδοσιακά χρησιμοποιούν μία κεραία στον πομπό και μία στο δέκτη. Ένα τέτοιο παράδειγμα συστήματος ονομάζεται SISO (Single Input Single Output), με τον πομπό και το δέκτη να επικοινωνούν μέσω της κωδικοποίησης και διαμόρφωσης των σημάτων. Ένα SISO σύστημα είναι απλό, οικονομικό στην υλοποίηση του και χρησιμοποιείται στα τηλεοπτικά και ραδιοφωνικά συστήματα αλλά και στις τεχνολογίες ασύρματων προσωπικών δικτύων όπως το Bluetooth και το Wi-Fi.

Η ποικιλόμορφη μετάδοση (transmit diversity) είναι μια έννοια που χρησιμοποιείται στη κάτω ζεύξη στην περίπτωση δύο ή περισσότερων κεραιών στο πομπό και μίας ή περισσότερων κεραιών στο δέκτη. Το πλεονέκτημα της ποικιλόμορφης μετάδοσης είναι ότι η όλη πολυπλοκότητα μετατοπίζεται στο σταθμό βάσης διατηρώντας το κόστος του σταθμού συνδρομητή χαμηλό. Διακρίνουμε τρεις τεχνικές ποικιλόμορφης μετάδοσης τις SIMO, MISO και MIMO.

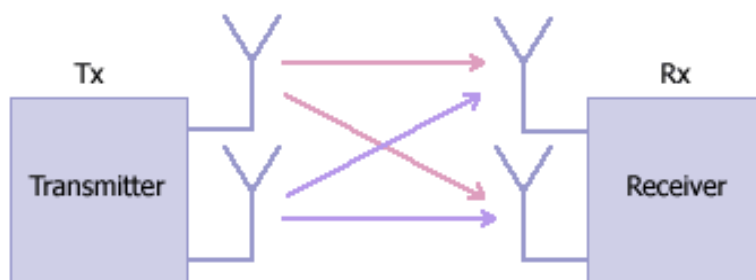
Τα SIMO (Single Input Multiple Output) συστήματα αναπτύχθηκαν με σκοπό τη βελτίωση της αποδοτικότητας. Το SIMO είναι ένα σύστημα πολλαπλών κεραιών το οποίο χρησιμοποιεί μία κεραία στη συσκευή αποστολής σημάτων και πολλαπλές κεραίες στο δέκτη. Ο δέκτης μπορεί να επιλέξει την καλύτερη μεταξύ των κεραιών του ώστε να λάβει το ισχυρότερο σήμα (switched diversity ή selection diversity) ή να συνδυάσει σήματα από όλες τις κεραίες με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιήσει το SNR (Signal to Noise Ratio). Η τελευταία τεχνική είναι γνωστή ως MRC (maximal ratio combining). Ωστόσο είναι δυνατή και η χρήση πολλαπλών κεραιών στο πομπό και μίας μόνο κεραίας στο δέκτη. Σε αυτή τη περίπτωση το σύστημα πολλαπλών κεραιών ονομάζεται MISO (Multiple Input Single Output). Σε αυτή τη κατηγορία συστήματος εφαρμόζεται στο πομπό η STC (Space Time Coding) τεχνική η οποία επιτρέπει τη διαβίβαση πληροφοριών από δύο κεραίες σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές διαδοχικά. Ακολούθως η MIMO (Multiple Input Multiple Output) μετάδοση αναφέρεται στη χρήση πολλαπλών κεραιών τόσο από το πομπό όσο και από το δέκτη. Στη περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται επίσης η STC τεχνική. Στη κατηγορία ενός MIMO συστήματος η ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων με τη STC τεχνική παραμένει η ίδια. Το ληφθέν σήμα αυτής της μεθόδου είναι πιο ισχυρό εξαιτίας του πλεονασμού της μετάδοσης. Τέλος παρατηρείται η ίδια επίδοση στη περίπτωση χρήσης δύο κεραιών στο δέκτη και μίας στον πομπό.

Γενικά στην υλοποίηση των κυψελοειδών δικτύων κυριαρχεί η χρήση δύο κεραιών στο σταθμό βάσης και μία στο σταθμό συνδρομητή. Με την αύξηση της χρήσης των φορητών συσκευών η χρήση μιας δεύτερης κεραίας στις φορητές συσκευές είναι συνήθης. Συσκευές που κάνουν χρήση πολλαπλών κεραιών είναι τα κυψελοειδής τεχνολογίας τηλέφωνα, οι φορητοί υπολογιστές με 2 κεραίες αλλά και συσκευές όπως το ενσύρματο ή το DSL modem και τα set-top boxes.

Το WiMAX εκτός από το προσδιορισμό του υποστηριζόμενου εύρους ζώνης συχνοτήτων, της προσαρμοστικής διαμόρφωσης και της κωδικοποίησης (Adaptive

Modulation and Coding - AMC), χρησιμοποιεί τα MIMO συστήματα κεραιών για τη καλή λειτουργία του σε περιβάλλοντα μη οπτικής επαφής. Η χρήση των MIMO κεραιών επιτρέπει στο WiMAX τον πολλαπλασιασμό της απόδοσης του συστήματος μετάδοσης. Εάν το MIMO σύστημα διαθέτει ισάριθμο πλήθος κεραιών στον πομπό και στο δέκτη χρησιμοποιώντας την PTP τοπολογία σύνδεσης, με την τοποθέτηση κάθε επιπλέον κεραίας μπορεί να πολλαπλασιάσει την απόδοση του συστήματος γραμμικά. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 4.7 ένα 2 X 2 MIMO σύστημα διπλασιάζει την απόδοση. Η MIMO υλοποίηση κεραιών χρησιμοποιεί τη χωρική πολύπλεξη. Η χωρική πολύπλεξη είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ανεξάρτητων σημάτων (δηλαδή κωδικοποιημένων και διαμορφωμένων ροών δεδομένων), τα λεγόμενα ρεύματα, από κάθε μία από τις πολλαπλές κεραίες μετάδοσης δηλαδή διαμέσου διαφορετικών χωρικών τομέων. Ως εκ τούτου, η διάσταση του χώρου επαναχρησιμοποιείται περισσότερο από μία φορά. Αυτή η μέθοδος μεταδίδει ένα bit από τη πρώτη κεραία και ένα άλλο από τη δεύτερη κεραία ταυτόχρονα (ανά σύμβολο), με τις διαφορετικές κεραίες χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι μετάδοσης. Στη περίπτωση που υπάρχει μόνο μία κεραία στο σταθμό συνδρομητή η χωρική πολύπλεξη εφαρμόζεται στην άνω ζεύξη. Οι πολλαπλές κεραίες σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται για την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων ή της χωρητικότητας του συστήματος. Η χωρική πολύπλεξη λειτουργεί μόνο κάτω υπό καλές SINR<sup>[2]</sup> συνθήκες. Αυτή η μέθοδος αυξάνει τη πολυπλοκότητα και είναι πιο δαπανηρή και στη συσκευή αποστολής σημάτων και στο δέκτη. Εντούτοις με δύο κεραίες μετάδοσης και δύο κεραίες λήψης τα δεδομένα μπορούν να διαβιβαστούν δύο φορές γρηγορότερα σε σχέση με τη STC τεχνική που χρησιμοποιεί μία κεραία λήψης. Η εφαρμογή της χωρικής πολύπλεξης προτιμάται σε χρήστες που διαθέτουν καλύτερη ποιότητας σήματα, έτσι ώστε να αφιερώνεται λιγότερος χρόνος για τη διαβίβασή τους. Χρήστες των οποίων η ποιότητα σήματος είναι πάρα πολύ χαμηλή χρησιμοποιούν τη συμβατική μετάδοση. Αυτό επιτρέπει την παροχή υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων σε μερικούς χρήστες ή/και την εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών.

<sup>[2]</sup>SINR είναι ο λόγος της ισχύος του επιθυμητού ληφθέντος σήματος ως προς την ισχύ των ανεπιθύμητων σημάτων (θόρυβων και παρεμβολών).



Σχήμα 4.7 MIMO σύστημα κεραίων, 2x2 [2]

Στη MIMO μετάδοση χρησιμοποιείται είτε η χωρική πολύπλεξη, είτε η STC τεχνική, είτε ο συνδυασμός αυτών των δύο για την αύξηση της φασμαποδοτικότητας χωρίς τη συρρίκνωση της περιοχής κάλυψης. Η εναλλαγή αυτών των καταστάσεων λειτουργίας γίνεται βάση των συνθηκών που επικρατούν σε ένα κανάλι και ονομάζεται προσαρμοστική MIMO εναλλαγή (AMS - Adaptive MIMO Switching) [2].

Σήμερα η πλειονότητα των ασύρματων τεχνολογιών (PANs, LANs, MANs, και WANs) προσπαθούν να υιοθετήσουν τα MIMO συστήματα για το πολλαπλασιασμό του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.

#### 4.6.2 Προσαρμοστικά Συστήματα Κεραίων

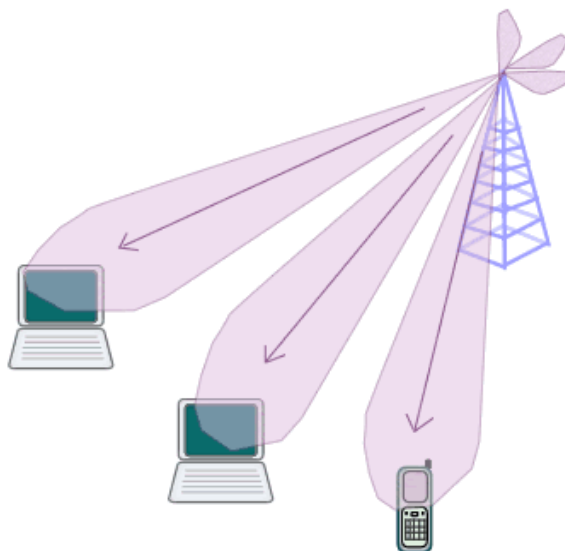
Σε ένα προσαρμοστικό σύστημα κεραίας (Adaptive Antenna System - AAS) τα προς μετάδοση δεδομένα μπορούν να στραφούν προς τη κατεύθυνση ενός δέκτη (σχήμα 4.8). Ομοίως ο δέκτης κατά τη διάρκεια της λήψης μπορεί να στραφεί προς τη κατεύθυνση της εκπέμπουσας συσκευής. Η τεχνική που χρησιμοποιείται από ένα τέτοιο σύστημα ονομάζεται beamforming. Η beamforming τεχνική χρησιμοποιείται σε συστήματα πολλαπλών κεραίων για τη μετάδοση του ίδιου σήματος σε κάθε κεραία, προσαρμόζοντας το πλάτος και τη γωνία του διαγράμματος εκπομπής της κεραίας μετάδοσης. Το WiMAX υποστηρίζει αυτή την τεχνική τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη. Η beamforming προσφέρει αύξηση της φασμαποδοτικότητας, της συνολικής χωρητικότητας του ασύρματου δικτύου καθώς και της αξιοπιστίας του.



**Σχήμα 4.8** WiMAX σταθμός βάσης με χρήση AAS beamforming συστήματος [3]

Στην περίπτωση χρήσης πολλαπλών κεραιών στο σταθμό βάσης (σχήμα 4.9) γίνεται χρήση της SDMA (Space Division Multiple Access) τεχνικής, όπου πολλαπλοί SSs διαχωρίζονται (ως προς το διάστημα) και μπορούν να μεταδώσουν και να λάβουν την ίδια στιγμή από το ίδιο υποκανάλι.

Η AAS τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετήσει τους πολλαπλούς σταθμούς συνδρομητών εξαλείφοντας τις παρεμβολές από και προς άλλους σταθμούς συνδρομητών βελτιώνοντας έτσι τη ποιότητα του σήματος. Η χρήση της είναι προαιρετική και δεν περιλαμβάνεται στην πιστοποίηση του WiMAX, αλλά λόγω της αποτελεσματικότητάς της στη βελτίωση της απόδοσης και της κάλυψης ειδικά στο mobile WiMAX, πολλοί προμηθευτές επιλέγουν την ενσωμάτωση αυτής της τεχνικής στα προϊόντα τους. Ωστόσο αν η AMS τεχνική συνδυαστεί με το προσαρμοστικό σύστημα κεραιών μπορεί να υποστηρίξει ακόμη μεγαλύτερη αποδοτικότητα του WiMAX. Σε αντίθεση με τη χωρική πολύπλεξη οι τεχνικές της ποικιλόμορφης μετάδοσης και η beamforming, λειτουργούν αποδοτικά και σε κακές SINR συνθήκες [3].



**Σχήμα 4.9** WiMAX σταθμός βάσης με χρήση πολλαπλών κεραιών και AAS [3]

#### 4.7 Εφαρμογές WiMAX

Η μόνιμη ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο επιτρέπει ακόμη και στον πιο απλό χρήστη να αξιοποιήσει ένα πλήθος νέων εφαρμογών που μέχρι στιγμής δεν ήταν διαθέσιμες, είτε λόγω χαμηλού εύρους ζώνης, είτε λόγω των περιορισμών που θέτει η χρήση των καλωδίων.

Το WiMAX βρίσκει εφαρμογή σε κυψελωειδή δίκτυα κορμού των backhaul συνδέσεων των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας. Η εισαγωγή της τεχνολογίας αυτής αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος ανάπτυξης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση σε σύγκριση με αυτή της οπτικής ίνας, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα την αξιοπιστία και τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.

Επιπλέον των κυψελωειδών συστημάτων το WiMAX μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη backhaul σύνδεση των WiFi hotspots. Τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα κατά τη χρήση της WiFi τεχνολογίας, αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της μειωμένης εμβέλειας, παρουσιάζοντας μεγάλα κενά στις περιοχές κάλυψής τους. Ως εκ τούτου οι διαχειριστές τους αναγκάζονται να τοποθετούν κεραιές σε πολύ κοντινές αποστάσεις, ώστε να επιτευχθεί πληρέστερη κάλυψη. Συνεπώς το WiMAX συμβάλει στην αύξηση της περιοχής κάλυψης των WiFi hotspots.

Σε ένα WMAN δίκτυο, ο σταθμός βάσης εκτός των συνδέσεων του με τους χρήστες συνδέεται και με το δίκτυο πυρήνα. Συνεπώς η ποιότητα των ευρυζωνικών υπηρεσιών εξαρτάται και από τη διασύνδεση των access points με το δίκτυο κορμού, σύνδεση γνωστή και ως backhaul. Το backhaul αναφέρεται τόσο στη σύνδεση μεταξύ ενός access point και του παρόχου, όσο και στη σύνδεση μεταξύ του παρόχου και του δικτύου πυρήνα. Το κόστος των backhaul συνδέσεων αυξάνει με την αύξηση της απόστασης. Αν και αυτό το είδος συνδέσεων μπορεί να επιτευχθεί με χρήση δορυφόρων ωστόσο η χρήση τους παρέχει περιορισμένο εύρος ζώνης στη σύνδεση της άνω ζεύξης και υψηλές καθυστερήσεις. Οι τρέχουσες backhaul συνδέσεις υλοποιούνται με μίσθωση T1 γραμμών από ένα τρίτο φορέα παροχής υπηρεσιών οι οποίες και είναι αρκετά ακριβές. Έτσι το WiMAX μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση των T1 γραμμών για την υλοποίηση των backhaul συνδέσεων. Οι backhaul υλοποιήσεις που βασίζονται στο WiMAX χρησιμοποιούν συνήθως PTP τοπολογία σύνδεσης για περιοχές με οπτική επαφή.

Επιπλέον εφαρμογές των WiMAX δικτύων εντοπίζονται στους εξής τομείς:

- Χρήση για την παροχή VoIP υπηρεσιών, επιτρέπει την πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων μέσω Internet στους εν κινήσει χρήστες με πολύ χαμηλές ή και μηδενικές χρεώσεις, που έως σήμερα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο από οικιακούς ή εταιρικούς χώρους που διέθεταν διαδικτυακή σύνδεση υψηλών ταχυτήτων.
- Παροχή υψηλών ρυθμών μετάδοσης καθιστά εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για multimedia εφαρμογές και πραγματικόχρονες εφαρμογές όπως αυτές των βιντεοκλήσεων, των VoD υπηρεσιών και των real-time μετάδοσης τηλεοπτικών ή ραδιοφωνικών προγραμμάτων, κάτι που για την IEEE 802.11 οικογένεια προτύπων, σε μεγάλες αποστάσεις δεν ήταν εφικτό. Η αποστολή ενός μηνύματος ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με μεγάλα συνημμένα αρχεία καθ' οδόν μέχρι σήμερα είναι πρακτικά ανέφικτη χωρίς το WiMAX, εκτός φυσικά αν χρησιμοποιείται ή όχι και τόσο οικονομική 3G τεχνολογία.
- Χρήση σε περιοχές που δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί (χώρες τρίτου κόσμου), ή σε περιοχές όπου οι πάροχοι δεν έχουν ισχυρή παρουσία, όπως είναι οι αγροτικές περιοχές αναπτυσσόμενων κρατών.



- Εφεδρική λύση σε μια ενδεχόμενη εμφάνιση προβλημάτων στα ενσύρματα δίκτυα.
- Ασφαλή απομακρυσμένη σύνδεση εγκαταστάσεων ιδιωτικών δικτύων με τις κεντρικές τους εγκαταστάσεις. Στα ιδιωτικά αυτά δίκτυα συμπεριλαμβάνονται επιχειρήσεις, κυβερνητικές και τοπικές οργανώσεις, δημόσιοι οργανισμοί, καθώς και δίκτυα στο τομέα της εκπαίδευσης και της υγείας.
- Κάλυψη αναγκών τηλεοπτικής επιτήρησης για τη δημόσια ασφάλεια απομακρυσμένων και δυσπρόσιτων περιοχών και τη πρόληψη του εγκλήματος. Τέτοια παραδείγματα ασύρματων εφαρμογών επιτήρησης είναι αυτά των στρατιωτικών βάσεων και της πρόληψης φυσικών καταστροφών [1].

#### 4.8 Πλεονεκτήματα WiMAX

Το WiMAX παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων ασύρματων και ενσύρματων τεχνολογιών τα οποία εντοπίζονται στους εξής τομείς:

- Γρήγορη εγκατάσταση εντός ολίγων ημερών, σε αντίθεση με ένα ενσύρματο δίκτυο που η εγκατάστασή του απαιτεί πολλούς μήνες ή και χρόνια.
- Αντιμετώπιση των φυσικών περιορισμών που τίθενται λόγω των παραδοσιακών ενσύρματων υποδομών σε περιοχές που είναι αδύνατο τα καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας. Επίσης μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά σε δίκτυων οπτικών ινών.
- Λογικό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης και μεγαλύτερη ευελιξία των επικείμενων επεκτάσεων του δικτύου, με λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Φορητότητα. Ο συνδρομητής θα μπορεί να χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του από οπουδήποτε ακόμη και εν κινήσει μέσα στην πόλη ή και ολόκληρη τη χώρα. κάτι που δεν είναι εφικτό με τις σημερινές συνδέσεις ADSL, ούτε και με την τεχνολογία Wi-Fi, λόγω της περιορισμένης της εμβέλειας.

- Σε μια ενδεχόμενη μετακόμιση του συνδρομητή δεν είναι απαραίτητο να γίνει εκ νέου ενεργοποίηση ευρυζωνικής σύνδεσης στο χώρο του, όπως ισχύει για τις γραμμές ADSL. Αφού θα καλύπτεται από το ασύρματο σήμα του παρόχου υπηρεσιών WiMAX, μπορεί να αρχίσει άμεσα να χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του [1].

#### 4.9 Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης

Η οικογένεια IEEE 802 προτύπων χρησιμοποιεί το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (data link layer) του μοντέλου OSI για τη μεταφορά δεδομένων, αλλά και για την ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων που συμβαίνουν στο φυσικό επίπεδο. Αυτό το επίπεδο υποδιαιρείται στα εξής δύο υποεπίπεδα:

- Στο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο κοινό μέσο (Media Access Control - MAC)
- Στο ανώτερο επίπεδο ελέγχου των λογικών συνδέσεων (Logical Link Control - LLC)

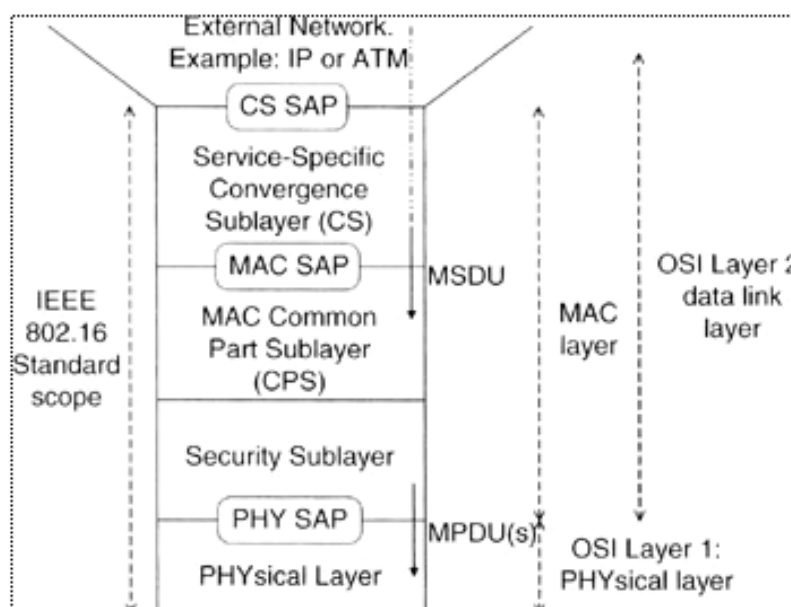
Από τα επίπεδα του μοντέλου OSI, η αρχιτεκτονική του WiMAX ορίζει μόνο το φυσικό και το MAC επίπεδο που είναι το κύριο μέρος του επιπέδου ζεύξης δεδομένων, με το LLC υποεπίπεδο βρίσκει εφαρμογή κυρίως στο IEEE 802.2 πρότυπο. Η πρωταρχική λειτουργία του MAC επιπέδου είναι η παροχή μιας διεπαφής μεταξύ των ανώτερων επιπέδων μεταφοράς και του φυσικού επιπέδου. Το MAC επίπεδο λαμβάνει από τα ανώτερα επίπεδα πακέτα τα οποία ονομάζονται MAC Service Data Units (MSDUs) και τα οργανώνει σε MAC Protocol Data Units (MPDUs) για τη περαιτέρω μεταφορά τους.

Οι κύριες λειτουργίες του MAC επιπέδου είναι:

- Κατάτμηση (segmentation) ή σύνδεση (concatenation) των MAC SDUs (MAC Service Data Units) που προέρχονται από τα ανώτερα επίπεδα σε MAC PDU (MAC Protocol Data Unit)
- Επιλογή του κατάλληλου προφίλ ριπής (burst profile) και του επιπέδου ισχύος για τη μετάδοση των MAC PDUs

- Επαναμετάδοση των εσφαλμένων MAC PDUs που ελήφθησαν από το δέκτη, μέσω του αιτήματος λειτουργίας αυτόματης επανάληψης (Automated Repeat Request - ARQ).
- Παροχή ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας και χειρισμού προτεραιότητας των MAC PDUs.
- Προγραμματισμός της αποστολής των MAC PDUs βάση των διαθέσιμων πόρων του φυσικού επιπέδου.
- Μέσω της διαχείρισης της κινητικότητας (mobility management) παροχή υποστήριξης των υψηλότερων επιπέδων.
- Παροχή ασφάλειας κατά τη μετάδοση δεδομένων και διαχείριση κλειδιών.
- Παροχή λειτουργίας χαμηλής κατανάλωσης και αδρανοποίησης συσκευής.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 4.10 το MAC επίπεδο αποτελείται από τρία υποεπίπεδα, το επίπεδο σύγκλισης (Convergence Sublayer - CS), το κοινό επίπεδο (Common Part Sublayer - CPS) και το επίπεδο ασφαλείας (Security Sublayer).



Σχήμα 4.10 Υποεπίπεδα MAC επιπέδου [4]

#### **4.9.1 Επίπεδο Σύγκλισης**

Το CS επίπεδο λειτουργεί ως διεπαφή μεταξύ του MAC επιπέδου και του τρίτου επιπέδου του OSI μοντέλου, για μια σειρά υψηλότερου επιπέδου πρωτόκολλα όπως το ATM, το Ethernet και το IP. Το CS είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση των λειτουργιών που εξαρτώνται από τα υψηλότερου επιπέδου αυτά πρωτόκολλα, όπως η συμπίεση κεφαλίδας (header suppression) και η απεικόνιση διευθύνσεων (address mapping) όπως είναι οι IP διευθύνσεις. Η απεικόνιση διευθύνσεων είναι απαραίτητη διότι δεν υπάρχει ορατότητα των διευθύνσεων των ανώτερων επιπέδων από το MAC και το φυσικό επίπεδο [4].

#### **4.9.2 Κοινό Επίπεδο**

Το MAC CPS εκτελεί εκείνες λειτουργίες σχετικές με τα πακέτα δεδομένων, που είναι ανεξάρτητες από τα πρωτόκολλα των ανώτερων επιπέδων όπως η κατάμηση και η σύνδεση των MAC σε MAC PDUs [4].

#### **4.9.3 Υποεπίπεδο ασφαλείας**

Το επίπεδο ασφαλείας είναι υπεύθυνο για τη κρυπτογράφηση (encryption), την έγκριση (authorization) και τη κατάλληλη ανταλλαγή κλειδιών μεταξύ του σταθμού βάσης και του σταθμού συνδρομητή [4].

#### **4.9.4 Καταστολή Κεφαλίδας Πακέτων**

Ένα από τα βασικά καθήκοντα του επιπέδου σύγκλισης είναι η συμπίεση/καταστολή της κεφαλίδας των πακέτων (Packet Header Suppression - PHS). Τα πακέτα που παραδίδονται στο επίπεδο MAC μπορεί να έχουν μέγεθος κεφαλίδων έως και 120 bytes. Το μέγεθος αυτό θεωρείται μεγάλο με το φαινόμενο της επανάληψης πληροφοριών να είναι συχνό, πληροφορίες που δε θα πρέπει να διαβιβάζονται εφόσον το διαθέσιμο εύρος ζώνης δεν είναι επαρκές. Στο WiMAX ο πομπός απαλείφει τα επαναλαμβανόμενα μέρη των κεφαλίδων του ωφέλιμου φορτίου των MAC SDUs που προέρχονται από τα ανώτερα επίπεδα. Ο δέκτης πρέπει να αποκατασταθεί τη κεφαλίδα πριν από την χρήση των MAC SDUs που λαμβάνει. Στο WiMAX η εφαρμογή της PHS λειτουργίας είναι προαιρετική

εντούτοις όμως η εφαρμογή του βελτιώνει την αποδοτικότητα του δικτύου σε εφαρμογές όπως το VoIP. Η PHS διαδικασία βασίζεται σε κάποιους PHS κανόνες οι οποίοι παρέχουν όλες τις απαραίτητες παραμέτρους σχετικά με τη καταστολή κεφαλίδας των SDUs. Όταν το SDU φτάνει στο MAC επίπεδο το επίπεδο σύγκλισης αποφασίζει ποιο κανόνα θα εφαρμόσει βάση παραμέτρων όπως η διεύθυνση προορισμού και προέλευσης. Μόλις επιλεγεί ο κατάλληλος κανόνας παρέχεται το SFID, το CID και οι σχετικοί παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν στο SDU. Ο PHS κανόνας που θα εφαρμοστεί εξαρτάται από το τύπο της υπηρεσίας δεδομένου ότι ο αριθμός των bytes που θα απαλειφθούν είναι διαφορετικός σε διαφορετικά είδη υπηρεσιών (παραδείγματος χάριν οι VoIP, HTTP και FTP). Η δημιουργία αυτών των κανόνων είναι ευθύνη των ανώτερων επιπέδων και όχι του WiMAX [4].

#### **4.9.5 Σύνδεσεις και Ροές Υπηρεσίας**

Ένα σημείο πρόσβασης υπηρεσιών (Service Access Point - SAP) είναι μία εννοιολογική τοποθεσία μέσω της οποίας ένα επίπεδο του OSI μοντέλου μπορεί να ζητήσει τις υπηρεσίες του άλλου επιπέδου του OSI.

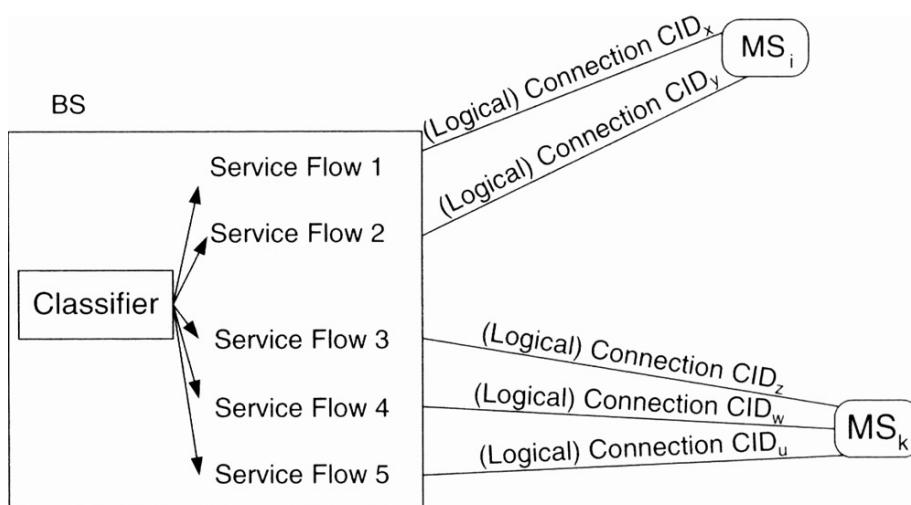
Το MAC επίπεδο του IEEE 802.16-2004 προτύπου είναι connection oriented, δηλαδή πριν τη μετάδοση δεδομένων ένα πρωτόκολλο ορίζει μία σύνδεση. Μία σύνδεση στο MAC επίπεδο συνδέει το σταθμό βάσης και το σταθμό συνδρομητή μονοκατευθυντικά με σκοπό τη μετάδοση μιας ροής υπηρεσίας και προσδιορίζεται μοναδικά από το CID (Connection Identifier). Τα CIDs είναι διαφορετικά για τη μετάδοση της άνω και κάτω ζεύξης, με ένα CID να αποτελεί ένα είδος προσωρινής δυναμικής διεύθυνσης δευτέρου επιπέδου, που ορίζεται από το σταθμό βάσης για το προσδιορισμό μιας μονοκατευθυντικής σύνδεσης με σκοπό τη μεταφορά δεδομένων και τον έλεγχο κίνησης (control traffic plane). Για την απεικόνιση των διευθύνσεων ανωτέρων επιπέδων στο CID το επίπεδο σύγκλισης Μία σύνδεση ορίζεται για ένα μόνο τύπο υπηρεσίας.

Η σουίτα πρωτοκόλλων του IEEE 802.16 ορίζει το επίπεδο σύγκλισης για ATM υπηρεσίες και υπηρεσίες πακέτων. Ωστόσο το WiMAX Forum υλοποιεί το επίπεδο σύγκλισης μόνο για το IP και το Ethernet. Παραδείγματος χάριν μία υπηρεσία

φωνής και μία υπηρεσία e-mail δεν μπορούν να εξυπηρετούνται από την ίδια σύνδεση.

Μετά τη καταχώρηση ενός SS/MS στον BS μία σύνδεση συσχετίζεται με μία ροή υπηρεσίας. Μια ροή υπηρεσίας (Service Flow - SF) είναι μία μονοκατευθυντική υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων του MAC επιπέδου στην ανερχόμενη ή τη κατερχόμενη ροή η οποία προσδιορίζεται μοναδικά από το SFID (Service Flow Identifier). Μια τέτοια ροή ορίζει τις απαιτούμενες παραμέτρους ποιότητας της υπηρεσίας (QoS parameters), για τα SDU που ανταλλάσσονται στη σύνδεση. Το σχήμα 4.11 απεικονίζει τις ροές υπηρεσίας και των συνδέσεων που μόλις περιγράφηκαν.

Το επίπεδο σύγκλισης παρέχει τις απαραίτητες μετατροπές και απεικονίσεις (mappings) των δεδομένων σε MAC SDUs που λαμβάνει μέσω του CS SAP από τα ανώτερα επίπεδα. Στη συνέχεια τα MAC SDUs λαμβάνονται από το CPS υποεπίπεδο μέσω του CPS SAP και αντιστοιχίζονται σε κάποια σύνδεση και ροή υπηρεσίας του MAC CPS μέσω των CID και SFID αντιστοίχως. Το CID ταυτοποιεί μια σύνδεση μεταξύ ενός σταθμού βάσης και ενός σταθμού συνδρομητή μέσα από την οποία διέρχονται τα MAC SDUs μιας υπηρεσίας. Κάποια CIDs χρησιμοποιούνται για άλλες ανάγκες του συστήματος όπως τη διαχείριση δικτύου, το ranging και το AAS.



Σχήμα 4.11 Απεικόνιση συνδέσεων και ροών υπηρεσιών [4]

Τα χαρακτηριστικά μιας ροής υπηρεσίας είναι:

- **SFID**
- **CID.** Η αντιστοίχιση του οποίου σε μία ροή υπηρεσίας γίνεται όταν η συγκεκριμένη ροή είναι ενεργή.
- **ProvisionedQoSParamSet.** Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ορίζει ένα σύνολο QoS παραμέτρων στα οποία γίνεται επίβλεψη. Παραδείγματος χάριν το όνομα της κλάσης της ποιότητας υπηρεσίας (QoS class name) είναι μία από παραμέτρους του συνόλου ProvisionedQoSParamSet. Υπάρχουν πέντε QoS κλάσεις με τη τελευταία να έχει προστεθεί από την 802.16e τροποποίηση.
- **AdmittedQoSParamSet.** Το χαρακτηριστικό αυτό ορίζει ένα σύνολο QoS παραμέτρων για το οποίο ο σταθμός βάσης και πιθανόν ο σταθμός συνδρομητή δεσμεύει πόρους. Ο κύριος πόρος που δεσμεύεται για την ενεργοποίηση της ροής είναι το εύρος ζώνης και σε κάποιες περιπτώσεις μνήμη.
- **ActiveQoSParamSet.** Το χαρακτηριστικό αυτό ορίζει ένα σύνολο QoS παραμέτρων που καθορίζει την υπηρεσία που πραγματικά προσφέρεται. Μόνο μια ενεργή ροή υπηρεσίας μπορεί να προωθεί πακέτα. Το αν μια ροή υπηρεσίας είναι ενεργή καθορίζεται από το AdmittedQoSParamSet χαρακτηριστικό. Αν αυτό έχει null τιμή τότε η ροή υπηρεσίας είναι ανενεργή.
- **Authorisation module.** Είναι μια λογική συνάρτηση του σταθμού βάσης η οποία καθορίζει την αποδοχή ή την απόρριψη στις αλλαγές των QoS παραμέτρων. Καθορίζει επίσης τις τιμές των AdmittedQoSParamSet και ActiveQoSParamSet

Διακρίνουμε τρεις τύπους ροών υπηρεσίας:

- **Provisioned service flows.** Αυτός ο τύπος ροής υπηρεσίας χρησιμοποιείται από το σύστημα διαχείρισης δικτύου δεν είναι ενεργός και δεν απασχολεί πόρους. Τα χαρακτηριστικά AdmittedQoSParamSet και **ActiveQoSParamSet.** δεν παίρνουν τιμές σε αυτό το τύπο ροής υπηρεσίας.
- **Admitted service flow.** Ο συγκεκριμένος τύπος υπηρεσίας υποστηρίζει ένα μοντέλο ενεργοποίησης δύο φάσεων που συνήθως χρησιμοποιείται

από εφαρμογές τηλεφωνίας. Σε αυτό το τύπο οι πόροι είναι καθορισμένοι αλλά χρησιμοποιούνται στη περίπτωση που μια κλήση είναι επιτυχής.

- **Active service flow.** Αυτός ο τύπος υπηρεσίας έχει δεσμευμένους πόρους για χρήση από το σταθμό βάσης για το ActiveQoSParamSet χαρακτηριστικό του. Το ActiveQoSParamSet έχει μη μηδενική τιμή [4].

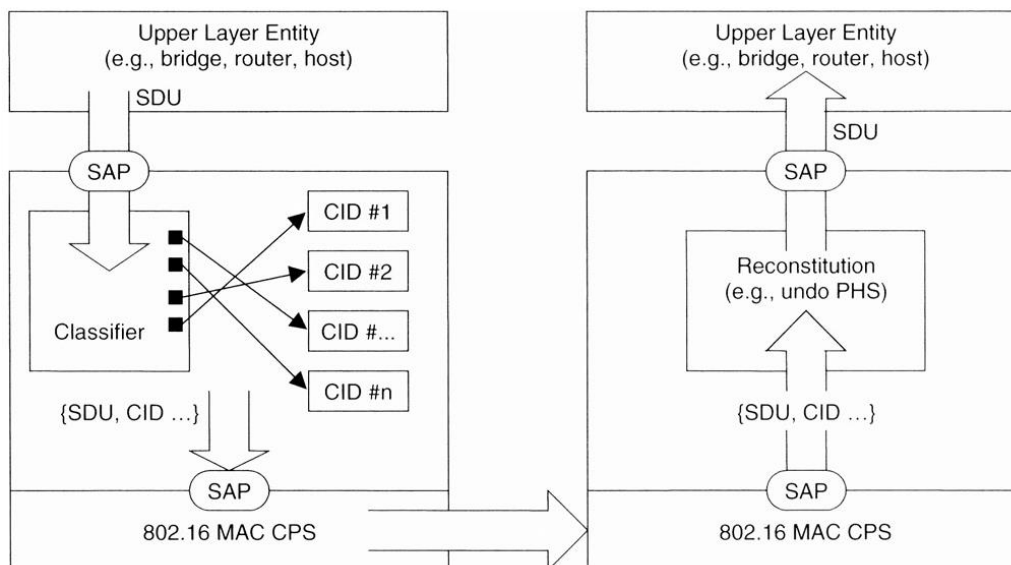
#### 4.9.6 Κατάταξη και Απεικόνιση των MAC SDUs

Η κατάταξη (classification) είναι η διαδικασία κατά τη οποία ένα MAC SDU ανατίθεται (mapped) σε μία σύνδεση για τη μετάδοση από το MAC επίπεδο μιας συσκευής στο MAC επίπεδο μιας άλλης συσκευής. Είναι δηλαδή η διαδικασία ανάθεσης πόρων σε μια εφαρμογή. Αυτή η διαδικασία είναι σημαντική επειδή ο BS εξυπηρετεί μεγάλο αριθμό χρηστών με διαφορετικές εφαρμογές στο καθένα. Η συσχέτιση του MAC SDU με μία σύνδεση, δημιουργεί επίσης μία συσχέτιση με τα χαρακτηριστικά της ροής υπηρεσίας που υποστηρίζει η συγκεκριμένη σύνδεση. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη μετάδοση των MAC SDUs σύμφωνα με τους απαιτούμενους QoS περιορισμούς.

Η διαδικασία της κατάταξης πρέπει να γίνεται τόσο στην ανερχόμενη όσο και στην κατερχόμενη ροή δεδομένων. Η διαδικασία της κατάταξης στην κατερχόμενη ροή γίνεται στο σταθμό βάσης και στη ανερχόμενη ροή στο σταθμό του συνδρομητή.

Η επιτυχής έκβαση της κατάταξης εξαρτάται από την ικανοποίηση κάποιων κριτηρίων που τίθενται από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως η διεύθυνση IP του παραλήπτη των πακέτων και η προτεραιότητα των πακέτων. Το σύνολο αυτών των κριτηρίων αποτελεί τον ταξινομητή (classifier) και εφαρμόζεται σε κάθε πακέτο κατά την είσοδο του στο δίκτυο. Εάν τα κριτήρια αυτά ικανοποιούνται από τα πακέτα, τότε αυτά αποστέλλονται στο SAP του MAC CPS για την περαιτέρω μετάδοση στη σύνδεση που ορίζει το CID [4].





Σχήμα 4.12 Ταξινόμηση και CID απεικόνιση [4]

#### 4.9.7 Επίπεδο σύγκλισης και Ποιότητα Υπηρεσίας

Οι σημαντικότεροι QoS παράμετροι είναι:

- Scheduling service type (QoS class). Αυτή η παράμετρος ορίζει την QoS κλάση με την οποία συσχετίζεται μια ροή υπηρεσίας. Οι τέσσερις κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας είναι οι BE, nrPS, rtPS and UGS και αναλύονται παρακάτω. Το πρότυπο IEEE 802.16e ορίζει μία πέμπτη κλάση ποιότητας υπηρεσίας την ertPS.
- Προτεραιότητα ροής. Η τιμή αυτής της παραμέτρου καθορίζει ποια ροή υπηρεσίας έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα μεταξύ αυτών που έχουν ίδιες QoS παραμέτρους.
- Maximum sustained traffic rate. Αυτή η παράμετρος ορίζει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης μιας υπηρεσίας και εκφράζεται σε bits ανά δευτερόλεπτο.
- Maximum traffic burst. Σύμφωνα με αυτή τη παράμετρο καθορίζεται το μέγεθος των δεδομένων που μπορούν να σταλούν ή να ληφθούν για μια υπηρεσία.
- Minimum reserved traffic rate. Η παράμετρος αυτή εκφράζει τον ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε μια υπηρεσία ροής.
- QoS παράμετροι κατασκευαστή. Αυτή η παράμετρος επιτρέπει σε ένα κατασκευαστή να ορίσει και δικές του παραμέτρους ποιότητας.

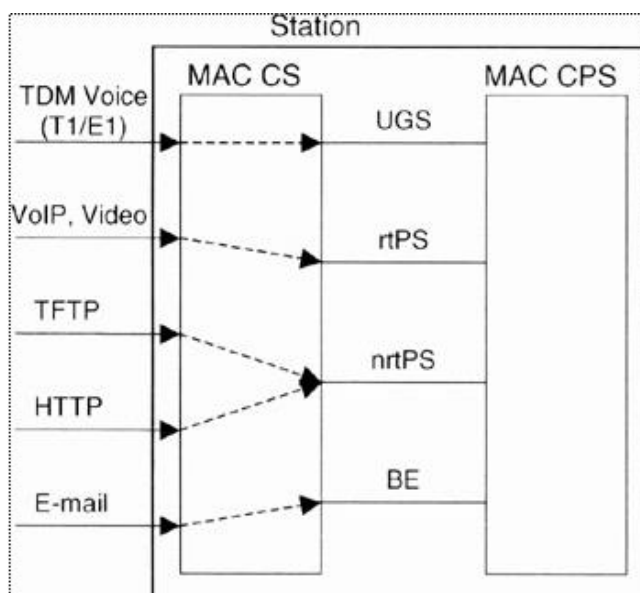
- **Tolerated jitter.** Αυτή η παράμετρος ορίζει τη μέγιστη αποδεκτή διακύμανση της καθυστέρησης μετάδοσης δεδομένων μιας ροής υπηρεσίας.
- **Maximum latency.** Μέσω αυτής της παραμέτρου εκφράζεται η μέγιστη καθυστέρηση μεταξύ της λήψης ενός πακέτου από το BS ή τον SS στη διεπαφή δικτύου μέχρι τη προώθηση του πακέτου στην ασύρματη διεπαφή.
- **Fixed-length versus variable-length SDU indicator.** Με τη παράμετρο αυτή προσδιορίζεται αν τα SDUs είναι σταθερού ή μεταβλητού μεγέθους. Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται μόνο στη περίπτωση της πακετοποίησης.
- **SDU size.** Καθορίζει το μέγεθος ενός SDU στη περίπτωση που μια ροή υπηρεσίας έχει σταθερό μήκος SDU.
- **Request/transmission policy.** Η τιμή της παραμέτρου προσδιορίζει τη μορφοποίηση των PDU στην ανερχόμενη ροή και τους περιορισμούς που τίθενται στη ζήτηση εύρους ζώνης από τον SS [4].

#### 4.9.7.1 Κλάσεις Ποιότητας Υπηρεσίας

Στο MAC επίπεδο του WiMAX ορίζονται τέσσερις QoS κλάσεις (σχήμα 4.13) οι οποίες είναι:

- **Unsolicited Grant Service (UGS).** Η υπηρεσία UGS υποστηρίζει ροές υπηρεσιών πραγματικού χρόνου στην ανιούσα σύνδεση παράγοντας πακέτα δεδομένων σταθερού μεγέθους σε μια περιοδική βάση. Η παραγωγή αυτών των πακέτων σταθερού μεγέθους απαλλάσσει το σταθμό του συνδρομητή από τη ρητή απαίτηση εύρους ζώνης μειώνοντας τη καθυστέρηση που επιφέρει αυτή η αίτηση εύρους ζώνης. Επίσης μειώνει και το χρόνο επεξεργασίας που απαιτείται από τους κώδικες για τον έλεγχο λαθών και τον έλεγχο της μετάδοσης (overhead). Η τιμή της request/transmission policy παραμέτρου επιτρέπει στο σταθμό του συνδρομητή να χρησιμοποιεί οποιοδήποτε μηχανισμό αίτησης εύρους ζώνης. Παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι η T1/E1 και η VoIP. Ο σταθμός βάσης δε θα πρέπει να κατανέμει περισσότερο εύρος ζώνης από αυτό που καθορίζεται από τη maximum sustained traffic rate που ορίζεται στο σύνολο των QoS παραμέτρων.

- **rtPS (real-time polling services).** Η υπηρεσία rtPS υποστηρίζει ροές υπηρεσιών πραγματικού χρόνου στην ανιούσα σύνδεση παράγοντας πακέτα δεδομένων μεταβλητού μεγέθους σε μια περιοδική βάση. Παραδείγματα τέτοιας υπηρεσίας είναι το βίντεο με MPEG κωδικοποίηση. Σε αυτή τη περίπτωση η τιμή της request/transmission policy παραμέτρου απαγορεύει στο σταθμό του συνδρομητή να χρησιμοποιεί οποιοδήποτε μηχανισμό αίτησης εύρους ζώνης, παρά μόνο το unicast polling και του επιτρέπει να καθορίσει το μέγεθος των πακέτων. Αυτή η υπηρεσία επιφέρει μεγαλύτερο overhead από τη UGS αλλά υποστηρίζει μεταβλητού μεγέθους πακέτα δεδομένων για τη βέλτιστη απόδοση της μεταφοράς των δεδομένων.
- **non-real-time Polling Services (nrtPS).** Η nrtPS υπηρεσία είναι όμοια της rtPS και επιπλέον υποστηρίζει το contention-based polling μηχανισμό αίτησης εύρους ζώνης. Η τιμή της request/transmission policy είναι τέτοια ώστε ο σταθμός συνδρομητή να χρησιμοποιεί και τον unicast polling μηχανισμό με τη μόνη διαφορά ότι μεταξύ η μέση διάρκεια μεταξύ δύο αιτήσεων που χρησιμοποιούν αυτό το μηχανισμό είναι της τάξεως μερικών δευτερολέπτων που είναι χρόνος συγκριτικά μεγαλύτερος σε σχέση με αυτόν της rtPS υπηρεσίας. Οι σταθμοί συνδρομητών που χρησιμοποιούν το contention-based polling μηχανισμό αίτησης εύρους ζώνης, μπορεί να οδηγηθούν σε σύγκρουση (collision) με προσπάθειες επανεκπομπής των αιτημάτων τους.
- **Best Effort (BE).** Η υπηρεσία BE παρέχει χαμηλά επίπεδα υποστήριξης ποιότητας υπηρεσιών και εφαρμόζεται από αυτές που δεν τους έχουν τεθεί αυστηρά επίπεδα QoS απαιτήσεων. Ο σταθμός συνδρομητή χρησιμοποιεί μόνο το contention-based polling μηχανισμό αίτησης εύρους ζώνης.



Σχήμα 4.13 Κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας [4]

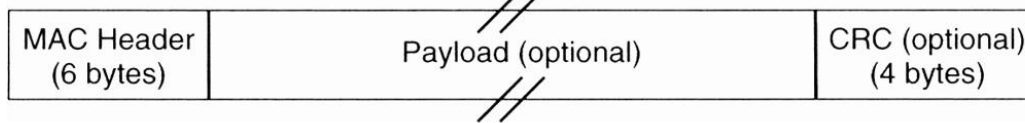
#### 4.9.8 MAC διευθύνσεις και πλαίσια

Κάθε σταθμός συνδρομητή προσδιορίζεται μοναδικά από μία MAC διεύθυνση που αποτελείται από 48 bit, γνωστή και ως IEEE 802 MAC διεύθυνση. Η MAC διεύθυνση χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια του αρχικού ranging για την εγκαθίδρυση της κατάλληλης σύνδεσης για τον SS. Επίσης η MAC διεύθυνση χρησιμοποιείται ως μέρος της διαδικασίας της επικύρωσης (authentication) κατά την οποία ο σταθμός συνδρομητή πιστοποιείται από το σταθμό βάσης. Κάθε σταθμός βάσης διαθέτει ένα BSID (Base Station ID) το οποίο αποτελείται επίσης από 48 bit και δε πρέπει να συγχέεται με τη MAC διεύθυνση του σταθμού βάσης.

Το BSID αποτελείται από ένα δείκτη των 24 bit ο οποίος προσδιορίζει τον πάροχο. Το BSID χρησιμοποιείται για παράδειγμα από το DCD (Downlink Channel Descriptor) MAC μήνυμα διαχείρισης.

Ένα MAC πλαίσιο (MAC frame) αποτελεί μία εναλλακτική ονομασία του MAC PDU. Η δομή του απεικονίζεται στο σχήμα 4.14. Κάθε MAC PDU αποτελείται από μία MAC κεφαλίδα (MAC header) σταθερού μεγέθους η οποία ακολουθείται από το ωφέλιμο φορτίο (payload) του MAC PDU (MPDU). Ένα MAC PDU μπορεί να περιλαμβάνει έναν κυκλικό έλεγχο πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check - CRC). Το μήκος του ωφέλιμου φορτίου μπορεί να ποικίλει. Έτσι λοιπόν και το

μέγεθος του MAC πλαισίου είναι μεταβλητό.



Σχήμα 4.14 Γενική μορφή ενός MAC frame ή MAC PDU [4]

Εάν υπάρχει ωφέλιμο φορτίο στο MAC PDU τότε αυτό περιέχει ένα ή περισσότερα εκ των παρακάτω:

- 0 περισσότερες υποκεφαλίδες οι οποίες περιλαμβάνονται στο ωφέλιμο φορτίο
- 0 ή περισσότερα MAC SDUs
- Τμήμα ή τμήματα ενός MAC SDU

Η κεφαλίδα του MAC PDU διακρίνεται σε δύο τύπους:

- Τη MAC κεφαλίδα γενικού τύπου (Generic Mac Header - GMH). Αυτός ο τύπος κεφαλίδας των MAC PDUs περιέχει είτε MAC μηνύματα διαχείρισης είτε δεδομένα του επιπέδου σύγκλισης.
- Τη MAC κεφαλίδα χωρίς ωφέλιμο φορτίο. Τα MAC PDUs αυτού του τύπου δεν περιλαμβάνουν επίσης CRC. Χρησιμοποιούνται μόνο στην ανερχόμενη ροή. Αυτός ο τύπος κεφαλίδας έχει το ίδιο μήκος με τη κεφαλίδα γενικού τύπου και εισήχθη από το IEEE 802.16e πρότυπο για την αίτηση επιπλέον εύρους ζώνης [4].

#### 4.9.9 Τεμαχισμός, Πακετοποίηση και Συναλύσωση

Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό των ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας είναι η δυνατότητα του τεμαχισμού (fragmentation) ενός MAC SDU σε πολλά MAC PDUs. Η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις κακής ποιότητας ενός καναλιού ή όταν το μήκος των πακέτων είναι πολύ μεγάλο, όπως αυτό των IP πακέτων. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η πιθανότητα απώλειας ενός τμήματος και όχι ολόκληρου του MAC SDU ενώ το μειονέκτημα έγκυται στην αύξηση του μεγέθους των πληροφοριών των κεφαλίδων. Ο τεμαχισμός επιτρέπει

την αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης όταν η ποιότητα του καναλιού δεν είναι αρκετά καλή σύμφωνα με τις απαιτούμενες QoS παραμέτρους τις ροής υπηρεσίας. Η παρουσία του τεμαχισμού υποδηλώνεται από τη τιμή του δεύτερου bit της κεφαλίδας γενικού τύπου (GMH). Η διαδικασία του τεμαχισμού όπως και η αντίστροφη διαδικασία της σύνθεσης των MAC PDUs σε MAC SDU είναι υποχρεωτικές.

Όταν η διαδικασία της πακετοποίησης είναι ενεργή σε μία σύνδεση πολλά MAC SDUs συσκευάζονται σε ένα MAC PDU. Η μέθοδος αυτή στη περίπτωση καλής ποιότητας του καναλιού επιτρέπει, την αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων πόρων και είναι ιδανική για πακέτα μικρού μήκους. Η πλευρά η οποία μεταδίδει είναι αυτή που έχει την ευθύνη της απόφασης του αν θα πακετοποιήσει ένα σύνολο MAC SDUs. Η παρουσία της πακετοποίησης υποδηλώνεται από τη τιμή του πρώτου bit της κεφαλίδας γενικού τύπου. Το ωφέλιμο φορτίο ενός MAC PDU περιέχει υποκεφαλίδες κάθε μία από τις οποίες ακολουθείται από ένα MAC SDU. Το άθροισμα των bit των κεφαλίδων στη περίπτωση της πακετοποίησης είναι μικρότερο του αθροίσματος των bit των κεφαλίδων αν κάθε SDU μεταδιδόταν ξεχωριστά επειδή όπως προαναφέρθηκε η πακετοποίηση κάνει αποτελεσματική χρήση των πόρων του συστήματος. Ένα αρνητικό χαρακτηριστικό της πακετοποίησης είναι η απώλεια όλων των MAC SDUs από τα οποία αποτελείται το MAC PDU στη περίπτωση απώλειας του. Η διαδικασία της πακετοποίησης είναι επίσης υποχρεωτική [4].

#### **4.9.10 Μηχανισμοί αίτησης και κατανομής εύρους ζώνης**

Στο WiMAX το MAC επίπεδο του σταθμού βάσης είναι το κατ' εξοχήν αρμόδιο για τη κατανομή του εύρους ζώνης σε όλους τους χρήστες, τόσο στην ανιούσα όσο και στη κατιούσα σύνδεση. Η κατανομή εύρους ζώνης στη κατιούσα και στην ανιούσα σύνδεση είναι δύο διαδικασίες εντελώς διαφορετικές και είναι υπ' ευθύνη του προγραμματιστή του σταθμού βάσης. Η μοναδική φορά που ο σταθμός συνδρομητή μπορεί να ελέγχει εν μέρει τη κατανομή εύρους ζώνης είναι στη περίπτωση που διατηρεί πολλαπλό αριθμό συνδέσεων με το σταθμό βάσης. Σε αυτή τη περίπτωση ο σταθμός βάσης διαθέτει συνολικά κάποιο εύρος ζώνης στο σταθμό συνδρομητή και είναι υπ' ευθύνη του MS να κατανεμηθεί το εύρος ζώνης

μεταξύ των πολλαπλών συνδέσεων. Για τη κατανομή εύρους ζώνης στην ανιούσα σύνδεση ο BS πρέπει να βασιστεί στα αιτήματα του MS.

#### 4.9.11 Διαχείριση κινητικότητας

Πέραν της σταθερής ευρυζωνικής πρόσβασης, η χρήση του WiMAX υποστηρίζει τις εξής τέσσερις επιλογές κινητικότητας:

- **Νομαδική:** Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να πάρει ένα σταθερό σταθμό συνδρομητή και να τον επανασυνδέσει από ένα διαφορετικό σημείο σύνδεσης.
- **Φορητή:** Η πρόσβαση παρέχεται σε μια φορητή συσκευή, με τη προσδοκία της best-effort λειτουργίας της μεταπομπής.
- **Απλή κινητικότητα:** Ο συνδρομητής μπορεί να κινηθεί με ταχύτητες μέχρι 60 km/h με συνοπτικές διακοπές (μικρότερες του ενός δευτερολέπτου) κατά τη διάρκεια της handover λειτουργίας.
- **Πλήρης κινητικότητα:** Οι εν κινήσει ταχύτητες του συνδρομητή που υποστηρίζει φθάνουν έως και 120 km/h με καθυστέρηση μικρότερη των 50 ms και απώλεια πακέτων μικρότερη του 1% (seamless handover).

Τα WiMAX δίκτυα αρχικά αναπτύχθηκαν για σταθερές και νομαδικές εφαρμογές και με την μετέπειτα εξέλιξή τους υποστηρίζεται η φορητότητα και η πλήρη κινητικότητα.

Το IEEE 802.16e-2005 ικανοποιεί δύο προκλήσεις της ασύρματης δικτύωσης των τελικών χρηστών μέσω της κίνησης των συνδρομητικών σταθμών εντός μιας μεγάλης περιοχής. Οι προκλήσεις αυτές αναφέρονται πρώτον στη παροχή των μέσων για την έναρξη της αμφίδρομης ανταλλαγής πληροφοριών (session initiation) και της μετάδοσης πακέτων των ανενεργών χρηστών ανεξαρτήτως της θέσης τους μέσα στο δίκτυο, τη λεγόμενη περιαγωγή και δεύτερον στη διατήρηση της ανταλλαγής αυτών των πληροφοριών κατά την κίνηση του χρήστη χωρίς διακοπή. Η δεύτερη πρόκληση είναι γνωστή ως λειτουργία μεταπομπομπής. Η περιαγωγή με τη μεταπομπή αποτελούν στο σύνολο τους τη διαχείριση κινητικότητας (mobility management).

#### **4.9.11.1 Περιαγωγή**

Η περιαγωγή επιτυγχάνεται μέσω του εντοπισμού των περιαγόμενων σταθμών των συνδρομητών μέσω της χρήσης κεντρικοποιημένων βάσεων δεδομένων. Αυτές οι βάσεις δεδομένων διατηρούνται ενήμερες για τη θέση των συνδρομητικών σταθμών, μέσω των μηνυμάτων που εκπέμπουν οι ίδιοι στο δίκτυο καθώς κινούνται από τη μία περιοχή στην άλλη. Ο αριθμός των σταθμών βάσης στους οποίους στέλνονται αυτά τα μηνύματα εξαρτώνται από ρυθμό μετακίνησης των MSs. Η πρόκληση σε αυτή τη περίπτωση είναι μεταξύ της επιλογής ενός μεγάλου αριθμού μηνυμάτων που θα αποστέλλονται σε λίγους σταθμούς βάσης και της επιλογής να αποστέλλεται ένας μικρότερος αριθμός μηνυμάτων σε περισσότερους σταθμούς βάσης για την ενημέρωση της ύπαρξης χρήστη στη περιοχή που καλύπτουν.

#### **4.9.11.2 Μεταπομπή**

Για την αντιμετώπιση της δεύτερης πρόκλησης της κινητικότητας, το σύστημα πρέπει να παρέχει μια μέθοδο για την απρόσκοπτη λειτουργία του MS κατά την εναλλαγή του από τον ένα σταθμό βάσης στον άλλο. Η μεταπομπή απαιτεί να συμβαίνει όσο το δυνατόν πιο σπάνια, με την κατάλληλη επιλογή αλγορίθμων ώστε σε περίπτωση που μεσολαβεί μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι να συμβεί η επόμενη μεταπομπή να μη συμβαίνει διακοπή της συνεδρίας λόγω χαμηλού σήματος. Επίσης κατά την μεταπομπή θα πρέπει να εξασφαλιστεί η ύπαρξη διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων από το νέο σταθμό βάσης για την αποφυγή της απώλειας των κλήσεων. Κάποια συστήματα συντηρούν εύρος ζώνης για την είσοδο νέων χρηστών που προέρχονται από τη μεταπομπή, ενώ κάποια άλλα δίνουν προτεραιότητα σε χρήστες που προέρχονται από μεταπομπή έναντι αυτών που αιτούνται την έναρξη νέας συνεδρίας με το σταθμό βάσης. Οι κατηγορίες μεταπομπών που ορίζονται από το WiMAX είναι οι:

- Hard Handover (HHO).
- Fast BS Switching (FBSS).
- Macro Diversity Handover (MDHO).



Η ΗΗΟ μεταπομπή είναι υποχρεωτική με τις FBSS και MDHO να αποτελούν προεραϊτικές λειτουργίες.

Κατά τη διάρκεια της ΗΗΟ ο MS επικοινωνεί με έναν Σταθμό βάσης κάθε φορά. Η ΗΗΟ μεταπομπή είναι υποχρεωτική και βασίζεται στη break-before-make προσέγγιση κατά την οποία η σύνδεση του MS με τον BS αρχικά τερματίζεται αιφνίδια και κατόπιν δημιουργείται εκ νέου μια σύνδεση με κάποιο άλλο σταθμό βάσης. Οι αποφάσεις για τη ΗΗΟ λειτουργία παίρνονται από τον BS, τον MS ή από κάποια άλλη οντότητα η οποία βασίζεται στα αποτελέσματα μέτρησης του MS. Ο MS περιοδικά εξετάζει το ραδιοφάσμα (radio frequency - RF) ελέγχοντας τη ποιότητα σήματος των γειτονικών σταθμών βάσης σε διαστήματα που καθορίζει ο BS. Κατά τη διάρκεια αυτών των διαστημάτων, ο MS έχει προαιρετικά τη δυνατότητα να εκτελέσει τη διαδικασία του αρχικού ranging και να συνδεθεί με έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης. Μόλις ληφθεί μια απόφαση μεταπομπής, ο MS αρχίζει το συγχρονισμό με τη κάτω ζεύξη του BS που έχει επιλεγεί, εκτελεί την ranging διαδικασία εάν δεν έγινε προηγουμένως, και έπειτα τερματίζει τη σύνδεση του με το προηγούμενο BS. Η hard handoff λειτουργία είναι περισσότερο φασμαποδοτική συγκριτικά με τις άλλες δύο κατηγορίες μεταπομπών, αλλά εισάγει μεγαλύτερη καθυστέρηση. Η καθυστέρηση αυτή στην ιδανική περίπτωση δε θα πρέπει να ξεπερνά τα 50 ms.

Οι FBSS και MDHO κατηγορίες μεταπομπών χρησιμοποιούνται για τη περαιτέρω μείωση της καθυστέρησης. Οι λειτουργίες αυτές χρησιμοποιούν μία make-before-break προσέγγιση σύμφωνα με την οποία η εγκαθίδρυση της σύνδεσης του MS με τον επόμενο σταθμό βάσης γίνεται πριν τη διακοπή της υπάρχουσας σύνδεσης του MS με το τρέχων σταθμό βάσης. Σε αυτές τις δύο μεθόδους, ο MS διατηρεί μια σύνδεση σε ισχύ ταυτόχρονα με περισσότερους των ενός BSs.

Στην περίπτωση της FBSS μεταπομπής, ο σταθμός συνδρομητή συντηρεί μία λίστα σταθμών βάσης οι οποίοι αποτελούν το ενεργό σύνολο (active set). Αφού εξετάσει τους γειτονικούς σταθμούς βάσης επιλέγει αυτούς οι οποίοι είναι κατάλληλοι για το ενεργό σύνολο. Κατόπιν ελέγχει συνεχώς την ισχύ του σήματος των BSs του ενεργού συνόλου, εκτελώντας τη ranging λειτουργία και διατηρώντας μία σύνδεση σε ισχύ με τον καθένα από αυτούς. Ανάμεσα σε αυτό το πλήθος σταθμών βάσης, επιλέγεται ένας BS ο οποίος θα αποτελεί τον σταθμό βάσης αναφοράς. Σε αυτή τη περίπτωση ο MS επικοινωνεί μόνο με τον BS αναφοράς (anchor BS). Η FBSS μεταπομπή ξεκινά με την απόφαση του MS να

λάβει/μεταδώσει δεδομένα από/προς το BS αναφοράς ο οποίος BS ενδέχεται και να αλλάξει. Όταν η αλλαγή του σταθμού βάσης αναφοράς είναι απαραίτητη μέσα στο ενεργό σύνολο, η σύνδεση εναλλάσσεται από τον ένα σταθμό βάσης στον άλλο.

Η MDHO μεταπομπή είναι όμοια με τη FBSS, εκτός του γεγονότος ότι στην MDHO ο MS επικοινωνεί με όλους του σταθμούς βάσης στο ενεργό σύνολο (το οποίο και εδώ ονομάζεται diversity set) στο ίδιο χρονικό διάστημα, τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη μέσω unicast μηνυμάτων. Στη κάτω ζεύξη ο MS λαμβάνει δεδομένα από δύο ή περισσότερους σταθμούς βάσης τα οποία ο MS συγκρίνει με διάφορες τεχνικές διαφορισμού (diversity combining). Κατά το uplink ο MS αποστέλλει δεδομένα σε πολλαπλούς σταθμούς βάσης, στη συνέχεια πραγματοποιείται συγκριτική επιλογή (diversity selection) προκειμένου να επιλεγεί η καταλληλότερη uplink ζεύξη. Η απόφαση για την ανανέωση του ενεργού συνόλου και τη διαδικασία της αναπροσαρμογής του BS αναφοράς ξεκινά με ειδοποίηση είτε από τον MS (μέσω του MOB\_MSHOREQ μηνύματος) ή από τον BS (μέσω του MOB\_BSHO-REQ μηνύματος). Η MDHO είναι όμοια της soft handover που χρησιμοποιείται από τα GSM CDMA ή τα UMTS συστήματα, είναι κατάλληλη για εφαρμογές με μικρή ανεκτικότητα στη καθυστέρηση όπως οι εφαρμογές φωνής (VoIP), τηλεδιάσκεψης καθώς και εφαρμογές παιχνιδιών μέσω διαδικτύου. Ωστόσο η χρήση της σε εφαρμογές όπως αυτές της περιήγησης ιστοσελίδων και του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου δεν είναι κατάλληλη διότι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων κάποιες χρονικές στιγμές είναι υψηλός και κάποιες άλλες χαμηλός (bursty traffic) [9].

Τόσο η FBSS όσο και η MDHO προσφέρουν υψηλότερη φασματική απόδοση σε σχέση με τη HHO μέθοδο ωστόσο η εφαρμογή τους προϋποθέτει το συγχρονισμό των σταθμών βάσεων του ενεργού συνόλου, τη χρήση ίδιου φορέα συχνότητας και το διαμοιρασμό των πληροφοριών σε επίπεδο εισόδου στο δίκτυο. Οι FBSS και

Πίνακας 4.4 Περιπτώσεις εφικτών μεταπομπών [9]

| Πρόσβαση          | Ταχύτητα          | Handover | 802.16-2004 | 802.16e-2005 |
|-------------------|-------------------|----------|-------------|--------------|
| Σταθερή πρόσβαση  | Στάσιμη           | Όχι      | Ναι         | Ναι          |
| Νομαδική πρόσβαση | Στάσιμη           | Όχι      | Ναι         | Ναι          |
| Φορητή            | Ταχύτητα<br>πεζού | Hard     | Όχι         | Ναι          |

|                            |                               |      |     |     |
|----------------------------|-------------------------------|------|-----|-----|
| <b>Απλή κινητικότητα</b>   | Χαμηλή<br>τροχαία<br>ταχύτητα | Hard | Όχι | Ναι |
| <b>Πλήρης κινητικότητα</b> | Υψηλή<br>τροχαία<br>ταχύτητα  | Soft | Όχι | Ναι |

MDHO λειτουργίες δεν υποστηρίζονται πλήρως από τα WiMAX δίκτυα καθώς δεν αποτελούν μέρος της WiMAX Forum Release 1 προδιαγραφής δικτύων.

Η HHO εφαρμόζεται μόνο στις περιπτώσεις κινητικότητας χαμηλών ταχυτήτων (για φορητή πρόσβαση ή απλή κινητικότητα). Για τη κινητικότητα υψηλών ταχυτήτων (φορητή πρόσβαση, απλή κινητικότητα ή πλήρη κινητικότητα) εφαρμόζονται οι FBSS και MDHO μέθοδοι. Ο πίνακας 4.4 συνοψίζει τις περιπτώσεις εφαρμογής των μεταπομπών.

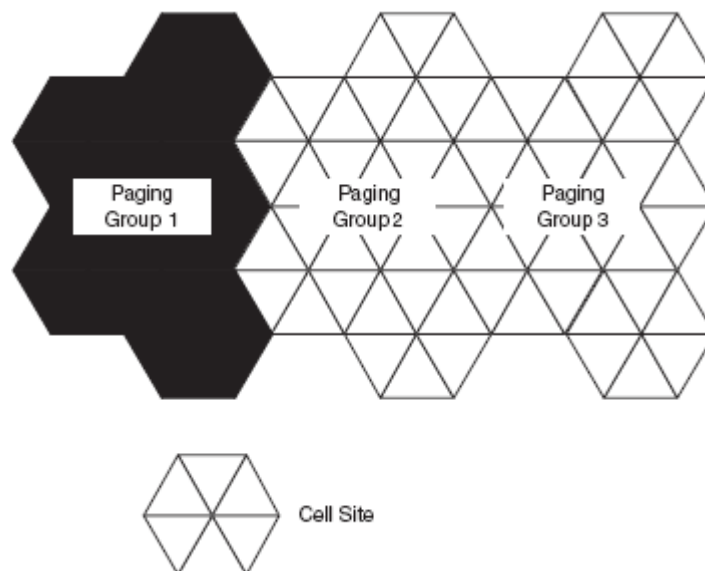
#### **4.9.12 Λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας**

Η λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας επιτυγχάνεται με την ελεγχόμενη διακοπή λειτουργίας κάποιων μερών του σταθμού του συνδρομητή όταν αυτός δε μεταδίδει ή δε λαμβάνει δεδομένα. Το πρότυπο χρησιμοποιεί δύο μεθόδους σηματοδότησης που καθιστούν το σταθμό του συνδρομητή σε κατάσταση ύπνωσης (sleep mode) ή ηρεμίας (idle mode) όταν αυτός είναι ανενεργός. Οι λειτουργίες της κατάστασης ηρεμίας και ύπνωσης είναι προαιρετικές.

Κατά τη κατάσταση ύπνωσης ο σταθμός συνδρομητή καθίσταται μη διαθέσιμος για κάποια προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Τα χρονικά αυτά διαστήματα καθορίζονται σε συμφωνία με το σταθμό βάσης που είναι συνδεδεμένος ο σταθμός συνδρομητή. Στη κατάσταση ύπνωσης ο MS διαθέτει δύο διαστήματα (time intervals) λειτουργίας το διάστημα ύπνωσης (sleep window) και το διάστημα ακρόασης (listening window) με κάθε διάστημα ύπνωσης να ακολουθείται από ένα διάστημα ακρόασης. Κατά τη διάρκεια του διαστήματος ύπνωσης απενεργοποιούνται τα περισσότερα των κυκλωμάτων του MS για να ελαχιστοποιήσει τη κατανάλωση ενέργειας χωρίς να λαμβάνει ή να αποστέλλει

δεδομένα. Κατά τη διάρκεια του διαστήματος ακρόασης ο MS επανακτά τη σύνδεση του λαμβάνοντας μικρά ποσά δεδομένων από το σταθμό βάσης που είναι συνδεδεμένος. Τα διαστήματα ύπνωσης και ακρόασης καθορίζονται σε συμφωνία με το σταθμό βάσης και τον MS και καθορίζονται από τη κλάση εξοικονόμησης ενέργειας (Power Saving Classes - PCS) της κατάστασης ύπνωσης. Οι κλάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στη περίπτωση της κατάστασης ύπνωσης είναι τρεις. Εάν ο σταθμός συνδρομητή διατηρεί πολλαπλές συνδέσεις ταυτόχρονα για διαφορετικά είδη εφαρμογών, μπορεί να χρησιμοποιεί περισσότερες από μία κλάσεις εξοικονόμησης ενέργειας τη κάθε μία για το κατάλληλο είδος σύνδεσης. Στη πρώτη κλάση μετά από κάθε διάστημα ύπνωσης ο MS “ξυπνά” για ένα σύντομο σταθερού μεγέθους διάστημα ακρόασης, το οποίο φυσικά ακολουθείται από ένα διάστημα ύπνωσης. Κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος ακρόασης ο MS λαμβάνει ένα μήνυμα από το σταθμό βάσης το οποίο φανερώνει εάν έχουν φθάσει δεδομένα από τον BS κατά το διάστημα ύπνωσης. Στη περίπτωση αυτή ο MS εξέρχεται από τη κατάσταση ύπνωσης στη κατάσταση ηρεμίας, λαμβάνοντας τα δεδομένα από τον BS. Στη πρώτη κλάση το διάστημα ύπνωσης αυξάνεται εκθετικά από μία ελάχιστη σε μία μέγιστη τιμή. Μετά τη μέγιστη αυτή τιμή όλα τα διαστήματα ύπνωσης έχουν το ίδιο μέγεθος. Σε οποιαδήποτε στιγμή της κατάστασης ύπνωσης ο BS μπορεί να επαναπροσδιορίσει το μέγεθος του διαστήματος ύπνωσης. Αυτό στη κατερχόμενη ροή συμβαίνει όταν ο BS διαπιστώσει πως το διάστημα ακρόασης δεν επαρκεί για να στείλει τα απαιτούμενα δεδομένα. Αυτή η κλάση εξοικονόμησης ενέργειας χρησιμοποιεί τις best-effort και nrtPS υπηρεσίες ποιότητας για εφαρμογές όπως αυτές της περιήγησης ιστού, του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και του FTP. Η δεύτερη κλάση κάνει χρήση ενός σταθερού μεγέθους διαστήματος ύπνωσης με το διάστημα ακρόασης που ακολουθεί να είναι επίσης σταθερού μεγέθους, και χρησιμοποιείται στη περίπτωση των UGS υπηρεσιών για εφαρμογές μετάδοσης βίντεο και VoIP. Η τρίτη κλάση αντιθέτως των άλλων δύο κλάσεων αποτελείται από μόνο ένα διάστημα ύπνωσης και χρησιμοποιείται για multicast μεταδόσεις και για τη διαχείριση των μεταδόσεων στο MAC επίπεδο, όταν ο MS γνωρίζει τότε να αναμένει την επόμενη μετάδοση δεδομένων. Για τη διευκόλυνση της handoff λειτουργίας στη κατάσταση ύπνωσης, επιτρέπεται στο σταθμό συνδρομητή η σάρωση σταθμών βάσης για να συλλέξει κάποιες πληροφορίες σχετικές με αυτή τη λειτουργία.

Η κατάσταση ηρεμίας παρέχει στον MS ένα μηχανισμό έτσι ώστε αυτός να είναι περιοδικά διαθέσιμος για τη κατερχόμενη μετάδοση δεδομένων ενός σταθμού βάσης χωρίς όμως να απαιτείται η εγγραφή του MS σε κάποιο σταθμό βάσης. Η κατάσταση ηρεμίας προσφέρει ακόμη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας διότι το δίκτυο επωφελείται από την εξάλειψη των παρεμβολών και της ανάγκης της μεταπομπής των ανενεργών MS. Συγκεκριμένα παρέχεται μία απλή και αποτελεσματική μέθοδο ειδοποίησης (paging) του MS κατά την οποία οι σταθμοί βάσεις ομαδοποιούνται σε σύνολα (paging group) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.15. Ένα από αυτά τα σύνολα σταθμών βάσης ανατίθεται στον MS πριν αυτός εισέλθει στη κατάσταση ηρεμίας και ανανεώνεται περιοδικά όταν ο σταθμός βάσης “ξυπνά”. Ο MS ελέγχει περιοδικά τη κατερχόμενη ροή μετάδοσης δεδομένων αποφασίζοντας έτσι με ποιο σύνολο σταθμών βάσης θα συσχετισθεί ανανεώνοντας έτσι τακτικά το paging group. Χωρίς αυτή τη διαδικασία ο MS θα έπρεπε να συσχετίζεται με όλους τους BSs του δικτύου [9].



Σχήμα 4.15 Ομαδοποίηση σταθμών βάσης σε paging groups [9]

#### 4.9.13 Θέματα ασφαλείας στο WiMAX

Το επίπεδο ασφαλείας του MAC επιπέδου των IEEE 802.16 προτύπων είναι το αντικείμενο συζήτησης αυτής της ενότητας. Η ασφάλεια παρέχεται μεταξύ του σταθμού βάσης και του σταθμού του συνδρομητή και όχι στο ενσύρματο δίκτυο “πίσω” από το σταθμό βάσης. Η ασφάλεια κατά μήκος ολόκληρου του δικτύου είναι δυνατή με την εφαρμογή επιπλέον ελέγχων ασφαλείας που δεν ορίζονται από τα IEEE πρότυπα.

Οι στόχοι ασφαλείας επιτυγχάνονται από τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Επικύρωση
- Έγκριση
- Ανταλλαγή κλειδιών
- Κρυπτογράφηση δεδομένων

Η διαδικασία της επικύρωσης πιστοποιεί την ταυτότητα των οντοτήτων που απαιτούν πρόσβαση στις υπηρεσίες δικτύου. Παράδειγμα επικύρωσης αποτελεί η χρήση κωδικών (passwords). Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει κάποιες αδυναμίες (όπως κλοπή των κωδικών), για το λόγο αυτό απαιτείται μια πιο αυστηρή διαδικασία επικύρωσης της ταυτότητας των χρηστών. Αυτό πρακτικά επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ψηφιακών πιστοποιητικών. Η διαδικασία της έγκρισης δίνει στην οντότητα την απαιτούμενη πρόσβαση καθορίζοντας ωστόσο και τα όρια χρήσης (ώρες πρόσβασης, μέγεθος του διατιθέμενου αποθηκευτικού χώρου, και ούτω καθ' εξής). Η ανταλλαγή κλειδιού είναι μια μέθοδος που αναφέρεται στη κρυπτογραφία κατά την οποία κρυπτογραφημένα κλειδιά ανταλλάσσονται μεταξύ των χρηστών για την επιτυχή χρήση των αλγόριθμων κρυπτογράφησης. Σημειώνεται ότι τα μηνύματα διαχείρισης δεν κρυπτογραφούνται από τα IEEE 802.16 πρότυπα, διότι η προσθήκη κρυπτογράφησης σε αυτά μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τις λειτουργίες τους στο δίκτυο. Παράδειγμα τέτοιων μηνυμάτων αποτελούν αυτά που αποφασίζουν το χρόνο που απαιτείται για την είσοδο στο δίκτυο.

#### 4.9.13.1 Πιστοποιητικό X.509

Κάθε σταθμός συνδρομητή διαθέτει ένα X.509 ψηφιακό πιστοποιητικό εγκατεστημένο εκ του κατασκευαστή. Το ITU-T X.509 πιστοποιητικό δημοσιεύθηκε για πρώτη φορά το 1988 ως μέρος των συστάσεων του καταλόγου X.500 ορίζοντας μια τυποποιημένη μορφή πιστοποιητικού που χρησιμοποιείται από την IEEE 802.16 οικογένεια προτύπων. Οι σταθμοί συνδρομητών που συμμορφώνονται με τα πρότυπα αυτά πρέπει να χρησιμοποιούν τη τρίτη έκδοση του X.509. Κάθε SS φέρει ένα μοναδικό X.509 ψηφιακό πιστοποιητικό που εκδίδεται από το κατασκευαστή του SS, γνωστό ως SS X.509 πιστοποιητικό. Ακριβέστερα το πιστοποιητικό αυτό εκδίδεται και υπογράφεται από μια αρχή έκδοσης πιστοποιητικών (Certification Authority - CA) και εγκαθίσταται από το κατασκευαστή. Το δημόσιο κλειδί του κατασκευαστή τοποθετείται στο πιστοποιητικό αυτό, έτσι με τον τρόπο αυτό κάθε SS διαθέτει ένα δημόσιο κλειδί. Αυτό το ψηφιακό πιστοποιητικό περιέχει το δημόσιο κλειδί του SS το οποίο κρυπτογραφείται με τον RSA αλγόριθμο κρυπτογράφησης (SS RSA κλειδί) καθώς και τη MAC διεύθυνση (ID) του SS. Στη περίπτωση που ο σταθμός συνδρομητή δε φέρει ένα X.509 πιστοποιητικό εγκατεστημένο εκ του κατασκευαστή, χρησιμοποιεί εσωτερικούς αλγόριθμους για την εγκατάσταση του. Ο σταθμός βάσης στο πρότυπο 802.16-2004 φέρει επίσης ένα X.509 πιστοποιητικό. Ο BS χρησιμοποιεί το δημόσιο κλειδί του πιστοποιητικού του SS, προκειμένου να επαληθεύσει τη γνησιότητα του πιστοποιητικού και στη συνέχεια επικυρώνει τον SS. Η επικύρωση γίνεται με τη χρήση του PKM πρωτοκόλλου [4].

#### 4.9.13.2 Πρωτόκολλο Διαχείρισης Κλειδιού και Ασφαλείας

Το υπόστρωμα ασφαλείας του MAC επιπέδου περιέχει δύο κύρια συστατικά πρωτόκολλα:

- Το πρωτόκολλο ενθυλάκωσης το οποίο είναι υπεύθυνο για τη κρυπτογράφηση της κίνησης στο δίκτυο ορίζοντας τους κανόνες εφαρμογής των αλγορίθμων κρυπτογράφησης στο ωφέλιμο φορτίο των MAC PDUs.
- Ένα PKM πρωτόκολλο. Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιού και ασφαλείας (Privacy and Key Management Protocol version1 – PKMv1) για την ασφαλή διανομή των

κλειδιών από το σταθμό βάσης στο σταθμό συνδρομητή και για την υπό όρους πρόσβαση στις υπηρεσίες δικτύου. Συνεπώς μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε το PKM ως ένα πρωτόκολλο επικύρωσης.

Τα κλειδιά που χρησιμοποιούνται στο PKMv1 πρωτόκολλο είναι τα εξής:

- **AK (Authorization Key):** Είναι το κλειδί που χρησιμοποιείται για τη διαδικασία της έγκρισης. Ο σταθμός βάσης ενεργοποιεί ένα AK για κάθε τερματικό σταθμό συνδρομητή και το αποστέλλει σε αυτόν. Επίσης χρησιμοποιείται για τη παραγωγή άλλων κλειδιών.
- **Το SS δημόσιο κλειδί:** Είναι ένα κλειδί του σταθμού συνδρομητή το οποίο χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία της έγκρισης από το σταθμό βάσης για τη κρυπτογράφηση του AK κλειδιού με τη βοήθεια του RSA αλγόριθμου κρυπτογράφησης.
- **TEK (Traffic Encryption Key):** Όπως και το όνομά του υποδηλώνει είναι ένα κλειδί που χρησιμοποιείται για τη κρυπτογράφηση των δεδομένων, συγκεκριμένα του ωφέλιμου φορτίου των MAC PDUs με τη χρήση των AES και DES αλγόριθμων κρυπτογράφησης.
- **KEK (Key Encryption Key):** Αυτό το κλειδί λαμβάνεται από το AK κλειδί και χρησιμοποιείται για τη κρυπτογράφηση του TEK κλειδιού.

Το PKMv1 διακρίνεται σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος χειρίζεται την επικύρωση των σταθμών των συνδρομητών και την ανταλλαγή των κλειδιών επικύρωσης και το δεύτερο την ανταλλαγή TEK κλειδιών.

#### 4.9.13.3 Συσχετίσεις Ασφαλείας

Το PKMv1 κάνει χρήση των συσχετίσεων ασφαλείας (Security Association - SA). Μια συσχέτιση ασφαλείας είναι ένα σύνολο πληροφοριών που ο BS και ο SS μοιράζονται για τη μεταξύ τους επίτευξη της ασφαλούς επικοινωνίας. Οι πληροφορίες αυτές είναι ένα σύνολο μεθόδων για τη κρυπτογράφηση και επικύρωση των δεδομένων και την ανταλλαγή του TEK κλειδιού κρυπτογράφησης (Cryptographic Suite). Το ακριβές περιεχόμενο μιας συσχέτισης ασφαλείας εξαρτάται από το παραπάνω σύνολο και μπορεί να είναι τα κλειδιά



κρυπτογράφησης, η περίοδος ισχύος τους, κλπ. Οι συσχετίσεις ασφαλείας διαχειρίζονται από το σταθμό βάσης και για κάθε υπηρεσία που προσφέρεται από τον BS ορίζεται μία ξεχωριστή συσχέτιση ασφαλείας. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της έγκρισης ο σταθμός συνδρομητή παρέχει στο σταθμό βάσης μία λίστα συσχετίσεων ασφαλείας (Cryptographic Suite). Ο σταθμός βάσης επιλέγει μία από αυτές να είναι η πρωταρχική συσχέτιση ασφαλείας και τη στέλνει ως απάντηση στο αίτημα του SS για έγκριση. Γενικά κάθε SS έχει μία πρωταρχική συσχέτιση ασφαλείας και 2 ή περισσότερες SAs για τις uplink και downlink.

Διακρίνουμε τρεις τύπους συσχετίσεων ασφαλείας. Την SA έγκρισης, την SA δεδομένων για τις unicast συνδέσεις και την ομαδική συσχέτιση ασφαλείας (Group Security Association - GSA) για τις multicast συνδέσεις. Η συσχέτιση ασφαλείας έγκρισης επιτελεί τη διαδικασία της επικύρωσης και της ανταλλαγής κλειδιού. Μία συσχέτιση ασφαλείας δεδομένων χρησιμοποιείται σε μία unicast σύνδεση για τη προστασία των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ των BS και SS. Περιέχει ένα SAID (Security Association Identifier) το οποίο προσδιορίζει μοναδικά τη συσχέτιση ασφαλείας και ένα TEK κλειδί. Διακρίνεται σε πρωταρχική και δυναμική. Η πρωταρχική συσχέτιση ασφαλείας προσδιορίζει μία μοναδική σύνδεση μεταξύ ενός BS και ενός SS, ενώ η δυναμική δημιουργείται και διαγράφεται κατά την αρχικοποίηση και το τερματισμό συγκεκριμένων ροών υπηρεσιών. Η ομαδική συσχέτιση ασφαλείας είναι λιγότερο ασφαλής επειδή τα περιεχόμενα της μοιράζονται σε περισσότερους του ενός σταθμούς συνδρομητών με τους οποίους ο σταθμός βάσης επικοινωνεί στη περίπτωση των multicast συνδέσεων. Περιέχει τα GTEK και GKEK κλειδιά, με το GTEK κλειδί χρησιμοποιείται για τη κρυπτογράφηση των δεδομένων των multicast συνδέσεων και το GKEK για τη κρυπτογράφηση του GTEK αντιστοίχως [4].

#### **4.9.13.4 HMAC αλγόριθμος κρυπτογράφησης**

Ο HMAC (Hashed Message Authentication Code) αλγόριθμος κρυπτογράφησης χρησιμοποιείται για την επικύρωση μηνυμάτων και τον έλεγχο ακεραιότητας. Με τη χρήση του HMAC ο παραλήπτης του μηνύματος μπορεί να προσδιορίσει ποιος είναι ο αποστολέας του. Χρησιμοποιεί δύο κλειδιά επικύρωσης το HMAC\_KEY\_D

για τις συνδέσεις κάτω ζεύξης του και το HMAC\_KEY\_U για τις συνδέσεις άνω ζεύξης.

#### **4.9.13.5 Διαδικασία έγκρισης προτύπου IEEE 802.16-2004**

Η διαδικασία της έγκρισης ξεκινά από το σταθμό του συνδρομητή. Κάθε τερματικό έχει το δικό του μοναδικό ψηφιακό πιστοποιητικό X.509 το οποίο περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, το δημόσιο κλειδί και τη MAC διεύθυνση.

Ο σταθμός συνδρομητή στέλνει δύο μηνύματα στο σταθμό βάσης. Το πρώτο είναι το αίτημα για την επικύρωση του και περιλαμβάνει το X.509 πιστοποιητικό. Το δεύτερο είναι το αίτημα έγκρισης του X.509 το οποίο περιλαμβάνει τους αλγόριθμους κρυπτογράφησης που ο SS υποστηρίζει καθώς, το ID της πρωταρχικής συσχέτισης ασφαλείας και μία λίστα των συσχετίσεων ασφαλείας που υποστηρίζει. Μετά τη λήψη και των δύο μηνυμάτων ο BS επικυρώνει τον SS πιστοποιώντας X.509 και ενεργοποιεί το AK κλειδί κρυπτογραφώντας το με το RSA δημόσιο κλειδί. Επιπλέον αποφασίζει ποιοι αλγόριθμοι θα χρησιμοποιηθούν για τη κρυπτογράφηση των δεδομένων (τις λεγόμενες και συσχετίσεις ασφαλείας). Οι προαναφερθείσες πληροφορίες λαμβάνονται από τον SS με ένα μήνυμα απάντησης στο αίτημα έγκρισης του BS (Authorization Reply message) οι οποίες περιέχουν επιπρόσθετα το SAID της πρωταρχικής συσχέτισης ασφαλείας, τη περίοδο ισχύος του AK έναν αριθμό ακολουθίας του AK. Στο στάδιο αυτό ο SS δε μπορεί να χρησιμοποιήσει ακόμη τους πόρους του δικτύου. Στη συνέχεια στέλνει ένα αίτημα στον BS για ένα TEK κλειδί για τη κρυπτογράφηση των δεδομένων (Key Request). Ο σταθμός βάσης ελέγχει αν ο SS έχει πάρει την έγκριση του και ενεργοποιεί το TEK κλειδί (Key Reply message), κρυπτογραφώντας το με τη βοήθεια του KEK κλειδιού. Τότε ο SS έχει το δικαίωμα να χρησιμοποιήσει τους πόρους του δικτύου. Η χρήση του X.509 εμποδίζει τη πλασθή μετάδοση των προαναφερθέντων στοιχείων των “κλωνοποιημένων” σταθμών συνδρομητών στο σταθμό βάσης. Έτσι αριθμός ακολουθίας του AK εμποδίζει τη λεγόμενη “επίθεση επανάληψης” (replay attack) [5].

#### **4.9.13.6 Διαδικασία έγκρισης IEEE 802.16e και IEEE 802.16-2009 προτύπων**

Το υπόστρωμα ασφαλείας στο πρότυπο IEEE 802.16e επαναπροσδιορίστηκε με τη χρήση της δεύτερης έκδοσης του PKM πρωτοκόλλου (PKMv2) εξαιτίας του γεγονότος ότι υπήρχαν κάποια κενά ασφαλείας και επειδή γενικά οι απαιτήσεις ασφαλείας στη παροχή κινητών υπηρεσιών δεν είναι ίδιες με αυτές των σταθερών υπηρεσιών. Το PKMv2 κατά κύριο λόγο χρησιμοποιεί την ίδια βάση με το PKMv1. Η κύρια διαφορά τους έγκυται στη διαδικασία της αμοιβαίας επικύρωσης που χρησιμοποιεί το PKMv2, δηλαδή της επικύρωσης και του BS από τον SS/MS.

Η αμοιβαία επικύρωση που βασίζεται στο RSA επιτυγχάνεται με την ανταλλαγή ενός pre-PAK (pre – Primary AK) κλειδιού μεταξύ του σταθμού βάσης και του MS/SS για τη παραγωγή του AK κλειδιού. Η ανταλλαγή ξεκινά με τον SS/MS να αποστέλλει ένα μήνυμα έγκρισης (authorization information message) στο σταθμό βάσης το οποίο περιέχει το X.509 ψηφιακό πιστοποιητικό, καθώς και ένα αίτημα έγκρισης του μηνύματος (authorization request message). Ο σταθμός βάσης ελέγχει το X.509 πιστοποιητικό και αν το πιστοποιητικό είναι έγκυρο, στέλνει ένα απαντητικό μήνυμα έγκρισης στον SS/MS. Στη συνέχεια το pre-PAK κλειδί αποστέλλεται από τον BS στον MS, κρυπτογραφημένο με το δημόσιο κλειδί του MS, για να προκύψει το PAK κλειδί. Το PAK κλειδί θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για τη παραγωγή του AK κλειδιού. Ο SS/MS ελέγχει με τη σειρά του το X.509 πιστοποιητικό που του αποστέλλει ο BS. Εάν το πιστοποιητικό είναι έγκυρο, τότε ο σταθμός βάσης και ο SS/MS προχωρούν στο επόμενο στάδιο της επικύρωσης για τη παραγωγή του AK.

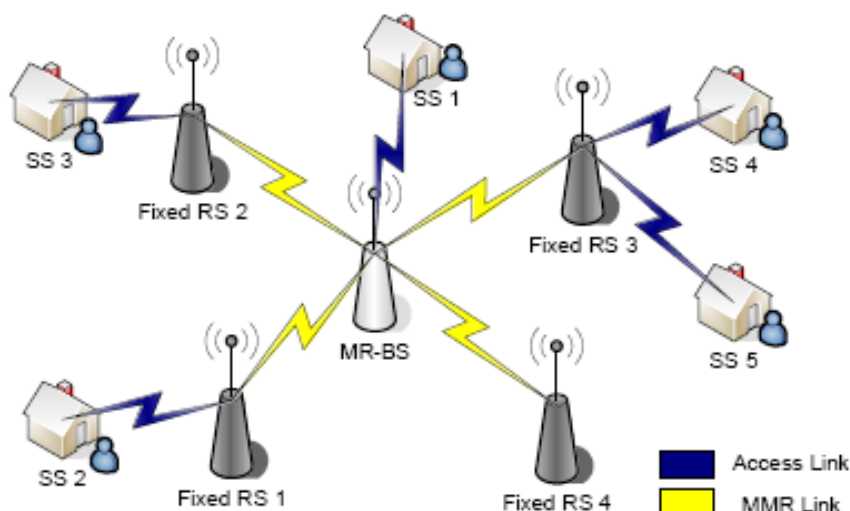
Η επικύρωση που βασίζεται στο RSA, προσφέρει δύο επιλογές για τη παραγωγή του AK κλειδιού. Η πρώτη είναι η επικύρωση βασισμένη μόνο στο RSA και η δεύτερη είναι η επικύρωση βασισμένη στο EAP κατόπιν της RSA έγκρισης. Στη πρώτη περίπτωση ο BS και ο SS/MS εκτελούν τις ίδιες διαδικασίες στο pre – PAK κλειδί για τη παραγωγή του AK. Όπως προαναφέραμε το PAK προκύπτει από το pre – PAK σε συνδυασμό με τη MAC διεύθυνση του SS/MS και το ID του σταθμού βάσης. Τέλος το AK παράγεται από το PAK κλειδί, τη MAC διεύθυνση του SS/MS και το ID του BS. Στη δεύτερη περίπτωση το pre – PAK παραδίδεται στον SS/MS και χρησιμοποιείται για τη παραγωγή ενός κλειδιού ακεραιότητας του EAP πρωτοκόλλου (EAP Integrity Key - EIK) για την ασφάλεια της πρώτης EAP ανταλλαγής. Η πρώτη αυτή ανταλλαγή έχει ως αποτέλεσμα τη παραγωγή του MSK (master session key) κλειδιού από το οποίο παράγεται ένας αριθμός άλλων

κλειδιών επικύρωσης και κρυπτογράφησης. Ο BS και ο SS/MS περικόπτουν το μέγεθος του MSK κλειδιού για να προκύψει το PMK(pairwise master key) κλειδί, αλλά και για τη δημιουργία ενός άλλου EIK κλειδιού για τη προστασία μιας προαιρετικής διαδικασίας επικύρωσης EAP χρηστών. Το PMK, η MAC διεύθυνση του SS/MS, και το ID του BS χρησιμοποιείται έπειτα για την παραγωγή του AK. Αυτή η περίπτωση χρησιμοποιείται μόνο κατά την αρχική είσοδο στο δίκτυο. Για κάθε επόμενη είσοδο ή επικύρωση, χρησιμοποιείται μόνο η πρώτη περίπτωση της επικύρωσης που βασίζεται μόνο στο RSA. Κατά την ολοκλήρωση της επικύρωσης ο BS και ο SS/MS μοιράζονται το AK. Τότε το PMK χρησιμοποιεί το AK κλειδί για τη παραγωγή του KEK κλειδιού αλλά και για τα κλειδιά επικύρωσης μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται για την ασφαλή ανταλλαγή των TEK κλειδιών.

Η κρυπτογράφηση δεδομένων γίνεται με χρήση του AES (Advanced Encryption Standard) αλγόριθμου κρυπτογράφησης επειδή είναι πιο ασφαλής σε σύγκριση με τον DES στο IEEE 802.16-2004, με την υλοποίηση του AES να είναι προαιρετική [5].

#### **4.9.13.7 Ζητήματα ασφαλείας προτύπου IEEE 802.16j – 2009**

Οι μηχανισμοί ασφαλείας που χρησιμοποιούνται στο IEEE 802.16j–2009 πρότυπο είναι οι ίδιοι με αυτούς του IEEE 802.16-2009 προτύπου. Η αρχιτεκτονική ασφαλείας δε περιγράφεται σε επίπεδο access link, δηλαδή μεταξύ του RS και του SS/MS, αλλά μεταξύ του MR–BS (Multihop Relay Station) και του RS (Mobile Multi-relay Link – MMR, σχήμα 4.16).

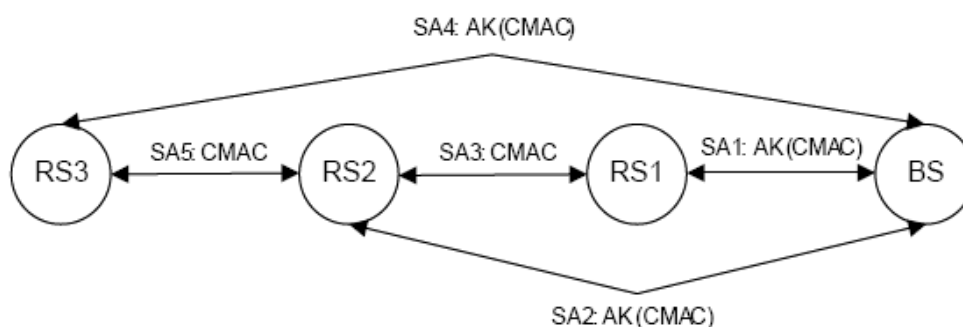


Σχήμα 4.16 Παράδειγμα αρχιτεκτονικής multi-hop relay συστήματος [6]

Η αρχιτεκτονική ασφαλείας που προτείνεται στο πρότυπο αυτό θεωρεί ότι ο MR-BS αποστέλλει unicast μηνύματα ελέγχου σε οποιοδήποτε RS, καθώς και broadcast και multicast μηνύματα σε ένα σύνολο σταθμών αναμετάδοσης που έχει υπό τον έλεγχο του. Ωστόσο ένας σταθμός αναμετάδοσης μπορεί να αποστέλλει unicast μηνύματα στο σταθμό βάσης αλλά και στους σταθμούς αναμετάδοσης, εφόσον απέχουν από αυτόν ένα βήμα αναμετάδοσης (1-hop). Το σχήμα 4.17 απεικονίζει την προτεινόμενη αυτή αρχιτεκτονική.

Στο IEEE 802.16e πρωτόκολλο τα δεδομένα και κάθε μήνυμα ελέγχου που αποστέλλεται από τον BS στον MS επικυρώνονται και κρυπτογραφούνται. Ωστόσο σε έναν RS του IEEE 802.16j - 2009 η διαδικασία της κρυπτογράφησης δεν υλοποιείται εφόσον τα πακέτα έρχονται ήδη κρυπτογραφημένα από τον προηγούμενο RS. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική ασφαλείας αυτού του προτύπου επιτρέπει την επικύρωση κάθε οντότητας καθώς και την επικύρωση και τον έλεγχο ακεραιότητας των μηνυμάτων ελέγχου που αποστέλλονται από ένα σταθμό αναμετάδοσης.

Για τη λειτουργία του WiMAX δικτύου σύμφωνα με την multihop αναμετάδοση, απαιτείται επιπλέον η εγκαθίδρυση μιας ζώνης ασφαλείας (Security Zone - SZ). Οι ζώνες ασφαλείας αποτελούν ένα σύνολο συσχετίσεων και πληροφοριών ασφαλείας προκειμένου να υποστηριχθεί η ασφαλής επικοινωνία κατά μήκος του IEEE 802.16j δικτύου, μεταξύ του MR-BS, των σταθμών αναμετάδοσης και των



**Σχήμα 4.17** Αρχιτεκτονική ασφαλείας multi-hop relay συστήματος [5]

SSs/MSs. Οι SZs προσδιορίζονται με τη χρήση του SAID, εκτός αυτών που ορίζονται μεταξύ δύο RS. Οι σταθμοί αναμετάδοσης και οι SSs/MSs γίνονται μέλη της ζώνης ασφαλείας του MR-BS με τη διαδικασία της επικύρωσης χρησιμοποιώντας το PKMv2 πρωτόκολλο. Με το PKMv2 ο MR-BS παρέχει ασφαλή διανομή των στοιχείων διαμόρφωσης (keying material) στον RS ή στον SS/MS, με τον RS και τον SS/MS να συγχρονίζουν τα στοιχεία διαμόρφωσης με τον MR-BS. Επιπλέον ο MR-BS κάνει χρήση του PKMv2 για να επιβάλλει την υπό όρους πρόσβαση στις υπηρεσίες δικτύου. Στο IEEE 802.16j – 2009 ορίζονται πρόσθετα PKMv2 μηνύματα καθώς και τη διαδικασία επαναχρησιμοποίησης κλειδιού ιεραρχικά, για τη δημιουργία νέων ζωνών ασφαλείας βασισμένων σε ήδη υπάρχουσες ζώνες ασφαλείας (SZs bootstrapping). Κατά την επικύρωση ο MR-BS παραδίδει τα στοιχεία διαμόρφωσης της SZ που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ακεραιότητας και τη προστασία των μηνυμάτων διαχείρισης στη SZ.

Η ζώνη ασφαλείας μεταξύ ενός MR-BS και ενός RS χρησιμοποιείται για την επικύρωση των μηνυμάτων ελέγχου μεταξύ αυτών. Εγκαθιδρύεται κατά τη διάρκεια της αρχικής εισόδου στο δίκτυο και της έγκρισης, ή κατά τη διάρκεια της επαναεπικύρωσης βασιζόμενη στο AK κλειδί. Το AK κοινό διαμοιραζόμενο κλειδί εγκαθιδρύεται από το PKMv2 μεταξύ του MR-BS και του MS, αλλά και μεταξύ του RS και του SS. Η επικύρωση των μηνυμάτων ελέγχου που μεταφέρονται μεταξύ των RSs βασίζεται στον CMAC αλγόριθμο ο οποίος χρησιμοποιεί τα CMAC\_KEY\_U, CMAC\_KEY\_D κλειδιά τα οποία παράγονται από το AK κλειδί. Κάθε SZ διαθέτει διαφορετικά AK κλειδιά.

Γενικά τα μηνύματα ελέγχου που μεταφέρονται μεταξύ του SS/MS και MR-BS ή μεταξύ του RS και MR-BS και επικυρώνονται από τα CMAC\_KEY\_U και

CMAC\_KEY\_D κλειδιά. Οι ενδιαμέσοι κόμβοι δεν είναι ικανοί να τροποποιήσουν ή να επαναλάβουν τα μηνύματα.

Η ζώνη ασφαλείας μεταξύ δύο γειτονικών RS χρησιμοποιείται για την επικύρωση του αποστολέα ενός μηνύματος ελέγχου μεταξύ αυτών των δύο RSs. Έχει ως στόχο την προστασία της ακεραιότητας των μηνυμάτων ελέγχου μεταξύ της σύνδεσης αυτών των RSs κάνοντας χρήση του CMAC αλγόριθμου, ο οποίος είναι πιο ασφαλής έναντι του HMAC αλγορίθμου. Για μια ζώνη ασφαλείας μεταξύ δύο σταθμών αναμετάδοσης τα στοιχεία διαμόρφωσης παράγονται βάση της προηγούμενης SA και διανέμονται με βάση την προ-προηγούμενη SA. Για παράδειγμα ο RS2 αιτείται στον MR-BS τη παραγωγή και μεταφορά των CMAC\_KEY\_U2 και CMAC\_KEY\_D2 κλειδιών στον RS1, μέσω της SA1 που διαθέτει ο MR-BS με τον RS1. Για παράδειγμα τα στοιχεία διαμόρφωσης της SA3 προέρχονται από την SA2 του RS2 και του MR-BS. Ο RS2 τα ζητά από τον MR-BS χρησιμοποιώντας την SA2. Κατόπιν μεταφέρονται στον RS1 με τη χρήση της SA1.

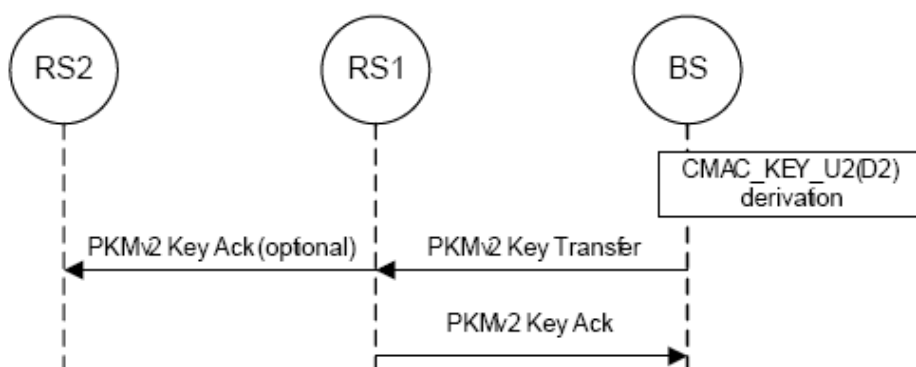
Ο RS2 είναι ο σταθμός αναμετάδοσης ο οποίος αρχικοποιεί την εγκαθίδρυση μιας ζώνης ασφαλείας μεταξύ αυτού και του RS1. Θεωρώντας ότι διαθέτουμε αυτούς τους δύο σταθμούς αναμετάδοσης προκύπτουν οι εξής ζώνες ασφαλείας (σχήμα 4.18):

- Σε πρώτη φάση γίνεται η εγκαθίδρυση της ζώνης ασφαλείας μεταξύ του RS1 και του MR-BS με την πραγματοποίηση των διαδικασιών της επικύρωσης και της παραγωγής κλειδιού.
- Για την εγκαθίδρυση της ζώνης ασφαλείας μεταξύ του RS2 και του MR-BS πραγματοποιούνται επίσης οι διαδικασίες της επικύρωσης και της παραγωγής κλειδιού. Τα CMAC\_KEY\_U<sub>2</sub> και CMAC\_KEY\_D<sub>2</sub> κλειδιά παράγονται στον RS2 ή προαιρετικά στον MR-BS. Γενικά ο δημιουργός του μηνύματος επικύρωσης υπολογίζει τη MAC διεύθυνση χρησιμοποιώντας το κλειδί το οποίο μοιράζεται με τον επόμενο RS. Εν συνεχεία αυτός ο RS αφαιρεί τη παλιά MAC διεύθυνση και υπολογίζει εκ νέου τη νέα MAC διεύθυνση χρησιμοποιώντας το κλειδί που μοιράζεται με τον αμέσως επόμενο RS.
- Το IEEE 802.16e-2005 πρότυπο δεν υποστηρίζει τη λειτουργία διανομής κλειδιού για τη δημιουργία ενδιάμεσων SZs, δηλαδή SZs μεταξύ των σταθμών αναμετάδοσης. Για την εγκαθίδρυση κλειδιού μεταξύ δύο RSs

προτείνονται οι ακόλουθες τροποποιήσεις στο PKMv2. Κατά την επιτυχή επικύρωση του RS2 ο MR-BS στέλνει ένα μήνυμα μεταφοράς κλειδιού στον RS1 ως σταθμό που προηγείται. Η μεταφορά των κλειδιών περιλαμβάνει τα CMAC\_KEY\_U2 και CMAC\_KEY\_D2 κλειδιά ως αντίστοιχα κλειδιά του RS2. Τα κλειδιά αυτά κρυπτογραφούνται από το KEK του RS1. Κατά τη λήψη του μηνύματος κλειδιού από τον MR-BS ο RS1 στέλνει στον MR-BS και (προαιρετικά) στον RS2 ένα μήνυμα αποδοχής. Με αυτό το τρόπο ο RS1 και ο MR-BS είναι ενήμεροι για την καθιέρωση του SA μεταξύ του RS1 και του RS2 [5].

#### 4.10 Φυσικό Επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο (PHY layer) καθορίζει τη φυσική σύνδεση μεταξύ των συστατικών μερών που επικοινωνούν μεταξύ τους ως προς και τις δύο κατευθύνσεις - άνω και κάτω ζεύξη. Είναι δηλαδή υπεύθυνο για τη διαβίβαση των ακολουθιών των bit, προσδιορίζοντας ταυτόχρονα το τύπο του σήματος που χρησιμοποιείται, το είδος της διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης, την ισχύς μετάδοσης, καθώς και άλλων φυσικών χαρακτηριστικών. Το φυσικό επίπεδο του WiMAX σχεδιάστηκε βάση κάποιων αρχών που συναντάμε στο WiFi και συγκεκριμένα στο πρότυπο IEEE 802.11a.



Σχήμα 4.18 Εγκαθίδρυση ζωνών ασφαλείας για τη multihop αναμετάδοση [5]



#### 4.10.1 FDD και TDD τεχνικές μετάδοσης

Στο WiMAX όταν εκπέμπει ο σταθμός βάσης και λαμβάνει ο σταθμός συνδρομητή αναφερόμαστε στη μετάδοση κάτω ζεύξης, ενώ στην αντίθετη περίπτωση αναφερόμαστε στη μετάδοση άνω ζεύξης. Η ρύθμιση της μετάδοσης αυτών των πληροφοριών μεταξύ των δύο σταθμών γίνεται με δύο είδη τεχνικών αμφίδρομης εκπομπής, την FDD (Frequency Division Duplex), που είναι μια τεχνική διαχωρισμού ως προς τη συχνότητα και την TDD (Time Division Duplex), που είναι τεχνική διαχωρισμού ως προς το χρόνο. Η FDD τεχνική απαιτεί δύο ξεχωριστά κανάλια, ένα για τη μετάδοση της κάτω ζεύξης και ένα για την άνω ζεύξη. Τα δύο αυτά κανάλια καταλαμβάνουν διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων και η μετάδοση τους μπορεί να γίνει ταυτοχρόνως. Στα FDD συστήματα οι δομές των πλαισίων της στο uplink και στο downlink είναι όμοιες καθιστώντας τα ιδανικά για υπηρεσίες φωνής διπλής κατευθύνσεως και αυτός είναι και ο λόγος που η FDD τεχνική έχει υιοθετηθεί από τα 2G και 3G κυψελοειδή δίκτυα. Τα δύο αυτά κανάλια παρεμβάλλονται από μια ζώνη συχνοτήτων μεγέθους 100MHz η οποία προφυλάσσει την άνω και κάτω ζεύξη από τις μεταξύ τους πιθανές παρεμβολές. Η TDD τεχνική χρησιμοποιεί ένα κανάλι, με την άνω και κάτω ζεύξη να χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων σε διαφορετικές όμως χρονικές στιγμές. Για να την αποφυγή της σύγκρουσης δεδομένων διαφορετικών κατευθύνσεων μεσολαβεί ένας χρονικός διαχωρισμός ασφαλείας που ονομάζεται TTG (Transmit Transition Gap).

Στα TDD συστήματα οι δομές των πλαισίων των ζεύξεων μπορούν να είναι διαφορετικές μεταξύ τους. Επομένως η TDD τεχνική είναι καταλληλότερη για ασύμμετρους ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ της άνω και κάτω ζεύξης, έχοντας όμως δυνατότητα υποστήριξης και συμμετρικών ρυθμών μετάδοσης. Η mesh τοπολογία υποστηρίζει μόνο τη TDD τεχνική. Η χρήση της ίδιας ζώνης συχνοτήτων προσφέρει υψηλότερη φασματική απόδοση και συνεπώς εξοικονόμηση bandwidth, κάνοντας τα TDD συστήματα πιο απλά στην υλοποίηση και πιο οικονομικά. Στις περισσότερες εφαρμογές (εκτός ίσως από τη μετάδοση φωνής), η μετάδοση είναι ασύμμετρη, δηλαδή το μεγαλύτερο ποσοστό δεδομένων μεταδίδεται από τη κάτω ζεύξη (π.χ internet, video & audio streaming, IPTV κλπ.) για αυτό και σε αυτές τις εφαρμογές προτιμείται η χρήση της FDD [1].

#### 4.10.2 Ορθογωνική Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας

Στο χώρο των τηλεπικοινωνιών διαμόρφωση είναι η διαδικασία μεταβολής ενός περιοδικού σήματος, συνήθως υψίσυχνου, με στόχο την κωδικοποίηση σε αυτό ενός σήματος χαμηλής συχνότητας το οποίο μεταφέρει κωδικοποιημένη πληροφορία. Το υψίσυχνο σήμα καλείται και φέρον και συνήθως είναι ένα σήμα απλής συχνότητας (π.χ. μία ημιτονοειδής κυματομορφή). Η διαμόρφωση απαιτείται για να μπορέσει να διέλθει το σήμα από κάποιο τηλεπικοινωνιακό κανάλι.

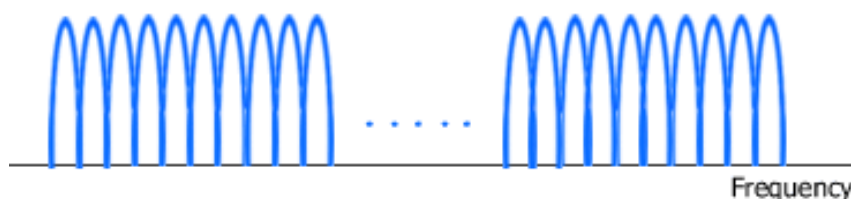
Η διαμόρφωση με πολύπλεξη συχνότητας ορθογωνίων φερουσών (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) ανήκει στην οικογένεια συστημάτων μετάδοσης που ονομάζεται διαμόρφωση πολυφερόντων (multicarrier modulation - MCM), η οποία βασίζεται στην ιδέα της διαίρεσης των υψηλών ρυθμών μετάδοσης ροών δεδομένων σε ροές δεδομένων χαμηλότερων ρυθμών μετάδοσης. Κάθε επιμέρους ροή δεδομένων αντιστοιχίζεται σε έναν υποφορέα και κατόπιν διαμορφώνεται με κάποιο τύπο του PSK (Phase Shift Keying) ή του QAM (Quadrature Amplitude Modulation) σχήματος διαμόρφωσης. Η διαμόρφωση πολλαπλών φερόντων περιορίζει ή εξαλείφει τη διασυμβολική παρεμβολή (intersymbol interference - ISI) κάνοντας το χρόνο του κάθε συμβόλου αρκετά μεγάλο έτσι ώστε η καθυστέρηση που προξενείται από το κανάλι μετάδοσης να είναι ασήμαντη ως προς το χρόνο του συμβόλου. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια ενός συμβόλου τόσο περισσότεροι είναι οι υποφορείς και άρα η αποδοτικότητα του φάσματος.

Η OFDM θεωρείται κατάλληλη για περιβάλλοντα υψηλών ρυθμών αμφίδρομης μετάδοσης δεδομένων υψηλών ταχυτήτων, σε συνθήκες μη οπτικής επαφής. Βασίζεται στη τεχνική της πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiplexing - FDM) η οποία επιτρέπει τη ταυτόχρονη και παράλληλη μετάδοση πολλαπλών σημάτων διαφόρων πομποδεκτών, σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων (υποφορείς). Όπως φαίνεται από το σχήμα 4.19 η FDM χρησιμοποιεί ζώνες ασφαλείας μεταξύ των υποφορέων για τη μείωση της διασυμβολικής παρεμβολής. Ως εκ τούτου, αυτή η λύση δε μοιάζει να είναι αποδοτική και να κάνει αποτελεσματική χρήση του φάσματος συχνοτήτων.

Αντιθέτως οι υποφορείς στην OFDM, επιλέγονται να είναι ορθογώνια τοποθετημένοι μεταξύ τους καταργώντας την ανάγκη ύπαρξης ζωνών ασφαλείας, άρα απαιτεί λιγότερο εύρος ζώνης, κάνοντας αυτή τη μέθοδο περισσότερο



**Σχήμα 4.19** Πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας [7]



**Σχήμα 4.20** Ορθογωνική Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας [7]

φασματοαποδοτική - επειδή υπάρχουν περισσότεροι υποφορείς προς διαμόρφωση, μετριάζοντας συνεπώς τις παρεμβολές.

Η OFDM υποστηρίζει τόσο την TDD όσο και την FDD τεχνική μετάδοσης, υιοθετώντας τη μέθοδο του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier transform - FFT) και του αντίστροφου FFT (Inverse Fast Fourier transform - IFFT). Η IFFT μέθοδος χρησιμοποιείται από έναν WiMAX δέκτη για τη δημιουργία μιας OFDM κυματομορφής από διαμορφωμένες ροές δεδομένων, ενώ η FFT χρησιμοποιείται από έναν WiMAX δέκτη για την αποδιαμόρφωση των ροών δεδομένων. Ο μετασχηματισμός Fourier είναι ένας μαθηματικός αλγόριθμος που μετατρέπει μία συνάρτηση χρόνου σε συνάρτηση συχνότητας. Το μέγεθος του FFT που χρησιμοποιεί είναι 256, που σημαίνει ότι το αρχικό σήμα του καναλιού υποδιαιρείται σε 256 υποφορείς. Από τους 256 υποφορείς οι 192 (*data subcarriers*) χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων, οι 8 (*pilot subcarriers*) για συγχρονισμό, τον υπολογισμό της συχνότητας και της φάσης των ληφθέντων σημάτων [1] και οι υπόλοιποι υποφορείς (*null subcarriers*) ως ζώνες ασφαλείας. Αυτός είναι και ο λόγος που η OFDM τεχνική χαρακτηρίζεται ως ένα σχήμα πολλαπλών φερόντων. Η επιλογή ενός μεγάλου μεγέθους FFT μειώνει το διάστημα μεταξύ των υποφορέων αυξάνοντας τη διάρκεια του συμβόλου.

Δεδομένου ότι στην OFDM τεχνική το μέγεθος του FFT είναι σταθερό η απόσταση μεταξύ των υποφορέων ποικίλει ανάλογα με το εύρος ζώνης του καναλιού. Όταν γίνεται χρήση μεγαλύτερου εύρους ζώνης η απόσταση μεταξύ των υποφερόντων αυξάνεται και συνεπώς ο χρόνος του συμβόλου μειώνεται.

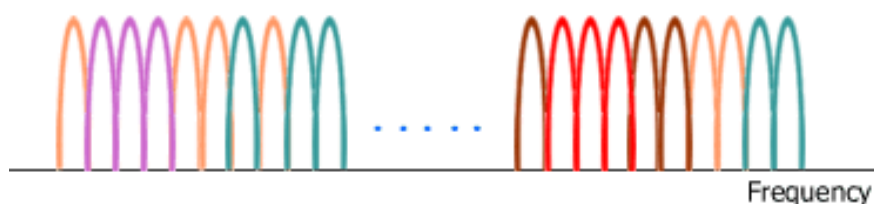
Το OFDM σχήμα χρησιμοποιείται από πολλές ευρέως χρησιμοποιούμενες εφαρμογές όπως η ψηφιακή τηλεοπτική αναμετάδοση στην Ευρώπη, την Αυστραλία και την Ιαπωνία, στη ψηφιακή αναμετάδοση ήχου στη περιοχή της Ευρώπης, στα ADSL modems και στα IEEE802.11a/g πρότυπα [1].

#### **4.10.3 Ορθογωνική Διαίρεση Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης και υποκαναλοποίηση**

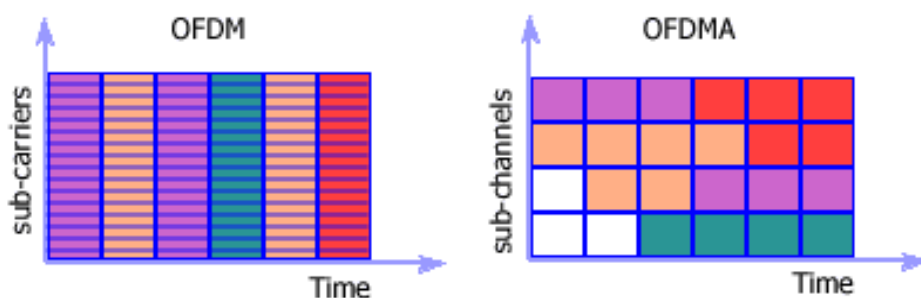
Η διαδικασία της υποκαναλοποίησης (subchannelization) αναφέρεται στην ομαδοποίηση των διαθέσιμων υποφερόντων σε ομάδες που ονομάζονται υποκανάλια. Το IEEE 802.16-2004 επιτρέπει τη περιορισμένη χρήση της υποκαναλοποίησης μόνο στην άνω ζεύξη, ορίζοντας 16 υποκανάλια τα οποία μπορούν ανά 1, 2, 4, 8 ή όλα μαζί να ανατεθούν σε ένα σταθμό συνδρομητή.

Στο φυσικό επίπεδο του IEEE 802.16e-2005, χρησιμοποιείται η πολλαπλή πρόσβαση με πολυπλεξία διαίρεσης ορθογώνιων συχνοτήτων (Orthogonal Frequency Division Multiple Access - OFDMA) η οποία βασίζεται στην OFDM. Όπως και η OFDM, η OFDMA κάνει χρήση των υποφερόντων χωρίς να παρεμβάλει ζώνες ασφαλείας ενδιάμεσά τους υποστηρίζοντας την υποκαναλοποίηση τόσο στην άνω όσο και στη κάτω ζεύξη (σχήμα 4.21).

Τα υποκανάλια και σε αυτή τη περίπτωση αποτελούν την ελάχιστη μονάδα πόρων που μπορεί να αναθεσει ένας σταθμός βάσης σε ένα σταθμό συνδρομητή. Συνεπώς διαφορετικά κανάλια μπορούν να ανατεθούν σε διαφορετικούς συνδρομητές για ταυτόχρονη χρήση, προκύπτοντας έτσι ένας αποτελεσματικός μηχανισμός πολλαπλής πρόσβασης. Στη κάτω ζεύξη ένα υποκανάλι μπορεί να προορίζεται για διαφορετικούς χρήστες. Στην άνω ζεύξη όπως φαίνεται και από το σχήμα ένας πομπός μπορεί να αποδοθεί σε ένα ή περισσότερα υπο-κανάλια (σχήμα 4.22). Ο διαχωρισμός των υποφερόντων σε υποκανάλια στην άνω ζεύξη επιτρέπει στους σταθμούς των συνδρομητών να μεταδίδουν χρησιμοποιώντας ένα κλάσμα του συνολικού εύρους ζώνης που τους έχει ανατεθεί από το σταθμό



Σχήμα 4.21 Ορθογωνική Διαίρεση Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης [7]



Σχήμα 4.22 Υποκαναλοποίηση άνω ζεύξης [7]

βάσης. Αυτό έχει ως συνέπεια την εξοικονόμηση ισχύος του σταθμού συνδρομητή και άρα τη βελτίωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας του.

Τα υποκανάλια μπορεί να αποτελούνται από γειτονικούς ή μη γειτονικούς (τυχαία κατανεμημένους) υποφορείς που είναι κατανεμημένοι κατά μήκος ολόκληρου του φάσματος συχνοτήτων. Αυτά που σχηματίζονται χρησιμοποιώντας τους τυχαία κατανεμημένους υποφορείς παρέχουν μεγαλύτερο συχνοτικό διαφορισμό (frequency diversity) ο οποίος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στις κινητές εφαρμογές. Το WiMAX ορίζει διαφορετικά σχήματα υποκαναλοποίησης βασισμένα στους κατανεμημένους αυτούς φορείς για τις ροές δεδομένων της άνω και κάτω ζεύξης. Ένα από αυτά ονομάζεται μερική χρήση υποφερώντων (Partial Usage of Subcarriers - PUSC), η υλοποίηση της οποίας είναι υποχρεωτική για όλες τις κινητές εφαρμογές του WiMAX. Το PUSC ορίζει 15 και 17 υποκανάλια για την άνω και κάτω ζεύξη αντίστοιχα, με εύρος ζώνης καναλιού 5MHz. Για κανάλι εύρους 10MHz προβλέπονται 30 και 35 καναλιών αντίστοιχα. Το σχήμα υποκαναλοποίησης που βασίζεται στη χρήση γειτονικών υποφερώντων ονομάζεται προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (Adaptive Modulation and Coding - AMC). Η προσαρμοστική διαμόρφωση αυξάνει τη χωρητικότητα του συστήματος

στο σύνολό της. Αν και η δυνατότητα συχνοτικού διαφορισμού δεν υπάρχει σε αυτό το σχήμα μπορεί να εφαρμοσθεί ο διαφορισμός πολλαπλών χρηστών (multiuser diversity). Με το διαφορισμό πολλαπλών χρηστών ένα σύστημα κερδίζει σε χωρητικότητα αν κάθε χρήστης συσχετιστεί με ένα υποκανάλι. Γενικά η χρήση γειτονικών υποφερόντων είναι καταλληλότερη για σταθερές και μικρής κινητικότητας εφαρμογές. Τα WiMAX συστήματα προβαίνουν στη χρήση της προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, προκειμένου να επωφεληθούν των διακυμάνσεων ενός καναλιού.

Ο σταθμός συνδρομητή μπορεί με τη χρήση ενός δείκτη ανάδρασης να ενημερώνει το σταθμό βάσης για τη ποιότητα της ροής δεδομένων της κάτω ζεύξης. Ο σταθμός βάσης ενημερώνεται για τη ποιότητα του καναλιού της κάτω ζεύξης από τη ποιότητα του ληφθέντος σήματος υπολογίζοντας κατ' αυτό το τρόπο τη ποιότητα του καναλιού επικοινωνίας ανά χρήστη και ορίζοντας το κατάλληλο μηχανισμό διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Η βασική ιδέα είναι η μετάδοση σε υψηλούς ρυθμούς όσο η ποιότητα του καναλιού είναι καλή και η μετάδοση δεδομένων σε χαμηλότερους ρυθμούς στη περίπτωση υποδεέστερης ποιότητας καναλιού. Για ένα OFDMA δίκτυο, όσο πιο κοντά βρίσκεται ο χρήστης στο σταθμό βάσης αυξάνεται και ο αριθμός καναλιών που του ανατίθενται και κάνει χρήση ενός υψηλότερου βαθμού σχήματος διαμόρφωσης (π.χ. 64QAM). Όσο απομακρύνεται από το σταθμό βάσης ο αριθμός των καναλιών που του ανατίθενται επαναπροσδιορίζεται δυναμικά και μειώνεται. Ωστόσο με την απομάκρυνση του από το σταθμό βάσης η ισχύς που κατανέμεται για κάθε κανάλι αυξάνεται [21]. Η κατανομή των υποκαναλιών στους χρήστες γίνεται με βάση τις συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι και τις απαιτήσεις των δεδομένων. Κάνοντας χρήση της υποκαναλοποίησης στο πεδίο του χρόνου ο σταθμός βάσης μπορεί να κατανείμει περισσότερη ισχύ σε ένα σταθμό συνδρομητή. Στη περίπτωση αυτή το SNR μειώνεται. Στη περίπτωση που ο BS επιλέξει να κατανείμει λιγότερη ισχύ σε ένα σταθμό συνδρομητή το SNR αυξάνεται. Η υποκαναλοποίηση επιτρέπει στο σταθμό βάσης να κατανείμει περισσότερη ισχύ στα υποκανάλια που προορίζονται για σταθμούς συνδρομητών εντός κτιρίων για την αύξηση της περιοχής κάλυψης αυτών.

Τα σχήματα διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται στην άνω και κάτω ζεύξη είναι οι BPSK, QPSK, 16 QAM και 64 QAM. Ωστόσο στην άνω ζεύξη η χρήση της 64 QAM και η χρήση της BPSK στη κάτω ζεύξη της OFDMA τεχνικής, είναι

**Πίνακας 4.5** Μέγεθος υποφερόντων σε διαφορετικά πρότυπα και διαφορετικές τεχνικές διαμόρφωσης [4]

| 802.16-2004 (fixed) | 802.16e (mobile) |
|---------------------|------------------|
| Single Carrier      | Single Carrier   |
| OFDM 256 FFT        | OFDM 256 FFT     |
| OFDMA 2048 FFT      | OFDM 2048 FFT    |
|                     | sOFDMA 1024 FFT  |
|                     | sOFDMA 512 FFT   |
|                     | sOFDMA 128 FFT   |

προαιρετικές. Στο IEEE 802.16e-2005 πρότυπο, το μέγεθος των υποφερόντων που προκύπτει από τον FFT μετασχηματισμό μπορεί να είναι 128, 256, 1024 ή 2048 (πίνακας 4.5). Με την αύξηση του εύρους ζώνης αυξάνεται και το μέγεθος του FFT κατά τέτοιο τρόπο ώστε η απόσταση μεταξύ των υποφερόντων να είναι κατά είναι πάντα 10.94kHz. Αυτό διατηρεί τη διάρκεια των OFDM συμβόλων σταθερή. Η σταθερή απόσταση μεταξύ των υποφερόντων παρέχει καλύτερη ποιότητα σήματος. Το συγκεκριμένο διάστημα των 10.94KHz συνεπάγεται τη χρήση του αριθμού των 128, 256, 1024 ή 2048 υποφερόντων όταν το εύρος ζώνης είναι 1.25MHz, 5MHz, 10MHz ή 20MHz αντίστοιχα. Οι τιμές μεταξύ των 1.25 και των 20MHz προκύπτουν από το διαφορετικό μέγεθος των καναλιών που υποστηρίζει κάθε χώρα. Όταν κατά την χρήση διαφορετικών προτύπων το μέγεθος του FTT διαφέρει, δεν υποστηρίζεται η διαλειτουργικότητα του εξοπλισμού τους. Το OFDMA με μέγεθος FTT 2048 υποστηρίζεται τόσο από το fixed όσο και από το mobile WiMAX. Μια εναλλακτική χρήση έναντι της OFDMA λειτουργίας είναι η scalable OFDMA (sOFDMA) δεδομένου ότι οι διαφορές τους είναι ελάχιστες η οποία υποστηρίζει επίσης την υποκαναλοποίηση [1].

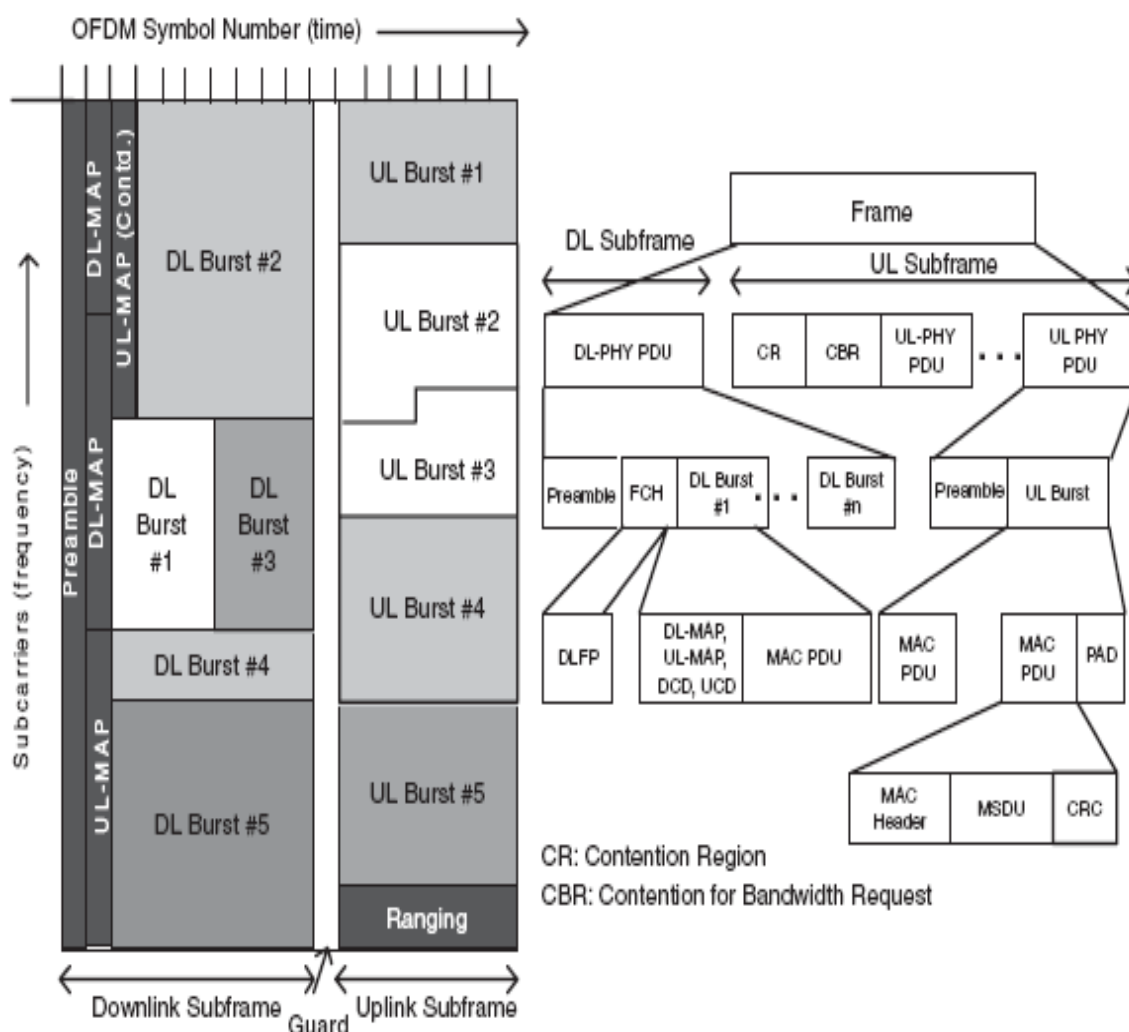
#### 4.10.4 Δομή θυρίδας και πλαισίου

Ο ελάχιστος πόρος που μπορεί να κατανεμηθεί στο πεδίο της συχνότητας ή στο πεδίο του χρόνου για μια δεδομένη ζεύξη σε ένα WiMAX σύστημα ονομάζεται θυρίδα (slot). Κάθε θυρίδα αποτελείται από ένα υποκανάλι, το οποίο αντιστοιχεί σε ένα, δύο ή τρία OFDM σύμβολα, αναλόγως με το σχήμα υποκαναλοποίησης που χρησιμοποιείται. Σε κάθε χρήστη ανατίθεται μια σειρά θυρίδων η οποία

αποκαλείται περιοχή δεδομένων (data region) του χρήστη. Κάποιοι αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού κατανέμουν τις περιοχές δεδομένων στους διάφορους χρήστες ανάλογα της ζήτησης, τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας και τις συνθήκες του καναλιού,.

Το σχήμα 4.23 απεικονίζει ένα OFDMA και OFDM πλαίσιο όταν εφαρμόζεται η TDD τεχνική. Το πλαίσιο υποδιαιρείται σε δύο υποπλαίσια, ένα πλαίσιο κάτω ζεύξης το οποίο ακολουθείται από ένα πλαίσιο άνω ζεύξης με ένα διάστημα ασφαλείας (guard interval) μεταξύ τους. Ο λόγος του υποπλαισίου της κάτω ζεύξης προς το υποπλαίσιο της άνω ζεύξης κυμαίνεται από 3:1 έως 1:1 για την υποστήριξη των διαφορετικών αναγκών ροής κίνησης. Σε κάποια σταθερά WiMAX συστήματα υποστηρίζεται και η FDD τεχνική στη περίπτωση της οποίας, η δομή του πλαισίου είναι ίδια με αυτή της TDD, με τη διαφορά ότι η μετάδοση γίνεται την ίδια χρονική στιγμή σε διαφορετικές όμως συχνότητες. Ωστόσο στη πλειονότητα των περιπτώσεων χρησιμοποιείται η TDD τεχνική εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που διαθέτει όπως ο πιο ευέλικτος διαμοιρασμός του εύρους ζώνης στην άνω και κάτω ζεύξη, το ότι δεν απαιτεί δύο διαφορετικές συχνότητες μετάδοσης και ότι επιτρέπει έναν απλό σχεδιασμό στη πλευρά του δέκτη. Το μειονέκτημα της TDD όμως έγκυται στο ότι απαιτείται συγχρονισμός μεταξύ των πολλαπλών σταθμών βάσης, για την αποφυγή φαινομένων παρεμβολών [1].





Σχήμα 4.23 Δομή ενός TDD frame [1]

Όπως φαίνεται από το σχήμα 4.23 ένα υποπλαίσιο κάτω ζεύξης ξεκινά με το “preamble”, το οποίο χρησιμοποιείται για διαδικασίες όπως ο συχνοτικός και χρονικός συγχρονισμός και η αρχική εκτίμηση καναλιού (initial channel estimation). Το preamble στη συνέχεια ακολουθεί μία κεφαλίδα ελέγχου πλαισίου (frame control header – FCH), η οποία παρέχει στο πλαίσιο πληροφορίες παραμετροποίησης, όπως το MAP μήνυμα, τη τεχνική διαμόρφωσης και κωδικοποίησης και τους χρησιμοποιούμενους υποφορείς. Οι περιοχές δεδομένων που ανατίθενται στους χρήστες καθορίζονται στα MAP μηνύματα της άνω και κάτω ζεύξης (UL-MAP και DL-MAP). Αυτά τα μηνύματα εκπέμπονται ευρέως (broadcasted) αμέσως μετά τη κεφαλίδα ελέγχου πλαισίου της κάτω ζεύξης.

Τα MAP μηνύματα περιλαμβάνουν για κάθε χρήστη ένα προφίλ ριπής (burst profile), στο οποίο ορίζεται το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που

ορίζεται σε αυτή τη ζεύξη. Αν και τα MAP μηνύματα αποτελούν έναν αξιόπιστο τρόπο για την πληροφόρηση της δομής του πλαισίου και του προφίλ ριπής των συνδρομητικών σταθμών από το σταθμό βάσης, μπορεί να δημιουργηθεί ένα σημαντικό επίβαρο (overhead), ειδικά στη περίπτωση ενός μεγάλου αριθμού χρηστών με μικρό μέγεθος πακέτων, όπως στη περίπτωση του VoIP. Για τη μετρίαση αυτού του φαινομένου, τα συστήματα του mobile WiMAX προβλέπουν τη προεραϊκή χρήση πολλαπλών sub – MAP μηνυμάτων όπου σε κάθε χρήστη μεταδίδονται με ρυθμούς αναλόγως του SNR που επικρατεί σε κάθε έναν από αυτούς.

Το WiMAX είναι αρκετά ευέλικτο σε ζητήματα που αφορούν τον αριθμό των χρηστών και των πακέτων που πολυπλέκονται ανά πλαίσιο. Ένα μονό πλαίσιο κάτω ζεύξης μπορεί να περιέχει πολλαπλές ριπές διαφόρων μεγεθών και τύπων δεδομένων για τους διάφορους χρήστες. Επίσης το μέγεθός του μπορεί να κυμαίνεται σε διάρκεια από 2 έως και 20 ms, με κάθε ριπή να περιέχει πολλαπλά αλυσιδωτά πακέτα σταθερού ή μεταβλητού μεγέθους ή και μέρη πακέτων που έχουν ληφθεί από υψηλότερα επίπεδα.

Το υποπλαίσιο άνω ζεύξης αποτελείται από πολλαπλές ριπές διαφόρων χρηστών. Ένα μέρος αυτού ανατίθεται για contention-based πρόσβαση, μέσω του καθορισμού συγκεκριμένων χρονικών διαστημάτων (contention slots) τα οποία επιτρέπουν στις συσκευές να ζητήσουν τυχαία κάποια υπηρεσία από το σύστημα. Όταν ο σταθμός συνδρομητή αποκτήσει το πρώτο contention slot μπορεί να μεταδώσει ένα μήνυμα για να απαιτήσει τη πρόσβαση στο σύστημα. Το υποπλαίσιο άνω ζεύξης χρησιμοποιείται ως κανάλι ταξινόμησης (ranging channel), για τη ρύθμιση της εκπεμπόμενης ισχύος κατά την είσοδο στο δίκτυο ή για αιτήσεις εύρους ζώνης στην άνω ζεύξη από τους σταθμούς συνδρομητών. Επιπλέον, best-effort δεδομένα μπορούν να σταλούν στο contention-based κανάλι όταν η ποσότητα των δεδομένων είναι πολύ μικρή για να αφιερωθεί ένα ολόκληρο κανάλι για την αποστολή τους. Επιπλέον το υποπλαίσιο άνω ζεύξης διαθέτει ένα κανάλι δείκτη ποιότητας καναλιού (Channel-Quality Indicator Channel – CQICH) για να τροφοδοτεί το σταθμό βάσης με τις πληροφορίες αυτές και ένα κανάλι αναγνώρισης (acknowledgment channel) για το σταθμό συνδρομητή για να τροφοδοτεί τη κάτω ζεύξη.

Για το χειρισμό των χρονικών αποκλίσεων το WiMAX υποστηρίζει προαιρετικά τη συχνή χρήση μικρών preambles (midables). Στην άνω ζεύξη αυτά μπορούν να

χρησιμοποιούνται ανά 8, 16 ή 32 σύμβολα και στη κάτω ζεύξη να τοποθετούνται στην αρχή κάθε ριπής. Έχει παρατηρηθεί ότι η χρήση των midables ανά 10 σύμβολα επιτρέπουν τη κινητικότητα σε ταχύτητες έως 150 Km/h.

#### **4.10.5 Προσαρμοστική Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση**

Η προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (adaptive modulation and coding - AMC) αυξάνει σημαντικά τη συνολική χωρητικότητα του συστήματος. Οι συνδυασμοί των σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης στο WiMAX αποτελούν τα προφίλ ριπής (burst profiles), με την αλλαγή αυτών των τεχνικών να γίνεται ανά ριπή αναλόγως με τις συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι. Με τη χρήση ενός δείκτη ποιότητας καναλιού (channel quality indicator) ο σταθμός συνδρομητή μπορεί να ενημερώνει το σταθμό βάσης για τη ποιότητα του καναλιού της κάτω ζεύξης. Για την άνω ζεύξη ο σταθμός βάσης μπορεί να υπολογίσει τη ποιότητα καναλιού βάση της ποιότητας του ληφθέντος σήματος. Ο χρονοπρογραμματιστής (scheduler) του σταθμού βάσης μπορεί να υπολογίσει της άνω και κάτω ζεύξης για κάθε χρήστη επιλέγοντας το κατάλληλο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης το οποίο θα αυξάνει την διαεκπεραιότητα (throughput) για κάθε δεδομένο SNR. Άλλοι παροδικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η επιλογή του σχήματος διαμόρφωσης είναι η απόσταση μεταξύ του σταθμού βάσης και του χρήστη, οι καιρικές συνθήκες και οι παρεμβολές των σημάτων. Ο πίνακας 4.6 απαριθμεί τα διάφορα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που υποστηρίζει το WiMAX. Στην άνω ζεύξη τα QPSK, 16 QAM, και 64 QAM σχήματα διαμόρφωσης είναι υποχρεωτικά τόσο για το fixed όσο και για το mobile WiMAX. Όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός της διαμόρφωσης (high-order modulation) τόσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης που επιτυγχάνεται. Ωστόσο οι τεχνικές υψηλότερου βαθμού διαμόρφωσης είναι πιο ευαίσθητες στο θόρυβο και σε παρεμβολές προκαλώντας μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης εσφαλμένων bit (Bit Error Rate - BER).

Η κωδικοποίηση καναλιού καλύπτει την απαίτηση της συντήρησης των υψηλών ρυθμών μετάδοσης, μέσω της αποτροπής και της διόρθωσης των σφαλμάτων αυτής. Η τεχνική της κωδικοποίησης καναλιού πραγματοποιείται μέσω της διαδικασιών της τυχαιοποίησης (randomization), της αυτόματης διόρθωσης

σφαλμάτων (Forward Error Correction - FEC) και της διεμπλοκής (interleaving) κατά την εκπομπή με τη σειρά που αναφέρονται. Οι αντίστοιχες διαδικασίες κατά τη λήψη εφαρμόζονται με αντίστροφη σειρά. Ο σκοπός της τυχαιοποίησης είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη διατήρηση της ακεραιότητας των δεδομένων, μέσω της κρυπτογράφησης φυσικού επιπέδου ώστε να αποτραπεί μια πιθανή αποκωδικοποίηση των δεδομένων από κάποιο κακόβουλο δέκτη (rogue receiver). Η τυχαιοποίηση εφαρμόζεται σε κάθε FEC block στην άνω και κάτω ζεύξη. Ένα FEC block αποτελείται από έναν αριθμό υποκαναλιών, το πλήθος των οποίων εξαρτάται από το σχήμα κωδικοποίησης καναλιού και το τύπο της διαμόρφωσης. Τα preambles δεν υφίστανται τη διαδικασία της τυχαιοποίησης. Οι υποχρεωτικοί FEC κώδικες που χρησιμοποιούνται οι οποίοι βασίζονται στη δυαδική, μη αναδρομική συνελικτική κωδικοποίηση (Convolutional Coding - CC). Ενδεικτικά αναφέρουμε τον RS-CC (Reed–Solomon Convolutional Code) για το OFDM PHY. Ωστόσο γίνεται χρήση και κάποιων προαιρετικών FEC κωδικών στο OFDM και στο OFDMA PHY όπως ο CTC (Convolutional Turbo Code) και ο LDPC (Low Density Parity Check). Ο CTC αξίζει ιδιαίτερης προσοχής εξαιτίας της πολύ καλής απόδοσης και ευρείας χρήσης του και σε άλλα αύρματα ευρυζωνικά συστήματα όπως το HSDPA και το 1xEV-DO. Η διεμπλοκή χρησιμοποιείται για τη προστασία της μετάδοσης έναντι των ακολουθιών διαδοχικών σφαλμάτων που είναι δύσκολο να διορθωθούν. Αυτές οι ακολουθίες σφαλμάτων μπορεί να οδηγήσουν στην απώλεια των μεταδιδόμενων ριπών. Η διεμπλοκή μέσω κάποιου διαφορισμού μπορεί να διευκολύνει τη διόρθωση αυτών των σφαλμάτων. Η διεμπλοκή εκτελείται ανεξάρτητα σε κάθε FEC block [1].

**Πίνακας 4.6** Υποστηριζόμενα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης φυσικού επιπέδου [9]

|            | Downlink   | Uplink  |
|------------|--|---|
| Modulation | BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM; BPSK optional for OFDMA-PHY  | BPSK, QPSK, 16 QAM; 64 QAM optional   |
| Coding     | Mandatory: convolutional codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6<br>Optional: convolutional turbo codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; repetition codes at rate 1/2, 1/3, 1/6, LDPC, RS-Codes for OFDM-PHY | Mandatory: convolutional codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6<br>Optional: convolutional turbo codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; repetition codes at rate 1/2, 1/3, 1/6, LDPC |

#### 4.10.6 Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων

Γνωρίζοντας την ευελιξία του φυσικού επιπέδου του WiMAX οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων ποικίλουν, εξαρτώμενοι κυρίως από το εύρος ζώνης του καναλιού, τον τύπο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται καθώς και τον αριθμό των υποκαναλιών. Ο πίνακας 4.7 απαριθμεί τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που επιτυγχάνονται στο WiMAX ανάλογα με το εκάστοτε σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται.

**Πίνακας 4.7** Ρυθμοί μετάδοσης φυσικού επιπέδου με διαφορετικό εύρος ζώνης καναλιού [1]

| Channel bandwidth        | 3.5MHz                     |       | 1.25MHz        |     | 5MHz      |       | 10MHz       |       | 8.75MHz <sup>a</sup> |              |  |
|--------------------------|----------------------------|-------|----------------|-----|-----------|-------|-------------|-------|----------------------|--------------|--|
| PHY mode                 | 256 OFDM                   |       | 128 OFDMA      |     | 512 OFDMA |       | 1,024 OFDMA |       | 1,024 OFDMA          |              |  |
| Oversampling             | 8/7                        |       | 28/25          |     | 28/25     |       | 28/25       |       | 28/25                |              |  |
| Modulation and Code Rate | PHY-Layer Data Rate (kbps) |       |                |     |           |       |             |       |                      |              |  |
|                          | DL                         | UL    | DL             | UL  | DL        | UL    | DL          | UL    | DL                   | UL           |  |
| BPSK, 1/2                | 946                        | 326   | Not applicable |     |           |       |             |       |                      |              |  |
| QPSK, 1/2                | 1,882                      | 653   | 504            | 154 | 2,520     | 653   | 5,040       | 1,344 | 4,464                | 1,120        |  |
| QPSK, 3/4                | 2,822                      | 979   | 756            | 230 | 3,780     | 979   | 7,560       | 2,016 | 6,696                | 1,680        |  |
| 16 QAM, 1/2              | 3,763                      | 1,306 | 1,008          | 307 | 5,040     | 1,306 | 10,080      | 2,688 | 8,928                | 2,240        |  |
| 16 QAM, 3/4              | 5,645                      | 1,958 | 1,512          | 461 | 7,560     | 1,958 | 15,120      | 4,032 | 13,392               | 3,360        |  |
| 64 QAM, 1/2              | 5,645                      | 1,958 | 1,512          | 461 | 7,560     | 1,958 | 15,120      | 4,032 | 13,392               | 3,360        |  |
| 64 QAM, 2/3              | 7,526                      | 2,611 | 2,016          | 614 | 10,080    | 2,611 | 20,160      | 5,376 | 17,856               | 4,480        |  |
| 64 QAM, 3/4              | 8,467                      | 2,938 | 2,268          | 691 | 11,340    | 2,938 | 22,680      | 6,048 | 20,088               | 5,040        |  |
| 64 QAM, 5/6              | 9,408                      | 3,264 | 2,520          | 768 | 12,600    | 3,264 | 25,200      | 6,720 | 22,320               | <b>5,600</b> |  |

#### 4.10.7 Παραλλαγές Διεπαφών Φυσικού Επιπέδου

Το φυσικό επίπεδο του WiMAX υποστηρίζει πέντε διαφορετικούς τύπους διεπαφών με τον κάθε ένα να χρησιμοποιεί διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων, τεχνικές μετάδοσης και διαμόρφωσης σε συνθήκες οπτικής ή μη οπτικής επαφής. Οι τύποι διεπαφών που χρησιμοποιούνται συνοψίζονται στον πίνακα 4.8.

**Πίνακας 4.8** Παραλλαγές διεπαφών φυσικού επιπέδου

| Τύπος Διεπαφής           | Ζώνη Συχνοτήτων                               | Συνθήκη Μετάδοσης | Τύπος Διαμόρφωσης    | Τεχνική Μετάδοσης |
|--------------------------|---|-------------------|----------------------|-------------------|
| <b>WirelessMAN-SC</b>    | 10-66GHz                                      | LOS               | Single Carrier (SC)  | FDD και TDD       |
| <b>WirelessMAN-SCa</b>   | 2-11GHz                                       | NLOS              | Single Carrier (SC)  | FDD και TDD       |
| <b>WirelessMAN-OFDM</b>  | 2-11GHz                                       | NLOS              | OFDM                 | FDD και TDD       |
| <b>WirelessMAN-OFDMA</b> | 2-11GHz                                       | NLOS              | 2048 υπο-φορέων OFDM | FDD και TDD       |
| <b>WirelessHUMAN</b>     | Ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων κάτω των 11GHz       | NLOS              | SC, OFDM, OFDMA      | TDD               |
|                          | Αδειοδοτούμενη ζώνη συχνοτήτων κάτω των 11GHz |                   |                      | FDD και TDD       |

#### 4.11 Επίλογος

Η WiMAX τεχνολογία σήμερα προσφέρει ένα εύρος προτύπων με από τα πιο πρόσφατα εξ' αυτών να είναι το IEEE 802.j-2009. Το πρότυπο αυτό προτάθηκε για την αύξηση του εύρους κάλυψης και του ρυθμού δεδομένων των mobile WiMAX δικτύων και βασίζεται στα multi-hop ασύρματα δίκτυα αναμετάδοσης. Επιπλέον το IEEE 802.16m πρότυπο αποτελεί τη βασική τεχνολογία της 2<sup>ης</sup> έκδοσης του mobile WiMAX, στόχος του οποίου είναι η μακροπρόθεσμη εξέλιξη του WiMAX και η επίτευξη ρυθμών μετάδοσης για τους εν κινήσει χρήστες 100 Mbps και για τους σταθερούς χρήστες της τεχνολογίας ρυθμούς μετάδοσης έως 1 Gbps. Η 2<sup>η</sup> έκδοση του mobile WiMAX αναμένεται να είναι διαθέσιμη στο χρονικό διάστημα 2011-2012.

#### 4.12 Βιβλιογραφία

- [1] Syed A., Mohammad I., (Sep. 2007), "WiMAX Applications", CRC Press
- [2] <http://www.conniq.com/WiMAX/mimo-02.htm> (Τελευταία πρόσβαση 22/06/2010)
- [3] <http://www.conniq.com/WiMAX/aas.htm>
- [4] Loutfi N., (2007), "WiMAX-Technology for Broadband Wireless Access ", John Wiley & Sons, Ltd, ENST Bretagne , France
- [5] <http://csrc.nist.gov/publications/drafts/800-127/draft-sp800-127.pdf> (Τελ. πρόσβ. 22/06/2010)
- [6] V. Genc, S. Murphy, J. Murphy, "Performance Analysis of Transparent Relays in 802.16j MMR Networks", UCD School of Computer Science and Informatics Dublin, Ireland
- [7] <http://3g4g.blogspot.com/2007/06/ofdm-and-ofdma-difference.html> (Τελ. πρόσβ. 22/06/2010)
- [9] J. G. Andrews, A. Ghosh, R. Muhamed, (2007) "Fundamentals of WiMAX", Prentice Hall, US
- [10] [http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX#WiMAX\\_Forum](http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX#WiMAX_Forum) (Τελευταία πρόσβαση 22/06/2010)

---

## Κεφάλαιο 5

# IPTV over WiMAX

---



## 5.1 Εισαγωγή

Με τις υπηρεσίες της IPTV τεχνολογίας να είναι διαθέσιμες στους συνδρομητές ανά πάσα στιγμή, ο επόμενος στόχος της IPTV είναι να καθιστήσει τις υπηρεσίες αυτές διαθέσιμες σε οποιοδήποτε σημείο βρίσκεται ο συνδρομητής [1], χωρίς απώλειες στην ποιότητα του ήχου και της εικόνας, μέσω οποιασδήποτε φορητής συσκευής και μέσω οποιοδήποτε δικτύου. Επιθυμία των συνδρομητών επίσης είναι η πρόσβαση μέσω αυτών των συσκευών και σε άλλες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων [2]. Σε αυτό το σημείο απαιτείται μια ασύρματη τεχνολογία η οποία θα υποστηρίζει το χαρακτηριστικό της κινητικότητας.

Οι περισσότερες υπηρεσίες τηλεόρασης διανέμονται έως και σήμερα κυρίως με τη χρήση δορυφορικών ή επίγειων τεχνολογιών. Αν και με τη χρήση των ασύρματων τεχνολογιών προστίθενται επιπλέον παράγοντες εξασθένησης, αυτοί ωστόσο δεν αποτελούν ουσιαστικό εμπόδιο στη μεταφορά τους. Το WiMAX αποτελεί μια εναλλακτική λύση ασύρματης πρόσβασης έναντι της DSL τεχνολογίας, των καλωδιακών υποδομών και των 3G τεχνολογιών, για τη διανομή των IPTV υπηρεσιών σε κινητές συσκευές μικρής οθόνης. Μετά την υιοθέτησή του WiMAX τον Οκτώβριο του 2007 από το IMT-2000 του ITU, το οποίο αποτελεί το «χαρτοφυλάκιο» των 3G προτύπων, το WiMAX θεωρείται πλέον μία επιλογή για τη διανομή IPTV υπηρεσιών μέσω των 3G τεχνολογιών παρά μία εναλλακτική λύση. Επειδή το WiMAX αποτελεί μια τεχνολογία πρόσβασης βασισμένη στο IP είναι πολύ πιο αποτελεσματικό για υπηρεσίες που βασίζονται στο IP, συγκριτικά με τις τρέχουσες 3G τεχνολογίες [3].

Η multicast ικανότητα μετάδοσης του WiMAX σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και σε περιοχές μη οπτικής επαφής καθώς και η αποδοτικότητα της συμπίεσης επιτρέπει στο σταθμό βάσης να αποστέλλει πακέτα βίντεο σε ένα υποσύνολο του συνόλου των SSs, για την εξοικονόμηση εύρους ζώνης. Γενικά τα δίκτυα πυρήνα είναι packet-based ωστόσο τα δίκτυα πρόσβασης δεν είναι πάντα packet-based. Ένα WiMAX δίκτυο το οποίο είναι ένα εξολοκλήρου IP-based δίκτυο πρόσβασης προσφέρει διαφάνεια στα packet-based δίκτυα πυρήνα. Η real-time μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων απαιτεί μικρούς χρόνους καθυστέρησης κάτι το οποίο ικανοποιείται μέσω της rtPS υπηρεσίας ενός WiMAX δικτύου έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η άμεση αλλαγή των καναλιών. Επιπλέον οι IPTV υπηρεσίες παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην εξασθένηση των καναλιών εξαιτίας της πολυδιόδευσης (multipath fading channels) με τη χρήση της OFDM και της

OFDMA τεχνικής στο φυσικό επίπεδο, οι οποίες προσφέρουν ανθεκτικότητα στη μετάδοση των IPTV υπηρεσιών. Επίσης η χρήση της προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης αλλά και της αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων αυξάνει τη χωρητικότητα του συστήματος και βελτιώνει την ποιότητα της μετάδοσης των υπηρεσιών βίντεο. Τέλος το φυσικό επίπεδο του WiMAX υποστηρίζει ποικίλα μεγέθη frames και κλιμακούμενο (scalable) εύρος ζώνης. Αυτό και όλα τα παραπάνω καθιστούν το WiMAX έναντι των καλωδιακών, του DSL και των δορυφορικών λύσεων μια ιδανική επιλογή για τη διανομή των IPTV εφαρμογών [1].

## 5.2 Πλεονεκτήματα IPTV over WiMAX

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση των WiMAX δικτύων για τη διανομή των IPTV υπηρεσιών είναι τα εξής:

- **Μεγιστοποίηση του αριθμού των συνδρομητών:** Είναι προφανές ότι η επιτυχία των φορέων παροχής των IPTV υπηρεσιών αξιολογείται από τον όγκο των κερδών, γεγονός που εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των IPTV συνδρομητών. Συνεπώς το WiMAX προσφέροντας μεγαλύτερες περιοχές κάλυψης και εύρος ζώνης συγκριτικά με άλλες ασύρματες τεχνολογίες μπορεί να φιλοξενήσει και μεγαλύτερο πλήθος συνδρομητών.
- **Κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών:** Όπως έχει προαναφερθεί η xDSL τεχνολογία και η καλωδιακή ευρυζωνική πρόσβαση δεν είναι εφικτή σε πολύ απομακρυσμένες περιοχές είτε λόγω των φυσικών περιορισμών που τίθενται, είτε λόγω του μικρού αριθμού των πιθανών χρηστών. Σε αυτή την περίπτωση η χρήση του WiMAX αποτελεί μια εναλλακτική επιλογή για τη διανομή των IPTV υπηρεσιών σε αυτούς τους χρήστες.
- **Επεκτασιμότητα και μικρότερο κόστος:** Η επέκταση της xDSL τεχνολογίας και το κόστος της καλωδίωσης δεν είναι τόσο προσιτά όσο οι ασύρματες MAN τεχνολογίες.
- **Σύγκλιση υπηρεσιών:** Οι φορείς παροχής υπηρεσιών αναζητούν νέες λύσεις για την παροχή triple play ή quadruple play υπηρεσιών, με το WiMAX να αποτελεί μια καλή εν δυνάμει λύση για την παροχή νέων υπηρεσιών όπως η mobile VoIP τηλεφωνία. Με τη λειτουργία της IPTV

μέσω του WiMAX επιτυγχάνεται περαιτέρω μείωση του κόστους καθώς διατίθενται περισσότερες υπηρεσίες κάτω από μια κοινή υποδομή.

- **Υποστήριξη των μελλοντικών τάσεων:** Το WiMAX φαίνεται να κερδίζει έδαφος στην υποστήριξη κάποιων μελλοντικών τάσεων της IPTV τεχνολογίας στα πλαίσια της κινητικότητας και της υποστήριξης βίντεο υψηλής ποιότητας όπως το HDTV. Οι IPTV υπηρεσίες γίνονται πλέον ελκυστικές όχι μόνο για τους οικιακούς IPTV συνδρομητές αλλά και για τους εν κινήσει χρήστες χωρίς απώλειες στην ποιότητα του διανεμηθέν περιεχομένου [2].

### 5.3 Τεχνολογικές προκλήσεις

Οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η διανομή των IPTV υπηρεσιών μέσω του WiMAX έγκεινται στα εξής χαρακτηριστικά:

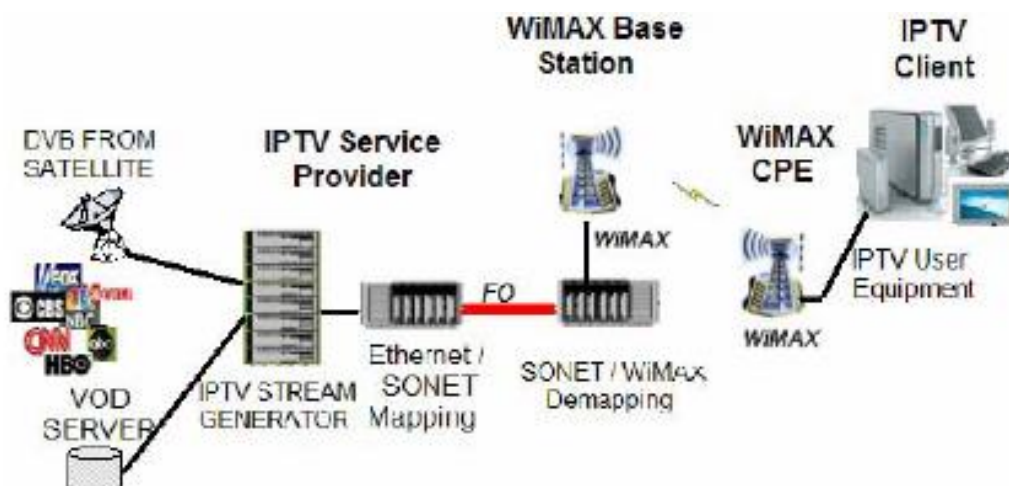
- **Jitter.** Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει κατά το χειρισμό βίντεο από τα IP δίκτυα οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο το δίκτυο χειρίζεται τα δεδομένα. Το IP δίκτυο, διασπά τα δεδομένα σε πακέτα τα οποία αποστέλλει έπειτα ξεχωριστά. Τα πακέτα αυτά ανασυντίθενται στον τελικό προορισμό τους. Εντούτοις, λόγω αλλαγών στη δρομολόγηση, της συμφόρησης των δικτύων ή λόγω του συγχρονισμού, τα πακέτα όλα δεν φθάνουν στο προορισμό τους με τον ίδιο ρυθμό ή ακόμη και στη σωστή σειρά. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση ενός buffer στον οποίο τα πακέτα αποθηκεύονται.
- **Overhead.** Σε ένα packet-based σύστημα κατά τη μεταφορά ενός πακέτου από επίπεδο σε επίπεδο αυξάνεται το overhead στο αρχικό πακέτο δηλαδή αυξάνεται το μέγεθος της κεφαλίδας του πακέτου με συνέπεια να μειώνεται η χωρητικότητα του ωφέλιμου φορτίου και να επέρχεται αλλαγή στην ποιότητα του IPTV σήματος. Οι UDP, TCP και IP κεφαλίδες παραμένουν μέσα στο ωφέλιμο φορτίο και δεν μπορούν να προσεγγιστούν μέσα σε ένα σύστημα WiMAX. Το επιπλέον overhead που δημιουργείται από το WiMAX στο MAC και PHY επίπεδο, μπορεί να μειωθεί με τη χρήση της PHS (Payload Header Suppression) τεχνικής καθώς και μεθόδους συμπίεσης της κεφαλίδας (Robust Header Compression - ROHC) [1]. Δηλαδή η PHS

αφαιρεί τις περιττές πληροφορίες του ωφέλιμου φορτίου της κεφαλίδας στο MAC SDU. Η τεχνική αυτή οδηγεί σε μια συμπιεσμένη κεφαλίδα η οποία πρέπει να αποκατασταθεί πριν τη χρήση της από το δέκτη [4, 5].

- **Κατανάλωση ισχύος.** Δεδομένου ότι ένα η προβολή ενός προγράμματος μπορεί να διαρκέσει μερικές ώρες, η κατανάλωση ισχύος είναι ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα στο σχεδιασμό ενός συστήματος WiMAX για την υποστήριξη των IPTV υπηρεσιών. Μία καλή λύση φαίνεται να είναι οι διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας του WiMAX όπως η κατάσταση ύπνου και η κατάσταση ηρεμίας. Ένας άλλος τρόπος μείωσης της κατανάλωσης ισχύος είναι η χρήση δεκτών υψηλής ευαισθησίας. Δεδομένου ότι το επίπεδο ισχύος του πομπού και η ευαισθησία του δέκτη είναι αντιστρόφως ανάλογα, όσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία του δέκτη τόσο χαμηλότερη ισχύς απαιτείται από τον πομπό γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των μπαταριών των φορητών συσκευών [1].
- **Χωρητικότητα συστήματος.** Η ανάγκη για την ικανοποίηση ολοένα και μεγαλύτερου πλήθους IPTV συνδρομητών φαίνεται να ικανοποιείται από τη χρήση του WiMAX μέσω της χρήσης πολλαπλών κεραιών υψηλής απόδοσης από το σταθμό βάσης, κάθε μία από τις οποίες κατατέμενεται σε μικρότερους τομείς (sectorized antennas) για ολοκληρωμένη κάλυψη 360°. Αυτός ο τύπος κεραιών είναι ένας ακόμη τρόπος για την αύξηση της ποιότητας των IPTV υπηρεσιών σε ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις για ένα μεγάλο πλήθος σταθερών και εν κινήσει συνδρομητών [6].

#### 5.4 Προτεινόμενη αρχιτεκτονική

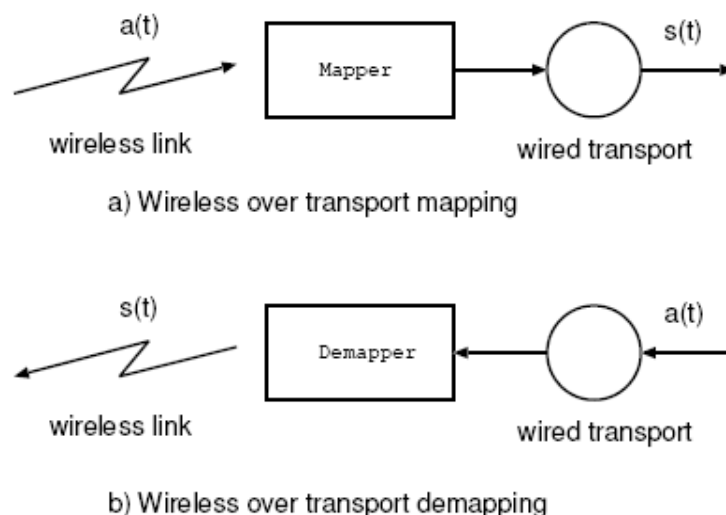
Στο σχήμα 5.1 φαίνεται η προτεινόμενη αρχιτεκτονική σύμφωνα με την ερευνητική βιβλιογραφία [6] για τη μετάδοση των IPTV υπηρεσιών μέσω του WiMAX για ένα σταθερό συνδρομητή. Εάν ο φορέας παροχής υπηρεσιών διαθέτει ένα σταθμό βάσης η IPTV ροή δεδομένων ενθυλακώνεται σε OFDM frames, διαφορετικά τα δεδομένα ανατίθενται σε μια ενδιάμεση σύνδεση μεταξύ του παρόχου και του σταθμού βάσης. Αυτή η ενδιάμεση σύνδεση μπορεί να είναι υλοποιηθεί με τη χρήση του SONET.



Σχήμα 5.1 Αρχιτεκτονική διανομής IPTV υπηρεσιών για σταθερούς WiMAX συνδρομητές [6]

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητος ο μετασχηματισμός των δεδομένων στον πάροχο καθώς και στο σταθμό βάσης μέσω των mapping και demapping διαδικασιών. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 5, η mapping διαδικασία αναφέρεται στην ενθυλάκωση των πακέτων των δεδομένων που προέρχονται από την εναέρια σύνδεση στο Ethernet/SONET δίκτυο μεταφοράς και η demapping διαδικασία στην αφαίρεση αυτών των πληροφοριών ελέγχου από τα πακέτα των δεδομένων κατά τη μεταφορά τους από το Ethernet/SONET στην εναέρια σύνδεση [7].

Τα πακέτα των δεδομένων μπορεί να προέρχονται από διαφορετικές εφαρμογές και άρα να έχουν διαφορετική προτεραιότητα. Παραδείγματος χάριν τα πακέτα μιας ροής βίντεο έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα των πακέτων εφαρμογών του διαδικτύου. Επιπλέον οι συνθήκες που επικρατούν στο WiMAX κανάλι επηρεάζουν τη διαδικασία άφιξης αυτών στο Ethernet/SONET δίκτυο. Κατά τη mapping διαδικασία το εύρος ζώνης στο Ethernet/SONET δίκτυο προσαρμόζεται ανάλογα με την κίνηση που έρχεται από το ασύρματο δίκτυο. Η προτεινόμενη προσαρμογή του εύρους ζώνης βασίζεται στη χωρητικότητα του ασύρματου καναλιού και όχι στο ποσοστό του καναλιού που χρησιμοποιείται. Ακόμη και αν δεν υπάρχει κίνηση στην άνω ζεύξη, το εύρος ζώνης προσαρμόζεται ανάλογα με τη χωρητικότητα του ασύρματου καναλιού.

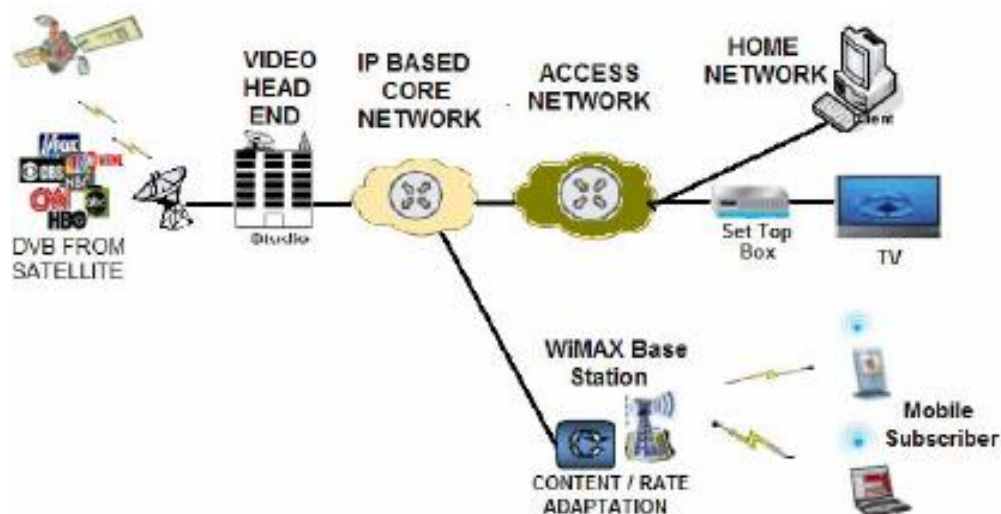


**Σχήμα 5.2** Mapping και demapping διαδικασία κατά τη μεταφορά πακέτων [7]

Κατά τη demapping διαδικασία η ιδανική λύση θα ήταν να προσαρμοστεί το ασύρματο κανάλι που δέχεται την κίνηση από το Ethernet/SONET δίκτυο μεταφοράς. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό και κατά συνέπεια γίνεται προσαρμογή του εύρους ζώνης του καναλιού της κάτω ζεύξης στο Ethernet/SONET δίκτυο, χρησιμοποιώντας έναν τρόπο υπολογισμού του εύρους ζώνης όμοιο με αυτόν που χρησιμοποιείται σε ένα WiMAX κανάλι μεταφοράς. Η προσαρμογή του εύρους ζώνης σε αυτό το δίκτυο ωστόσο εισάγει κάποια καθυστέρηση, όπως επίσης προκαλεί την απώλεια κάποιων πακέτων. Η απώλεια των πακέτων στη κάτω ζεύξη αυτής της σύνδεσης είναι μεγαλύτερη αυτής της άνω ζεύξης διότι η εξασθένηση του καναλιού (channel fading) συμβαίνει γρηγορότερα σε σχέση με την προσαρμογή του εύρους ζώνης [7].

Εν συνεχεία τα OFDM frames μεταφέρονται από το σταθμό βάσης στο SS μέσω της εναέριας σύνδεσης. Ο SS λαμβάνει αυτά τα frames και παράγει τις ροές βίντεο.

Στην περίπτωση των εν κινήσει IPTV συνδρομητών, το IPTV περιεχόμενο αποστέλλεται σε έναν προσαρμογέα περιεχομένου/ρυθμού (content / rate adapter) του σταθμού βάσης. Ο προσαρμογέας αυτός είναι αρμόδιος για τη διαμόρφωση του εύρους ζώνης της IPTV υπηρεσίας σύμφωνα με το διαθέσιμο WiMAX εύρος ζώνης, εκτελεί το encapsulation των IPTV ροών και ενθυλακώνει ξανά τις ροές αυτές. Δηλαδή η προσαρμογή γίνεται σε δύο βήματα, την προσαρμογή ρυθμού και

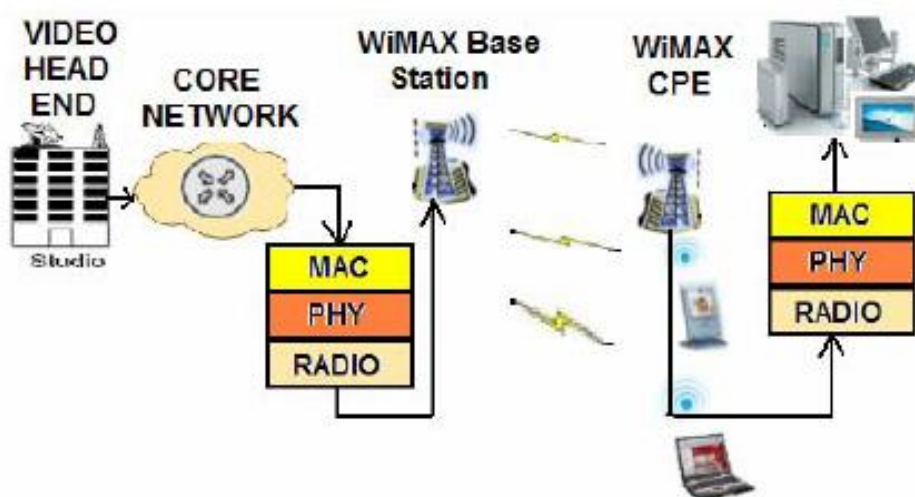


Σχήμα 5.3 Διανομή IPTV υπηρεσιών για σταθερούς και εν κινήσει WiMAX συνδρομητές [6]

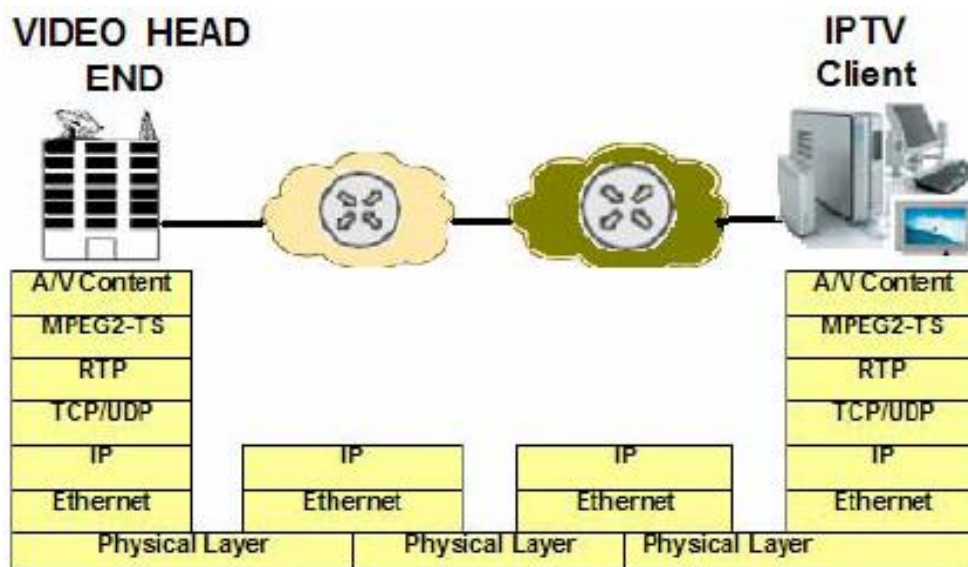
την προσαρμογή περιεχομένου. Η διαδικασία που μόλις περιγράφηκε απεικονίζεται στο σχήμα 5.3 και μπορεί να εφαρμοστεί τόσο για την περίπτωση των εν κινήσει συνδρομητών όσο και στην περίπτωση των σταθερών συνδρομητών.

Στο μοντέλο αυτό προτείνεται η χρήση ενός ταξινομητή κίνησης στο MAC επίπεδο, στο φυσικό επίπεδο προτείνεται η προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση ως σύστημα υποκαναλοποίησης καθώς επίσης και αλγόριθμοι διαχείρισης ισχύος στον πομπό και στο δέκτη για τη βελτίωση της παροχής των IPTV υπηρεσιών στους χρήστες.

Στο IPTV data center (ή video headend) οι πλέον κωδικοποιημένες και συμπιεσμένες MPEG ροές των real-time και VoD προγραμμάτων ενθυλακώνονται ως μηνύματα του RTP πρωτοκόλλου και μεταφέρονται ως UDP ή TCP μηνύματα (datagrams) στο IP επίπεδο. Για τις real-time υπηρεσίες βίντεο χρησιμοποιούνται UDP πόρτες, ενώ για τις VoD TCP πόρτες [1]. Κατόπιν τα IP πακέτα ενθυλακώνονται σε Ethernet frames και αποστέλλονται στο σταθμό βάσης μέσω του φυσικού επιπέδου όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.5. Ο σταθμός βάσης που αποτελεί μέρος του δικτύου πυρήνα [1], λαμβάνει αυτά τα δεδομένα αφαιρεί τις πληροφορίες που ενθυλακώθηκαν στα δεδομένα μέχρι το IP επίπεδο και ενθυλακώνει ξανά αυτά τα δεδομένα σε MAC και PHY PDUs.



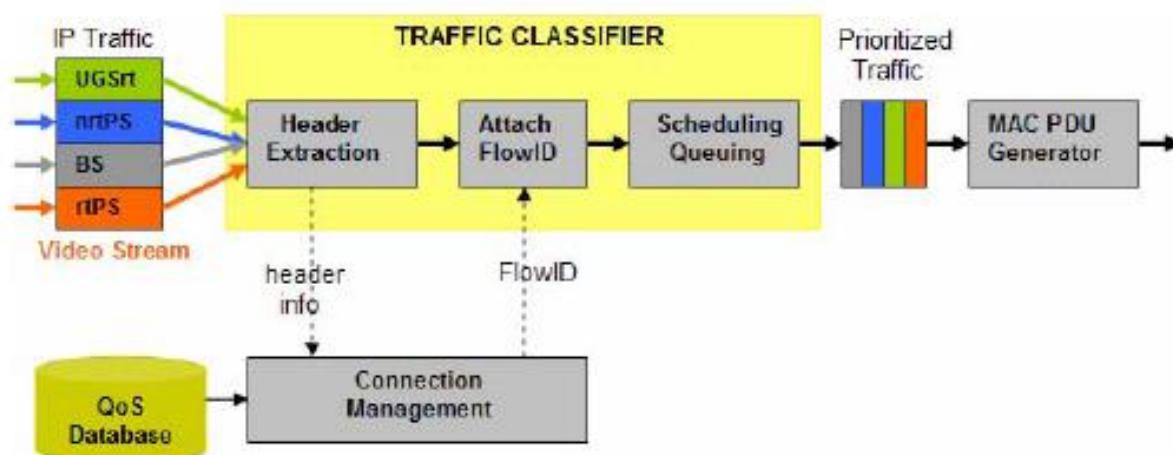
Σχήμα 5.4 Μοντέλο συστήματος IPTV εφαρμογών [6]



Σχήμα 5.5 Στοιβά πρωτοκόλλου IP για τη διανομή IPTV εφαρμογών [6]

Στο σχήμα 5.6 απεικονίζεται η προτεινόμενη υλοποίηση του ταξινομητή κίνησης (traffic classifier) του MAC επιπέδου. Ο σταθμός βάσης λαμβάνει την IP κίνηση κάτω ζεύξης, η οποία μπορεί να περιέχει δεδομένα διαφορετικών τύπων υπηρεσιών (δεδομένα διαδικτύου, φωνής, βίντεο, κ.λπ.). Ανάλογα με τον τύπο της υπηρεσίας η κίνηση ανατίθεται σε μια διαφορετική QoS κλάση, με μια ροή βίντεο





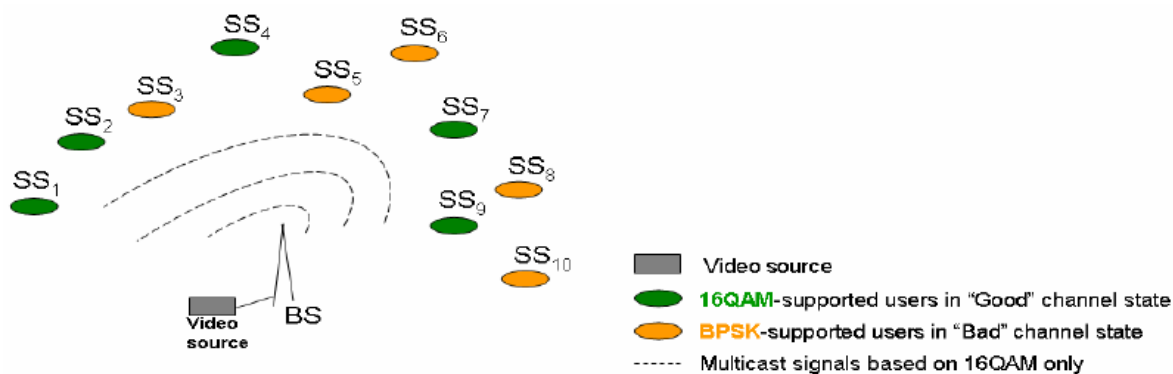
Σχήμα 5.6 QoS υποστήριξη MAC επιπέδου [6]

να χρησιμοποιεί τη rtPS. Ο ταξινομητής κίνησης όπως υποδηλώνεται και από το όνομα του ταξινομεί την εισερχόμενη κίνηση ανάλογα με την προτεραιότητά της και τις QoS απαιτήσεις. Αρχικά αφαιρούνται οι πληροφορίες κεφαλίδας των IP πακέτων και αποστέλλονται σε μια μονάδα διαχείρισης της σύνδεσης (connection management unit). Βάσει αυτών των πληροφοριών κεφαλίδας, η μονάδα αυτή ορίζει ένα μοναδικό FlowID για κάθε πακέτο. Το FlowID περιέχει πληροφορίες σχετικά με τον τύπο υπηρεσίας και τον τύπο σύνδεσης κάθε πακέτου και αποθηκεύεται σε μια QoS βάση σύμφωνα με την QoS πολιτική του πρωτοκόλλου. Για την ικανοποίηση των IPTV υπηρεσιών το πρωτόκολλο αυτό σχεδιάζεται βάσει κάποιων παραμέτρων, όπως αυτών της ελάχιστης/μέγιστης καθυστέρησης, του ελάχιστου/μέγιστου ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων, την πολιτική επαναμετάδοσης κ.λπ. Κατόπιν ο ταξινομητής κίνησης επισυνάπτει τα παραγόμενα FlowIDs στα IP πακέτα και το Scheduling/Queueing μπλοκ ταξινομεί την IP κίνηση καταλλήλως. Στην περίπτωση αυτή η IPTV ροή ενός βίντεο είναι αυτή που πρέπει να έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας παράγονται τα WiMAX MAC PDUs και αποστέλλονται στο φυσικό επίπεδο του WiMAX δικτύου. Η ίδια διαδικασία υλοποιείται και αντιστρόφως για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το IPTV data center.

## 5.5 Multicast διανομή IPTV over WiMAX συστήματος

Παρόλα τα φαινομενικά οφέλη της διανομής των IPTV υπηρεσιών μέσω του WiMAX προκύπτουν διάφορα προβλήματα με το πιο κοινό εξ' αυτών, να είναι αυτό της συμφόρησης που προκαλείται λόγω της χωρητικότητας του σταθμού βάσης ο οποίος μπορεί να υποστηρίξει περιορισμένο αριθμό multicast καναλιών και συνεπώς περιορισμένο αριθμό ενεργών συνδρομητών. Προκειμένου η λειτουργία της IPTV μέσω του WiMAX να είναι επιτυχής, ένα σύστημα WiMAX πρέπει να αξιοποιήσει την ποικιλομορφία των εξασθενίσεων των καναλιών (fading channel diversity) κατά τη διαδικασία της multicast μετάδοσης του βίντεο.

Στην περίπτωση ενός μόνο χρήστη κατά την μεταβολή των συνθηκών του καναλιού στο χρόνο, για τη βελτιστοποίηση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων ή διαφορετικά την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος, εφαρμόζεται η προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση, διάφορες τεχνικές ελέγχου ισχύος κ.λπ. Στο WiMAX ο σταθμός βάσης είναι εκείνος που αποφασίζει το βέλτιστο ρυθμό μετάδοσης ενός βίντεο καθώς και τη στρατηγική με την οποία επιτυγχάνεται η βέλτιστη ποιότητά του. Ωστόσο κατά τη multicast διανομή ενός βίντεο από το σταθμό βάσης σε πολλούς SSs τα πακέτα λαμβάνονται με διαφορετικούς ρυθμούς λόγω του διαφορετικού SNR τους, το οποίο είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών συνθηκών των καναλιών μεταξύ των SSs. Οι συνθήκες των καναλιών εξαρτώνται από την απόσταση των SSs από τον κοινό σταθμό βάσης και από την ποικιλομορφία των εξασθενίσεων των καναλιών κατά τη διαδικασία της multicast μετάδοσης του βίντεο. Για παράδειγμα όπως απεικονίζεται και στο σχήμα 5.7, κατά την αποστολή από το σταθμό βάσης ενός multicast σήματος το οποίο χρησιμοποιεί το 16QAM σχήμα διαμόρφωσης μόνο οι SSs των οποίων η συνθήκες των καναλιών τους είναι «καλές» μπορούν να αποκωδικοποιήσουν το ληφθέν σήμα. Αν όμως ο ρυθμός μετάδοσης του σήματος είναι μικρότερος, δηλαδή χρησιμοποιείται το BPSK σχήμα διαμόρφωσης δε γίνεται επαρκή εκμετάλλευση των πόρων των SSs των οποίων οι συνθήκες των καναλιών τους «καλές». Είναι λοιπόν καίριας σημασίας η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης



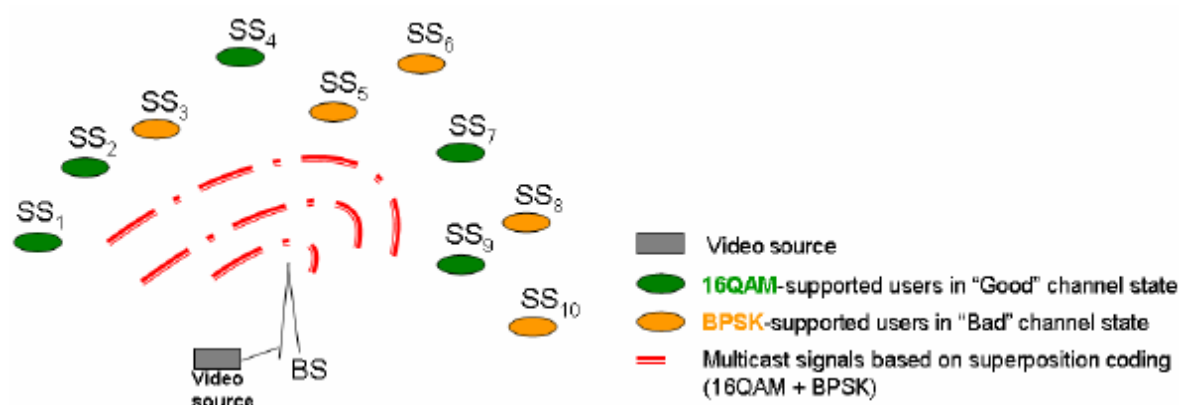
Σχήμα 5.7 Multicast μετάδοση βίντεο σε υπό την ποικιλότητα εξασθένηση των καναλιών [2]

του εύρους ζώνης κατά τη διανομή του IPTV περιεχομένου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εκμετάλλευση της ποικιλομορφίας των καναλιών.

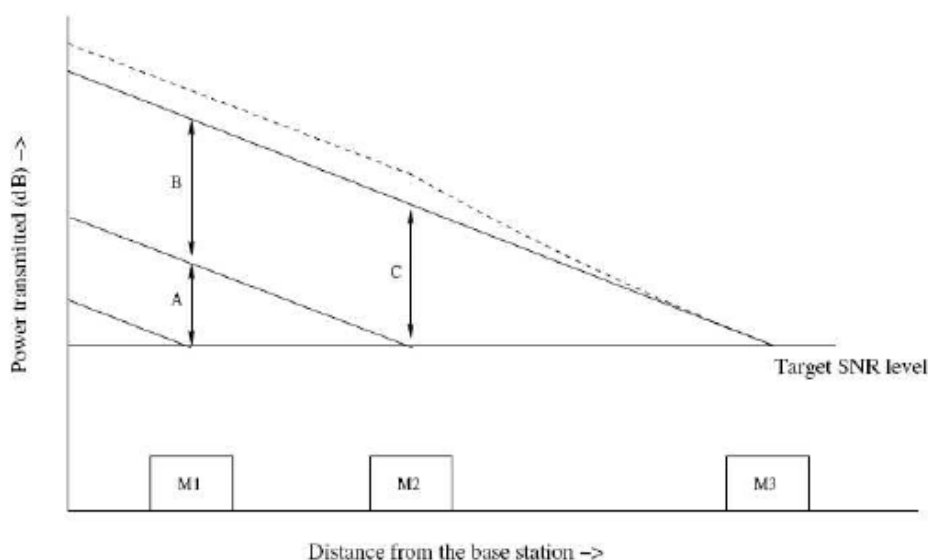
### 5.5.1 Superposition Coded Multicasting τεχνική δύο επιπέδων

Μια πιθανή λύση στο προαναφερθέν πρόβλημα είναι η εφαρμογή της SPCM τεχνικής δύο επιπέδων (2-level Superposition Coded Multicasting), η οποία με τη superposition κωδικοποίηση στο φυσικό επίπεδο του WiMAX διαμορφώνει κατάλληλα το multicast σήμα. Η superposition κωδικοποίηση χρησιμοποιείται γενικώς για την αύξηση της ολικής χωρητικότητας του χρήστη σε ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνιών μέσω της εκμετάλλευσης της χωρικής ή χρονικής ανομοιομορφίας της ισχύος των κοινών broadcast σημάτων μεταξύ των χρηστών [8, 9, 10]. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου κωδικοποίησης απεικονίζεται στο σχήμα 5.8 [10].

Από το σχήμα 5.9 συμπεραίνεται πως όταν ο σταθμός βάσης μεταδίδει σήματα στο M3 χρήστη του SNR για το χρήστη αυτό είναι πολύ μεγαλύτερο από το άθροισμα του SNR των M1 και M2 χρηστών. Με βάση αυτό συμπεραίνεται ότι το SNR του M1 χρήστη είναι ικανοποιητικό έτσι ώστε ο M1 να αποκωδικοποιήσει τα μηνύματα που προορίζονται και για τους δύο υπόλοιπους χρήστες μαζί, καθώς και ότι το SNR του M2 είναι τέτοιου μεγέθους ώστε να μπορεί ο M2 να αποκωδικοποιήσει τα μηνύματα που προορίζονται για το χρήστη M3. Δηλαδή



**Σχήμα 5.8** Προτεινόμενο σχήμα multicast μετάδοσης δύο επιπέδων με τη χρήση superposition κωδικοποίησης [2]



**Σχήμα 5.9** Διαφορά ισχύος μεταξύ των χρηστών ενός ασύρματου συστήματος [10]

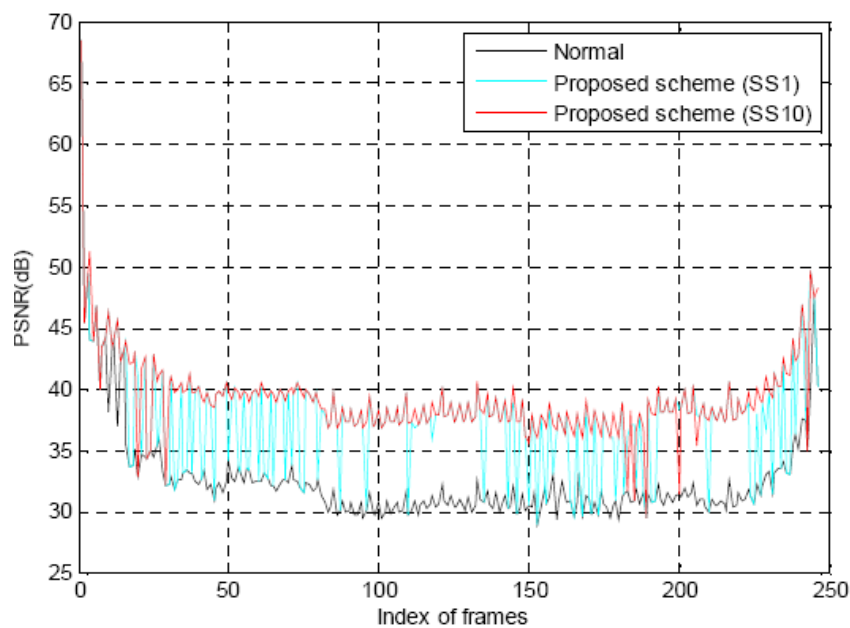
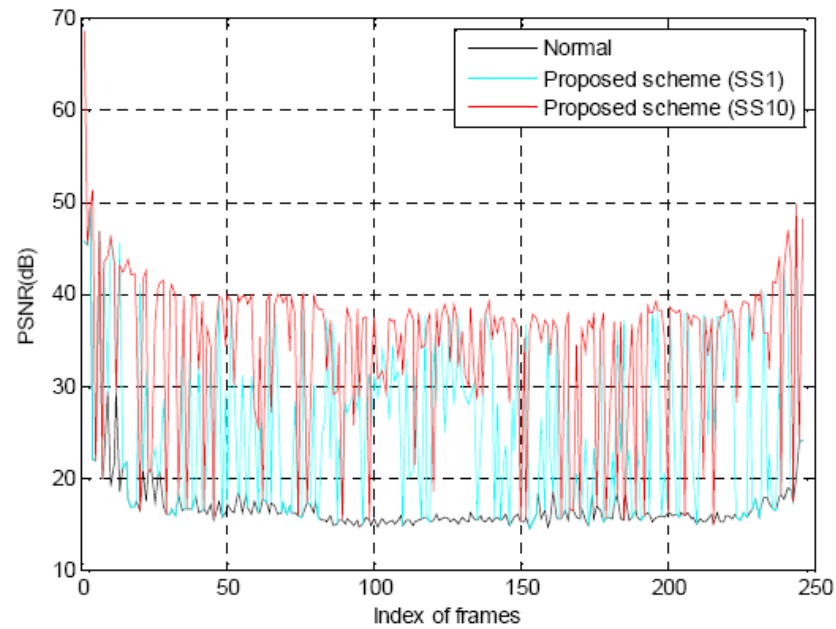
ο σταθμός βάσης μεταδίδει πληροφορίες και στο M2 χρήστη την ίδια στιγμή που μεταδίδει στο χρήστη M3.

Με βάση τα παραπάνω, προτείνεται ένα multicast σχήμα, superposition κωδικοποίησης δύο επιπέδων (SPCM). Σύμφωνα με το σχήμα 5.8 το multicast σήμα δημιουργείται ώστε να περιέχει κάποια δεδομένα διαμορφωμένα από το BPSK σχήμα και κάποια δεδομένα διαμορφωμένα από το 16QAM σχήμα, θεωρώντας ότι όλοι οι SSs μπορούν να υποστηρίξουν το BPSK σχήμα όταν οι συνθήκες των καναλιών τους δεν είναι καλές. Τα δεδομένα κάθε frame

κατηγοριοποιούνται σε δεδομένα βασικής και υψηλής ποιότητας. Έτσι για τη διασφάλιση της ποιότητας ενός βίντεο τα δεδομένα που καθορίζουν τη βασική ποιότητα κάθε βίντεο frame διαμορφώνονται από το BPSK για παράδειγμα, ενώ τα υπόλοιπα δεδομένα με τη χρήση του 16QAM σχήματος καθορίζουν την υψηλότερη ποιότητα. Με βάση αυτό το σχήμα, κάθε SS μπορεί να αποκωδικοποιήσει τουλάχιστον τα BPSK σήματα λαμβάνοντας έτσι τη βασική ποιότητα του βίντεο όταν το κανάλι του βρίσκεται σε «κακή» κατάσταση συνθηκών ή μπορεί να λάβει το βίντεο στη μέγιστη του ποιότητα λαμβάνοντας τόσο τα BPSK διαμορφωμένα δεδομένα όσο και τα 16QAM όταν το κανάλι βρίσκεται σε «καλή» κατάσταση συνθηκών. Το συγκεκριμένο παράδειγμα για λόγους απλότητας χρησιμοποιεί δύο τύπους διαμόρφωσης αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση οποιουδήποτε αριθμού σχημάτων διαμόρφωσης. Ο τύπος διαμόρφωσης που χρησιμοποιούν οι SSs επιλέγεται από το σταθμό βάσης, βάσει των πληροφοριών (feedbacks) που του αποστέλλουν οι SSs.

Θεωρούμε ότι εξαιτίας της εξασθένησης των δεδομένων κατά την αποστολή τους οι συνθήκες των frames αλλάζουν από το ένα frame στο επόμενο, καθώς επίσης και ότι οι συνθήκες του καναλιού κάθε SS δε μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της μετάδοσης κάθε WiMAX frame. Στο σχήμα 5.10(α) και 5.10(β) φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε σε κάθε frame, μεταξύ του προτεινόμενου σχήματος και του παραδοσιακού σχήματος μετάδοσης (legacy scheme), για τη μέτρηση της ποιότητας του βίντεο (η οποία εκτιμάται βάσει του PSNR δείκτη) του SS1 και του SS10 η οποίοι διαθέτουν το χαμηλότερο και το υψηλότερο SNR αντίστοιχα. Το παραδοσιακό σχήμα μετάδοσης χρησιμοποιεί είτε μόνο το BPSK σχήμα διαμόρφωσης, είτε μόνο το 16QAM σχήμα διαμόρφωσης, ανάλογα ποιο σχήμα διαμόρφωσης μπορούν να υποστηρίξουν όλοι οι SSs μαζί. Κατά την προσομοίωση, το ποσοστό δεδομένων βασικής ποιότητας σε κάθε frame είναι 40% στο διάγραμμα του σχήματος 5.10(α) και 80% στο διάγραμμα του σχήματος 5.10(β) [2]. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι το προτεινόμενο σχήμα έχει υψηλότερο PSNR (δηλαδή καλύτερη ποιότητα βίντεο) από το παραδοσιακό σχήμα μετάδοσης και συγκεκριμένα ότι το PSNR (Peak Signal-To-Noise Ratio) είναι μεγαλύτερο (και άρα η ποιότητα καλύτερη) όταν το ποσοστό των δεδομένων βασικής ποιότητας μέσα στο frame είναι μικρότερο. Συνεπώς από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρατηρείται σημαντική

βελτίωση στην απόδοση του συστήματος ως προς το PSNR και τη χωρητικότητα του με τη χρήση της προτεινόμενης SPCM τεχνικής δυο επιπέδων.



**Σχήμα 5.10 (α), (β)** Σύγκριση του PSNR μεταξύ του παραδοσιακού σχήματος μετάδοσης και του προτεινόμενου 2-level SPCM σχήματος για το SS1 και το SS10 αντίστοιχα [2]

## **5.6 Βέλτιστη κατανομή ρυθμού μετάδοσης για την εξελικτική multicast διανομή βίντεο μέσω του WiMAX**

Η προτεινόμενη μέθοδος χρησιμοποιεί κυρίως την προσαρμοστική διαμόρφωση για να επιτυγχάνει την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης κατά τη multicast διανομή (rate-adaptive multicast), σε συνδυασμό με τη layered multicast τεχνική η οποία βασίζεται στην τεχνική την εξελικτικής κωδικοποίησης βίντεο (SVC) τεχνική. Ανάλογα με το μέγεθος κάθε επιπέδου του SS και τον αριθμό των διαθέσιμων συμβόλων, αλλάζει το σχήμα διαμόρφωσης ενός GoF του βίντεο. Κατόπιν της εύρεσης του βέλτιστου σχήματος διαμόρφωσης προτείνεται επίσης ένας γενετικός αλγόριθμος (Genetic Algorithm - GA) για τη μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας.

Σε ένα WiMAX δίκτυο ο σταθμός βάσης είναι αρμόδιος για την κατανομή του εύρους ζώνης, ώστε να επιτυγχάνεται η ποιότητα των υπηρεσιών μέσω της δίκαιης πρόσβασης μεταξύ των χρηστών στους πόρους του δικτύου (fairness). Η προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικές τεχνικές για τη βελτίωση της μέσης ρυθμοαπόδοσης ή για τη μείωση της κατανάλωσης των πόρων.

Σε προγενέστερη μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί έχει προταθεί η χρήση ενός MP-AMC αλγόριθμου, ο οποίος ρυθμίζει τον αριθμό χρονοθυρίδων και το σχήμα διαμόρφωσης κάθε επιπέδου ενός scalable βίντεο. Η μελέτη αυτή θεωρεί ότι χρησιμοποιούνται όλες οι χρονοθυρίδες κατά τη multicast διανομή χρησιμοποιούνται multicasting χωρίς την εξέταση της πιθανότητας κάποιων ανεπαρκών χρονοθυρίδων. Επίσης η μελέτη αυτή γίνεται πιο πολύπλοκη καθώς τίθενται περισσότεροι περιορισμοί όπως η επιλογή του χαμηλότερου ρυθμού κωδικοποίησης για το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στο χαμηλότερο επίπεδο ποιότητας [11].

### **5.6.1 Προτεινόμενο σχήμα βέλτιστης κατανομής του ρυθμού μετάδοσης**

Όπως έχουμε προαναφέρει στα wirelessMAN-OFDMA συστήματα, μια θυρίδα (slot) ορίζεται ως η ελάχιστη μονάδα κατανομής δεδομένων. Ο καθορισμός μιας OFDMA θυρίδας εξαρτάται από τη δομή των OFDMA συμβόλων. Ο τύπος του της δομής του OFDMA συμβόλου που χρησιμοποιείται στην προτεινόμενη υλοποίηση είναι η μερική χρήση των υποκαναλιών στη κάτω ζεύξη (PUSC). Συνεπώς οι

σχέσεις μεταξύ των θυρίδων, των υποκαναλιών και των συμβόλων μπορούν να διατυπωθούν ως εξής:

$$\text{Symbol} = \text{Slot} \times \text{Subchannel} \times 2$$

Θεωρώντας ότι η ισχύς διάδοσης των καναλιών μειώνεται με την αύξηση της απόστασης μεταξύ του σταθμού βάσης και του SS, για την αναπαράσταση των συνθηκών του καναλιού κάθε SS χρησιμοποιείται το Two-Ray Ground Reflection μοντέλο διάδοσης [12] το οποίο διατυπώνεται ως εξής:

$$P_r = P_t \times G_t \times G_r \times \frac{h_t^2 \times h_r^2}{d^4}$$

Όπου οι μεταβλητές  $P_t$  και  $P_r$  αντιπροσωπεύουν την ισχύ του πομπού και του δέκτη αντιστοίχως και οι  $G_t$ ,  $G_r$  δείχνουν το κέρδος των κεραιών αποστολής και λήψης σημάτων. Οι μεταβλητές  $h_t$  και  $h_r$  αναφέρονται στο ύψος του πομπού και του δέκτη, ενώ η  $d$  αναφέρεται στην απόσταση των μέτρων μεταξύ της κεραίας του πομπού και του δέκτη. Με τη χρήση της 2<sup>ης</sup> έκδοσης του JSVM λογισμικού του H.264 προτύπου συμπίεσης βίντεο, παράγονται  $L+1$  επίπεδα βίντεο τα οποία περιλαμβάνουν ένα βασικό επίπεδο και  $L$  προηγμένα επίπεδα σύμφωνα με την κλιμακωσιμότητα του SNR στη SVC. Ένας δέκτης μπορεί να λαμβάνει ένα ή περισσότερα προηγμένα επίπεδα ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι του. Για τη διατήρηση της βασικής ποιότητας του βίντεο για όλους τους δέκτες, πρέπει να εξασφαλιστεί ότι όλοι οι δέκτες μπορούν να λάβουν τουλάχιστον το βασικό επίπεδο ποιότητας. Επομένως, το σχήμα διαμόρφωσης που θα επιλεγεί για το βασικό επίπεδο πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο ισχυρό για την ικανοποίηση όλων των μελών της multicast ομάδας. Με άλλα λόγια, το σχήμα διαμόρφωσης που επιλέγεται δεν είναι απαραίτητα το QPSK αλλά αυτό με το χαμηλότερο SNR σε ολόκληρη τη multicast ομάδα.

### 5.6.2 Επιλογή συνδυασμών των σχημάτων διαμόρφωσης

Για ένα σταθμό βάσης απαιτείται η είσοδος στο δίκτυο και το σχήμα αρχικοποίησης (initialization scheme) του MAC επιπέδου, έτσι ώστε να «σκανάρει» την κάτω ζεύξη ενός καναλιού και να συλλέξει στατιστικά στοιχεία για τους SSs. Ο σταθμός βάσης καθορίζει το μέγιστο επιτρεπτό πλήθος σχημάτων



διαμόρφωσης για κάθε SS σύμφωνα με το SNR του το οποίο λαμβάνεται από τη ranging διαδικασία.

Για τη βεβαίωση ότι κάθε δέκτης θα λάβει όλα τα δεδομένα του βασικού επιπέδου επιλέγεται η μικρότερη ομάδα των SSs που υποστηρίζουν ένα σχήμα διαμόρφωσης της οποίας το πλήθος δεν είναι 0. Συνεπώς η PER (Packet Error Rate) τιμή του δέκτη πρέπει να είναι 0. Γενικά ο αριθμός των διαθέσιμων συμβόλων πρέπει να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που απαιτείται για την αποστολή των δεδομένων του βασικού επιπέδου έτσι ώστε το βασικό επίπεδο να λαμβάνεται ολοκληρωτικά. Μετά την κατανομή των διαθέσιμων συμβόλων στα δεδομένα του βασικού επιπέδου (Base Layer - BL), τα σύμβολα που απομένουν κατανέμονται στα προηγμένα επίπεδα (Enhancement Layers - ELs) σύμφωνα με την ακόλουθη σειρά BL, EL1, EL2..., EL(i). Ο απαιτούμενος αριθμός συμβόλων για κάθε EL, καθορίζεται από το μέγεθος του επιπέδου, το σχήμα διαμόρφωσης του επιπέδου, και τον αριθμό των διαθέσιμων συμβόλων. Επιπλέον ο απαιτούμενος αριθμός συμβόλων για κάθε EL, επηρεάζεται επίσης από τα χαρακτηριστικά των χαμηλότερων επιπέδων και τον αριθμό των συμβόλων που απομένουν μετά από τη χρήση τους στα χαμηλότερα επίπεδα.

Για τη μέτρηση της απόδοσης κάθε συνδυασμού σχημάτων διαμόρφωσης ( $Mod_{BL}$ ,  $Mod_{EL1}$ , ...,  $Mod_{EL(L)}$ ) χρησιμοποιείται το PSNR. Επιπλέον όπως συμβαίνει συνήθως θα πρέπει να ισχύει η σχέση  $Mod_{BL} \leq Mod_{EL1} \leq \dots \leq Mod_{EL(L)}$ , δηλαδή το σχήμα διαμόρφωσης των υψηλότερων επιπέδων ποιότητας να είναι ισχυρότερο από αυτά των χαμηλότερων επιπέδων. Κατόπιν του υπολογισμού του αριθμού των συμβόλων κάθε επιπέδου, το μέγεθος αυτών μετατρέπεται στο ρυθμό μετάδοσης κάθε επιπέδου. Ο ρυθμός λήψης των δεδομένων του χρήστη υπολογίζεται βάσει του ρυθμού λήψης και της PER τιμής που ισχύει για κάθε επίπεδο. Η PER για κάθε επίπεδο μπορεί να είναι είτε 0 είτε 1. Για τον υπολογισμό της, εάν το SNR του δέκτη είναι μεγαλύτερο ή ίσο του SNR του EL επιπέδου (το οποίο SNR εξαρτάται από τη διαμόρφωση του EL), τότε η PER ενός EL επιπέδου για το δέκτη είναι 0, διαφορετικά παίρνει την τιμή 1. Η μέτρηση του PSNR για κάθε χρήστη εξαρτάται από τη σχέση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων και της αλλοίωσης της εικόνας για το συγκεκριμένο χρήστη.

Η βέλτιστη λύση προκύπτει από την εύρεση του ιδανικού συνδυασμού σχημάτων διαμόρφωσης ο οποίος θα ελαχιστοποιεί την αλλοίωση κάθε GoF. Χρησιμοποιώντας το προτεινόμενο αυτό σχήμα αυτό μπορούμε να λάβουμε το

βέλτιστο συνδυασμό των σχημάτων διαμόρφωσης, πάντα σύμφωνα με το διαθέσιμο ρυθμό μετάδοσης, το μέγεθος κάθε επιπέδου ενός GoF και τον αριθμό των διαθέσιμων συμβόλων. Το τελικό κριτήριο για την απόδοση του προτεινόμενου σχήματος της βέλτιστης κατανομής του ρυθμού μετάδοσης είναι η μέση τιμή του PSNR όλων των χρηστών μιας multicast ομάδας. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τη διαφορετική προτεραιότητα των χρηστών, πρέπει να δίνεται έμφαση στους χρήστες με υψηλότερη προτεραιότητα στην επιλογή της διαμόρφωσης.

### 5.6.3 Χρήση Γενετικού Αλγορίθμου για τη μείωση της πολυπλοκότητας

Η προσπάθεια εύρεσης του βέλτιστου συνδυασμού σχημάτων διαμόρφωσης ο οποίος θα ελαχιστοποιεί την αλλοίωση ενός GoF, επιφέρει υψηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος προτείνεται η χρήση ενός γενετικού αλγορίθμου ο οποίος θα διατηρεί την ακρίβεια αυτής της αναζήτησης. Με βάση αυτόν το γενετικό αλγόριθμο ορίζεται ένα «χρωμόσωμα» το οποίο αντιπροσωπεύει έναν συνδυασμό σχημάτων διαμόρφωσης, και περιέχει  $L + 1$  «γονίδια» για κάθε ένα σχήμα διαμόρφωσης ( $Mod_{BL}$ ,  $Mod_{EL1}$ , ...,  $Mod_{EL(L)}$ ). Κάποια από αυτά τα «χρωμοσώματα» τα οποία μπορεί να μην είναι ικανά να υπακούουν στους περιορισμούς της προτεραιότητας των χρηστών καλούνται παράνομα χρωμοσώματα και πρέπει να διορθωθούν. Λόγω αυτών των παράνομων «χρωμοσωμάτων» πρέπει η θέση των «γονιδίων» να επαναπροσδιορίζεται έτσι ώστε να ισχύει η  $Mod_{BL} \leq Mod_{EL1} \leq \dots \leq Mod_{EL(L)}$  σχέση. Ο γενετικός αυτός αλγόριθμος κάνει χρήση ενός Roulette wheel αλγορίθμου επιλογής. Σύμφωνα με αυτόν τα «γονίδια» που είναι καταλληλότερα έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες «επιβίωσης» έναντι των άλλων. Επιπλέον χρησιμοποιείται η one-cut-point μέθοδος διασταύρωσης [13] για την παραγωγή των «απογόνων». Βάσει ενός ποσοστού αλλαγής, μία μερίδα των «γονιδίων» αλλάζει. Για τη διαβεβαίωση ότι το καταλληλότερο «χρωμόσωμα» δε θα χαθεί, γίνεται αντιγραφή του «χρωμοσώματος» που θεωρείται καταλληλότερο στην επόμενη «γενιά». Όταν η εξέλιξη ολοκληρώνεται, το «χρωμόσωμα» με την μεγαλύτερη καταλληλότητα μεταξύ όλων των «γενεών» θεωρείται ότι είναι η αμέσως προηγούμενη καταλληλότερη λύση από τη βέλτιστη λύση που προτείνεται

για την εύρεση του καταλληλότερου συνδυασμού σχημάτων διαμόρφωσης με την ελάχιστη αλλοίωση σε ένα GoF.

### **5.7 Cross-layer σχεδιασμός για την ανθεκτική διανομή IPTV υπηρεσιών μέσω WiMAX**

Οι δέκτες μιας ασύρματης multicast διανομής έχουν διαφορετικό SNR με αποτέλεσμα να μπορούν να υποστηρίξουν διαφορετικές ταχύτητες την ίδια χρονική στιγμή. Αυτό το πρόβλημα της ποικιλομορφίας των καναλιών μεταξύ των μελών της multicast ομάδας αποτελεί μία πρόκληση για την επιλογή μιας αποτελεσματικής multicast μετάδοσης βίντεο ροών από το σταθμό βάσης. Αφετέρου, η προσέγγιση της αναμετάδοσης στην περίπτωση απώλειας πακέτων, δεν είναι αποτελεσματική για μια multicast διανομή, επειδή η απώλεια των πακέτων ποικίλει από χρήστη σε χρήστη και ωφελεί μόνο ένα υποσύνολο των μελών της multicast ομάδας.

Στη παρούσα παράγραφο προτείνεται ένα διεπίπεδο σχήμα σχεδίασης (cross-layer design framework) multicast διανομής η οποία ενσωματώνει την MDC κωδικοποίηση εξάλειψης (erasure coding<sup>1</sup>) στο επίπεδο εφαρμογών των κλιμακούμενων ροών βίντεο (scalable video streams), σε συνδυασμό με την SPCM τεχνική στο MAC και στο φυσικό επίπεδο. Το προτεινόμενο σχήμα μπορεί να αντιμετωπίσει την ποικιλομορφία των καναλιών (channel diversity) μεταξύ των χρηστών και για να μετριάσουν την αρνητική επίδραση της βραχυπρόθεσμης διακύμανσης των καναλιών (short-term channel fluctuation) ώστε να είναι βέλτιστη η multicast διανομή ενός βίντεο.

#### **5.7.1 Προγενέστερες μελέτες**

Πολλές μελέτες πάνω στο cross-layer σχεδιασμό αναφέρονται στη βελτίωση της ποιότητας κατά τη unicast μετάδοση ενός βίντεο και στη βελτίωση της απόδοσης ως προς τη καθυστέρηση με τη ρύθμιση παραμέτρων στα διάφορα επίπεδα του δικτύου. Οι παράμετροι αυτοί περιλαμβάνουν τα όρια καθυστέρησης των frames

<sup>[1]</sup>Η erasure κωδικοποίηση είναι μία μέθοδος εξάλειψης σφαλμάτων κατά την οποία ένα μήνυμα κ συμβόλων μετασχηματίζεται σε ένα μεγαλύτερο μήνυμα n συμβόλων, έτσι ώστε το αρχικό μήνυμα να μπορεί να ανακτηθεί από ένα υποσύνολο των n αυτών συμβόλων.

ενός βίντεο στο επίπεδο εφαρμογών, τον αριθμό και την προτεραιότητα των ARQ προσπαθειών αναμετάδοσης στο MAC επίπεδο, τον αριθμό των OFDM υποφερόντων που ορίζονται στο φυσικό επίπεδο, κ.λπ. [104-19]. Μία τέτοια cross-layer προσέγγιση μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμη ή κλιμακώσιμη για μία multicast διανομή ώστε τελικά να εξοικονομεί εύρος ζώνης και να υποστηρίξει περισσότερα IPTV κανάλια.

Όμοια με το στόχο της SPCM τεχνικής δύο επιπέδων, η cross-layer προσέγγιση χρησιμοποιεί τεχνικές προσαρμοστικής κατανομής της ισχύος και κωδικοποίησης καναλιού ενός CDMA συστήματος το οποίο χαρακτηρίζεται από παρεμβολές και περιορισμένο εύρος ζώνης, σε συνδυασμό με ένα multiresolution σχήμα διαμόρφωσης για την ταυτόχρονη διανομή μιας βασικής ποιότητας στους δέκτες οι οποίοι δεν διαθέτουν «καλές» συνθήκες καναλιών και τη μεγιστοποίηση της ποιότητας στους δέκτες οι οποίοι διαθέτουν «καλές» συνθήκες καναλιών.

Αν και οι προαναφερθείσες προσεγγίσεις είναι αποτελεσματικές στην περίπτωση της ποικιλομορφίας των καναλιών μεταξύ των χρηστών, αποτυγχάνουν να διατηρήσουν/προστατέψουν την ποιότητα της Σχήμας των ροών. Συγκεκριμένα η εφαρμογή SPCM τεχνικής ή της multiresolution διαμόρφωσης ξεχωριστά δεν διευθυνσιοδοτεί ζητήματα απώλειας δεδομένων διαμόρφωσης επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του βίντεο, ειδικά αυτών στα υψηλότερα επίπεδα εξαιτίας της βραχυπρόθεσμης διακύμανσης των καναλιών η οποία συνηθίζεται στα ασύρματα συστήματα.

Για τη διατήρηση της ποιότητας ενός βίντεο σε συνθήκες διακύμανσης του καναλιού υιοθετείται στο επίπεδο εφαρμογών η MDC (Multiple Description Coding) τεχνική ή στο επίπεδο μεταφοράς η Digital Fountain τεχνική κωδικοποίησης (erasure coding). Η Digital Fountain τεχνική βασίζεται στην κωδικοποίηση  $k$  πακέτων δεδομένων σε  $n$  πακέτα, ώστε να ισχύει η σχέση  $n = k + h$  και  $h > 0$  με το  $h$  φανερώνει τον αριθμό των επιπλέον πακέτων so that the original packets can be recovered from any  $k$  received encoded packets in a computationally efficient manner [20]. Για την υλοποίηση της Digital Fountain τεχνικής έχει προταθεί η χρήση ενός διεπίπεδου σχήματος (cross-layer scheme) το οποίο συνδυάζει τη Digital Fountain κωδικοποίηση με μια multicast πολιτική που ακολουθείται στο MAC επίπεδο η οποία βασίζεται στην ύπαρξη μιας κατώτατης  $T$  τιμής. Βάσει της Digital Fountain ένα επιπλέον πακέτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από

διαφορετικούς δέκτες για την ανάκτηση των απολεσθέντων πακέτων. Ωστόσο αυτό το πακέτο μπορεί να ληφθεί από μερικούς μόνο από το  $T$  πλήθος δεκτών [21].

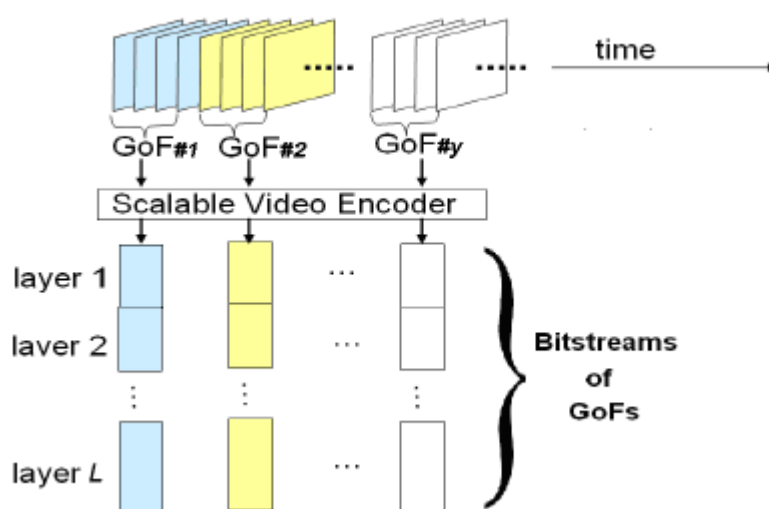
Η MDC τεχνική χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση ενός συνόλου ροών βίντεο δεδομένων σε  $N$  πακέτα, τα οποία μεταδίδονται κατόπιν στο δέκτη με τη χρήση της χωρικής ή χρονικής ποικιλομορφίας (spatial or temporal diversity). Γενικά όσα περισσότερα  $N$  πακέτα λαμβάνει ο δέκτης τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα ενός βίντεο. Η ιδέα αυτή επεκτάθηκε στην layered MDC τεχνική κατά την οποία descriptions του βασικού επιπέδου ποιότητας μεταδίδονται σε χρήστες χαμηλού εύρους ζώνης, ενώ τα descriptions τόσο του βασικού όσο και των προηγμένων επιπέδων μπορούν να διανεμηθούν σε χρήστες υψηλού εύρους ζώνης.

Η αρχική μορφή της MDC τεχνικής σχεδιάστηκε αρχικά για ενσύρματες υποδομές της οποίας τα κωδικοποιημένα MDC πακέτα των ροών βίντεο των διαφόρων επιπέδων ποιότητας είτε χάνονται εντελώς είτε λαμβάνονται επιτυχώς καθώς επίσης δε γίνεται αναφορά σε σχήματα διαμόρφωσης/αποδιαμόρφωσης του φυσικού επιπέδου. Στην cross-layer προσέγγιση που προτείνουμε για τη multicast διανομή ενός βίντεο, εξετάζεται μια τροποποιημένη εκδοχή της layered MDC τεχνικής στο επίπεδο εφαρμογών, σε συνδυασμό με τη SPCM τεχνική και τη multiresolution διαμόρφωση/ αποδιαμόρφωση στο MAC και στο φυσικό επίπεδο. Η τροποποιημένη layered MDC τεχνική δίνει τη δυνατότητα μερικής λήψης ενός MDC πακέτου. Η μερική λήψη των πακέτων από ένα δέκτη ο οποίος δε διαθέτει «καλές» συνθήκες καναλιού είναι συνήθης στις ασύρματες επικοινωνίες όταν εφαρμόζεται η SPCM τεχνική ή η multiresolution διαμόρφωση, στις οποίες αποδιαμορφώνονται μόνο οι ροές επιπέδων χαμηλότερης ποιότητας ενώ οι ροές επιπέδων υψηλότερης ποιότητας χάνονται .

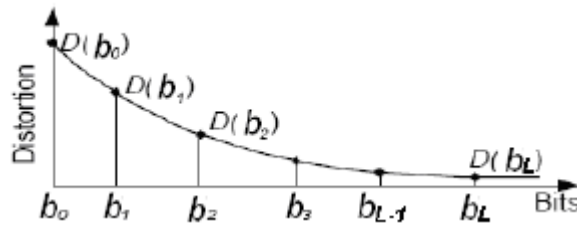
### 5.7.2 Εξελικτική κωδικοποίηση βίντεο

Η εξελικτική κωδικοποίηση βίντεο είναι μία τεχνική η οποία χρησιμοποιείται για να επιτρέψει την αποθήκευση σε μια ροή των πολλαπλών αναλύσεων ενός βίντεο. Η SVC τεχνική βασίζεται στην αξίωση ότι ο δέκτης μπορεί να προσαρμοστεί στο διαθέσιμο εύρος ζώνης ώστε να συνεχίσει τη λήψη του real-time βίντεο [22]. Συγκεκριμένα επιτρέπει την κωδικοποίηση μιας ροής βίντεο υψηλής ανάλυσης η οποία περιέχει ένα η περισσότερα υποσύνολα της αρχικής ροής. Ένα τέτοιο υποσύνολο αναπαριστά μια ροή μικρότερης χωρικής ή χρονικής ανάλυσης,

δηλαδή μία ροή χαμηλότερης ποιότητας (κάθε μία ξεχωριστά ή σε συνδυασμό) συγκριτικά με την αρχική ροή από την οποία παράγονται [23]. Γενικά πολλές είναι οι SVC τεχνικές που έχουν προταθεί. Οι κωδικοποιημένες ροές για τις εφαρμογές μικρής κλίμακας (low-end applications) ενσωματώνονται ως υποσύνολα των ροών για τις εφαρμογές υψηλής κλίμακας (high-end applications). Αυτό διευκολύνει τη multicast διανομή ενός βίντεο λόγω της δυνατότητας μερικής αποκωδικοποίησης σε διάφορες αναλύσεις και επίπεδα ποιότητας ανάλογα με την ικανότητα των δεκτών. Το προτεινόμενο σχήμα εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες οποιασδήποτε προηγμένης κωδικοποίησης βίντεο η οποία παράγει κλιμακώσιμες ροές με πολλαπλά επίπεδα ποιότητας. Στο παράδειγμά μας χρησιμοποιείται ένας προηγμένος κωδικοποιητής βίντεο JVCM ο οποίος αποτελεί μία εξελικτική επέκταση του MPEG-4.part 10/H.264-AVC. Με το JSVM ένα γκρουπ από frames (GoF) κωδικοποιείται σε μία κλιμακώσιμη ροή L επιπέδων ποιότητας, όπως φαίνεται από το σχήμα 5.11 το οποίο υποστηρίζει τη χρονική και τη χωρική κλιμακωσιμότητα συγχρόνως. Η ροή χωρίζεται σε τμήματα σύμφωνα με τα όρια του κάθε επιπέδου ποιότητας. Τα όρια ενός l επιπέδου μίας GoF ροής είναι μεταξύ των  $b_{l-1}$  και  $b_l$  bits έτσι ώστε  $0 = b_0 \leq b_1 \leq \dots \leq b_L$ . Η αλλοίωση (distortion) της ποιότητας του βίντεο ορίζεται ως  $D(b_l)$ , όπου ισχύει  $D(b_0) \geq D(b_1) \geq D(b_L)$  όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.12. Κάθε ένα από αυτά τα τμήματα κωδικοποιείται περαιτέρω από την τροποποιημένη layered MDC τεχνική με βάση το προτεινόμενο σχήμα.



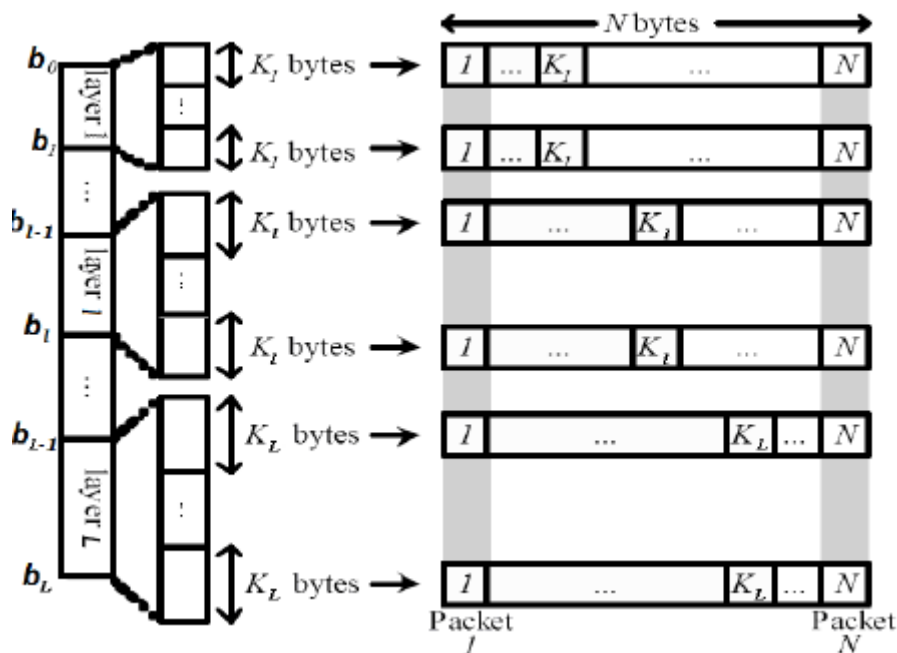
Σχήμα 5.11 Κλιμακώσιμες bit ροές με L επίπεδα ποιότητας [24].



**Σχήμα 5.12** Συνάρτηση αλλοίωσης βίντεο ως προς το πλήθος των ληφθέντων ρών διαφορετικών επιπέδων ενός GoF [24].

### 5.7.3 Layered MDC

Πολλές είναι οι MDC τεχνικές οι οποίες προτείνονται για την αντιμετώπιση της απώλειας των πακέτων. Η MDC τεχνική που προτείνεται διαφοροποιείται από την layered MDC. Στη layered MDC τεχνική τα πολλαπλά descriptions παράγονται με τη χρήση της PET (Priority Encoding Transmission) τεχνικής. Η PET τεχνική αποτελεί ένα σχήμα πακετοποίησης το οποίο συνδυάζει την κωδικοποίηση βίντεο σε επίπεδα (layered video coding). Όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.13 δεδομένου του γεγονότος ότι κάθε GoF κωδικοποιείται ανεξάρτητα σε μια κλιμακώσιμη ροή με πολλαπλά επίπεδα διαφορετικής σημαντικότητας, κάθε I επίπεδο της ροής διαχωρίζεται έπειτα σε μπλοκ ίσου μήκους, με  $K_i$  bytes το καθένα. Κάθε τέτοιο μπλοκ κωδικοποιείται και



Σχήμα 5.13 Παραγωγή των PUs από τα συμβατικά Layered MDC πακέτα [24].

επεκτείνεται σε ένα PU (protected unit) μήκους N bytes κάνοντας έπειτα χρήση του Reed-Solomon (RS) κώδικα. Ο RS είναι ένας κώδικας διόρθωσης σφαλμάτων ο οποίος μπορεί να διορθώσει το μισό των επιπλέον συμβόλων που έχουν προστεθεί στο PU, πλήθος σφαλμάτων [25].

Γενικά ο διαχωρισμός της ροής σε L επίπεδα δε γίνεται με βάση της αύξηση της σημαντικότητας των επιπέδων. Ο αριθμός των bytes, δηλαδή η τιμή του  $K_i$  κάθε μπλοκ ενός επιπέδου εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων όπως είναι η σημασία του επιπέδου για την τελική αναδημιουργία του βίντεο, η προστασία που απαιτεί το επίπεδο για τη διανομή στο κανάλι, κ.λπ.. Όσο μικρότερη είναι η τιμή  $K_i$  των bytes του μπλοκ ενός επιπέδου, τόσο μεγαλύτερη προστασία προσφέρει το επίπεδο για τη συγκεκριμένη ροή δεδομένων, έναντι της απώλειας των πακέτων. Το PU πακετάρεται έτσι ώστε το  $i$ -th byte κάθε μπλοκ να ανατίθεται στο  $i$ -th MDC για μετάδοση πακέτο, όπου  $i = 1, \dots, N$ . Όλα τα MDC πακέτα είναι ίσης σημαντικότητας, καθώς μόνο ο αριθμός των πακέτων που λαμβάνονται καθορίζει την ποιότητα του βίντεο του GoF που αναδημιουργείται. Συνεπώς η layered MDC τεχνικής είναι ένα είδος γενικής MDC τεχνικής όπου το  $i$ -th MDC πακέτο αποτελεί το  $i$ -th description ενός GoF. Δηλαδή ένα MDC πακέτο περιέχει δεδομένα από διάφορα επίπεδα ποιότητας μιας GoF ροής.



Συνεπώς για ένα επίπεδο χαμηλότερης ποιότητας το μήκος των bytes του  $K_i$  είναι μικρότερο από το μήκος των bytes που χρησιμοποιείται για ένα επίπεδο υψηλότερης ποιότητας, καθώς η αναδημιουργία ενός βίντεο εξαρτάται από τα χαμηλότερα επίπεδα ποιότητας παρά από τα υψηλότερα. Συγκεκριμένα η layered MDC με τη χρήση της PET τεχνικής κατανέμει περισσότερα στοιχεία προστασίας στα μπλοκ χαμηλότερης ποιότητας από ότι στα μπλοκ υψηλότερης ποιότητας εξαιτίας της μεγαλύτερης σημαντικότητας μιας ροής δεδομένων χαμηλότερου επιπέδου ποιότητας. Ισχύει δηλαδή η σχέση  $N-K_1 \geq N-K_2 \geq \dots \geq N-K_i \geq \dots \geq N-K_L$ , δηλαδή για ένα PU χαμηλότερης ποιότητας υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός MDC πακέτων στοιχείων προστασίας.

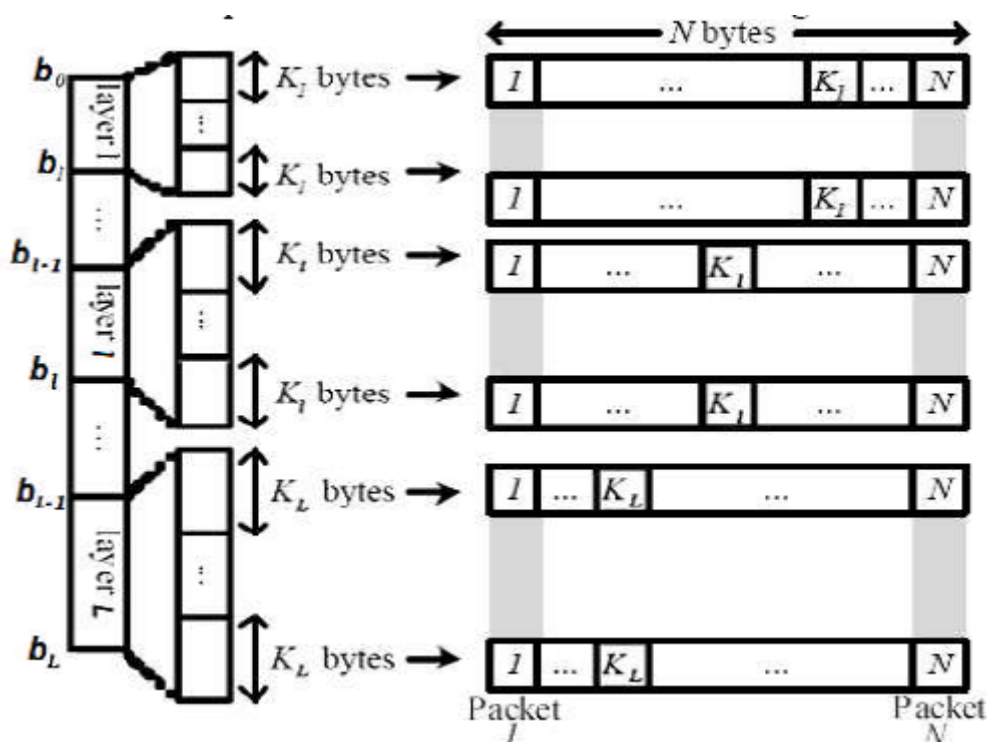
Κάθε MDC πακέτο το οποίο περιέχει τμήματα των PUs ρών από διάφορα επίπεδα ποιότητας μπορεί είτε να χαθεί εντελώς είτε να ληφθεί ολοκληρωτικά. Εάν ένα επίπεδο ενός GoF χαμηλότερης ποιότητας, δεν ανακτηθεί ολοκληρωτικά από τον αριθμό των επιτυχώς λαμβανομένων MDC πακέτων τότε τα δεδομένα των υψηλότερων επιπέδων ποιότητας είναι ανώφελα.

#### 5.7.4 Τροποποιημένη Layered MDC τεχνική

Πριν τη multicast διανομή των ρών στο σταθμό βάσης, τα PUs τα οποία ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα ποιότητας τοποθετούνται στην ουρά διαφορετικών buffers και κατόπιν διαμορφώνονται από το αντίστοιχο σχήμα διαμόρφωσης πριν τεθούν όλα μαζί ως ένα cross-layer κωδικοποιημένο μπλοκ multicast μετάδοσης.

Στο προτεινόμενο σχήμα σε αντίθεση με αυτό της layered MDC τεχνικής, προσφέρονται περισσότερα δεδομένα προστασίας στα μπλοκ υψηλότερης ποιότητας από ότι στα μπλοκ χαμηλότερης ποιότητας έτσι ώστε να ισχύει η σχέση  $N-K_1 \leq N-K_2 \leq \dots \leq N-K_i \leq \dots \leq N-K_L$  (σχήμα 5.14).

Στόχος είναι η επιτυχής ανάκτηση των υψηλότερου επιπέδου ρών ενός βίντεο, μέσω ενός μικρότερου αριθμού, μερικώς λαμβανομένων MDC πακέτων, σε σύγκριση με αυτά που απαιτούνται για την ανάκτηση των αντίστοιχων χαμηλότερων επιπέδων ενός GoF.



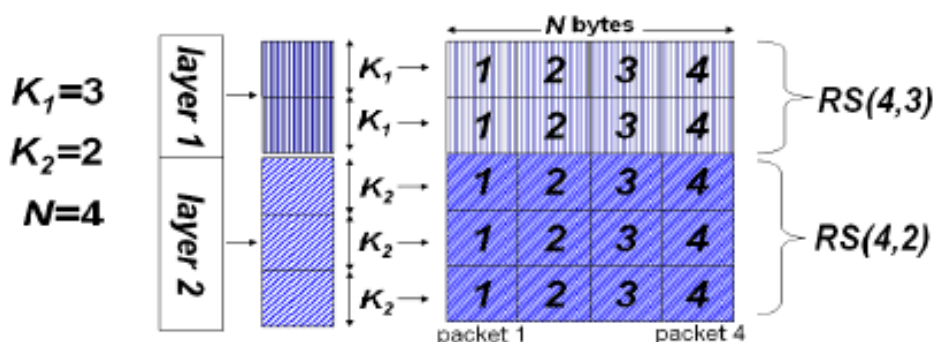
**Σχήμα 5.14** Παραγωγή των PUs από τα τροποποιημένα Layered MDC πακέτα με φθίνουσα του μήκους των bytes του  $K_i$  από τα χαμηλότερα επίπεδο ποιότητας προς τα υψηλότερα [24]

Όταν ένα MDC πακέτο διανέμεται μέσα σε ένα μπλοκ με τη multicast τεχνικής και τη χρήση της SPCM τότε οι διάφοροι δέκτες μπορούν να αποδιαμορφώσουν και να λάβουν επιτυχώς διάφορα κομμάτια αυτού δηλαδή κομμάτια διαφορετικών επιπέδων ποιότητας, ανάλογα με την τιμή του SNR του καναλιού κάθε χρήστη. Ωστόσο εάν τα PUs ενός υψηλότερου επιπέδου ποιότητας μέσα στο MDC πακέτο μπορούν να αποδιαμορφωθούν από έναν δέκτη, τα PUs που ανήκουν στα χαμηλότερα επίπεδα μέσα στο ίδιο MDC πακέτο έχουν επίσης ήδη αποδιαμορφωθεί επιτυχώς. Με αυτή την τεχνική οι χρήστες μιας multicast ομάδας έχουν περισσότερες πιθανότητες να διαθέτουν το απαραίτητο SNR για την αποδιαμόρφωση των χαμηλότερων επιπέδων PUs. Η φθίνουσα τιμή του μήκους των bytes του  $K_i$  από τα χαμηλότερα επίπεδο ποιότητας προς τα υψηλότερα επιτρέπει στην τροποποιημένη layered MDC τεχνική την ολοκληρωτική αναδημιουργία των ρών ενός υψηλού επιπέδου ποιότητας σχετικά ευκολότερα με τη λήψη ενός μικρότερου αριθμού μερικώς λαμβανομένων MDC πακέτων εξαιτίας του μικρότερου μήκους των bytes της  $K_i$  μεταβλητής.

### 5.7.5 Cross-Layer Superposition Coded Multicast

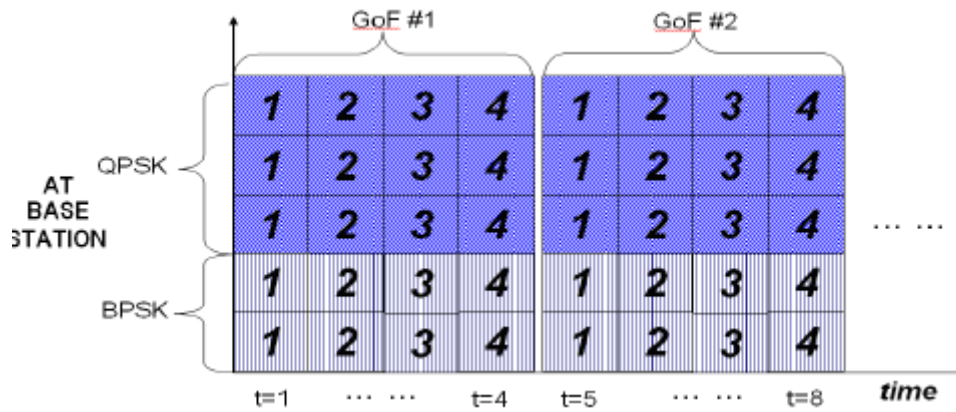
Ο σημαντικότερος περιορισμός των προηγούμενων προσεγγίσεων που χρησιμοποιούν την μόνο τη SPCM τεχνική ή μόνο τη multiresolution διαμόρφωση είναι ότι είναι ιδιαίτερα απίθανο για ένα SS να λάβει/ανακτήσει τα δεδομένα ενός υψηλότερου επιπέδου υπό τις «κακές» συνθήκες ενός καναλιού. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την από κοινού αξιοποίηση της SPCM στο κανάλι και την SVC σε συνδυασμό με την τροποποιημένη layered MDC τεχνική.

Στο προτεινόμενο cross-layer (διεπίπεδο) κωδικοποιημένο multicast βίντεο μελετούμε την περίπτωση δύο επιπέδων ποιότητας ενός GoF. Τα PUs των δύο αυτών επιπέδων παράγονται από την τροποποιημένη layered MDC τεχνική με χρήση του RS κώδικα (σχήμα 5.15).

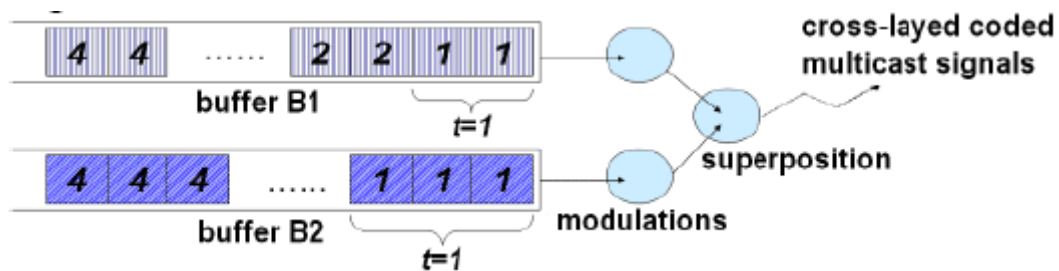


Σχήμα 5.15 PUs επιπέδου  $i$  που διαμορφώνονται από τον  $RS(N, K_i)$  [24].

Τα PUs του πρώτου και του δεύτερου επιπέδου τοποθετούνται στην ουρά των B1 και B2 buffers αντίστοιχα στο σταθμό βάση σύμφωνα με τη σειρά των description τους (σχήμα 5.16). Ξεκινώντας με την πρώτη διαθέσιμη χρονοθυρίδα για τη multicast μετάδοση, τα PUs του πρώτου επιπέδου τα οποία ανήκουν στο πρώτο description του buffer B1, διαμορφώνονται με ένα χαμηλότερο σχήμα διαμόρφωσης (όπως το BPSK), το οποίο απαιτεί ένα χαμηλότερο SNR για την αποδιαμόρφωση για ένα δεδομένο BER (bit error rate). Κατά την ίδια χρονοθυρίδα, τα PUs του δεύτερου επιπέδου τα οποία ανήκουν στο πρώτο description του buffer B2, διαμορφώνονται από ένα υψηλότερο σχήμα διαμόρφωσης (όπως το 16QAM), το οποίο απαιτεί ένα υψηλότερο SNR για την αποδιαμόρφωση για ένα δεδομένο BER.



**Σχήμα 5.16** Μετάδοση όλων των PUs όλων των επιπέδων μιας ροής μέσω της SPCM από το BS[24]



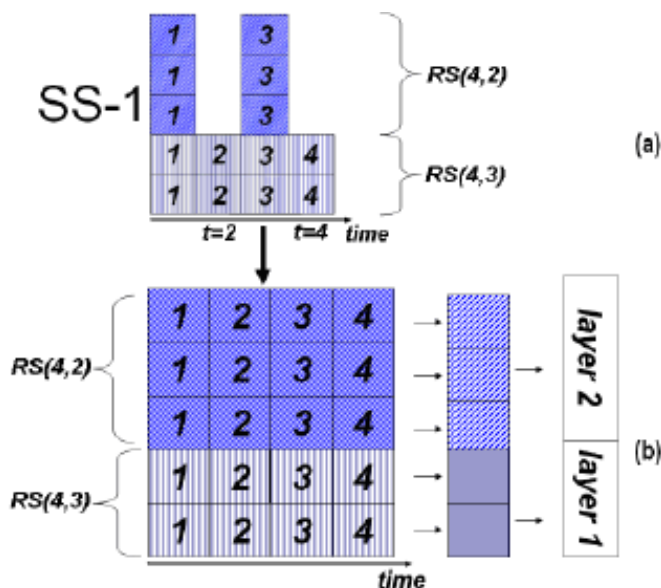
**Σχήμα 5.17** Αποθήκευση των PUs του 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> επιπέδου στους B1 και B2 buffers για το σχηματισμό cross-layer SPCM σημάτων [02].

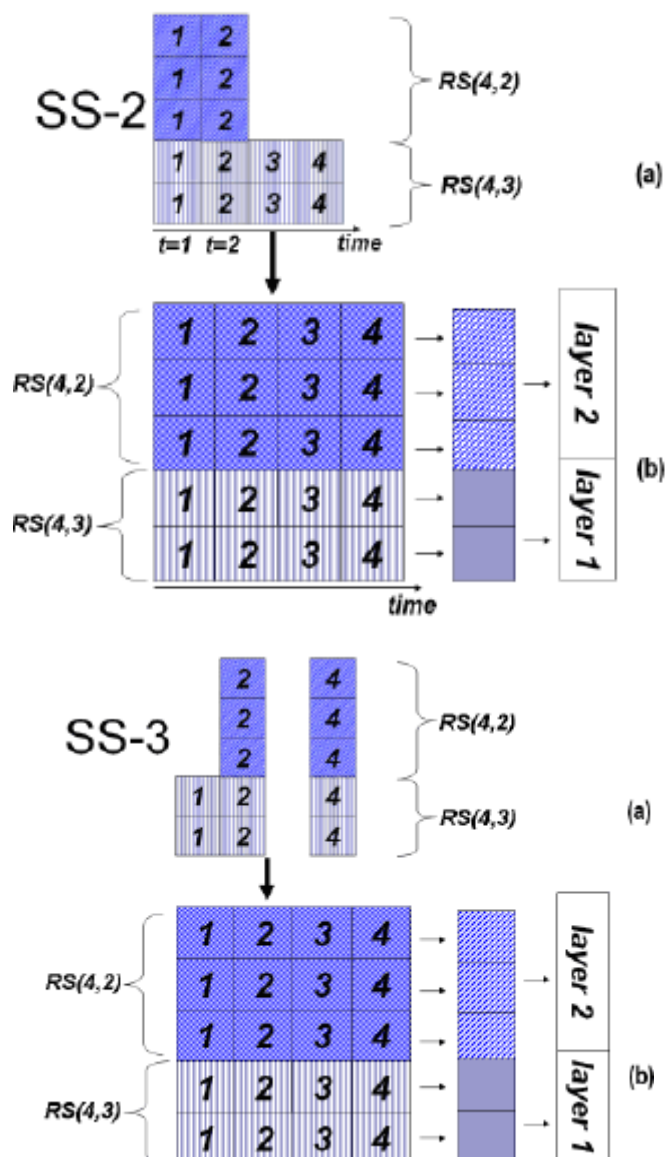
Τα διαμορφωμένα σήματα των B1 και B2 buffers σχηματίζουν κατόπιν το SPCM μπλοκ μετάδοσης με τη μορφή ενός MDC πακέτου για το πρώτο description, το οποίο διαβιβάζεται στο ασύρματο κανάλι μέχρι το τέλος της διάρκειας της πρώτης χρονοθυρίδας (σχήμα 5.17).

Κατά τη διάρκεια κάθε χρονοθυρίδας, ο ρυθμός μετάδοσης του σχήματος διαμόρφωσης που εφαρμόζεται στο buffer για ένα επίπεδο, πρέπει να είναι αρκετά γρήγορος για τη multicast διανομή όλων των PUs που ανήκουν στο συγκεκριμένο επίπεδο του MDC πακέτου, διαφορετικά πρέπει να προσαρμοστεί ο αριθμός και το μέγεθος των PUs καθώς και το μέγεθος της χρονοθυρίδας. Αυτή η συνθήκη είναι απαραίτητη για να επιτυγχάνει ο σταθμός βάσης μακροπρόθεσμη σταθερότητα.

Ο σταθμός βάσης επαναλαμβάνει την ίδια superposition διαδικασία για το επόμενο σύνολο PUs τα οποία ανήκουν στο δεύτερο description για όλους τους buffers, κατά την επόμενη διαθέσιμη χρονοθυρίδα και ούτω καθ' εξής. Εφ' όσον τα PUs όλων των description ενός GoF διανεμηθούν κατά το multicast τρόπο, η ίδια διαδικασία ακολουθείται με το επόμενο GoF μέχρι το τέλος της παρουσίασης του IPTV προγράμματος.

Σημειώνεται ότι ένας SS μιας multicast ομάδας μπορεί να αποδιαμορφώσει μόνο μερικά από τα PUs που λαμβάνει από ένα cross-layer SPCM πακέτο εξαιτίας του SNR του καναλιού του. Για παράδειγμα όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5.18, ο SS1 λαμβάνει τα PUs του δεύτερου επιπέδου μόνο στην πρώτη και στην τρίτη χρονοθυρίδα. Ο SS-3 χάνει ολόκληρο το MDC πακέτο στην τρίτη χρονοθυρίδα εξαιτίας της μεγάλης εξασθένησης. Ωστόσο, οι SS-1, SS-2 και SS-3 μπορούν τελικά να ανακτήσουν τα χαμένα PUs και να ανακτήσουν εν τέλει ολοκληρωτικά τις ροές και των δύο επιπέδων επιτυγχάνοντας την πλήρη ποιότητα του βίντεο, αφού οι απώλειες είναι ανεκτές εξαιτίας των δεδομένων προστασίας που εφαρμόζονται σε κάθε επίπεδο.





Σχήμα 5.18 Ανάκτηση πλήρους ποιότητας ενός GoF υπό την ποικιλότητα εξασθένιση κάθε SS[24]

Η απόδοση της αποδιαμόρφωσης για ένα  $I$  επίπεδο ενός GoF για έναν δέκτη, αξιολογείται από άποψη τον αριθμό αποδεκτών/ανακτήσιμων ρών του  $I$  επιπέδου σε συνδυασμό με το μέσο BER για το συγκεκριμένο επίπεδο. Το SNR ενός SS καθορίζεται από την ισχύ που κατανέμεται από το σταθμό βάσης στο διαμορφωμένο σήμα του  $I$  επιπέδου ποιότητας, την απόσταση του SS από το σταθμό βάσης, καθώς και κάποιους άλλους παράγοντες. Για την αποδιαμόρφωση ενός  $I$  επιπέδου ο SS αποδιαμορφώνει ένα σήμα μέσω της αφαίρεσης όλων των αποδιαμορφωμένων σημάτων μεταξύ του πρώτου επιπέδου και του  $I - 1$  επιπέδου από το SPCM ληφθέν σήμα. Κατόπιν της επιλογής του σχήματος διαμόρφωσης από το σταθμό βάσης, επιτυχής αποδιαμόρφωση ενός επιπέδου  $I$

από το SS για ένα συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης, μπορεί να συμβεί μόνο εάν το SNR του συγκεκριμένου SS, πληρεί κάποια κατώτατα όρια.

Αυτά τα κατώτα όρια του SNR ορίζονται από το WiMAX πρότυπο [26] και μπορούν να επεκταθούν από κάποιο νέο σχήμα διαμόρφωσης των μελλοντικών προτύπων του WiMAX. Αυτός ο περιορισμός που τίθεται είναι καίριας σημασίας για την επιτυχή αποδιαμόρφωση του επιπέδου I, διαφορετικά το SPCM σήμα θα αποτυγχάνει να αποκωδικοποιηθεί μερικώς ή ολοκληρωτικά. Το αναμενόμενο BER, για μια ροή ενός επιπέδου I που λαμβάνεται, επηρεάζεται επίσης από το SNR του SS.

### 5.7.6 Επιλογή βέλτιστης κατανομής ισχύος

Η βελτίωση της συνολικής απόδοσης της multicast διανομής ενός GoF, μπορεί να επιτευχθεί μέσω της βελτίωσης της απόδοσης του χρήστη με τις χειρότερες συνθήκες καναλιού. Για την επίτευξη αυτής, γίνεται χρήση μιας ευρετικής (heuristic) προσέγγισης για τη βέλτιστη επιλογή της κατανομής ισχύος σε συνδυασμό με το ρυθμό του σχήματος διαμόρφωσης ( $R_{M, l}$ ) για ένα I επίπεδο ποιότητας η οποία είναι εφαρμόσιμη σε μια real-time μετάδοση.

Η επιλογή της τιμής της K επηρεάζει έντονα στην αντιληπτή ποιότητα του βίντεο. Με βάση τον αριθμό των ροών ενός I επιπέδου (i.e.,  $b_{l-1}-b_l$ ), ο αριθμός των PUs ( $J_l$ ) για το συγκεκριμένο επίπεδο ο οποίος θα διαβιβαστεί για σε μια t χρονοθυρίδα, μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση  $J_l = b_l - b_{l-1} / 8K_l$ . Γενικά για το t πρέπει να ισχύει η σχέση  $t \geq J_l / R_{M, l}$  για  $1 \leq l \leq L$ . Για τη βέλτιστη απόδοση της μετάδοσης για τη χρονοθυρίδα t θα πρέπει να ισχύει  $t = J_l / R_{M, l}$  [24].

Στην περίπτωση μελέτης δύο επιπέδων ποιότητας που όπου η τιμή της K είναι προκαθορισμένη για κάθε επίπεδο και τις συνθήκες καναλιού κάθε SS να εξαρτώνται από την εξασθένιση και τη βραχυπρόθεσμη εξασθένιση, το BER καθορίζεται από την ισχύ και το σχήμα διαμόρφωσης που ορίζεται για κάθε επίπεδο ποιότητας. Από τη στιγμή που το SPCM σήμα διαμοιράζεται μεταξύ όλων των SSs η επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού κατανομής ισχύος και ρυθμού του σχήματος διαμόρφωσης ( $p_i, R_{M, l}$ ) για το SS με τις χειρότερες συνθήκες καναλιού, βελτιώνει την ποιότητα του βίντεο για ένα GoF συνολικά. Συνεπώς στόχος είναι η μεγιστοποίηση των συνολικών ροών που λαμβάνει ο συγκεκριμένος SS. Η τιμή

του SNR, η επιλογή του σχήματος διαμόρφωσης, το BER κάθε επιπέδου καθώς και ο αριθμός των ροών που λαμβάνει ο χρήστης με τις χειρότερες συνθήκες καναλιού αξιολογούνται με όλους τους πιθανούς τρόπους κατανομής ισχύος που ορίζεται ως  $p_2 / p_1 + p_2$ , για τη βέλτιστη multicast διανομή με τη χρήση του cross-layer σχήματος που περιγράφηκε παραπάνω [24].

### **5.8 Συνεργατική multicast διανομή IPTV υπηρεσιών μέσω WiMAX δικτύων**

Ένα απλό σχήμα multicast διανομής θα μπορούσε να χρησιμοποιεί ένα προεπιλεγμένο ρυθμό μετάδοσης για κάθε multicast ομάδα, όπως συμβαίνει στην υλοποίηση των CDMA 2000 1xEV-DO δικτύων τα οποία υιοθετούν μια τέτοια προσέγγιση σταθερού ρυθμού μετάδοσης στα 204.8 kbps [27]. Αυτό το σχήμα είναι ανεπαρκές δεδομένου ότι χρησιμοποιεί πάντα ένα σταθερό ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, αγνοώντας τις διαφορετικές συνθήκες των καναλιών που ενδέχεται να επικρατούν μεταξύ των μελών μιας multicast ομάδας. Μια άλλη προσέγγιση είναι η επιλογή ενός συγκεκριμένου ρυθμού μετάδοσης για κάθε multicast ομάδα έτσι ώστε όλα τα μέλη της ομάδας να μπορούν να υποστηρίξουν το ρυθμό αυτό. Δεδομένου του γεγονότος ότι μπορεί να επικρατούν διαφορετικές συνθήκες καναλιών μεταξύ των μελών μιας multicast ομάδας, τα μέλη της ομάδας στα οποία επικρατούν «καλές» συνθήκες καναλιού δεν μπορούν να υποστηρίξουν το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που τους επιτρέπουν οι συνθήκες του καναλιού τους, αλλά το ρυθμό μετάδοσης του χρήστη με τις χειρότερες συνθήκες καναλιού. Αυτή η προσέγγιση είναι ανεπαρκής και ιδιαίτερα όταν τα μέλη μιας multicast ομάδας με «κακή» κατάσταση συνθηκών του καναλιού αποτελούν ένα μικρό ποσοστό του συνολικού πλήθους των μελών της multicast ομάδας.

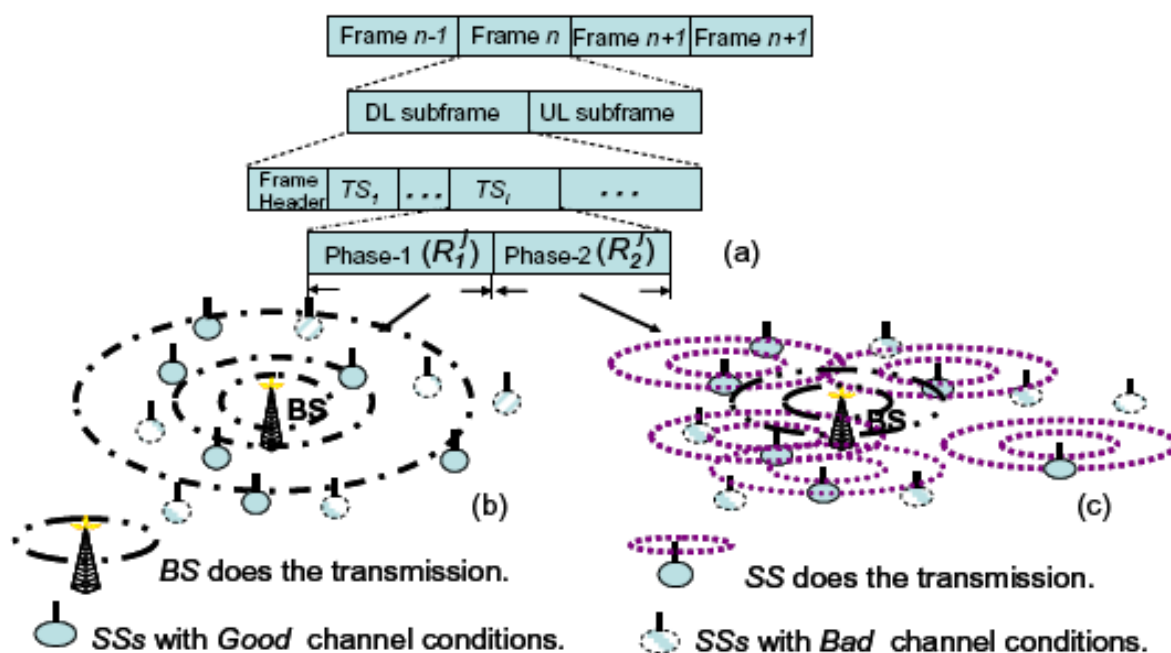
Σε προγενέστερες μελέτες δε γίνεται εκμετάλλευση της ποικιλομορφίας των καναλιών των μελών μιας multicast ομάδας, αλλά στρέφονται κυρίως στο πως θα αποφύγουν την αρνητική επίδραση αυτών. Ωστόσο η συνεργατική επικοινωνία αποτελεί μία υποσχόμενη προσέγγιση για τη βελτίωση της αποδοτικότητας ενός συστήματος διερευνώντας τη broadcast φύση των ασύρματων καναλιών και τη συνεργασία μεταξύ των πολλαπλών χρηστών. Η συνεργατική επικοινωνία έχει μελετηθεί εκτενώς στο παρελθόν για unicast μεταδόσεις [28, 29, 30] όχι όμως και για τις multicast μεταδόσεις. Στη συγκεκριμένη παράγραφο προτείνεται η χρήση ενός συνεργατικού (cooperative) multicast σχήματος το οποίο εκμεταλλεύεται το



κέρδος από τη χωρική ποικιλομορφία (spatial diversity) μεταξύ των πολλαπλών χρηστών, χρησιμοποιώντας μια συνεργατική μετάδοση δύο φάσεων. Στο σχήμα αυτό όλα τα μέλη της multicast ομάδας ζητούν τα ίδια δεδομένα, με οποιοδήποτε χρήστη ο οποίος διαθέτει «καλές» συνθήκες καναλιού να προωθεί τα δεδομένα που λαμβάνει στους υπόλοιπους χρήστες της ομάδας. Το προτεινόμενο σχήμα βελτιώνει σημαντικά το ρυθμό μετάδοσης, διατηρώντας παράλληλα την αξιοπιστία της μετάδοσης στην κάτω ζεύξη για τους SSs των οποίων οι συνθήκες των καναλιών δεν είναι «καλή». Έτσι υπάρχει βελτίωση της ρυθμοαπόδοσης τόσο στο επίπεδο της multicast ομάδας όσο και για κάθε επιμέρους μέλος της ομάδας.

Στο MAC επίπεδο, το πεδίο του χρόνου διαιρείται σε MAC frames ίσης διάρκειας. Κάθε MAC frame αποτελείται από subframe κάτω ζεύξης (DL subframe) το οποίο ακολουθείται από ένα subframe άνω ζεύξης (UL subframe). Κάθε DL subframe αποτελείται το header του frame και διάφορες ριπές της κάτω ζεύξης. Για κάθε frame επιλέγεται μία multicast ομάδα (MGroup). Για παράδειγμα, η MGroup  $i$  επιλέγεται για το frame  $n$  και οι σταθμός βάσης ορίζει τη ριπή  $i$  της κάτω ζεύξης (TS $i$ ) για αυτό. Στο προτεινόμενο σχήμα η χρονική διάρκεια της TS $i$  ριπής υποδιαιρείται σε δύο φάσεις (σχήμα 5.19).

Κατά την πρώτη φάση, ο σταθμός βάσης πραγματοποιεί τη multicast διανομή σε ένα υψηλό ρυθμό μετάδοσης  $R_{i1}$  στα μέλη της multicast ομάδας, με στόχο να εγγυηθεί ότι ένα ορισμένο ποσοστό SSs θα μπορεί να αποκωδικοποιήσει επιτυχώς τα δεδομένα (σχήμα 5. (b)). Μετά την πρώτη φάση του διάρκειας  $T_1$ , οι SSs με «καλές» συνθήκες καναλιού της ομάδας αυτής, μπορούν επιτυχώς να λάβουν τα διαβιβασθέντα δεδομένα, ενώ οι υπόλοιποι SSs με «κακές» συνθήκες καναλιού μπορούν να αποκωδικοποιήσουν ένα μέρος αυτών των δεδομένων. Κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης διάρκειας  $T_2$ , όλοι οι SSs που διαθέτουν καλές συνθήκες καναλιού μεταδίδουν τα δεδομένα που έλαβαν κατά το συνεργατικό τρόπο διανομής με ρυθμό  $R_{i2}$ , ο οποίος πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση  $R_{i1} * T_1 = R_{i2} * T_2$ , έτσι ώστε όλα τα μέλη της multicast ομάδας να λάβουν τα ίδια δεδομένα (σχήμα 5.19 c) [31]. Σημειώνεται ότι ο ρυθμός μετάδοσης της δεύτερης φάσης υπερέρχει του ρυθμού μετάδοσης της πρώτης φάσης. Η επιλογή της multicast ομάδας κάθε frame καθώς και του ρυθμού μετάδοσης και των δύο φάσεων εξετάζεται παρακάτω.



Σχήμα 5.19 Προτεινόμενο σχήμα multicast διανομής [31]

### 5.8.1 Επιλογή multicast ομάδας

Το σύνολο των μελών μιας multicast ομάδας είναι καταμεμημένα σε διαφορετικές τοποθεσίες, με κάθε μέλος να διαθέτει διαφορετικές μακροπρόθεσμες συνθήκες καναλιού (long-term channel condition), οι οποίες εξαρτώνται από το γεωγραφικό περιβάλλον τους και την απόστασή του από το σταθμό βάσης. Επιπλέον λόγω της γρήγορης εξασθένισης, τα μέλη της ομάδας μπορεί να έχουν στιγμιαία διαφορετικές συνθήκες καναλιού (instantaneous channel condition) σε κάθε frame, ακόμα κι αν έχουν μακροπρόθεσμα παρόμοιες συνθήκες (long-term channel conditions).

Στο προτεινόμενο σχήμα διανομής κατά την επιλογή της multicast ομάδας πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν οι συνθήκες των καναλιών σε επίπεδο ομάδας και όχι σε επίπεδο χρήστη. Εάν η multicast ομάδα επιλεγεί βάσει των καλύτερων συνθηκών καναλιού μεταξύ των μελών του, αγνοώντας τις συνθήκες των καναλιών των υπόλοιπων μελών, η ρυθμοαπόδοση σε επίπεδο ομάδας μπορεί να μην είναι υψηλή εάν οι συνθήκες των καναλιών των περισσότερων εκ των άλλων μελών δεν είναι «καλές». Επιπλέον εάν η multicast ομάδα επιλεγεί βάσει των συνολικών συνθηκών που επικρατούν στα κανάλια όλων των μελών της, τότε οι multicast ομάδες οι οποίες βρίσκονται κοντά στο σταθμό βάσης και έχουν καλές συνθήκες καναλιών είναι πιθανότερο να επιλεγούν και επικρατήσουν της κατανάλωσης

εύρους ζώνης (fairness πρόβλημα). Με βάση αυτό το πρόβλημα η επιλογή της multicast ομάδας γίνεται βάσει μιας σχετικής ομαλοποιημένης συνθήκης του καναλιού (normalized relative channel condition), η οποία συμβολίζεται ως  $X_i$  και προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο:

$$X_i = \frac{\sum_{j \in G_i} \gamma_i^j / \bar{\gamma}_i}{|G_i|}$$

Το  $|G_i|$  αναφέρεται στο συνολικό αριθμό των μελών της ομάδας, και τα  $\gamma_i, \bar{\gamma}_i$  στη μέση συνθήκη καναλιού και τη στιγμιαία συνθήκη καναλιού μεταξύ του  $SS_{i,j}$  και του σταθμού βάσης αντίστοιχα. Βάσει της παραπάνω σχέσης ο σταθμός βάσης επιλέγει για κάθε DL subframe τη μέγιστη εκ των  $X_i$  τιμών που προκύπτουν [31].

### 5.8.2 Συνεργατική μετάδοση

Κατόπιν της επιλογής της multicast ομάδας γίνεται η διανομή των δεδομένων στα μέλη της. Εάν ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων καθορίζεται βασιζόμενος στα κανάλια στα οποία επικρατούν «καλές» συνθήκες, τα μέλη της ομάδας τα οποία δε διαθέτουν «καλές» συνθήκες καναλιών δε μπορούν να αποκωδικοποιήσουν επιτυχώς τα λαμβανόμενα δεδομένα. Αντιθέτως, εάν ο ρυθμός μετάδοσης επιλέγεται βάσει των καναλιών στα οποία δεν επικρατούν «καλές» συνθήκες, οι ασύρματοι πόροι δεν θα χρησιμοποιούνται επαρκώς εξαιτίας των μελών της ομάδας με «καλές» συνθήκες καναλιού τα οποία θα χρησιμοποιούν χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (conservative low rate). Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης που προτείνεται, ο σταθμός βάσης διανέμει τα δεδομένα σε όλα τα μέλη του MGroup με έναν υψηλό ρυθμό μετάδοσης ο οποίος καθορίζεται από τις συνθήκες που επικρατούν στα κανάλια μιας ορισμένης μερίδας μελών του MGroup. Ο ρυθμός που επιλέγεται εγγυάται την αξιόπιστη μετάδοση για τα μέλη του MGroup που διαθέτουν «καλές» συνθήκες καναλιών. Αυτός ο ρυθμός μετάδοσης είναι πολύ μεγαλύτερος από το ρυθμό που απαιτείται για τα μέλη της ομάδας με «κακές» συνθήκες. Εξαιτίας αυτού του υψηλού ρυθμού μετάδοσης τα μέλη της ομάδας στα οποία επικρατούν «κακές» συνθήκες δε μπορούν να αποκωδικοποιήσουν επιτυχώς όλα τα δεδομένα που λαμβάνουν κατά τη πρώτη φάση και έτσι πρέπει να χρησιμοποιήσουν τη δεύτερη φάση της συνεργατικής μετάδοσης για την επίτευξη μιας αξιόπιστης διανομής. Έστω  $S^g$  το σύνολο των

μελών της multicast ομάδας τα οποία μπορούν να λάβουν επιτυχώς τα δεδομένα κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης και  $S^b$  τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας αυτής. Κατά τη δεύτερη φάση όλα τα μέλη του  $S^g$  συνόλου μέσω της συνεργατικής μετάδοσης διαβιβάζουν τα ίδια δεδομένα στα μέλη του  $S^g$  συνόλου. Κατά τη δεύτερη φάση η διανομή της κάτω ζεύξης σε οποιοδήποτε μέλος του  $S^b$  συνόλου αποτελεί ένα εικονικό MISO σύστημα διότι τα πολλαπλά  $S^g$  μέλη διανέμουν δεδομένα σε ένα δέκτη. Η ισχύς του σήματος για ένα μέλος του  $S^b$  είναι το άθροισμα όλων των ισχύων των σημάτων των συνεργατικών αποστολέων (cooperative transmitters) του  $S^g$ . Συνεπώς ένα μέλος της ομάδας  $S^b$  είναι σε θέση να λάβει επιτυχώς τα δεδομένα στη δεύτερη φάση ακόμη και σε ένα πολύ υψηλό ρυθμό μετάδοσης. Με τη χρήση των κατάλληλων παραμέτρων για τη συνεργατική μετάδοση δύο φάσεων, δηλαδή των ρυθμών μετάδοσης και στις δύο φάσεις, το προτεινόμενο σχήμα επιτυγχάνει υψηλή ρυθμοαπόδοση για κάθε μέλος της ομάδας και συνεπώς μια υψηλή ρυθμοαπόδοση σε επίπεδο ομάδας και επίπεδο δικτύου.

Η επιλογή του ρυθμού μετάδοσης και στις δύο φάσεις ( $R_{i1}$  και  $R_{i2}$ ) είναι καίριας σημασίας για την απόδοση του συστήματος. Για την εύκολη εφαρμογή, του προτεινόμενου σχήματος, οι  $R_{i1}$  και  $R_{i2}$  επιλέγονται βάσει των μακροπρόθεσμων συνθηκών των καναλιών όλων των μελών της multicast ομάδας και την αναλογία κάλυψης  $C$ , η οποία ορίζεται ως το ποσοστό των μελών της ομάδας που μπορεί να υποστηρίξει το  $R_{i1}$  ρυθμό μετάδοσης. Για παράδειγμα, εάν η αναλογία κάλυψης  $C$  είναι 0,5 σημαίνει ότι ο σταθμός βάσης μεταδίδει με ρυθμό μετάδοσης  $R_{i1}$  έτσι ώστε κατά μέσο όρο τα μισά από τα μέλη της multicast ομάδας να μπορούν να λάβουν τα δεδομένα επιτυχώς, και ο  $R_{i2}$  ρυθμός μετάδοσης είναι τέτοιος ώστε τα υπόλοιπα μέλη να μπορούν να λάβουν επιτυχώς τα δεδομένα στη δεύτερη φάση. Οι  $R_{i1}$  και  $R_{i2}$  ρυθμοί μετάδοσης οι αποφασίζονται βάσει των μακροπρόθεσμων συνθηκών καναλιών διευκολύνουν το σταθμός βάσης έτσι ώστε να μη χρειάζεται να παραμετροποιεί συχνά τους ρυθμούς μετάδοσης. Συνεπώς ακόμη και αν ο  $SS_{i,j}$  δε μπορεί να λάβει επιτυχώς τα δεδομένα κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης, είναι δυνατό τα δεδομένα αυτά να ληφθούν κατά τη δεύτερη φάση. Το αν η λήψη των δεδομένων στη δεύτερη φάση θα είναι επιτυχής ή όχι εξαρτάται από το SNR του σε αυτή τη φάση. Κατά τη συνεργατική μετάδοση το ληφθέν SNR του  $SS_{i,j}$  εξαρτάται από το πλήθος των μελών που μπορούν να λάβουν επιτυχώς τα

δεδομένα στη πρώτη φάση, δηλαδή από τους αποστολείς της συνεργατικής μετάδοσης και τη ληφθείσα ισχύ του καθένα εξ' αυτών.

### 5.8.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου σχήματος, συγκρίνουμε τη ρυθμοαπόδοση του προτεινόμενου σχήματος (το οποίο αναφέρεται και ως CMS) με αυτή του σχήματος που ορίζεται στο 3GPP (το οποίο αναφέρεται και ως Conserve), στο οποίο ο σταθμός βάσης επιλέγει το ρυθμό μετάδοσης με ένα «συντηρητικό» (conservative) τρόπο έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν αυτό το ρυθμό όλα τα μέλη της multicast ομάδας. Η προσομοίωση γίνεται με τη χρήση του IEEE 802.16 WirelessMAN-OFDM δικτύου το οποίο αποτελείται από ένα σταθμό βάσης και πενήντα SSs. Οι SSs κατανέμονται τυχαία μέσα στην περιοχή κάλυψης του σταθμού βάσης σε μια ακτίνα 8 χιλιομέτρων. Τα μέλη της κάθε multicast ομάδας επιλέγονται τυχαία μεταξύ των πενήντα SSs, ενώ η προσομοίωση επαναλαμβάνεται πενήντα φορές για τον υπολογισμό μιας μέσης τιμής. Περισσότερες λεπτομέρειες παράμετροι της προσομοίωσης καταγράφονται στον πίνακα 5.1 .

Το σχήμα 5.20 παρουσιάζει την steady-state service πιθανότητα κάθε MGroup για το προτεινόμενο σχήμα. Η steady-state service πιθανότητα ορίζεται ως η πιθανότητα αποστολής των δεδομένων σε μια multicast ομάδα. Η ομάδα που επιλέγεται είναι αυτή με τις καλύτερες συνθήκες καναλιού κατά μέσο όρο. Παρατηρείται ότι κάθε multicast ομάδα έχει σχεδόν την ίδια steady-state service πιθανότητα.

Η ρυθμοαπόδοση κάθε μέλους μιας multicast ομάδας απεικονίζεται στο σχήμα 5.21. Παρατηρείται ότι με τη χρήση του CMS σχήματος υπάρχει μεγαλύτερη ρυθμοαπόδοση από ότι με τη χρήση του Conserve σχήματος. Ωστόσο κατά τη χρήση του CMS παρατηρείται κάποια διακύμανση, η οποία οφείλεται στις συνθήκες των καναλιών και τη γεωγραφική θέση των μελών της ομάδας. Κάποιοι απομονωμένοι και απομακρυσμένοι SSs επιτυγχάνουν σχετικά μικρή βελτίωση της ρυθμοαπόδοσης. Ωστόσο κατά την υιοθέτηση του Conserve σχήματος και δεδομένου του γεγονότος ότι το σχήμα αυτό επιλέγει το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων βάσει των χειρότερων συνθηκών καναλιού των μελών της ομάδας, όλα

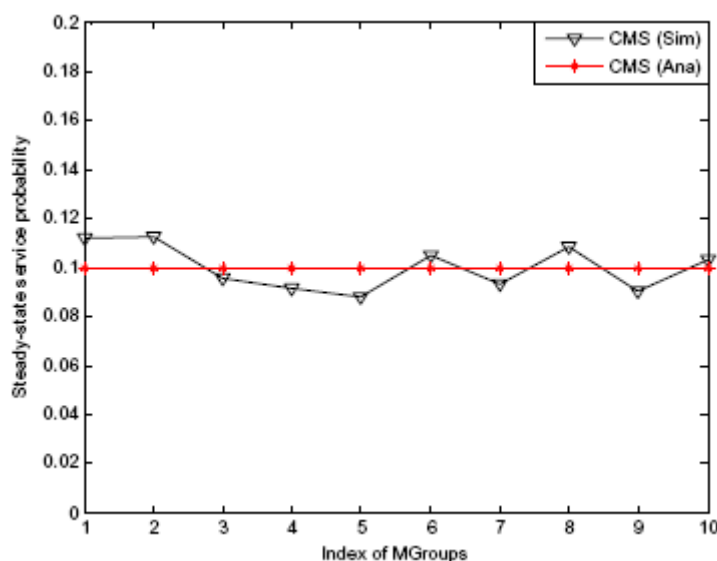
**Πίνακας 5.1** Παράμετροι προσομοίωσης [31]

|                             |               |
|-----------------------------|---------------|
| Transmission power of BS's  | 41.8 dBm      |
| Transmission power of SS's  | 30 dBm        |
| DL/UL sub-frame duration    | 0.5 ms/0.5 ms |
| OFDM symbol duration        | 23.8 $\mu$ s  |
| Bandwidth                   | 10 MHz        |
| Noise figure                | 7 dB          |
| Pass loss exponent          | 4.375         |
| Close-in Reference distance | 100 m         |
| Frequency band              | 3.5GHz        |
| Number of MGroups           | 10            |
| Coverage ratio $C$          | 50%           |

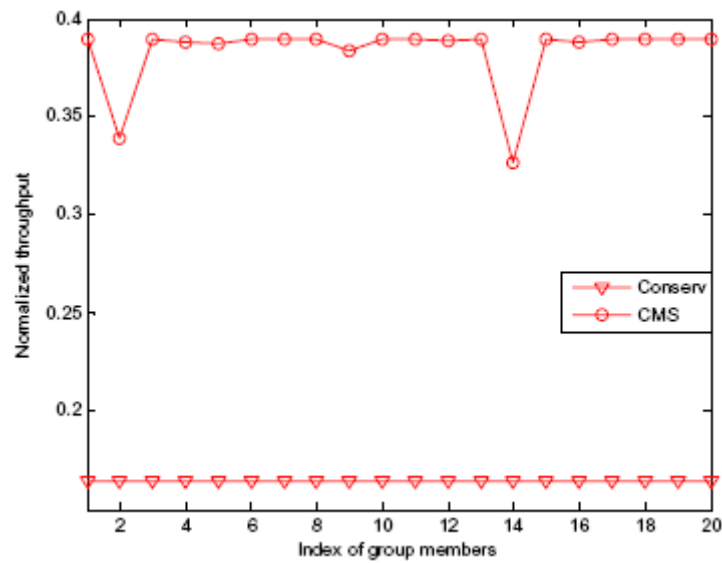
τα μέλη αυτής επιτυγχάνουν την ίδια ρυθμοαπόδοση η οποία είναι όμως χαμηλή ακόμη για τα μέλη που βρίσκονται σε «καλές» συνθήκες καναλιού.

Η επίδραση της  $C$  αναλογίας κάλυψης στη ρυθμοαπόδοση του δικτύου παρουσιάζεται στο σχήμα 5.22. Παρατηρείται ότι η μέγιστη ρυθμοαπόδοση επιτυγχάνεται όταν η αναλογία κάλυψης είναι 0.55. Μια μέση τιμή της αναλογίας κάλυψης είναι προτιμότερη από μια σχετικά μεγάλη ή μικρή τιμή.

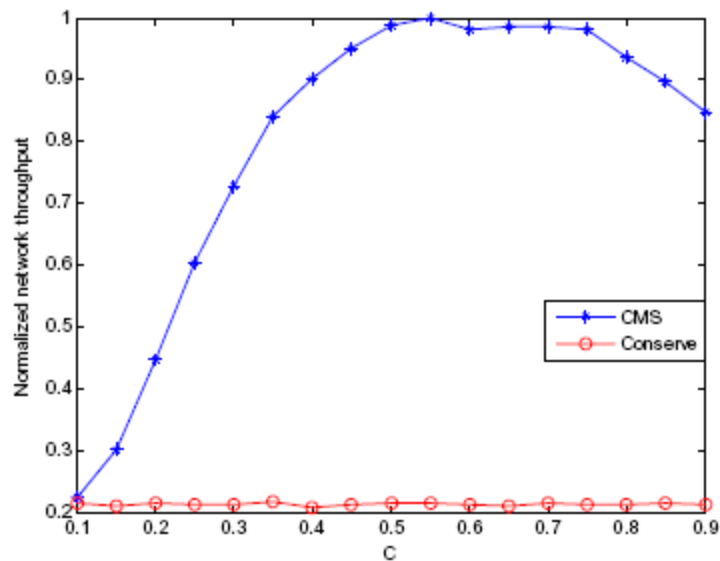
Η χρήση του συγκεκριμένου σχήματος μπορεί να επεκταθεί γενικά για χρήση και σε άλλα ασύρματα δίκτυα [31].



**Σχήμα 5.20** Steady-state service πιθανότητα για κάθε multicast ομάδα [31]



Σχήμα 5.21 Ομαλοποιημένη ρυθμοαπόδοση κάθε μέλους της multicast ομάδας [31]



Σχήμα 5.22 Ρυθμοαπόδοση δικτύου για διάφορες τιμές της C αναλογίας κάλυψης [31]

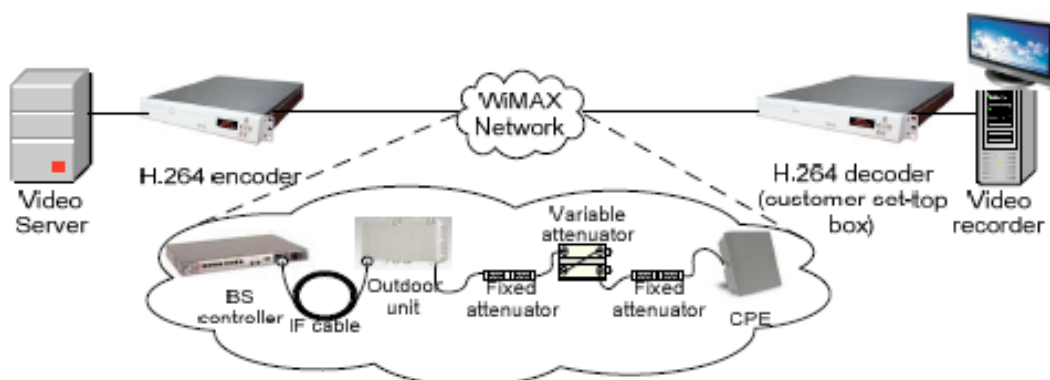
### 5.9 Αξιολόγηση QoS παραμέτρων για τη μέτρηση της ποιότητας διανομής IPTV βίντεο μέσω δικτύου WiMAX

Κάποιες προγενέστερες μελέτες περιορίζονται κυρίως στην αξιολόγηση της μέτρησης χαρακτηριστικών όπως αυτά της ρυθμοαπόδοσης και της ισχύος του σήματος, ενώ κάποιες άλλες επικεντρώνονται στην ανάλυση της δομής του

πρωτοκόλλου στην περίπτωση της διανομής IPTV βίντεο [1, 6, 32]. Η παράγραφος αυτή εξετάζει τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη H.264 συμπίεση, μελετώντας περιπτώσεις διανομής SD και HD βίντεο από την άποψη των QoS παραμέτρων, όπως είναι αυτές της απώλειας πακέτων της καθυστέρησης και της μεταβολής της καθυστέρησης.

Για την εκτίμηση της ποιότητας του διανεμηθέν βίντεο μέσω του WiMAX κάτω από διαφορετικές συνθήκες, πραγματοποιήθηκε μία δοκιμή στην οποία το WiMAX δίκτυο αποτελείται από ένα σταθμό βάσης και τον ανάλογο εξοπλισμό στις εγκαταστάσεις των πελατών (Customer Premises Equipments - CPEs) συνδεδεμένα με μέσω εξασθενητών (attenuators) για την προσομοίωση της εναέριας σύνδεσης αυτών (σχήμα 5.23). Η δοκιμή έγινε ως προς ένα μόνο σταθερό χρήστη προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα εμπειρίας αυτού.

Στον πίνακα 5.2 απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά του WiMAX δικτύου με το οποίο έγινε αυτή η δοκιμή.



Σχήμα 5.23 Σχεδιάγραμμα δικτύου δοκιμής [33]



**Πίνακας 5.2** Χαρακτηριστικά WiMAX δικτύου δοκιμής [33]

|                                     |                              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Standard compliance                 | IEEE 802.16d                 |
| Duplex mode                         | TDD, Full Duplex             |
| Channel size                        | 7 MHz                        |
| FFT size / Frame size               | 256 / 10 ms                  |
| Supported modulations               | 64QAM, 16QAM, QPSK, and BPSK |
| Transmission powers of BS/CPE       | 36 dBm / 20 dBm              |
| Total fixed attenuation signal loss | 82.6 dB                      |

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διαφορετικών ρυθμών FEC κωδικοποίησης (πίνακας 5.3). Δεδομένου του γεγονότος ότι οι εφαρμογές βίντεο απαιτούν υψηλότερο εύρος ζώνης συγκριτικά με άλλες εφαρμογές πολυμέσων για κάθε σχήμα διαμόρφωσης επιλέχθηκε ο FEC ρυθμός κωδικοποίησης ο οποίος προσφέρει τη μέγιστη ρυθμοαπόδοση. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε ο  $\frac{3}{4}$  ρυθμός για τα 64QAM, 16QAM και QPSK σχήματα διαμόρφωσης και ο  $\frac{1}{2}$  που είναι και ο μόνος διαθέσιμος για το BPSK.

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 5.2, η TDD τεχνική που χρησιμοποιείται από το WiMAX, επιτρέπει την προσαρμογή της αναλογίας του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων μεταξύ της κάτω και της άνω ζεύξης σε 85/15 και 25/75 στις δύο περιπτώσεις μελέτης. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη για διάφορα σχήματα διαμόρφωσης καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ένα QAM σχήμα διαμόρφωσης προσφέρει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης των IPTV δεδομένων συγκριτικά με ένα PSK σχήμα.

Σύμφωνα με το σχήμα 5.23 στη δοκιμή χρησιμοποιείται ένας MPEG-4 AVC/H.264 κωδικοποιητής, όπου το βίντεο μπορεί να είναι μια SD (ανάλυσης 1920 x 1080 pixels) ή μια HD (ανάλυσης 720 x 480 pixels) ροή με ρυθμό μετάδοσης frame 29.97 fps και για τις δύο [33]. Θεωρούμε επίσης ότι αυτές οι δύο ροές διαθέτουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ίση διάρκεια βίντεο.
- Ίσο μήκος frames ανά GOP
- Ίδια δομή των I, P και B frames
- Ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης του SD και του HD περιεχομένου 1 και 5Mbps αντίστοιχα.

Πίνακας 5.3 Ρυθμοαπόδοσης WiMAX σύνδεσης [33]

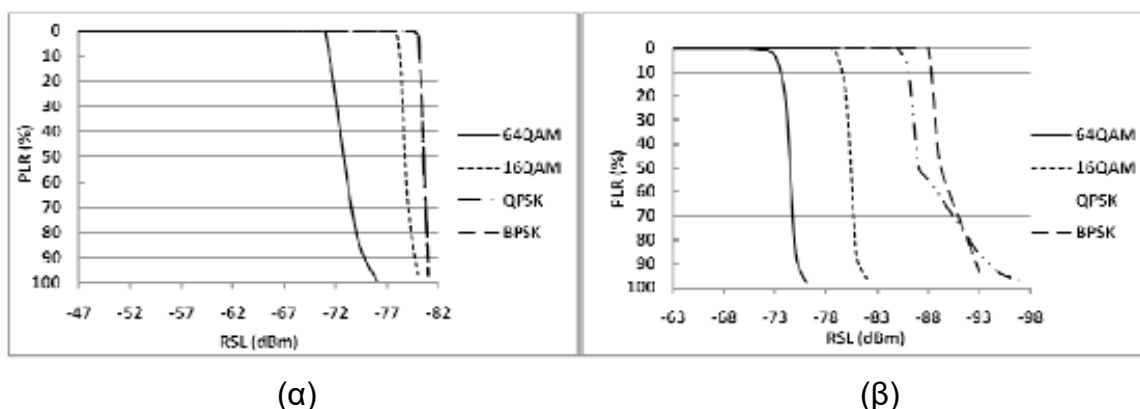
| Modulation | Throughput (Mbps)   |     |                     |      |
|------------|---------------------|-----|---------------------|------|
|            | DL/UL ratio = 85/15 |     | DL/UL ratio = 25/75 |      |
|            | DL                  | UL  | DL                  | UL   |
| 64QAM 3/4  | 19.0                | 3.2 | 5.0                 | 17.0 |
| 16QAM 3/4  | 12.7                | 2.1 | 3.5                 | 11.5 |
| QPSK 3/4   | 6.4                 | 1.0 | 1.6                 | 5.7  |
| BPSK 1/2   | 2.0                 | 0.3 | 0.4                 | 1.9  |

Ο MPEG-4 AVC/H.264 αποκωδικοποιητής παραμετροποιείται ώστε να αποκαταστήσει τυχόν σφάλματα εξαιτίας της απώλειας πακέτων αντιγράφοντας το τελευταίο αποκωδικοποιημένο frame. Η ποιότητα του βίντεο σε κάθε περίπτωση δοκιμής αξιολογείται για διαφορετικές συνθήκες σύνδεσης οι οποίες αλλάζουν ανάλογα με την εξασθένιση. Κάθε περίπτωση δοκιμής επαναλαμβάνεται αρκετές φορές. Η μέτρηση της μέσης ποιότητας όλων των αποκωδικοποιημένων δειγμάτων γίνεται βάσει του PSNR, για τους διαφορετικούς ρυθμούς κωδικοποίησης των SD και HD ροών (χωρίς τη μετάδοση τους στο δίκτυο), (πίνακας 5.4). Για τη μέτρηση της ποιότητας των ροών αυτών η δοκιμή πραγματοποιήθηκε πολλές φορές κάτω από διαφορετικές συνθήκες εξασθένισης. Κάθε περίπτωση δοκιμής επαναλαμβάνεται αρκετές φορές. Ο μέσος όρος της ποιότητας του βίντεο που προέκυψε από τις δοκιμές αυτές μετρήθηκε από την αποκωδικοποίηση των ροών σύμφωνα με το δείκτη μέτρησης PSNR. Ο PSNR εκφράζει το λόγο της μέγιστης πιθανής ισχύος του σήματος προς την ισχύ του αλλοιωμένου από μετάδοση σήματος [34]. Επίσης στις δοκιμές αυτές αξιολογήθηκε και η ποιότητα των κωδικοποιημένων ροών δηλαδή των ροών πριν τη μετάδοση τους μέσω του WiMAX δικτύου. Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν επίσης και ως προς τις QoS παραμέτρους για τις διάφορες συνθήκες καναλιών. Οι συνθήκες που επικρατούν σε ένα κανάλι χαρακτηρίζονται από την ισχύ του σήματος και μετριούνται σε dBm (dB-microvolts per metre) από την RSL (received signal level) παράμετρο. Το RSL προκύπτει από την ισχύ της μετάδοσης, το «κέρδος» από τη χρήση κεραιών σε συνδυασμό και την εξασθένιση (π.χ. απώλεια πακέτων, παρεμβολές) .

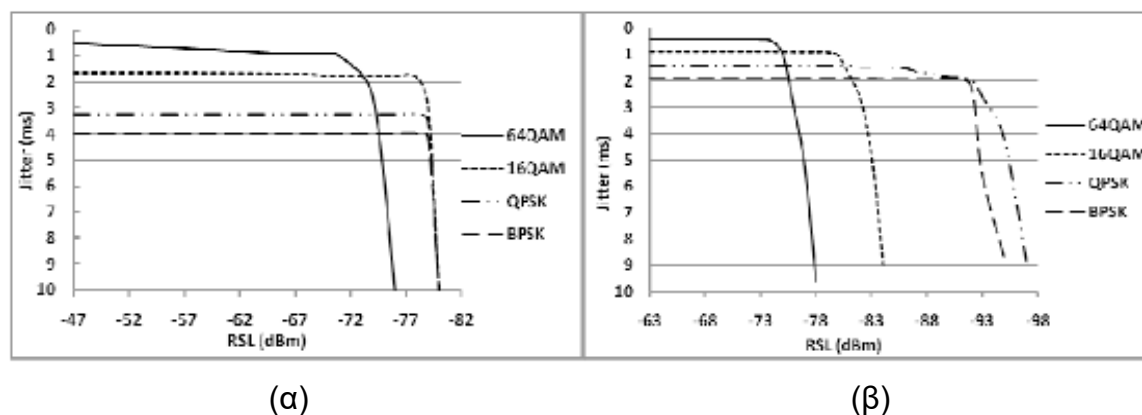
**Πίνακας 5.4** Περιπτώσεις ελέγχου ως προς την κωδικοποίηση του βίντεο και το σχήμα διαμόρφωσης [33]

| Definition | H.264 settings |       |                 | Encoding quality | Corresponding modulation |
|------------|----------------|-------|-----------------|------------------|--------------------------|
|            | Profile        | Level | Bit rate (Mbps) | PSNR (dB)        |                          |
| SD         | Main           | 3     | 1               | 33               | BPSK 1/2                 |
|            |                |       | 4               | 36               | QPSK 3/4                 |
| HD         | High           | 4     | 5               | 33.62            | QPSK 3/4                 |
|            |                |       | 8               | 35.18            | 16QAM 3/4                |
|            |                |       | 15              | 37.3             | 64QAM 3/4                |

Όπως παρατηρείται στο σχήμα 5.24 η απώλεια των πακέτων είναι σχεδόν μηδαμινή μέχρι η ισχύς του σήματος να ξεπεράσει το κατώτατο επιτρεπτό όριο όπου το σήμα χάνεται και η απώλεια των πακέτων αυξάνεται ραγδαία. Το κατώτατο αυτό όριο εξαρτάται από το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται. Τα κατώτατα όρια λειτουργίας για τα 64-QAM και 16-QAM σχήματα διαμόρφωσης είναι -71 και -78 dBm αντίστοιχα, τόσο για την άνω όσο και για την κάτω ζεύξη. Στην άνω ζεύξη στην περίπτωση χρήσης των QPSK και BPSK σχημάτων είναι τα κατώτα όρια διαμορφώνονται στα -85 και -89 dBm αντιστοίχως. Επειδή η ισχύς μετάδοσης στα σχήματα διαμόρφωσης QPSK και BPSK στην περίπτωση των 4 και 1 Mbps είναι ασύμμετρη, στην κάτω ζεύξη το κατώτατο όριο λειτουργίας είναι -81dBm.



**Σχήμα 5.24** Απώλεια πακέτων κάτω (α) και άνω ζεύξης (β) ως προς τις διάφορες συνθήκες καναλιού [33]



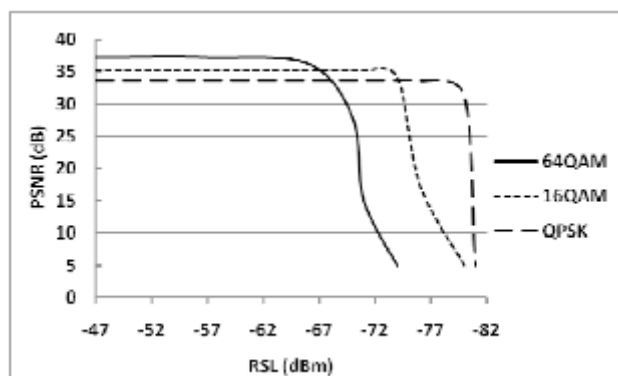
Σχήμα 5.25 Μετρήσεις jitter κάτω (α) και άνω ζεύξης (β) ως προς διάφορες συνθήκες καναλιού [33]

Σε όλες τις συνδέσεις κάτω ζεύξης εκτός αυτών των οποίων η σύνδεση διακόπηκε απότομα εξαιτίας της απώλειας του σήματος της άνω ζεύξης, η απώλεια των πακέτων κάτω ζεύξης είναι της τάξης του  $10^{-4}$  και  $10^{-3}$  για 2 και 1 dB αντίστοιχα πάνω από το κατώτατο όριο λειτουργίας. Ανάλογα με το σχήμα διαμόρφωσης και συνεπώς το ρυθμό μετάδοσης των bits, οι μετρήσεις ως προς τη μεταβολή της καθυστέρησης για την κάτω ζεύξη κυμαίνονται από 0.5 έως 4 ms και από 0.5 έως 2 ms στην κάτω ζεύξη (σχήμα 5.25). Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων ως προς τη μεταβολή της καθυστέρησης δείχνουν ότι οι συνθήκες είναι ιδανικές για εφαρμογές βίντεο.

Οι μετρήσεις ως προς την καθυστέρηση σε μία WiMAX σύνδεση μεταξύ του σταθμού βάσης και του CPE παρατηρήθηκε να είναι 35 ms με μια απόκλιση της τάξης των  $\pm 5$  ms. Γενικά η καθυστέρηση και η μεταβολή της καθυστέρησης δεν αποτελούν πρόβλημα για τη διανομή των IPTV υπηρεσιών μέσω του WiMAX εξαιτίας του ότι τα set-top boxes διαθέτουν τους buffers.

### 5.9.1 Ποιότητα βίντεο σε περιπτώσεις δοκιμών κάτω ζεύξης

Στις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για ένα HD κανάλι παρατηρήθηκε ότι η υψηλότερη ποιότητα βίντεο επιτυγχάνεται με τη χρήση του 64-QAM σχήματος διαμόρφωσης εξαιτίας του υψηλότερου ρυθμού κωδικοποίησης των 15 Mbps. Εντούτοις τα 37 dB του PSNR μειώνονται σε 27 dB όταν το RSL γίνεται -70 dBm (1dB πάνω από το κατώτατο επιτρεπτό όριο), (σχήμα 5.26). Στην περίπτωση δοκιμής με χρήση του 16QAM σχήματος διαμόρφωσης και ρυθμό μετάδοσης 8 Mbps, η ποιότητα είναι εμφανώς χαμηλότερη, με PSNR 35 dB μέχρι η τιμή του



Σχήμα 5.26 Ποιότητα HD καναλιού σε περιπτώσεις δοκιμών υπό διαφορετικές συνθήκες [33]

RSL να φθάσει 3 dB πάνω από το κατώτατο επιτρεπτό όριο. Οι δοκιμές για ένα HD κανάλι με ρυθμό μετάδοσης περιεχομένου 5 Mbps δείχνουν ότι στη χαμηλότερη ποιότητα αυτού η τιμή του PSNR είναι 33 dB έως ότου χαθεί η σύνδεση με τιμή RSL -81 dBm. Η ποιότητα παραμένει αποδεκτή για τις περισσότερους τύπους σκηνών, ωστόσο τα 5 Mbps ενδέχεται να μην είναι αρκετά για την κωδικοποίηση κάποιων σύνθετων HD σκηνών. Συνεπώς σε ένα βίντεο όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του PSNR τόσο μικρότερο είναι το RSL, δηλαδή όσο καλύτερη είναι η ποιότητα της εικόνας, τόσο μικρότερος είναι ο αριθμός απώλειας των πακέτων.

Οι δοκιμές σε ένα SD κανάλι δίνουν μια σταθερή ποιότητα βίντεο μέχρι η σύνδεση να χαθεί εξαιτίας της ασυμμετρίας της ισχύος μεταξύ άνω και κάτω ζεύξης. Στα 4 Mbps του QPSK σχήματος διαμόρφωσης η ποιότητα είναι αρκετά καλή (με τιμή PSNR 36 dB). Το BPSK σχήμα το οποίο μπορεί να υποστηρίξει ρυθμό μετάδοσης μόνο 1 Mbps προσφέρει μια αποδεκτή ποιότητα του βίντεο με τιμή PSNR 33.1 dB. Αξίζει να σημειωθεί ότι όταν η τιμή RSL είναι λίγο πάνω από το κατώτατο επιτρεπτό όριο η αντιληπτή ποιότητα του βίντεο είναι σχεδόν η ίδια για όλες τις δοκιμές σα να έχουν κωδικοποιηθεί όλες οι ροές με τον ίδιο ρυθμό με την προϋπόθεση ότι το IPTV περιεχόμενο δεν διανέμεται στο WiMAX δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι τα WiMAX κανάλια με την επιλογή του κατάλληλου σχήματος διαμόρφωσης μπορεί να έχουν ελάχιστη επίδραση στην ποιότητα του βίντεο. Όπως προαναφέρθηκε σε αντίθεση με την ποιότητα του βίντεο σε περίπτωση επιλογής των QPSK και BPSK σχημάτων διαμόρφωσης που επιλέχθηκαν για την κάτω ζεύξη η οποία παραμένει σταθερή έως ότου χαθεί η σύνδεση, στην

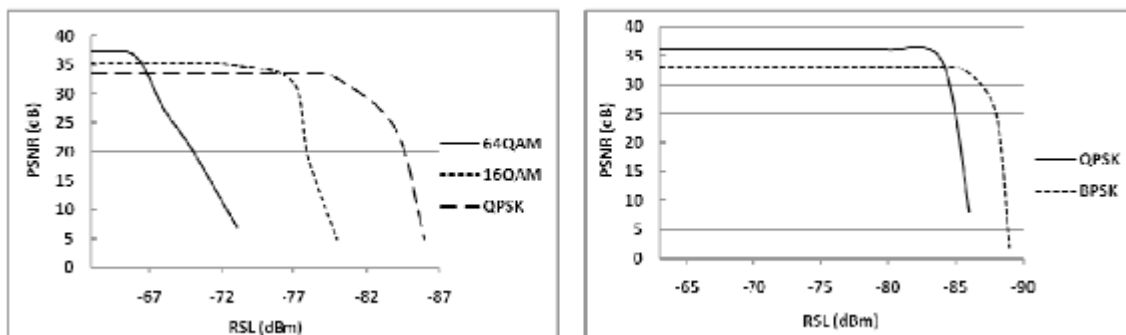
περίπτωση επιλογής των 64QAM και 16QAM σχημάτων η ποιότητα μειώνεται μέχρι όταν μειώνεται το RSL έως ότου πάρει τη κατώτατη τιμή του. Έτσι για τη διατήρηση μιας καλής ποιότητας προτείνεται η λειτουργία των QAM σχημάτων διαμόρφωσης με τιμή RSL 2-3 dB πάνω από το κατώτατο επιτρεπτό όριο.

Για τη διατήρηση μιας καλής ποιότητας εικόνας όταν επιλέγονται τα QAM σχήματα, δηλαδή για ένα HD κανάλι προτείνεται η λειτουργία του σε 3-4 dB πάνω από το κατώτατο επιτρεπόμενο όριο του RSL. Ωστόσο το HD κανάλι το οποίο χρησιμοποιεί την ίδια QPSK διαμόρφωση με το SD απαιτεί μεγαλύτερη απόσταση από το κατώτατο RSL όριο για να διατηρήσει την ίδια ποιότητα. Αυτό σημαίνει ότι το SD παρουσιάζει μεγαλύτερη ανεκτικότητα από το HD στους υψηλούς ρυθμούς απώλειας πακέτων. Η προτεινόμενη απόσταση από το κατώτατο RSL όριο για ένα SD κανάλι είναι 1-2 dB για τη διατήρηση μιας σταθερής αποδεκτής ποιότητας.

### **5.9.2 Ποιότητα βίντεο σε περιπτώσεις δοκιμών άνω ζεύξης**

Η άνω ζεύξη δεν επηρεάζεται από την ασύμμετρη ισχύ της μετάδοσης. Η υψηλότερη HD ποιότητα όπως δείχνει το σχήμα 5.27(α), παρατηρείται για το 64QAM σχήμα διαμόρφωσης με τιμή PSNR 37 dB, η οποία διαρκεί για ένα μικρό εύρος RSL τιμών. Αν και η σύνδεση σε ένα 64QAM κανάλι άνω ζεύξης διατηρείται όταν το RSL είναι περίπου -71 dBm, στην περίπτωση των 15 Mbps η ποιότητα του βίντεο ξεκινά να φθίνει στα -67 dBm. Το ίδιο παρατηρείται και στις περιπτώσεις των 8 και 5 Mbps αντιστοίχως, εκτός του ότι η ποιότητα του βίντεο φθίνει απότομα. Η μέγιστη εφικτή ποιότητα του βίντεο για κάθε περίπτωση δοκιμής, παρατηρείται όταν η τιμή του RSL είναι 3 dBm μεγαλύτερη από το κατώτατο επιτρεπτό όριο κάθε σχήματος διαμόρφωσης. Ακόμη κι αν ένα σήμα άνω ζεύξης συνεχίζει να διαβιβάζεται κοντά στο κατώτατο επιτρεπτό όριο, το βίντεο δεν είναι παρακολουθήσιμο.

Στο σχήμα 5.27(β) απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης για τις περιπτώσεις δοκιμών του SD βίντεο. Για τις δοκιμές των 4 Mbps QPSK σχήματος διαμόρφωσης η ποιότητα του SD βίντεο είναι αρκετά καλή (με PSNR 36 dB) μέχρι



**Σχήμα 5.27** HDTV και SDTV ποιότητα για περιπτώσεις δοκιμών υπό διαφορετικές συνθήκες καναλιού [33]

η τιμή του RSL να φθάσει στα -84 dBm, η οποία είναι μόλις 1 dB μεγαλύτερη από το κατώτατο επιτρεπτό όριο. Ωστόσο η περίπτωση δοκιμής του HD καναλιού με ρυθμό μετάδοσης 5 Mbps, το οποίο χρησιμοποιεί επίσης το QPSK σχήμα διαμόρφωσης, η τιμή του RSL απαιτείται να είναι τουλάχιστον κατά 3 dBm μεγαλύτερη για να διατηρεί την ίδια ποιότητα. Συνεπώς το SD βίντεο παρουσιάζει μεγαλύτερη ανεκτικότητα στους υψηλούς ρυθμούς απώλειας πακέτων. Στην περίπτωση δοκιμής ενός SD καναλιού ρυθμού μετάδοσης 1 Mbs, δείχνει ότι η σταθερή αντιληπτή ποιότητα (με PSNR 33 dB) αρχίζει να φθίνει όταν το RSL είναι 2 dBm μεγαλύτερο από το κατώτατο όριο (-89 dB). Γενικά όταν η τιμή του RSL δεν πλησιάζει τα κατώτατα όρια λειτουργίας η ποιότητα του βίντεο είναι η ίδια τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη. Συνίσταται λοιπόν το RSL να είναι 1-2 dB μεγαλύτερο από το κατώτατο όριο στην περίπτωση άνω ζεύξης του SD βίντεο. Γενικά προτείνεται στην άνω ζεύξη η τιμή του RSL να είναι 3-4 dB μεγαλύτερη από το κατώτατο επιτρεπτό όριο λειτουργίας.

Συνοψίζοντας σε ένα περιβάλλον οπτικής επαφής το RSL είναι μεγαλύτερο από -70 dBm, ενώ σε ένα περιβάλλον μη οπτικής επαφής είναι μικρότερο από -70 dBm. Συνεπώς είναι γνωστή εκ των προτέρων η αναμενόμενη ποιότητα της υπηρεσίας βίντεο που μπορεί να υποστηριχθεί. Το χαρακτηριστικό της προσαρμοστικής διαμόρφωσης πρέπει να συνδυάζεται με τους H.264 κωδικοποιητές οι οποίοι αλλάζουν δυναμικά το ρυθμό κωδικοποίησης των bit και τον προσαρμόζουν στο ρυθμό αλλαγής του καναλιού, διατηρώντας την ίδια ανάλυση. Επίσης στην περίπτωση που οι κωδικοποιητές είναι κάποιο λογισμικό, ενδείκνυται η χρήση της SVC μέθοδου κωδικοποίησης του βίντεο.

## 5.10 Επίλογος

Για τη μετάδοση πολυεκπομπής ενός IPTV over WiMAX συστήματος προτείνεται η εκμετάλλευση της ποικιλόμορφης εξασθένισης των καναλιών με την εφαρμογή της Superposition Coded Multicasting τεχνικής (SPCM), η οποία διακρίνει τη μετάδοση των δεδομένων σε δύο επίπεδα ποιότητας κάθε ένα από τα οποία χρησιμοποιεί διαφορετικό σχήμα διαμόρφωσης. Η βέλτιστη επιλογή σχημάτων διαμόρφωσης βοηθά στη βέλτιστη κατανομή του ρυθμού μετάδοσης

Αν και η προηγούμενη προσέγγιση είναι αποτελεσματική στην περίπτωση της ποικιλομορφίας των χρηστών, αποτυγχάνουν να διατηρήσουν/προστατέψουν της ποιότητα των ροών εικόνας. Για τη διατήρηση της ποιότητας της εικόνας σε συνθήκες διακύμανσης του καναλιού υιοθετείται η layered Multiple Description Coding (MDC) τεχνική η οποία προσφέρει τη δυνατότητα μερικής λήψης των πακέτων και μπορεί να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με τη SPCM τεχνική στο κανάλι και την εξελικτική κωδικοποίηση βίντεο. Συνεπώς δεν είναι πλέον απίθανό για ένα σταθμό συνδρομητή να λάβει δεδομένα ενός υψηλότερου επιπέδου ποιότητας υπό τις «κακές» συνθήκες στο κανάλι του, κάτι το οποίο δεν ήταν εφικτό μόνο με τη χρήση της SPCM τεχνικής.

Ένα απλό σχήμα multicast διανομής όπως είναι αυτό που εφαρμόζεται στην περίπτωση των CDMA 2000 1XEV-DO δικτύων υιοθετεί μια σταθερή προσέγγιση ρυθμού μετάδοσης δεδομένων αγνοώντας τις διαφορετικές συνθήκες καναλιών που ενδέχεται να επικρατούν μεταξύ των μελών μιας multicast ομάδας. Προτείνεται λοιπόν ένα συνεργατικό (cooperative) multicast σχήμα, το οποίο εκμεταλλεύεται το κέρδος από τη χωρική ποικιλομορφία μεταξύ των πολλαπλών χρηστών με τη χρήση της συνεργατικής μετάδοσης δύο φάσεων. Συγκεκριμένα οι χρήστες οι οποίοι διαθέτουν «καλές» συνθήκες καναλιού προωθούν τα δεδομένα που λαμβάνουν στους υπόλοιπους χρήστες της ομάδας. Το σχήμα αυτό βελτιώνει τη ρυθμοαπόδοση τόσο στο επίπεδο της multicast ομάδας όσο και για κάθε επιμέρους μέλος της ομάδας, διατηρώντας παράλληλα την αξιοπιστία της μετάδοσης για τους σταθμούς συνδρομητών των οποίων οι συνθήκες των καναλιών δεν είναι «καλές».



## 5.11 Βιβλιογραφία

- [1] F. E. Retnasothie, M. K. Ozdemir, T. Yucek "Wireless IPTV over WiMAX: Challenges and Applications", Department of Electrical Engineering, Tampa, FL
- [2] J. She, F. Hou, P.-H. Ho and L.-L. Xie, "IPTV over WiMAX: Key Success Factors, Challenges, and Solutions", *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no 8, pp.87-93, Aug. 2007.
- [3] [http://www.cable-satellite.com/pdf/features/jan-feb\\_2008/22\\_wireless.pdf](http://www.cable-satellite.com/pdf/features/jan-feb_2008/22_wireless.pdf)
- [4] <http://etutorials.org/Networking/wimax+technology+broadband+wireless+access/Part+Three+WiMAX+Multiple+Access+MAC+Layer+and+Qos+Management/Chapter+7+Convergence+Sublayer+CS/7.5+Payload+Header+Suppression+PHS/>
- [5] <http://mobilewireless.wordpress.com/2009/09/09/payload-header-suppression-for-wimax/>
- [6] I. V. Uilecan, C. Zhou, G. E. Atkin, "Framework for Delivering IPTV Services over WiMAX Wireless Networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Electro/Information Tech.*, 2007.
- [7] [http://cavendish.homedns.org/nfoec\\_wimax\\_transport.pdf](http://cavendish.homedns.org/nfoec_wimax_transport.pdf)
- [8] T. M. Cover, "Broadcast channels," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-18, pp. 2–14, Jan. 1972.
- [9] P. P. Bergmans and T. M. Cover, "Cooperative Broadcasting," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-20, pp. 317–324, May 1974.
- [10] S. Bopping, J. M. Shea, "Superposition coding in the downlink of CDMA cellular systems", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 3-6 April 2006, Volume: 4, pp: 1978-1983
- [11] J. Kim, J. Cho, and H. Shin "Resource allocation for scalable video broadcast in wireless cellular Networks," in *Proc. IEEE WiMob.*, vol.2, pp.174-180, Aug. 2005.
- [12] T. S. Rappaport, *Wireless communications: Principles and practice*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ , Oct. 1995.
- [13] M. Gen and R. Cheng, *Genetic Algorithms & Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- [14] J. She, F. Hou, and P.-H. Ho, "An Application-Driven MAC-layer Buffer Management with Active Dropping for Real-time Video Streaming in 802.16 Networks", *Proc. of IEEE 21st International Conference on Advanced Networking and Applications*, pp.451-458, Niagara Falls, Canada, 2007.
- [15] J. Gross, J. Klaue, H. Karl and A. Wolisz, "Cross-layer Optimization of OFDM Transmission Systems for MPEG-4 Video Streaming," *Comp. Commun.*, vol. 27, no. 11, pp. 1044–55, Jul. 1, 2004.
- [16] Y. Shan and A. Zakhori, "Cross Layer Techniques for Adaptive Video Streaming over Wireless Networks," *IEEE Int'l. Conf. Multimedia and Expo*, Lausanne, Switzerland, Aug. 26–29, 2002.
- [17] P. Buccioli, G. Davini, E. Masala, E. Filippi and J.C. De Martin, "Cross-layer Perceptual ARQ for H.264 Video Streaming over 802.11 Wireless Networks," *Proc. Of IEEE GLOBECOM*, vol. 5, pp. 3027-3031, Nov.-Dec. 2004.
- [18] M. van der Schaar, S. Krishnamachari, S. Choi and X. Xu, "Adaptive Cross-Layer Protection Strategies for Robust Scalable Video Transmission over 802.11 WLANs," *IEEE JSAC*, vol. 21, no. 10, pp. 1752–63, Dec. 2003.

- [19] J. Song and K. J. Ray Liu, "An Integrated Source and Channel Rate Allocation Scheme for Robust Video Coding and Transmission over Wireless Channels," *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, vol. 2004, no. 2, pp. 304-316, 2004.
- [20] J. Byers *et al.*, "A digital fountain approach to asynchronous reliable multicast," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 20, no. 8, pp. 1528-1540, Oct. 2002.
- [21] W. Ge, J. Zhang and S. Shen, "A Cross-Layer Design Approach to Multicast in Wireless Networks", *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 6, no. 3, pp. 1063-1071, 2007.
- [22] [http://wiki.multimedia.cx/index.php?title=Scalable\\_Video\\_Coding](http://wiki.multimedia.cx/index.php?title=Scalable_Video_Coding) (Τελευτ. Πρόσβ. 06/04/2010)
- [23] [http://en.wikipedia.org/wiki/Scalable\\_Video\\_Coding](http://en.wikipedia.org/wiki/Scalable_Video_Coding) (Τελευταία πρόσβαση 06/04/2010)
- [24] J. She, X. Yu, P.-H. Ho and E.-H. Yang, "A Cross-Layer Design Framework for Robust IPTV Services over IEEE 802.16 Networks ", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 27, pp. 235-245, Feb. 2009.
- [25] [http://en.wikipedia.org/wiki/Reed-Solomon\\_error\\_correction](http://en.wikipedia.org/wiki/Reed-Solomon_error_correction) (Τελευτ. πρόσβαση 30/03/2010)
- [26] IEEE Standard 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," 2004.
- [27] P. Agashe, R. Rezaifar, and P. Bender, "CDMA2000 High Rate Broadcast Packet Data Air Interface Design", *IEEE Communications Magazine*, pp. 83-89, Feb. 2004.
- [28] A. Coso, S. Savazzi, U. Spagnolini, and C. Ibars, "Virtual MIMO Channels in Cooperative Multi-hop Wireless Sensor Networks", *Proc. Information Sciences and Systems*, pp. 75-80, Mar. 2006.
- [29] M. Dianati, X. Shen, and K. Naik, "Cooperative Fair Scheduling for the Downlink of CDMA Cellular Networks", *IEEE Trans. on Vehicular Techno.*, vol. 56, no. 4, pp. 1749-1760, July 2007.
- [30] V. Mahinthan, L. Cai, J.W. Mark, and X. Shen, "Maximizing Cooperative Diversity Energy Gain for Wireless Networks", *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol.6, no. 7, pp. 2530-2539, July 2007.
- [31] F. Hou, L. X. Cai, J. She, P.-H. Ho, X. Shen, and Junshan Zhang, "Cooperative Multicast Scheduling Scheme for IPTV Service over IEEE 802.16 Networks", 2008.
- [32] Tsitserov, D., Markarian, G., Manuylov, I.: Real-Time Video Distribution over WiMAX Networks. In: Proc. Annual Postgraduate Symposium, Liverpool, UK (2008)
- [33] O. Issa, W. - L., H. Liu "WiMAX TV: Possibilities and Challenges", 2009
- [34] [http://en.wikipedia.org/wiki/Peak\\_signal-to-noise\\_ratio](http://en.wikipedia.org/wiki/Peak_signal-to-noise_ratio) (Τελευταία πρόσβαση 12/04/2010)
- [35] [http://www.wireie.com/pdfs/wimax\\_broadcast\\_industry\\_ver\\_2.5.pdf](http://www.wireie.com/pdfs/wimax_broadcast_industry_ver_2.5.pdf) (Τελ. πρόσβ. 25/03/2010)

## 5.12 Συμπεράσματα

Μία πρόβλεψη που έχει γίνει πάνω στις ασύρματες υπηρεσίες σύγκλισης αναφέρει ότι το WiMAX δεν αποτελεί βιώσιμη λύση για τις σταθερές IPTV υπηρεσίες [3]. Αυτό πιστεύεται ότι ισχύει, όχι διότι το WiMAX αποτυγχάνει στην ικανοποίηση των QoS απαιτήσεων των IPTV υπηρεσιών, αλλά λόγω της χωρητικότητας και ειδικά από τη στιγμή που υπάρχει πίεση για τη παροχή περισσότερου εύρους ζώνης, από μέρους των κατασκευαστών καλωδιακών και DSL υποδομών για τις αναδυόμενες HD υπηρεσίες. Η χωρητικότητα εξαρτάται από το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Λόγω αυτού του περιορισμού θεωρείται ότι το WiMAX αποτελεί καλύτερη λύση για τη διανομή εν κινήσει IPTV υπηρεσιών. Ενώ το απαιτούμενο εύρος ζώνης είναι το τουλάχιστον 2 Mbps για τη διανομή SD υπηρεσιών σε συσκευές κανονικής οθόνης, στην περίπτωση της mobile TV το απαιτούμενο εύρος ζώνης είναι 500 Kbps, για ένα QVGA (quarter VGA) μέγεθος οθόνης [3]. Σε αυτή την περίπτωση διανομής IPTV υπηρεσιών μέσω φορητών συσκευών είναι εφικτή η περαιτέρω συμπίεση του εύρους ζώνης μέσω της στατιστικής πολυπλεξίας (statistical multiplexing), η οποία εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι τα διάφορα κανάλια έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης ανάλογα με τις απαιτήσεις της μετάδοσης. Αυτό επιτρέπει στα κανάλια το δανεισμό επιπλέον χωρητικότητας από άλλα κανάλια επιτρέποντας τη διατήρηση της ποιότητας με ένα χαμηλότερο συνολικό ρυθμό μετάδοσης. Συγκεκριμένα ο μέσος ρυθμός μετάδοσης για ένα κανάλι που προορίζεται για χρήση VGA υπηρεσιών τετάρτων μπορεί να μειωθεί από 500 Mbps σε 200 Mbps [3].

Τα ζητήματα ποιότητας υπηρεσίας έχουν επιλυθεί κατά ένα μεγάλο μέρος, μέσω του συνδυασμού των MIMO και OFDM τεχνικών. Η MIMO τεχνική μέσω της χρήσης πολλαπλών κεραιών στη συσκευή αποστολής σημάτων και στο δέκτη, δημιουργεί πρόσθετο εύρος ζώνης μέσα σε ένα δεδομένο φάσμα, χωρίς την απαίτηση αύξησης της ισχύος. Επιπλέον τα ίδια δεδομένα μπορούν να αποσταλούν μέσω διαφορετικών μονοπατιών, έτσι εάν σε ένα συγκεκριμένο μονοπάτι δημιουργούνται παρεμβολές, ενδεχομένως σε κάποιο άλλο να μην δημιουργούνται. Ωστόσο το γεγονός ότι τα σήματα ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές μπορεί να κάνει τα ίδια να αποτελούν αιτία παρεμβολών, λόγω του ότι η διανομή τους μέσω διαφορετικών μονοπατιών τα κάνει να απαιτούν διαφορετικούς χρόνους μέχρι να ολοκληρωθεί η μεταφορά τους. Σε αυτό το σημείο η OFDM

τεχνική μετριάζει αυτό το φαινόμενο, μέσω της διαβίβασης των ίδιων πληροφοριών σε διαφορετικές συχνότητες με την ελπίδα ότι τουλάχιστον μία από αυτές θα διανέμονται χωρίς παρεμβολές. Ο στόχος αυτών των τεχνικών είναι να παρασχεθεί επιπλέον ανθεκτικότητα και χωρητικότητα κατά τη διαβίβαση μέσω διαφορετικών συχνοτήτων και μονοπατιών.

Εντούτοις υπάρχουν δύο ζητήματα ποιότητας της υπηρεσίας τα οποία δεν έχουν επιλυθεί οριστικά ακόμη και τα οποία σχετίζονται με τη διανομή βίντεο των κινητών συσκευών σε υψηλές ταχύτητες, όπως στην περίπτωση της παρακολούθησης ενός προγράμματος στο αυτοκίνητο ή στο τρένο. Το ένα από αυτά εντοπίζεται κατά τη μετακίνηση των συσκευών από ένα σταθμό βάσης σε έναν άλλο (γειτονικά cells) όπου μπορεί να υπάρξει μια προσωρινή απώλεια ή διακοπή της εικόνας κατά το συντονισμό του δέκτη στη διαφορετική συχνότητα που χρησιμοποιεί ο νέος σταθμός βάσης που εισέρχεται. Αν και αυτό το πρόβλημα για τις εφαρμογές φωνής φαίνεται να έχει επιλυθεί, ωστόσο είναι ορατό κατά τη διανομή βίντεο σε ταχύτητες άνω των 88 Km [3]. Το όριο αυτό είναι μικρότερο από τη μέση ταχύτητα των αυτοκινήτων στις περισσότερες χώρες και φυσικά αρκετά μικρότερο από την ταχύτητα των τρένων. Το δεύτερο πρόβλημα εμφανίζεται όταν μία κινητή συσκευή για κάποιο λόγο χάσει προσωρινά το σήμα της όπως στην περίπτωση της εισόδου της σε κάποια σήραγγα. Αν και δεν υπάρχει κάποια συμφωνηθείσα τυποποιημένη λύση για το κάθε ένα από αυτά τα πρόβλημα, υπάρχουν μερικοί μηχανισμοί που με την προσεκτική εφαρμογή τους μπορούν να μετριάσουν και αυτά τα προβλήματα. Μέσω του SNF (Single Frequency Network) μηχανισμού του WiMAX, ένα βίντεο μπορεί να διανεμηθεί στο χρήστη μέσω πολλαπλών σταθμών βάσης, οι οποίοι θα χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι συχνοτήτων. Η προσέγγιση αυτή είναι εφικτή με τη χρήση ψηφιακών τεχνικών διαμόρφωσης όπως η OFDM για την αποφυγή της παραδιοφωνίας (Co-Channel Interference - CCI) που προκαλούν οι σταθμοί βάσης που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα [35]. Έτσι ο δέκτης αναδημιουργεί το κανάλι από τις ροές που του διαβιβάζονται μέσω των διαφόρων σταθμών βάσης. Η λύση αυτή απαιτεί ακριβή συγχρονισμό μεταξύ των ροών που διανέμονται από τους σταθμούς βάσης για την αναδημιουργία του καναλιού. Για την επίλυση του προβλήματος που δημιουργείται από την είσοδο του χρήστη σε μία σήραγγα έχει προταθεί η χρήση της iFEC (incremental Forward Error Correction) τεχνικής. Η τεχνική προοριζόταν αρχικά για τη διανομή δορυφορικής τηλεόρασης, όπου η διακοπή του σήματος στην περίπτωση

μετάδοσης υπηρεσιών πραγματικού χρόνου αποτελεί ακόμη μεγαλύτερο πρόβλημα. Με την συνήθη FEC τεχνική επιπλέον bits προστίθενται στο ωφέλιμο φορτίο για να επιτρέψουν στη συσκευή λήψης να ανακτήσει πλήρως τα frames των δεδομένων στην περίπτωση της διακοπής. Εάν η διακοπή ή η απώλεια των bits ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο, η FEC πρέπει να αποστείλει ολόκληρο το frame ξανά. Τα frames μπορεί να είναι αρκετά μεγάλα και η επαναμετάδοση τους μπορεί να επιφέρει σημαντική καθυστέρηση και συνεπώς τη διακοπή της ροής του βίντεο. Για τον παραπάνω λόγω προτείνεται η iFEC τεχνική (incremental FEC), βάσει της οποίας αποφεύγεται η ανάγκη της επαναμετάδοσης ολόκληρων των frames στην περίπτωση σφάλματος των bits αναλύοντας κάθε frame σε μπλοκ δεδομένων. Τα μπλοκ τα οποία δε διακόπτονται αποθηκεύονται στο buffer του δέκτη και επανασυνδυάζονται με τα μπλοκ που επαναμεταδίδονται λόγω της διακοπής. Έτσι μειώνεται η καθυστέρηση που προκαλείται λόγω των επαναμεταδόσεων, επιτρέποντας σε έναν κινούμενο δέκτη να αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό τουλάχιστον για τις σήραγγες μικρού μήκους.

Κάποιοι σημαντικοί προμηθευτές διανομής IPTV υπηρεσιών, όπως η Motorola, θεωρούν μακροπρόθεσμα τη διανομή των IPTV υπηρεσιών μέσω του WiMAX [3] βιώσιμη, υποστηρίζοντας ότι ο περιορισμός εύρους ζώνης είναι μόνο προσωρινός.



