



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Διασύνδεση ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων με
δορυφορικά δίκτυα**

Αναστασία Γ. Λυγίζου

ΑΘΗΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014



NATIONAL AND KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS

**SCHOOL OF SCIENCES
DEPARTMENT OF INFORMATICS AND TELECOMMUNICATIONS**

PROGRAM OF POSTGRADUATE STUDIES

PhD THESIS

**Interconnection between a Satellite Interactive Network and
wireless broadband networks**

Anastasia G. Lygizou

ATHENS

FEBRUARY 2014

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Διασύνδεση ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων με δορυφορικά δίκτυα

Αναστασία Γ. Λυγίζου

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ:

Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής ΕΚΠΑ

Γεώργιος Στεφάνου, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**Λάζαρος Μεράκος,
Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**Γεώργιος Στεφάνου,
Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης,
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**Μιχαήλ Θεολόγου,
Καθηγητής ΕΜΠ**

**Αλέξανδρος Καλόξυλος,
Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου
Πελοποννήσου**

**Ιωάννης Σταυρακάκης,
Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**Παναγιώτης Μαθιόπουλος,
Καθηγητής ΕΚΠΑ**

Ημερομηνία εξέτασης 20/02/2014

PhD THESIS

Interconnection between a Satellite Interactive Network and wireless broadband networks

Anastasia G. Lygizou

SUPERVISOR: Lazaros Merakos, Professor ΕΚΠΑ

THREE-MEMBER ADVISORY COMMITTEE:

Lazaros Merakos, Professor UoA

Georgios Stefanou, Assistant professor UoA

Stathes Hadjiefthymiades, Assistant professor UoA

SEVEN-MEMBER EXAMINATION COMMITTEE

**Lazaros Merakos,
Professor UoA**

**Georgios Stefanou,
Assistant professor UoA**

**Stathes Hadjiefthymiades,
Associate professor UoA**

**Michael Theologou,
Professor NTUA**

**Alexandros Kaloxulos,
Assistant professor UoP**

**Ioannis Stavrakakis,
Professor UoA**

**Panagiotis Mathiopoulos,
Professor UoA**

Examination Date 20/02/2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή πραγματεύεται το πρόβλημα της διασύνδεσης μεταξύ ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου και ευρυζωνικών δικτύων. Η εκχώρηση της χωρητικότητας στις τελικές συνδέσεις του ευρυζωνικού δικτύου γίνεται μετά από χρονικό διάστημα 500 msec από τη στιγμή που στάλθηκε το αντίστοιχο αίτημα από το αντίστοιχο δορυφορικό τερματικό. Οι περισσότερες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου δεν μπορούν να ανεχθούν τόσο μεγάλες καθυστερήσεις. Για το λόγο αυτό εισάγουμε την λογική της πρόβλεψης των αναγκών των συνδέσεων κατά την αίτηση της χωρητικότητας.

Ο προτεινόμενος μηχανισμός διασύνδεσης αποτελείται από τρία τμήματα: το πρώτο είναι υπεύθυνο για τη διευθέτηση των αιτήσεων χωρητικότητας, το δεύτερο είναι υπεύθυνο για την εκχώρηση χωρητικότητας ανά δορυφορικό τερματικό, και το τρίτο είναι υπεύθυνο για τον διαμοιρασμό της δοσμένης χωρητικότητας στους συνδρομητές του ευρυζωνικού δικτύου. Η κύρια συνεισφορά του προτεινόμενου μηχανισμού είναι ότι χρησιμοποιεί έναν μηχανισμό πρόγνωσης που εφαρμόζεται στο πρώτο τμήμα για την πραγματοποίηση των αιτήσεων χωρητικότητας. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός μπορεί να παρέχει μια διαφοροποιημένη αντιμετώπιση στις υπηρεσίες διαφορετικού τύπου, που μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένα αποτελέσματα, ειδικά σε όρους ρυθμαπόδοσης και μέσης καθυστέρησης, συγκριτικά με έναν απλούστερο μηχανισμό που δεν χρησιμοποιεί πρόγνωση.

Στην συνέχεια της διατριβής μας, προσπαθήσαμε να βελτιώσουμε και τα τρία τμήματα του προτεινόμενου μηχανισμού διασύνδεσης με στόχο τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος, ειδικά όσο αφορά κίνηση πραγματικού χρόνου που έχει μικρότερες ανοχές σε καθυστερήσεις. Μετά από μελέτη των μηχανισμών πρόβλεψης που χρησιμοποιούνται στα ευρυζωνικά και στα δορυφορικά δίκτυα, χρησιμοποιούμε τον NLMS αλγόριθμο πρόβλεψης στο πρώτο τμήμα του μηχανισμού που σύμφωνα με τα αποτελέσματα βελτιώνει την απόδοση του συστήματος. Επιπλέον, επεκτείνουμε το δεύτερο τμήμα ώστε η κατανομή των χρονοθυρίδων να γίνεται σε MF-TDMA, καθώς στον αρχικό σχεδιασμό της διασύνδεσης του δορυφορικού και WiMAX δικτύου γινόταν για λόγους απλότητας σε μία συχνότητα. Τέλος, βελτιώνουμε τον χρονοπρογραμματιστή που λειτουργεί στο τρίτο τμήμα με στόχο την ανάπτυξη ενός χρονοπρογραμματιστή για τις συνδέσεις κίνησης πραγματικού χρόνου, ώστε ο διαμοιρασμός της χωρητικότητας στις συνδέσεις πραγματικού χρόνου του ευρυζωνικού δικτύου να γίνεται βάσει μετρικών Αντίληψης Ποιότητας. Προτείνουμε μία καινούργια μετρική αντίληψης ποιότητας και καταλήγουμε στην πρόταση ενός αλγορίθμου για την αναδιανομή των πόρων που βασίζεται στην παραπάνω μετρική και που επιπλέον κάνει προσαρμογή του ρυθμού δεδομένων. Η χρήση των μετρικών αντίληψης στον χρονοπρογραμματισμό είναι κάτι καινοτόμο, αφού αυτές οι μετρικές χρησιμοποιούνται κυρίως για την αξιολόγηση της ποιότητας του βίντεο. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος, βελτιώνει σημαντικά την αντίληψη ποιότητας των βίντεο συνδέσεων και μειώνει σημαντικά την μέση καθυστέρηση τους.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Ασύρματα Δίκτυα Επικοινωνιών, Δορυφορικά Δίκτυα

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: χρονοπρογραμματισμός, ποιότητα υπηρεσίας, αντίληψη ποιότητας, πρόβλεψη βίντεο

ABSTRACT

This doctoral thesis deals with the problem of interconnection between a satellite interactive network and broadband networks. The time difference between the capacity request of a satellite terminal and the capacity grant from the satellite network is at least equal to the round trip delay. Most real time services cannot tolerate this kind of delay. To address this issue, schemes for predicting the needs of connections are used for capacity allocation purposes.

An interconnection mechanism is proposed, which consists of three parts: 1) an entity at the satellite terminal responsible for capacity requests, 2) resource allocation to the satellite terminals and 3) sharing the capacity of a satellite terminal among the subscribers of the broadband network. The main contribution of the proposed mechanism is the introduction of a prediction mechanism in the first part for bandwidth requests. Simulation results show that the proposed mechanism can provide a differentiated treatment to services of different type, leading to improved performance, especially in terms of throughput and packet delay, compared to a simpler one that does not use prediction.

We propose solutions for all three parts of the interconnection mechanism aiming to improve the overall performance of the system, especially for real time traffic that can tolerate less delay. Following a review of the different schemes used for video prediction in broadband and satellite networks, the NLMS (Normalized Least Mean Square) algorithm is chosen to be used in the first part of the proposed mechanism. Simulation results show that the use of the NLMS algorithm improves system performance. In addition, we extend the second part of the mechanism for performing the slot allocation in MF-TDMA. Finally, we improve the scheduler of the third part of the proposed mechanism. The target of this improvement is to schedule traffic of real time connections of the broadband network based on Quality of Experience (QoE) metrics. We propose a new quality of experience metric and a new algorithm, based on this metric, for resource allocation that is also used for rate adaptation. This use of QoE metrics for scheduling is rather novel, since the main use of such metrics so far has been for the assessment of video quality. Simulation results show that the proposed algorithm attains a sizeable reduction of the mean delay and a considerable improvement of the quality of experience for video connections.

SUBJECT AREA: Wireless Communication Networks, Satellite Networks

KEYWORDS: traffic scheduling, quality of service, quality of experience, video prediction

Αφιερώνω αυτή τη διδακτορική διατριβή στα παιδιά μου, για να θυμούνται να βάζουν στόχους στη ζωή τους και να μην απομακρύνονται από αυτούς. Όταν θέλουν κάτι πολύ, τότε μπορούν να το κάνουν να συμβεί.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Όταν ξεκίνησα αυτή τη διδακτορική διατριβή, ήδη δούλευα ως εκπαιδευτικός της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Επομένως, η εκπόνηση της δεν ήταν ποτέ μία εύκολη υπόθεση. Πάντα πίστευα όμως ότι όταν θέλουμε κάτι μπορούμε να το πετύχουμε. Μπορεί να δυσκολευτούμε περισσότερο ή να χρειαστούμε περισσότερο χρόνο, αλλά θα το πετύχουμε. Σε αυτό συνέβαλε πολύ η αμέριστη βοήθεια, συνεργασία και καθοδήγηση του διδάκτορα και ερευνητή του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Ε.Κ.Π.Α., κ. Νίκου Πασσά και του επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Λάζαρου Μεράκου. Τους ευχαριστώ πολύ και τους δύο.

Στη διάρκεια αυτής της διατριβής, παντρεύτηκα τον σύντροφο της ζωής μου, τον Σπύρο. Ο Σπύρος, εκτός από ένας υπέροχος σύντροφος που παρείχε πάντα τη ψυχολογική του υποστήριξη, ήταν και ένας υπέροχος συνεργάτης. Γνωριστήκαμε στο πανεπιστήμιο, και πάντα συνέβαλε ουσιαστικά στην ολοκλήρωση των βασικών σπουδών, του μεταπτυχιακού, αλλά και αυτής της διατριβής. Μέσα από τις συζητήσεις μας πάντα προέκυπτε ένα καλό ερευνητικό αποτέλεσμα. Τον ευχαριστώ πολύ για αυτό.

Στη διάρκεια όμως αυτής της διατριβής, ήρθαν και τα παιδιά μας: ο Θάνος και η Γιώτα. Ο ερχομός ενός παιδιού, θα λειτουργούσε ανασταλτικά για πολλές γυναίκες στην ολοκλήρωση μιας τέτοιας διαδικασίας. Κατά τη διάρκεια των εγκυμοσύνων μου, όμως, είχα τη δυνατότητα να ολοκληρώσω μεγάλα κομμάτια της ερευνητικής μου δουλειάς, λόγω της αποχής από την εργασία μου. Οπότε κατά κάποιο τρόπο τα ευχαριστώ πολύ και αυτά για τις καλές εγκυμοσύνες που είχα.

Δεν θα μπορούσα βέβαια να παραλείψω να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα πεθερικά μου, που πάντα παρείχαν τη βοήθεια τους όταν τη χρειαζόμουν. Ειδικά, ένα μεγάλο ευχαριστώ στη μητέρα μου, γιατί πάντα με εμπύχωνε ώστε να μην παρατήσω κάτι που ήδη είχα αρχίσει.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου, για την παντοτινή εμπύχωση τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
2. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	31
2.1 Εισαγωγή.....	31
2.2 Το πρότυπο IEEE 802.11	32
2.3 Το πρότυπο LTE.....	35
2.3.1 Βασικές οντότητες του δικτύου κορμού.....	36
2.3.2 Βασικές οντότητες του δικτύου πρόσβασης.....	38
2.3.3 Εξοπλισμός Χρήστη	39
2.4 Το πρότυπο IEEE 802.16	40
2.4.1 Εξέχοντα χαρακτηριστικά του WiMAX	41
2.4.2 Αρχιτεκτονική Δικτύου Αναφοράς.....	43
2.4.3 Το φυσικό επίπεδο (PHY) στο IEEE 802.16/WiMAX.....	48
2.4.4 Επισκόπηση του MAC επιπέδου του WiMAX.....	54
2.4.5 Προηγμένα χαρακτηριστικά για βελτίωση της απόδοσης.....	66
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ DVB-RCS.....	69
3.1 Εισαγωγή.....	69
3.2 DVB-RCS.....	69
3.3 Μοντέλο, αρχιτεκτονική και δομή του συστήματος.....	70
3.4 Συγχρονισμός του RCST.....	73
3.4.1 Έλεγχος χρονισμού	73
3.4.2 Συγχρονισμός φέροντος	73
3.4.3 Συγχρονισμός χρονοθυρίδας	73
3.4.4 Συγχρονισμός ρολογιού συμβόλου	74
3.5 Δομή χρονοθυρίδων	74
3.5.1 Δομή χρονοθυρίδας κίνησης (TRF).....	74
3.5.2 Δομή της χρονοθυρίδας συγχρονισμού (SYNC)	77
3.5.3 Δομή χρονοθυρίδας απόκτησης ACQ.....	77
3.5.4 Δομή χρονοθυρίδας σηματοδοσίας κοινού καναλιού CSC.....	78

3.6	Κωδικοποίηση.....	78
3.7	Διαμόρφωση.....	78
3.8	Πολλαπλή πρόσβαση.....	79
3.8.1	Σταθερό MF-TDMA	79
3.8.2	Δυναμικό MF-TDMA	80
3.8.3	Κατάτμηση και οργάνωση της χωρητικότητας του καναλιού επιστροφής.....	81
3.9	Κατηγορίες αίτησης χωρητικότητας.....	83
3.9.1	Continuous Rate Assignment (CRA)	83
3.9.2	Rate Based Dynamic Capacity (RBDC).....	84
3.9.3	Volume Based Dynamic Capacity (VBDC).....	84
3.9.4	Absolute Volume Based Dynamic Capacity (AVBDC)	85
3.9.5	Free Capacity Assignment (FCA)	85
3.10	Βασικοί πίνακες στο DVB-RCS σύστημα.....	85
3.10.1	Πίνακας σύνθεσης των υπερπλαισίων (SCT)	86
3.10.2	Πίνακας σύνθεσης του πλαισίου (FCT).....	88
3.10.3	Πίνακας σύνθεσης χρονοθυρίδας (TCT)	91
3.10.4	Μήνυμα Πληροφοριών Τερματικού (TIM)	94
3.10.5	Περιγραφέας Αρχικοποίησης διαδικασίας εισαγωγής στο σύστημα	95
3.10.6	Δορυφορικός Έλεγχος Πρόσβασης (SAC)	98
3.10.7	Terminal Burst Time Plan – TBTP	101
4.	ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ....	105
4.1	Εισαγωγή	105
4.2	Ανασκόπηση βιβλιογραφίας στη διασύνδεση WiMAX και δορυφορικών δικτύων.....	107
4.3	Λειτουργία του PartA.....	108
4.4	Λειτουργία του PartB	112
4.5	Λειτουργία του PartC	115
4.6	Μελέτη απόδοσης.....	115
4.6.1	Αρχιτεκτονική και Παραδοχές του προγράμματος προσομοίωσης.....	117
4.6.2	Μελέτη απόδοσης	118
4.7	Συμπεράσματα.....	123

5.	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ PARTA	125
5.1	Εισαγωγή	125
5.2	Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.....	125
5.2.1	Πρόβλεψη βίντεο στο WiMAX	125
5.2.2	Πρόβλεψη βίντεο σε δορυφορικά δίκτυα	127
5.2.3	Κατηγοριοποίηση και σύγκριση	128
5.3	Προτεινόμενος μηχανισμός για αποδοτική μετάδοση VBR video	130
5.3.1	VPNLMSa.....	130
5.3.2	VPNLMSb	131
5.3.3	VPNLMSc.....	133
5.3.4	Παράμετροι και υπολογιστική ανάλυση	134
5.4	Μελέτη απόδοσης	135
5.5	Συμπεράσματα	138
6.	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ PARTB	139
6.1	Εισαγωγή	139
6.2	Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.....	139
6.3	Προτεινόμενη βελτίωση του PartB	140
6.4	Μελέτη απόδοσης	143
6.5	Συμπεράσματα	145
7.	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ PARTC.....	147
7.1	Εισαγωγή	147
7.2	Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας των μετρικών αντίληψης ποιότητας	147
7.2.1	Κατηγοριοποίηση των μετρικών αντίληψης ποιότητας	147
7.2.2	Η χρήση των μετρικών αντίληψης ποιότητας σε εργαλεία διαχείρισης	148
7.2.3	Οι μετρικές αντίληψης ποιότητας στον δικό μας μηχανισμό	149
7.3	Χρήση μετρικών αντίληψης ποιότητας στον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού του PartC.....	151
7.3.1	Λειτουργία του προτεινόμενου FC_MDI_S αλγορίθμου	151
7.3.2	Μελέτη απόδοσης.....	152

7.4	Βελτίωση του αλγορίθμου χρονοπρογραμματισμού με βάσει τις μετρικές αντίληψης	154
7.4.1	Η LA-MDI μετρική αντίληψης ποιότητας	154
7.4.2	Ο LAQoE αλγόριθμος βάσει της προτεινόμενης μετρικής αντίληψης ποιότητας	155
7.4.3	Βελτίωση του LAQoE αλγόριθμου με προσαρμογή ρυθμού μετάδοσης.....	157
7.4.4	Μελέτη απόδοσης	158
7.5	Συμπεράσματα.....	162
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	163
	ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ.....	167
	ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	169
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : ΤΟ ΕΝΙΑΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΟΠΩΣ ΕΧΕΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΘΕΙ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ.....	173
1.	Εισαγωγή	173
2.	Βασικές οντότητες του προγράμματος προσωμοίωσης	173
i.	Οι κλάσεις PartA και PartA_Dummy.....	174
ii.	Η κλάση NCC	175
iii.	Η κλάση RCST_UP.....	177
3	Βελτίωση του PartB.....	177
4	Βελτίωση του PartA με χρήση του NLMS αλγορίθμου.....	177
i.	Η κλάση PartA_NLMS_a.....	178
ii.	Η κλάση PartA_NLMS_b	178
iii.	Η κλάση PartA_VSSNLMS_b.....	179
5	Βελτίωση του PartC με τη χρήση μετρικών αντίληψης ποιότητας.....	179
i.	Ο αλγόριθμος FC_MDI_S	179
ii.	Ο αλγόριθμος LAQoE.....	179
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	181

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-2. Τοπολογία infrastructure BSS.....	33
Εικόνα 2-1. Τοπολογία IBSS	33
Εικόνα 2-3. Στοιχεία του EPS δικτύου	36
Εικόνα 2-4. Συνδέσεις του eNodeB με άλλους λογικούς κόμβους και κύριες λειτουργίες	39
Εικόνα 2-5. Αρχιτεκτονική δικτύου WiMAX βασισμένου σε IP.	44
Εικόνα 2-6. Τυπική περίπτωση Mesh αρχιτεκτονικής.....	47
Εικόνα 2-7. Η γενική μορφή ενός TDD frame	50
Εικόνα 2-8. Η δομή ενός FDD υποχρονοπλαισίου κατωφερής-ζεύξης.	51
Εικόνα 2-9. Δομή TDD υποχρονοπλαισίου κατωφερής-ζεύξης.	51
Εικόνα 2-10. Δομή υποχρονοπλαισίου ανωφερής-ζεύξης (Uplink Subframe).	52
Εικόνα 2-11. Δομή TC PDU.....	52
Εικόνα 2-12. Το MAC επίπεδο του WiMAX.	55
Εικόνα 2-13. Διαδικασία εισόδου στο δίκτυο.....	60
Εικόνα 2-14. Διαδικασία ranging και προσαρμογής παραμέτρων.	61
Εικόνα 2-15. Δημιουργία ροής υπηρεσιών από τον MS.	63
Εικόνα 2-16. Δημιουργία ροής υπηρεσιών από τον BS.....	63
Εικόνα 3-1. Μοντέλο ανταλλαγής πληροφορίας στο DVB-RCS σύστημα για διαδραστικές υπηρεσίες.....	71
Εικόνα 3-2. Αρχιτεκτονική και δομή ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου	72
Εικόνα 3-3. Μπλοκ διάγραμμα με τα στάδια της επεξεργασίας του σήματος βασικής ζώνης στο RCST στο κανάλι επιστροφής διαδραστικές υπηρεσίες	73
Εικόνα 3-4. Σύνθεση μιας ATM TRF χρονοθυρίδας.....	76
Εικόνα 3-5. Σύνθεση μιας MPEG2-TS TRF ριπής υπηρεσίες.....	76
Εικόνα 3-6. Σύνθεση μια χρονοθυρίδας συγχρονισμού SYNC	77
Εικόνα 3-7. Σύνθεση μιας ACQ χρονοθυρίδας	77
Εικόνα 3-8. Σύνθεση μιας CSC χρονοθυρίδας	78

Εικόνα 3-9. Τα στάδια της διαδικασίας της διαμόρφωσης στο DVB-RCS σύστημα	79
Εικόνα 3-10. Αντιστοίχιση των bits στον αστερισμό του QPSK	79
Εικόνα 3-11. Σταθερό MF-TDMA	80
Εικόνα 3-12. Δυναμικό MF-TDMA	80
Εικόνα 3-13. Οργάνωση του καναλιού επιστροφής σε υπερπλαίσια στο DVB-RCS.....	81
Εικόνα 3-14. Η δομή και η οργάνωση ενός υπερπλαισίου σε πλαίσια	82
Εικόνα 3-15. Η δομή και η οργάνωση ενός πλαισίου σε χρονοθυρίδες	83
Εικόνα 4-1. Αρχιτεκτονική συστήματος διασύνδεσης ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου με IEEE 802.11e, WiMAX και LTE δίκτυα.....	105
Εικόνα 4-2. Αρχιτεκτονική συστήματος διασύνδεσης ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου με WiMAX δίκτυα.....	107
Εικόνα 4-3. Διάγραμμα της RBDC αίτησης σε σχέση με το σύνολο χρονοθυρίδων που αιτείται ένα τερματικό	112
Εικόνα 4-4. Διάγραμμα της AVBDC αίτησης σε σχέση με το σύνολο χρονοθυρίδων που αιτείται ένα τερματικό	112
Εικόνα 4-5. Οι ουρές του NCC	112
Εικόνα 4-6. Κατανομή των χρονοθυρίδων μεταξύ των πλαισίων ενός τερματικού.....	113
Εικόνα 4-7. Οργάνωση και λειτουργία του PartC	115
Εικόνα 4-8. Οργάνωση και λειτουργία του PartC με επιλεγμένο ευρυζωνικό δίκτυο το WiMAX.....	116
Εικόνα 4-9. Αρχιτεκτονική του συστήματος στο πρόγραμμα προσομοίωσης	117
Εικόνα 4-10. Ρυθμαπόδοση ανά τύπο υπηρεσίας	119
Εικόνα 4-11. Μέση καθυστέρηση ανά τύπο υπηρεσίας	121
Εικόνα 4-13. Η μέση καθυστέρηση ανά τύπο υπηρεσίας με τη χρήση της «διασπαρμένης» και της μη διεσπαρμένης έκδοσης του PartB	122
Εικόνα 4-12. Η ρυθμαπόδοση ανά τύπο υπηρεσίας με τη χρήση της «δισπαρμένης» και της «μη διεσπαρμένης» έκδοσης του PartB	122
Εικόνα 4-14. Ποσοστό της συνολικής κίνησης που εξυπηρετείται με τη χρήση της «δισπαρμένης» και της «μη διεσπαρμένης» έκδοσης του PartB.....	123

Εικόνα 5-1. Η αρχιτεκτονική της μεθόδου VPNLMSa	130
Εικόνα 5-2. Η αρχιτεκτονική της μεθόδου VPNLMSb	132
Εικόνα 5-3. Η αρχιτεκτονική της μεθόδου VPNLMSc.....	133
Εικόνα 5-4. Αίτηση και εκχώρηση χωρητικότητας μεταξύ ενός RCST και του NCC.....	134
Εικόνα 5-5. Η αρχιτεκτονική του NLMS κομματιού	134
Εικόνα 5-6. Η ρυθμαπόδοση ανά προτεινόμενο αλγόριθμο με δοκιμαστικό αρχείο βίντεο το “Terse_Jurassic_10_14_18.dat”.....	136
Εικόνα 5-7. Η ρυθμαπόδοση ανά προτεινόμενο αλγόριθμο με δοκιμαστικό αρχείο βίντεο το “Terse_formula_10.dat”	136
Εικόνα 5-8. Ο VSSNLMS αλγόριθμος με τιμές παραμέτρων $\alpha=0.94$, $\gamma=5 \times 10^{-9}$, $\mu_{\min}=0.05$, $\mu_{\max}=0.54$	137
Εικόνα 5-9. Ο VSSNLMS αλγόριθμος με τιμές παραμέτρων $\alpha=0.94$, $\gamma=0.5$, $\mu_{\min}=0.05$, $\mu_{\max}=0.54$	137
Εικόνα 5-10. Ο VSSNLMS αλγόριθμος με τιμές παραμέτρων $\alpha=0.94$, $\gamma=0.5$, $\mu_{\min}=0.05$, $\mu_{\max}=0.35$	138
Εικόνα 6-1. Τρόπος διανομής χρονοθυρίδων όταν ο αριθμός των RCST τερματικών είναι λιγότερα από τον αριθμό των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στο MF-TDMA	141
Εικόνα 6-2. Τρόπος διανομής χρονοθυρίδων όταν ο αριθμός των RCST τερματικών είναι λιγότερα από τον αριθμό των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στο MF-TDMA	142
Εικόνα 6-3. Διανομή χρονοθυρίδων σε μία χρονοθυρίδα	142
Εικόνα 6-4. Διανομή χρονοθυρίδων σε MF-TDMA	143
Εικόνα 6-5. Η ρυθμαπόδοση ανά τύπο υπηρεσίας.....	144
Εικόνα 6-6. Μέση καθυστέρηση ανά τύπο υπηρεσίας.....	144
Εικόνα 7-1. Μετάδοση πακέτων με τον FC_MDI_SG αλγόριθμο και τον FC_MDI_SF αλγόριθμο	151
Εικόνα 7-2. Η μέση FC_MLR τιμή για κάθε προτεινόμενο αλγόριθμο.....	152
Εικόνα 7-4. Ρυθμαπόδοση ανά αναγνωριστικό σύνδεσης για πέντε συνδέσεις ανά SS	153

Εικόνα 7-3. Μέση καθυστέρηση για κάθε προτεινόμενο αλγόριθμο	154
Εικόνα 7-5. Παράδειγμα ενός QoET δένδρου	156
Εικόνα 7-6. Παράδειγμα ενός QoET δένδρου όπου το frame P_1 έχει λήξει	156
Εικόνα 7-7. Παράδειγμα ενός QoET δένδρου όπου το frame P_1 έχει λήξει και η διαθέσιμη χωρητικότητα της σύνδεσης ξεπερνιέται με την μετάδοση των I_1 και P_2 frames	157
Εικόνα 7-9. Μέση καθυστέρηση ανά προτεινόμενο αλγόριθμο	159
Εικόνα 7-8. Η ρυθμαπόδοση ανά αναγνωριστικό σύνδεσης για πέντε συνδέσεις ανά SS	159
Εικόνα 7-10. Μέση FC-MLR τιμή ανά προτεινόμενο αλγόριθμο	160
Εικόνα 7-11. Μέση LA-MLR τιμή ανά προτεινόμενο αλγόριθμο	161
Εικόνα 7-12. Το ποσοστό απώλειας πακέτων σε σχέση με τα συνολικά προς μετάδοση πακέτα ανά προτεινόμενο αλγόριθμο	161
Εικόνα 7-13. Μέσος ρυθμός βίντεο των συνδέσεων ενός SS	162

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1. Τρόπος αντιστοίχισης των προτεραιοτήτων στις κατηγορίες πρόσβασης (ACs).....	35
Πίνακας 2-3. Χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου του προτύπου IEEE 802.16a.....	53
Πίνακας 2-2. Τύποι Διαμόρφωσης.....	53
Πίνακας 3-1. Σύνταξη ενός τμήματος του πίνακα SCT	87
Πίνακας 3-2. Ορισμός της πολυπλοκότητας του σήματος	87
Πίνακας 3-3. Σύνταξη ενός τμήματος του πίνακα FCT.....	89
Πίνακας 3-4. Σύνταξη ενός τμήματος του πίνακα TCT.....	91
Πίνακας 3-5. Ρυθμοί κώδικα εσωτερικής κωδικοποίησης.....	92
Πίνακας 3-6. Οι τύποι των χρονοθυρίδων	93
Πίνακας 3-7. Η σύνθεση του περιγραφέα της αρχικοποίησης της διαδικασίας εισαγωγής των τερματικών στο σύστημα	96
Πίνακας 3-8. Σύνταξη του SAC πεδίου	99
Πίνακας 3-9. Παράγοντας κλιμάκωσης	99
Πίνακας 3-10. Οι κατηγορίες αίτησης χωρητικότητας	100
Πίνακας 3-11. Μηνύματα ελέγχου και διαχείρισης του δικτύου	100
Πίνακας 3-12. Σύνταξη ενός τμήματος του πίνακα TBTP	101
Πίνακας 4-1. Χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας κάθε τύπου κίνησης.....	117
Πίνακας 5-1. Στατιστικά στοιχεία των δοκιμαστικών αρχείων βίντεο.....	135

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή πραγματεύεται το πρόβλημα της διασύνδεσης μεταξύ ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου και ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων. Ένα τέτοιο σύστημα διασύνδεσης έχει αρκετά προβλήματα και περιορισμούς, από την άλλη όμως μπορεί να έχει και σημαντικές εφαρμογές σε προβλήματα που είναι πολύ δύσκολο ή ασύμφορο να επιλυθούν διαφορετικά.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που εισάγει ένα τέτοιο σύστημα διασύνδεσης, εκτός από τις μεγάλες καθυστερήσεις λόγω του δορυφορικού τμήματος, είναι η συνολική του χωρητικότητα. Η χωρητικότητα των ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του δορυφορικού δικτύου όσο αφορά την ανωφερή ζεύξη. Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα το δορυφορικό τμήμα του συστήματος να μην μπορεί να υποστηρίξει την κίνηση που μπορεί να υποστηρίξει το ευρυζωνικό τμήμα και κατά συνέπεια να τίθενται κάποιοι περιορισμοί στις δυνατές εφαρμογές ενός τέτοιου συστήματος διασύνδεσης.

Παρά τον παραπάνω περιορισμό, υπάρχουν πολλές περιπτώσεις που ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί. Καταρχήν το δορυφορικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δίκτυο υποστήριξης και διασύνδεσης μεταξύ των σταθμών βάσεων τους (backbone). Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε περίπτωση που χρειάζεται να διασυνδεθούν σταθμοί βάσης που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και η εγκατάσταση επίγειου δικτύου είναι ασύμφορη ή ακόμα και αδύνατη, όπως για παράδειγμα οι απομακρυσμένες και παραμεθόριες περιοχές. Μια τέτοια εφαρμογή είναι δυνατή, διότι το μεγαλύτερο ποσοστό της κίνησης που δημιουργείται αφορά συνδρομητές που βρίσκονται μέσα στην ίδια κυψέλη του ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου. Με τον τρόπο αυτό, η κίνηση που χρειάζεται να μεταδοθεί μέσω του δικτύου υποστήριξης είναι πολύ μικρότερη από την συνολική κίνηση που διεκπεραιώνει το ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο και κατά συνέπεια παρακάμπτεται το πρόβλημα της διαφοράς χωρητικότητας των δύο συστημάτων που αναφέραμε παραπάνω.

Στις μέρες μας, υπάρχουν αρκετά δορυφορικά δίκτυα παγκοσμίως που παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες σε τελικούς χρήστες. Από τη μια πλευρά, μια τέτοια λύση θα μπορούσε να εξυπηρετήσει τις απομακρυσμένες περιοχές, από την άλλη όμως έχει δύο βασικά μειονεκτήματα. Καταρχήν, ο απαιτούμενος τερματικός εξοπλισμός έχει πολύ μεγαλύτερο κόστος για τον τελικό χρήστη από ότι στην περίπτωση του εξοπλισμού αντίστοιχων επίγειων ευρυζωνικών δικτύων. Κατά δεύτερον, δεν δίνεται η δυνατότητα στους κινητούς συνδρομητές να κάνουν χρήση διαδραστικών υπηρεσιών λόγω του όγκου του τερματικού εξοπλισμού. Τα προβλήματα αυτά θα μπορούσαν να επιλυθούν με ένα σύστημα διασύνδεσης όπου οι τελικοί χρήστες επικοινωνούν με τον σταθμό βάσης του ευρυζωνικού δικτύου, πιο απλά και οικονομικά για εκείνους, και ο τελευταίος επικοινωνεί με τον δορυφόρο.

Μια ακόμα εφαρμογή ενός συστήματος διασύνδεσης μεταξύ ενός ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου και ενός δορυφορικού δικτύου, είναι το τελευταίο να λειτουργεί σε περιπτώσεις ανάγκης για την διασύνδεση των σταθμών βάσης μεταξύ τους. Τέτοιες περιπτώσεις είναι, παραδείγματος χάριν, η περίπτωση που το επίγειο δίκτυο για κάποιο λόγο καταρρεύσει από κάποια ανθρώπινη ή φυσική καταστροφή ή υπάρξουν γενικότερα προβλήματα συμφόρησης. Επιπροσθέτως, η δορυφορική ζεύξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση που κάποια σύνδεση απαιτεί μετάδοση των πακέτων μέσω πολλών αλμάτων. Σε κάθε περίπτωση κάτι τέτοιο μπορεί να αντικατασταθεί με μετάδοση ενός άλματος μέσω του δορυφόρου, όπου και αν βρίσκεται ο τελικός προορισμός.

Συν τοις άλλοις, ο δορυφόρος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να επεκτείνει την κυψέλη που καλύπτει ο σταθμός βάσης ενός ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου λειτουργώντας σαν επαναλήπτης. Η εμβέλεια ενός δορυφόρου είναι πολύ μεγαλύτερη και επομένως θα μπορούσαν να εξυπηρετηθούν με τον τρόπο αυτό περισσότεροι χρήστες. Μια τέτοια εφαρμογή βέβαια θα περιόριζε την ποικιλία των υπηρεσιών που θα μπορούσαν να ικανοποιηθούν και θα ήταν δυνατή μόνο σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού, λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας του δορυφορικού συστήματος.

Μία πολύ σημαντική εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος θα ήταν η κάλυψη των ενδιάμεσων περιοχών, που βρίσκονται εκτός της εμβέλειας κάποιου σταθμού βάσης του ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου, με σκοπό την αδιάλειπτη παροχή ευρυζωνικών και διαδραστικών υπηρεσιών σε κινητούς χρήστες. Το δορυφορικό δίκτυο θα βρίσκεται σε συνεχή επικοινωνία με το επίγειο και θα λειτουργεί σαν επαναλήπτης και πομποδέκτης στις περιοχές που δεν υπάρχει κάλυψη από το ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο. Μια τέτοια εφαρμογή θα ήταν δυνατή εγκαθιστώντας, για παράδειγμα, τον απαιτούμενο δορυφορικό εξοπλισμό σε πλοία, τρένα και λεωφορεία. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει η μετάβαση από τον ένα πομπό στον άλλο, καθώς και η διασύνδεση των δύο δικτύων μεταξύ τους, να είναι άμεση χωρίς μεγάλες καθυστερήσεις ή απώλειες πακέτων. Τέλος, σε μια τέτοια εφαρμογή πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στον υπολογισμό του φορτίου που θα προκύψει από τους κινητούς χρήστες λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων του δορυφόρου σε χωρητικότητα.

Στην μέχρι τώρα βιβλιογραφία, δεν υπάρχει μία ολοκληρωμένη πρόταση διασύνδεσης μεταξύ ασύρματων ευρυζωνικών και δορυφορικών δικτύων που να αντιμετωπίζει όλα τα προβλήματα που επιφέρει μία τέτοια διασύνδεση. Υπάρχουν κάποιες προτάσεις που να προτείνουν λύσεις διασύνδεσης μεταξύ των δύο συστημάτων μόνο σε επίπεδο αρχιτεκτονικής, και υπάρχουν και κάποιες προτάσεις που εξετάζουν αποσπασματικά κάποια από τα θέματα που προκαλούνται από μία τέτοια διασύνδεση, όπως η δημιουργία αιτήσεων χωρητικότητας από το δορυφορικό τερματικό ή τον διαμοιρασμό της χωρητικότητας που εκχωρείται σε κάθε δορυφορικό τερματικό. Αντίθετα, ο στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι να προτείνει μία ολοκληρωμένη λύση για τη διασύνδεση μεταξύ ενός ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου και ενός δορυφορικού δικτύου και να αντιμετωπίσει όλα τα δυνατά προβλήματα που προκαλούνται από μία τέτοια διασύνδεση, όσο αφορά το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου.

Ο προτεινόμενος μηχανισμός διασύνδεσης αποτελείται από τρία τμήματα: το πρώτο τμήμα (PartA) βρίσκεται στο δορυφορικό τερματικό και είναι υπεύθυνο για τη διευθέτηση των αιτήσεων χωρητικότητας, το δεύτερο τμήμα (PartB) βρίσκεται στο κέντρο ελέγχου του δορυφορικού δικτύου και είναι υπεύθυνο για την εκχώρηση χωρητικότητας ανά δορυφορικό τερματικό, και το τρίτο τμήμα (PartC) βρίσκεται στο δορυφορικό τερματικό και είναι υπεύθυνο για τον διαμοιρασμό της δοσμένης χωρητικότητας στους συνδρομητές του ευρυζωνικού δικτύου. Η εκχώρηση της χωρητικότητας στις τελικές συνδέσεις γίνεται μετά από χρονικό διάστημα 500 msec από τη στιγμή που στάλθηκε το αντίστοιχο αίτημα από το αντίστοιχο δορυφορικό τερματικό. Οι περισσότερες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου δεν μπορούν να ανεχθούν τόσο μεγάλες καθυστερήσεις. Για το λόγο αυτό εισάγουμε την λογική της πρόβλεψης των αναγκών των συνδέσεων κατά την αίτηση της χωρητικότητας προς το κέντρο ελέγχου δικτύου, που είναι μία από τις κυριότερες συνεισφορές του προτεινόμενου μηχανισμού. Ο τρόπος

Λειτουργίας των τριών προτεινόμενων οντοτήτων (PartA, PartB, PartC) είναι ανεξάρτητος από το είδος του ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου με το οποίο είναι διασυνδεδεμένο το δορυφορικό τερματικό. Στην ουσία, μας ενδιαφέρει το είδος των ροών δεδομένων που φτάνουν στο δορυφορικό τερματικό, για να μπορέσει να κάνει την αντίστοιχη πρόγνωση το PartA και την αντίστοιχη διανομή της χωρητικότητας το PartC. Για λόγους απλότητας, ειδικά στη προσομοίωση του συστήματος διασύνδεσης, στην συνέχεια αυτής της διατριβής, μελετάμε τη διασύνδεση μεταξύ ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου, που ακολουθεί το πρότυπο DVB-RCS, και δικτύων που λειτουργούν σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.16, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι υπάρχει περιορισμός για το είδος του διασυνδεδεμένου ευρυζωνικού δικτύου όσο αφορά την προτεινόμενη αρχιτεκτονική και τους προτεινόμενους αλγορίθμους. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός μπορεί να παρέχει μια διαφοροποιημένη αντιμετώπιση στις υπηρεσίες διαφορετικού τύπου, που μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένα αποτελέσματα, ειδικά σε όρους ρυθμαπτόδοσης και μέσης καθυστέρησης, συγκριτικά με έναν απλούστερο μηχανισμό που δεν χρησιμοποιεί πρόγνωση.

Στην συνέχεια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, βελτιώνουμε και τα τρία τμήματα του προτεινόμενου μηχανισμού διασύνδεσης με στόχο τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος, ειδικά όσο αφορά κίνηση πραγματικού χρόνου που έχει μικρότερες ανοχές σε καθυστερήσεις. Μετά από μία βιβλιογραφική έρευνα που γίνεται σε σχέση με τους μηχανισμούς πρόβλεψης στο WiMAX και στα δορυφορικά δίκτυα, επιλέγεται ο NLMS (Normalized Least Mean Square) αλγόριθμος για να χρησιμοποιηθεί στον προτεινόμενο μηχανισμό διασύνδεσης. Για την βελτίωση του πρώτου τμήματος PartA ερευνώνται τρεις εναλλακτικές. Η πρώτη εναλλακτική υλοποιεί τον NLMS αλγόριθμο στο WiMAX σταθμό βάσης, η δεύτερη εναλλακτική προτείνει την υλοποίηση του NLMS αλγορίθμου στο δορυφορικό τερματικό, ενώ η τρίτη προτείνει την υλοποίηση του NLMS αλγορίθμου στο WiMAX σταθμό βάσης και στο δορυφορικό τερματικό. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν βελτιωμένα αποτελέσματα και των τριών εναλλακτικών, επιλέγεται για εφαρμογή η δεύτερη εναλλακτική, η οποία έχει και τη μικρότερη πολυπλοκότητα σε υπολογισμούς και απαιτήσεις μνήμης.

Επιπλέον, βελτιώνουμε το δεύτερο τμήμα PartB ώστε η κατανομή των χρονοθυρίδων να γίνεται σε MF-TDMA, καθώς στον αρχικό σχεδιασμό της διασύνδεσης του δορυφορικού και WiMAX δικτύου γινόταν για λόγους απλότητας σε μία συχνότητα. Μετά από μία βιβλιογραφική έρευνα για διανομή χρονοθυρίδων σε στατικά MF-TDMA δορυφορικά συστήματα, εφαρμόζουμε μία υβριδική λύση ανάλογα με τον αριθμό των τερματικών του δορυφορικού δικτύου σε σχέση με τον αριθμό των συχνοτήτων. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι με την προτεινόμενη βελτίωση του PartB εξυπηρετείται περισσότερη κίνηση με λιγότερη μέση καθυστέρηση.

Τέλος, βελτιώνουμε τον χρονοπρογραμματιστή που λειτουργεί στο τρίτο τμήμα PartC, με στόχο την ανάπτυξη ενός χρονοπρογραμματιστή για τις συνδέσεις κίνησης πραγματικού χρόνου, ώστε ο διαμοιρασμός της χωρητικότητας στις συνδέσεις πραγματικού χρόνου του ευρυζωνικού δικτύου να γίνεται βάσει μετρικών αντίληψης ποιότητας. Μετά από μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις μετρικές αντίληψης ποιότητας επιλέγεται η πιο κατάλληλη μετρική για χρήση στον προτεινόμενο μηχανισμό. Προτείνουμε μία πρώτη έκδοση αλγορίθμου για τον διαμοιρασμό της χωρητικότητας, που βασίζεται στην χρήση της παραπάνω μετρικής, ο οποίος έχει βελτιωμένα αποτελέσματα. Στην συνέχεια, προτείνουμε μία καινούργια μετρική αντίληψης ποιότητας και καταλήγουμε στην

πρόταση ενός αλγόριθμου για την αναδιανομή των πόρων που βασίζεται στην παραπάνω μετρική και που επιπλέον κάνει προσαρμογή του ρυθμού δεδομένων. Η χρήση των μετρικών αντίληψης στον χρονοπρογραμματισμό είναι κάτι καινοτόμο, αφού αυτές οι μετρικές χρησιμοποιούνται κυρίως για την αξιολόγηση της ποιότητας του βίντεο. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος, βελτιώνει σημαντικά την αντίληψη ποιότητας των βίντεο συνδέσεων και μειώνει σημαντικά την μέση καθυστέρηση τους.

Όλες οι παραπάνω προτάσεις έχουν δοκιμαστεί και πειραματικά με την εκτέλεση εμπειριστατωμένων προσομοιώσεων. Εδώ πρέπει να τονίσουμε την απουσία μίας ενιαίας, εύχρηστης, οικονομικής αλλά και αξιόπιστης πλατφόρμας προσομοίωσης, για την υλοποίηση αντίστοιχων προσομοιώσεων. Έτσι, δημιουργήσαμε ενός περιβάλλον προσομοίωσης με την χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C++. Οι κυριότερες οντότητες της πλατφόρμας προσομοίωσης παρουσιάζονται στο παράρτημα της παρούσας διατριβής.

Η Διδακτορική Διατριβή οργανώνεται ως εξής. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία παρουσίαση των ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων IEEE 802.11, IEEE 802.16 και LTE, που αποτελούν την περιοχή ενδιαφέροντος της διατριβής, και πιο συγκεκριμένα όλων των χαρακτηριστικών και λειτουργιών με τις οποίες εμπλέκονται οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση του δορυφορικού δικτύου και ιδιαίτερα του προτύπου DVB-RCS, που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων στην ανωφερή ζεύξη. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η προτεινόμενη γενική αρχιτεκτονική για τη διασύνδεση μεταξύ ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων και δορυφορικών δικτύων. Στο πέμπτο, έκτο και έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι προτεινόμενες βελτιώσεις του PartA, PartB και PartC. Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται μία αποτίμηση της ερευνητικής συνεισφοράς της διατριβής, ενώ στο παράρτημα παρουσιάζονται οι κυριότερες οντότητες του μοντέλου προσομοίωσης που υλοποιήθηκε κατά την παρούσα διατριβή.

2. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

2.1 Εισαγωγή

Με τον όρο Ευρυζωνικότητα εννοούμε ένα προηγμένο και καινοτόμο περιβάλλον, από κοινωνική και τεχνολογική άποψη, το οποίο αποτελείται από γρήγορες συνδέσεις με το Διαδίκτυο και κατάλληλες δικτυακές υποδομές για την ανάπτυξη νέων ευρυζωνικών εφαρμογών και υπηρεσιών. Η ευρυζωνικότητα με απλά λόγια παρέχει διαρκής σύνδεση στο Internet χωρίς πολύπλοκες ρυθμίσεις, υψηλές ταχύτητες (10 - 100 φορές της συμβατικής σύνδεσης dial up) για νέες εφαρμογές και αξιόπιστες ψηφιακές συνδέσεις με εγγυημένα σταθερές υψηλές αποδόσεις. Τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα είναι δίκτυα δεδομένων στα οποία η μετάδοση της πληροφορίας γίνεται ασύρματα (με χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων) και όχι ενσύρματα (με καλώδια). Τα πλεονεκτήματά τους είναι η ευκολία εγκατάστασης, το μειωμένο κόστος, η ευελιξία και η κινητικότητα. Υπάρχουν δύο κατηγορίες ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων: τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN- Wireless Local Area Network), τα οποία παρέχουν μικρή γεωγραφική κάλυψη και τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN- Wireless Metropolitan Area Network), τα οποία παρέχουν μεγαλύτερη γεωγραφική κάλυψη.

Στα πλαίσια αυτής της διατριβής, μελετάμε την διασύνδεση μεταξύ ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου, που ακολουθεί το πρότυπο DVB-RCS, και ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων όπως αυτά που λειτουργούν σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.11e, το πρότυπο IEEE 802.16 και το πρότυπο LTE (Long Term Evolution). Το πρότυπο IEEE 802.11e είναι μία βελτιωμένη έκδοση του προτύπου IEEE 802.11 που είναι το πρότυπο που χρησιμοποιείται στα ασύρματα τοπικά δίκτυα, ενώ το πρότυπο IEEE 802.16 είναι ο κύριος εκπρόσωπος των προτύπων που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα. Το ευρυζωνικό δίκτυο LTE αποτελεί προπομπό των δικτύων κινητής τηλεφωνίας 4^{ης} γενιάς και επιτρέπει τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων καθώς και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες.

Ο τρόπος λειτουργίας των προτεινόμενων αρχιτεκτονικών στοιχείων διασύνδεσης μεταξύ των ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων και δορυφορικών δικτύων, όπως παρουσιάζεται καλύτερα στην ενότητα 4.1, είναι ανεξάρτητος από το είδος του ευρυζωνικού δικτύου με το οποίο είναι διασυνδεδεμένο το δορυφορικό τερματικό. Στην ουσία, μας ενδιαφέρει το είδος των ροών δεδομένων που φτάνουν στο δορυφορικό τερματικό. Για λόγους απλότητας, κυρίως στην προσομοίωση της παραπάνω αρχιτεκτονικής, στην πορεία αυτής της διατριβής μελετάμε τη διασύνδεση μεταξύ ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου, που ακολουθεί το πρότυπο DVB-RCS, και δικτύων που λειτουργούν σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.16, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι υπάρχει περιορισμός για το είδος του διασυνδεδεμένου ευρυζωνικού δικτύου όσο αφορά την προτεινόμενη αρχιτεκτονική και τους προτεινόμενους αλγόριθμους.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση των βασικών αρχιτεκτονικών στοιχείων του προτύπου IEEE 802.11 (ενότητα 2.2) και του προτύπου LTE (ενότητα 2.3), ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητή η αρχιτεκτονική διασύνδεση μεταξύ αυτών των δικτύων και του δορυφορικού δικτύου. Στην ενότητα 2.4 παρουσιάζεται σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια η αρχιτεκτονική, το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο πρόσβασης μέσου του προτύπου IEEE 802.16, αφού όπως ήδη είπαμε είναι το ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο που χρησιμοποιούμε για να παρουσιάσουμε σε λεπτομέρεια τα προτεινόμενα αρχιτεκτονικά στοιχεία και τους

προτεινόμενους αλγορίθμους διασύνδεσης μεταξύ ευρυζωνικών και δορυφορικών δικτύων.

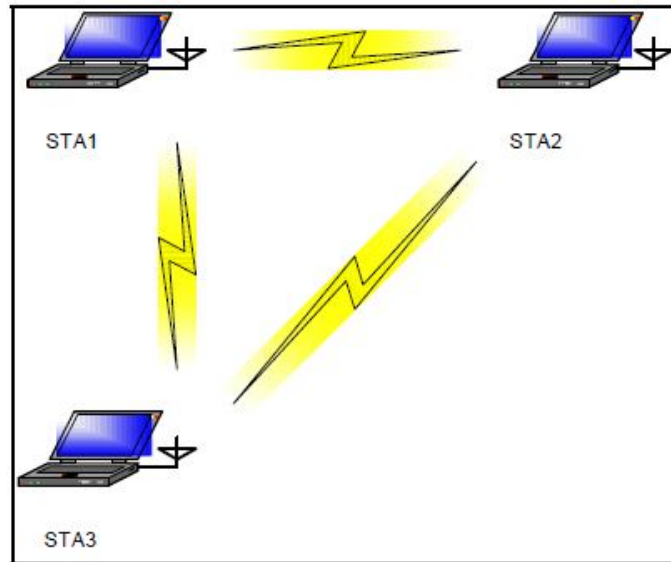
2.2 Το πρότυπο IEEE 802.11

Στην ενότητα αυτή γίνεται μία παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του προτύπου IEEE 802.11 [1]. Στις αρχές του 1990, προτάθηκε η πρώτη του έκδοση, η 802.11 Standard. Έκτοτε ακολούθησαν διάφορες εκδόσεις, που βασίζονται στην αρχική αυτή έκδοση. Κάθε μια από τις εκδόσεις υπόσχεται βελτιωμένη απόδοση σε σχέση με τους προκατόχους της και σε πολλές περιπτώσεις αναλαμβάνει την υποστήριξη νέων χαρακτηριστικών, ανάλογα με τις νέες ανάγκες που προκύπτουν με την πάροδο του χρόνου. Τα ασύρματα δίκτυα 802.11 αποτελούνται από τέσσερις βασικές μονάδες. Αυτές είναι:

- Σημείο πρόσβασης (Access Point – AP): Το AP είναι η μονάδα που παίζει το ρόλο γέφυρας μεταξύ του ενσύρματου και του ασύρματου δικτύου, μετατρέποντας κατάλληλα τα πλαίσια που ανταλλάσσονται μεταξύ αυτών. Επιτελεί και πολλές άλλες λειτουργίες στο ασύρματο δίκτυο που θα αναφερθούν στη συνέχεια.
- Σύστημα διανομής (Distribution System): Το σύστημα διανομής ενώνει τα διάφορα AP του ίδιου δικτύου, επιτρέποντάς τους να ανταλλάσσουν πλαίσια. Το 802.11 δεν προσδιορίζει τον τρόπο που θα γίνεται αυτό.
- Ασύρματο μέσο μετάδοσης (Wireless Medium): Έχουν οριστεί διάφορα φυσικά στρώματα που χρησιμοποιούν είτε ραδιοσυχνότητες είτε υπέρυθρες ακτίνες για τη μετάδοση των πλαισίων μεταξύ των σταθμών του ασύρματου δικτύου.
- Σταθμοί (Stations): Οι σταθμοί που ανταλλάσσουν πληροφορία μέσω του ασυρμάτου δικτύου συνήθως είναι φορητές συσκευές (για παράδειγμα laptops), χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο.

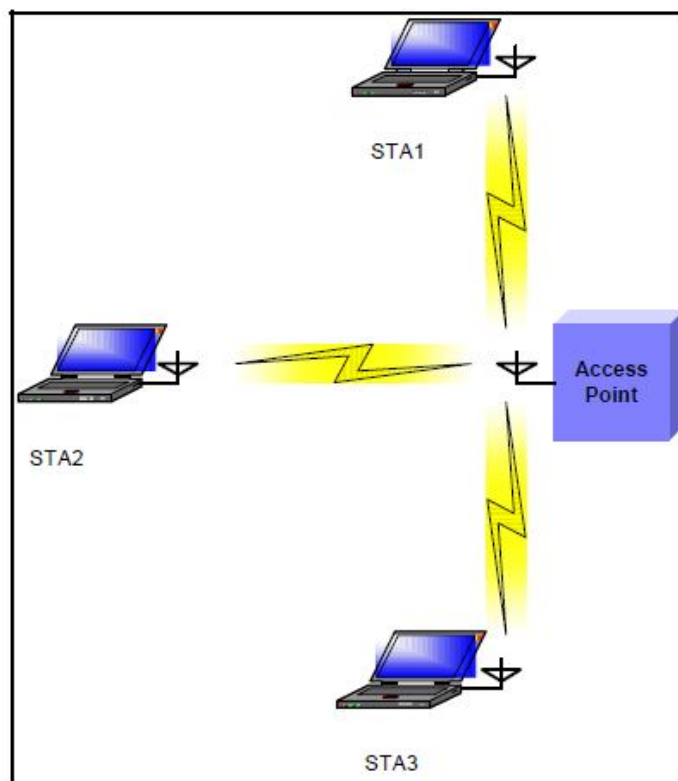
Η βασική δομική μονάδα κάθε 802.11 δικτύου αποκαλείται Basic Service Set (BSS) και αποτελείται από μία ομάδα σταθμών που επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα όρια του BSS ορίζονται από την περιοχή ραδιοκάλυψης, που ονομάζεται Basic Service Area (BSA). Ένας σταθμός σε ένα BSS μπορεί να επικοινωνεί με οποιοδήποτε άλλο σταθμό στο ίδιο BSS. Επιπλέον υπάρχουν δύο βασικές τοπολογίες, βάσει των οποίων ορίζονται δύο είδη ασυρμάτων δικτύων. Τα είδη αυτά είναι τα ανεξάρτητα δίκτυα (independent networks) και τα δίκτυα υποδομής (infrastructure networks).

Σε ένα independent δίκτυο κάθε σταθμός επικοινωνεί απευθείας με όλους τους υπόλοιπους. Το BSS σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται και IBSS (Independent BSS) ή ad hoc BSS ή πιο απλά ad hoc δίκτυο. Το IBSS αποτελείται το λιγότερο από δύο σταθμούς και συνήθως είναι προσωρινό, δηλαδή δημιουργείται για κάποιο σκοπό και μετά διαλύεται. Είναι ο απλούστερος τύπος ασύρματου δικτύου. Ένα IBSS φαίνεται στην Εικόνα 2-2. Τοπολογία IBSS



Εικόνα 2-2. Τοπολογία IBSS

Ο άλλος τύπος δικτύου είναι το infrastructure δίκτυο, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 2-1. Σε αυτήν την περίπτωση το BSS διακρίνεται από την παρουσία σε αυτό ενός AP. Το AP, εκτός από το ότι συνδέει το BSS με το ενσύρματο δίκτυο, είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή πλαισίων μεταξύ των σταθμών και γενικότερα για τον κεντρικό έλεγχο της λειτουργίας του BSS. Όταν ένας σταθμός θέλει να στείλει ένα πλαίσιο σε έναν άλλο σταθμό, το πλαίσιο αρχικά αποστέλλεται στο AP και αυτό το στέλνει στον τελικό προορισμό του. Η BSA σε αυτήν την περίπτωση είναι η περιοχή όπου υπάρχει ραδιοκάλυψη από το AP.



Εικόνα 2-1. Τοπολογία infrastructure BSS

Έτσι σε αντίθεση με το IBSS, όπου όλοι οι σταθμοί πρέπει να βρίσκονται στην περιοχή ραδιοκάλυψης των υπολοίπων, για να επικοινωνήσουν με αυτούς, εδώ

αρκεί να βρίσκονται στην περιοχή ραδιοκάλυψης του AP, άσχετα με την μεταξύ τους απόσταση. Για να συμμετέχει ένας σταθμός στο BSS πρέπει να ακολουθήσει τη διαδικασία του association με το AP. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει πάντα με πρωτοβουλία του σταθμού και είναι απόφαση του AP αν ο σταθμός θα γίνει τελικά δεκτός στο BSS. Το 802.11 δεν ορίζει μέγιστο αριθμό σταθμών που μπορούν να συμμετάσχουν σε ένα BSS, αλλά τίθενται περιορισμοί στις διάφορες υλοποιήσεις AP.

Στην περίπτωση infrastructure δικτύων ένας αριθμός από BSSs μπορούν να συνδεθούν και να αποτελέσουν ένα Extended Service Set (ESS). Αυτό δημιουργείται ενώνοντας τα APs των BSSs μέσω ενός ενσύρματου δικτύου κορμού. Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η επικοινωνία μεταξύ σταθμών που ανήκουν σε διαφορετικά BSSs αλλά στο ίδιο ESS. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει τα APs να επικοινωνούν στο στρώμα ζεύξης δεδομένων μέσω του δικτύου κορμού, επιτελώντας τη λειτουργία της γέφυρας για τους σταθμούς διαφορετικών BSSs. Το ESS τελειώνει όταν παρεμβληθεί μεταξύ των AP's οντότητα δικτύου που λειτουργεί σε υψηλότερο στρώμα, όπως είναι ο δρομολογητής (router).

Το 802.11 προσφέρει κινητικότητα σε ένα ESS, αρκεί το δίκτυο κορμού να είναι ένα απλό LAN ή και VLAN (Virtual LAN). Σε κάθε άλλη περίπτωση η σύνδεση στα ανώτερα επίπεδα θα χαθεί, εκτός κι αν χρησιμοποιείται κάποια άλλη τεχνολογία όπως το Mobile IP.

Το 802.11 Standard προσφέρει υπηρεσίες με υποτυπώδη υποστήριξη χρονικά «κρίσιμων» ροών δεδομένων. Παρ' όλα αυτά, λόγω κάποιων χαρακτηριστικών του (όπως π.χ. το ότι τα superframes δεν έχουν πάντα το ίδιο μέγεθος και συνεπώς δεν επαναλαμβάνονται με σταθερή περίοδο, οι σταθμοί μεταδίδουν για άγνωστο χρονικό διάστημα), δεν μπορεί να προσφέρει τη μέγιστη απόδοση, κυρίως υπό την έννοια του ότι δεν μπορούν να διασφαλιστούν συγκεκριμένες προδιαγραφές που θα πληρεί η διαδικασία της μετάδοσης. Τέτοιες προδιαγραφές μπορούν να αναφέρονται π.χ. στη μέγιστη καθυστέρηση που είναι υποφερτή από την εφαρμογή που εκτελείται σε κάποιο ανώτερο επίπεδο και που χρησιμοποιεί τα δεδομένα που περιέχονται στα πακέτα αυτά. Γίνεται εμφανές πως θα μπορούσε να γίνει και επιπλέον διαχωρισμός των πακέτων δεδομένων σε προτεραιότητες, καθώς έτσι θα μπορούσαμε να αυξομειώσουμε τις ταχύτητες μεταφοράς, δίνοντας καλύτερες ευκαιρίες μετάδοσης στα πακέτα υψηλής προτεραιότητας, εις βάρος βέβαια των πακέτων χαμηλότερης προτεραιότητας.

Τα παραπάνω γίνονται πράξη από το IEEE 802.11e [2]. Προτείνονται οι κατηγορίες Πρόσβασης (Access categories – ACs). Υπάρχουν τέσσερις (4) διαφορετικές κατηγορίες ροών (traffic) (voice, video, best-effort, background) , κάθε μια εκ των οποίων χαρακτηρίζει την προτεραιότητα των πακέτων που ανήκουν σε αυτή. Έχουν προταθεί οκτώ (8) διαφορετικές προτεραιότητες και τέσσερα (4) ACs. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η αντιστοίχιση των προτεραιοτήτων σε categories φαίνεται στον Πίνακα 2-1. Τρόπος αντιστοίχισης των προτεραιοτήτων στις κατηγορίες πρόσβασης (ACs). Κάθε σταθμός που έχει δυνατότητα υποστήριξης ποιότητας υπηρεσίας, χαρακτηρίζεται ως εμπλουτισμένος (Enhanced) σταθμός. Ένα BSS στο οποίο οι σταθμοί υποστηρίζουν ποιότητα υπηρεσίας, χαρακτηρίζεται ως QBSS. Τέλος, ο σταθμός που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της πρόσβασης στο κανάλι (ο αντίστοιχος PC στο 802.11 Standard), ονομάζεται Hybrid Coordinator (HC) και, όπως και το PC, συνήθως βρίσκεται στο AP του BSS.

Πίνακας 2-1. Τρόπος αντιστοίχισης των προτεραιοτήτων στις κατηγορίες πρόσβασης (ACs).

Προτεραιότητα Χρήστη	ACs	Χαρακτηρισμός
1	AC_BK	Background
2	AC_BK	Background
0	AC_BE	Best Effort
3	AC_VI	Video
4	AC_VI	Video
5	AC_VI	Video
6	AC_VO	Voice
7	AC_VO	Voice

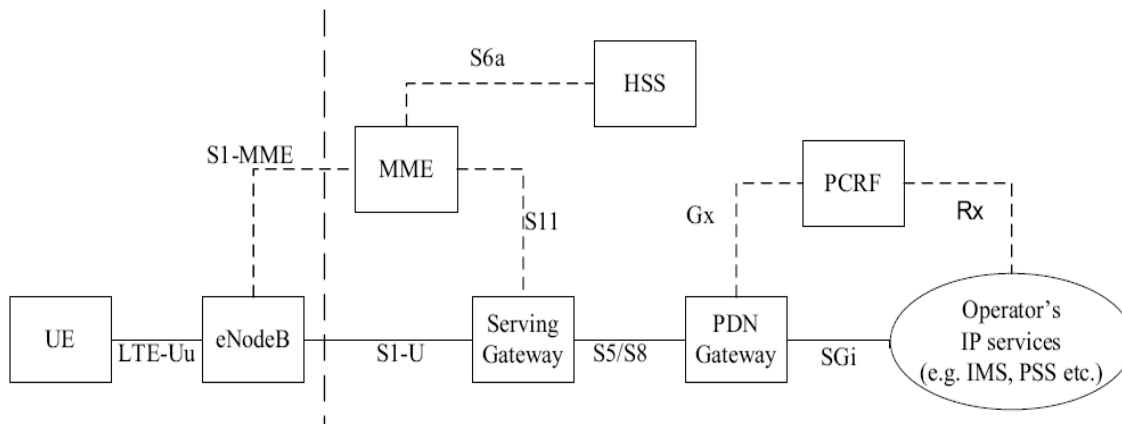
2.3 Το πρότυπο LTE

Στην ενότητα αυτή γίνεται μία παρουσίαση των βασικών αρχιτεκτονικών στοιχείων του προτύπου LTE [3]. Το σύστημα LTE, το οποίο είναι ευρέως διαδεδομένο και ως 4G ή δίκτυα B3G (Beyond 3G) ή τέλος ως All-IP ασύρματα δίκτυα, σχεδιάστηκε εξ αρχής με στόχο την εξέλιξη της τεχνολογίας ραδιοπρόσβασης (radio access) έτσι ώστε όλες οι υπηρεσίες να στηρίζονται στη μεταγωγή πακέτων (packet switched) και όχι στη μεταγωγή κυκλώματος (circuit switched), όπως τα προϋπάρχοντα κινητά δίκτυα. Όσο αφορά την αρχιτεκτονική του δικτύου, ο όρος LTE αντιπροσωπεύει την εξέλιξη της ραδιοπρόσβασης και καλείται Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), ενώ η εξέλιξη των συστατικών στοιχείων του δικτύου που δεν αποτελούν τη ραδιο-διεπαφή (non-radio aspects) καλύπτονται από τον όρο System Architecture Evolution (SAE) ο οποίος περιλαμβάνει και το Evolved Packet Core (EPC) δίκτυο. Οι δύο αυτοί όροι (LTE και SA148E) συνθέτουν το Evolved Packet System (EPS).

Χαρακτηριστικά του δικτύου, όπως η επίπεδη αρχιτεκτονική (flat architecture), καθώς και η χρήση της μεταγωγής πακέτων και του IP πρωτοκόλλου (Internet Protocol) για την επικοινωνία, συμβάλλουν καθοριστικά στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί. Οι πιο χαρακτηριστικοί στόχοι είναι η βελτίωση της ρυθμαπόδοσης και η μείωση της καθυστέρησης σε επίπεδο χρήστη, η καλύτερη αντιμετώπιση της κινητικότητας και η υποστήριξη handover ακόμα και σε ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης.

Επίσης, εξέχουσα σημασία στην εκπλήρωση των απαιτήσεων του δικτύου κατέχουν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε φυσικό επίπεδο. Η Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) και η Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας του συστήματος και του εξοπλισμού των χρηστών (User Equipment), επιτρέπουν ευέλικτη ανάπτυξη του ραδιοφάσματος σε υπάρχοντα ή νέα φάσματα συχνοτήτων και τέλος καθιστούν δυνατή τη συνύπαρξη του με άλλες 3GPP Radio Access Technologies (RATs).

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι τα «αντίπαλα» πρότυπα για το LTE είναι το Mobile WiMAX και το Ultra-Mobile Broadband (UMB). Το ερευνητικό πεδίο που σχετίζεται με το πρότυπο LTE ήδη γνωρίζει έντονη δραστηριότητα και αναμένεται να επηρεάσει την αγορά σταδιακά.



Εικόνα 2-3. Στοιχεία του EPS δικτύου

Όπως προαναφέρθηκε το EPS δίκτυο αποτελείται από το δίκτυο κορμού (EPC) και το δίκτυο πρόσβασης (E-UTRAN). Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-3, το δίκτυο κορμού αποτελείται από πολλές λογικές οντότητες, ενώ αντίθετα το δίκτυο πρόσβασης συντελείται από ένα και μοναδικό στοιχείο, τον evolved NodeB (eNodeB), ο οποίος συνδέεται με τους UEs. Τέλος, απεικονίζονται οι διεπαφές που συνδέουν τις οντότητες αυτές μεταξύ τους.

2.3.1 Βασικές οντότητες του δικτύου κορμού

Οι βασικές οντότητες του δικτύου κορμού (Core Network) είναι οι εξής :

2.3.1.1 Serving Gateway

Η Serving Gateway (S-GW) δρομολογεί και προωθεί τα πακέτα δεδομένων του χρήστη, ενώ επίσης ενεργεί ως σημείο αναφοράς όταν ο χρήστης κινείται μεταξύ των eNodeBs ή μεταξύ του LTE και άλλων 3GPP τεχνολογιών (handover). Η Mobility Management Entity (MME) δίνει εντολή στη S-GW να αλλάξει τη σύνδεση από τον ένα eNodeB στον άλλο. Επιπλέον, μπορεί να ζητήσει από τη S-GW να παρέχει πόρους σύνδεσης για τη διαβίβαση δεδομένων, αν υπάρχει ανάγκη, από τον αρχικό eNodeB στον επόμενο. Άλλο ένα σενάριο είναι η αλλαγή από μια S-GW σε άλλη, με την MME να ελέγχει τη μετακίνηση αυτή αναλόγως με την κατάργηση συνδέσεων στην παλιά S-GW και την εγκατάστασή τους στην νέα S-GW.

Για όλες τις ροές δεδομένων που ανήκουν σε ένα UE ο οποίος βρίσκεται σε λειτουργία, η S-GW μεταβιβάζει τα δεδομένα μεταξύ του eNodeB και της Packet Data Network Gateway (P-GW). Ωστόσο, όταν ένας UE είναι σε κατάσταση αδράνειας οι πόροι στον eNodeB απελευθερώνονται και η πορεία των δεδομένων τερματίζει στην S-GW. Εάν η S-GW λάβει πακέτα δεδομένων από την P-GW, τότε θα αποθηκεύσει τα πακέτα και θα ζητήσει από την MME να αρχικοποιήσει τη διαδικασία τηλεειδοποίησης του UE. Αυτό θα παρακινήσει τον UE να ξανασυνδεθεί και όταν οι συνδέσεις ξαναπραγματοποιηθούν, τα αποθηκευμένα πακέτα θα σταλούν.

Η S-GW παρακολουθεί τα δεδομένα στις συνδέσεις και μπορεί επίσης να συλλέγει δεδομένα που απαιτούνται για τον υπολογισμό της χρέωσης των

χρηστών. Επιπρόσθετα περιλαμβάνει τη λειτουργία νόμιμης παρακολούθησης, η οποία δίνει τη δυνατότητα να παρέχονται τα δεδομένα του χρήστη που παρακολουθείται, στις αρχές για περαιτέρω έλεγχο.

Μια S-GW μπορεί να εξυπηρετεί μόνο μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή με ένα περιορισμένο σύνολο eNodeBs, την οποία μπορούν να ελέγχουν ένα περιορισμένο σύνολο MMEs. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι θα πρέπει να είναι σε θέση να συνδέεται με οποιαδήποτε P-GW σε όλο το δίκτυο, αφού η P-GW δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της μετακίνησης, αντιθέτως το S-GW μπορεί να μεταφερθεί.

2.3.1.2 Packet Data Network Gateway

Η P-GW παρέχει δυνατότητα σύνδεσης του UE με εξωτερικά δίκτυα πακέτων δεδομένων με το να δρα ως σημείο εξόδου και εισόδου της κυκλοφορίας για τον UE. Ένας UE μπορεί να έχει ταυτόχρονη σύνδεση με περισσότερες από μια P-GW για πρόσβαση σε πολλαπλά Packet Data Networks (PDNs).

Επίσης, είναι το σημείο όπου δίνεται η IP σε κάθε UE. Συνήθως, διανέμει μια IP διεύθυνση στον UE, και αυτός τη χρησιμοποιεί για να επικοινωνεί με άλλους IP hosts σε εξωτερικά δίκτυα, π.χ. στο Διαδίκτυο.

Ένας άλλος βασικός ρόλος της P-GW είναι να ενεργεί ως σημείο αναφοράς για την κινητικότητα μεταξύ 3GPP και μη τεχνολογίες (όπως το WiMAX και 3GPP2). Όταν ένας UE μετακινείται από μια S-GW σε άλλη, οι φορείς/κανάλια πρέπει να αλλάξουν στο P-GW. Η P-GW θα λάβει ένδειξη για να αλλάξει τις ροές δεδομένων από το νέο S-GW. Τέλος, περιλαμβάνει το PCEF (Policy Control Enforcement Function), πράγμα που σημαίνει ότι εκτελεί gating και filtering λειτουργίες, όπως απαιτείται από τις πολιτικές που καθορίζονται για τον UE και την εν λόγω υπηρεσία, ενώ συλλέγει και αναφέρει και τις σχετικές πληροφορίες χρέωσης.

2.3.1.3 Mobility Management Entity

Η οντότητα MME είναι ο κόμβος κλειδί για τον έλεγχο πρόσβασης στο LTE δίκτυο. Είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση των συσκευών που βρίσκονται σε αδράνεια και για τη διαδικασία τηλεειδοποίησης, συμπεριλαμβανομένων των αναμεταδόσεων. Συμμετέχει στη διαδικασία ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του φορέα/καναλιού και επίσης είναι υπεύθυνη για την επιλογή του S-GW για ένα UE κατά την αρχική σύνδεση και τη στιγμή του ενδο-LTE handover συμπεριλαμβάνοντας τη μετεγκατάσταση του CN.

Επίσης, είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο ταυτότητας των χρηστών (μέσω αλληλεπίδρασης με το HSS). Οι Non Access Stratum (NAS) διαδικασίες τερματίζουν στο MME και είναι υπεύθυνες για την παραγωγή και την κατανομή προσωρινών ταυτοτήτων για τους UEs. Ελέγχουν την άδεια του UE για το αν μπορεί να συμμετέχει στην υπηρεσία που προσφέρει ο πάροχος (Public Land Mobile Network) και επιβάλλει περιορισμούς περιαγωγής στον UE. Η MME είναι το τελικό σημείο του δικτύου για κρυπτογράφηση/προστασία ακεραιότητας για τις NAS διαδικασίες και αναλαμβάνει την διαχείριση του κλειδιού ασφαλείας. Επίσης παρέχει τη λειτουργία control plane για κινητικότητα μεταξύ LTE και 2G/3G δικτύων μέσω της S3 διεπαφής. Τέλος, τερματίζει την διεπαφή S6a προς το HSS για τις συσκευές χρηστών με περιαγωγή.

2.3.1.4 Policy και Charging Resource Function

Το Policy και Charging Resource Function (PCRF) είναι ένα στοιχείο του δικτύου που είναι υπεύθυνο για την Πολιτική και τον Έλεγχο Χρέωσης (Policy

Control and Charging). Λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με το πώς να δρουν οι υπηρεσίες όσον αφορά στην ποιότητα υπηρεσίας και παρέχει πληροφορίες στο PCEF, που βρίσκεται στο P-GW, έτσι ώστε να μπορούν να οριστούν κατάλληλοι φορείς και ανάλογη τακτική. Οι πληροφορίες που παρέχει το PCRF στην PCEF ονομάζονται κανόνες PCC. Το PCRF θα στείλει τους κανόνες PCC κάθε φορά που ένας νέος φορέας/κανάλι θα πρέπει να εγκατασταθεί.

2.3.1.5 Home Subscription Server

Ο Home Subscription Server (HSS) είναι η “αποθήκη” δεδομένων με τις εγγραφές όλων των μόνιμων χρηστών. Είναι μια βάση δεδομένων αποθηκευμένη σε κάποιο εξυπηρετητή, ο οποίος βρίσκεται σε κεντρικό σημείο στις εγκαταστάσεις του παρόχου. Ο HSS κρατάει το κύριο αντίγραφο του προφίλ του συνδρομητή, το οποίο περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις υπηρεσίες που ισχύουν για το χρήστη, καθώς και σχετικά με τις επιτρεπόμενες PDN συνδέσεις και το αν επιτρέπεται ή όχι περιαγωγή σε ένα δίκτυο που έχει επισκεφθεί. Για την υποστήριξη handover μεταξύ των μη-3GPP δικτύων, ο HSS αποθηκεύει επίσης τις ταυτότητες των P-GWs που είναι διαθέσιμες προς χρήση.

Ακόμα μία οντότητα που μπορεί να είναι ενσωματωμένη στο HSS είναι το Κέντρο Ταυτοποίησης (Authentication Centre) το οποίο παράγει τα διανύσματα για την ταυτοποίηση και τα κλειδιά ασφαλείας. Σε όλες τις διαδικασίες που σχετίζονται με αυτές τις λειτουργίες ο HSS αλληλεπιδρά με την MME, επομένως θα πρέπει να είναι σε θέση να συνδέεται με κάθε MME σε όλο το δίκτυο, προκειμένου να παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να μετακινείται. Για κάθε UE, οι εγγραφές του HSS θα δείχνουν σε ένα MME που του προσφέρει υπηρεσίες κάθε στιγμή, και μόλις ένα νέο MME αναφέρει ότι προσφέρει υπηρεσίες στον UE, το HSS θα ακυρώσει την τοποθεσία της προηγούμενης MME.

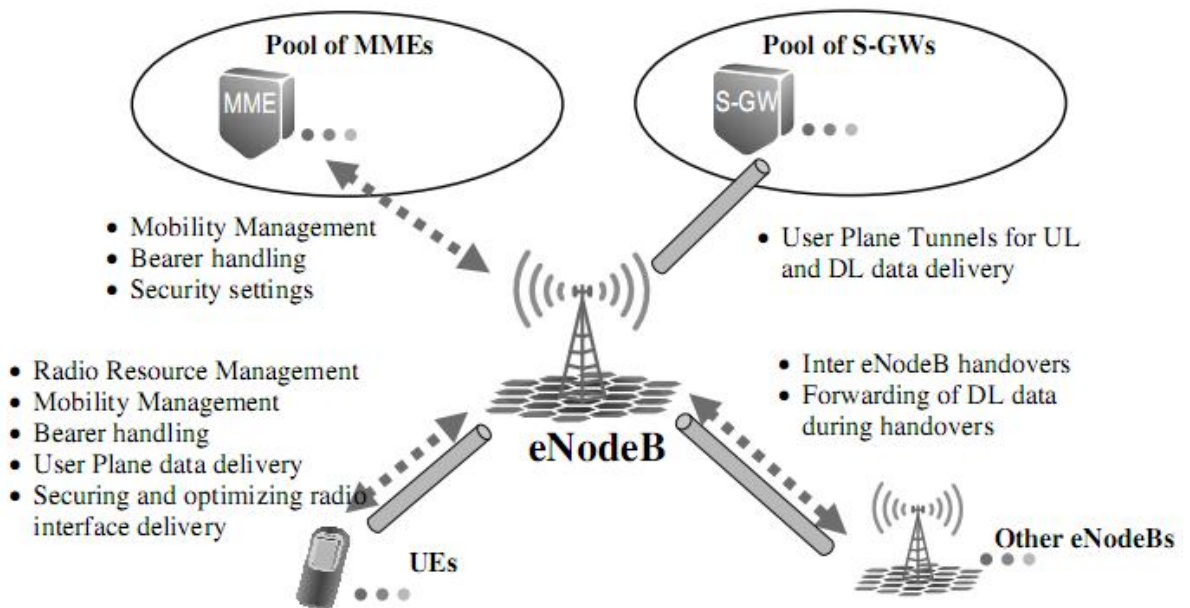
2.3.2 Βασικές οντότητες του δικτύου πρόσβασης

Ο μόνος κόμβος στο E-UTRAN είναι ο evolved NodeB (eNodeB). Με απλά λόγια, ο eNodeB είναι ένας σταθμός βάσης που ελέγχει όλες τις ραδιολειτουργίες που συνδέονται με το σταθερό μέρος του συστήματος. Οι σταθμοί βάσης, όπως ο eNodeB, κατανέμονται συνήθως σε όλη την περιοχή κάλυψης των δικτύων και κάθε eNodeB είναι τοποθετημένος κοντά στις ραδιοκεραίες (radio antennas).

Λειτουργικά ο eNodeB ενεργεί ως μια γέφυρα επιπέδου 2 μεταξύ του UE και του EPC, αφού είναι το σημείο τερματισμού όλων των ραδιο-πρωτοκόλλων προς το UE ενώ ταυτόχρονα αναμεταδίδει τα δεδομένα προς το EPC, μεταξύ των ραδιο-συνδέσεων και της αντίστοιχης σύνδεσης που είναι βασισμένη σε IP. Σε αυτό το ρόλο, ο eNodeB εκτελεί κρυπτογράφηση / αποκρυπτογράφηση των δεδομένων του UE, καθώς επίσης συμπίεση / αποσυμπίεση των IP κεφαλίδων, πράγμα που σημαίνει την αποφυγή επανειλημμένης αποστολής των ίδιων ή διαδοχικών δεδομένων στην κεφαλίδα IP.

Ο eNodeB είναι επίσης υπεύθυνος για πολλές λειτουργίες του Control Plane (CP). Είναι υπεύθυνος για το Radio Resource Management (RRM), δηλαδή τον έλεγχο της χρήσης της ραδιο-επαφής, το οποίο περιλαμβάνει, για παράδειγμα, την κατανομή των πόρων με βάση τις αιτήσεις, την ιεράρχηση και τον προγραμματισμό της κίνησης των δεδομένων με βάση την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας και τη συνεχή παρακολούθηση της χρησιμοποίησης των πόρων.

Επιπλέον, ο eNodeB έχει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση κινητικότητας. Ελέγχει και αναλύει τις μετρήσεις της έντασης του ραδιοσήματος (radio signal) που πραγματοποιούνται από τον UE, κάνει παρόμοιες μετρήσεις ο ίδιος, και με βάση αυτές λαμβάνεται η απόφαση για το handover των UEs μεταξύ των κελιών. Όταν ένας νέος UE ενεργοποιείται υπό κάποιον eNodeB και κάνει αίτηση σύνδεσης στο δίκτυο, ο eNodeB είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση αυτού του αιτήματος στην MME η οποία προηγουμένως εξυπηρετούσε το συγκεκριμένο UE. Σε περίπτωση που η δρομολόγηση προς την προηγούμενη MME δεν είναι διαθέσιμη ή λείπουν κάποιες πληροφορίες δρομολόγησης, επιλέγεται μία νέα



Εικόνα 2-4. Συνδέσεις του eNodeB με άλλους λογικούς κόμβους και κύριες λειτουργίες

MME.

Στην Εικόνα 2-4 φαίνονται οι συνδέσεις που έχει ο eNodeB με τους περιβάλλοντες λογικούς κόμβους και συνοψίζονται οι βασικές λειτουργίες αυτών. Χρήζει αναφοράς το γεγονός ότι ανά πάσα στιγμή ένας eNodeB μπορεί να εξυπηρετεί πολλαπλούς UEs στην περιοχή κάλυψής του, ωστόσο κάθε UE μπορεί να είναι συνδεδεμένος με ένα μόνο eNodeB. Επίσης, γειτονικοί eNodeBs πρέπει να είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Τέλος, κάθε στιγμή σε ένα UE προσφέρονται υπηρεσίες από μία μόνο MME και S-GW, και ο eNodeB πρέπει να παρακολουθεί αυτή την συσχέτιση. Αυτό σημαίνει ότι ένας eNodeB είναι πιθανό να πρέπει να συνδεθεί με πολλές MMEs και S-GWs.

2.3.3 Εξοπλισμός Χρήστη

Ο εξοπλισμός χρήστη (User Equipment) είναι η συσκευή που χρησιμοποιεί ο τελικός χρήστης για επικοινωνία. Συνήθως πρόκειται για μια συσκευή χειρός όπως είναι ένα smart phone ή ακόμα και ένα laptop. Επίσης περιλαμβάνει την Universal Subscriber Identity Module (USIM), που είναι μια ξεχωριστή μονάδα από τον υπόλοιπο UE, που συχνά αποκαλείται Τερματικός Εξοπλισμός (Terminal Equipment). Η USIM είναι μια εφαρμογή που τοποθετείται σε μια αφαιρούμενη έξυπνη κάρτα που λέγεται Universal Integrated Circuit Card (UICC) και χρησιμοποιείται για να προσδιορίζει και να ελέγχει την ταυτότητα του χρήστη καθώς και να παράγει κλειδιά ασφαλείας για την προστασία της μετάδοσης στη ραδιοεπικοινωνία.

Ο UE είναι μια πλατφόρμα για εφαρμογές επικοινωνίας που επιτελεί λειτουργίες διαχείρισης κινητικότητας όπως handover και αναφορά της τοποθεσίας όπου βρίσκεται ο τερματικός σταθμός. Όλες αυτές οι λειτουργίες εκτελούνται όπως του επιβάλλει το δίκτυο.

2.4 Το πρότυπο IEEE 802.16

Μετά από χρόνια ανάπτυξης και απροσδιοριστίας σχετικά με τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα, ήταν απαραίτητη μία διαλειτουργική, βασισμένη σε πρότυπα και κοινώς αποδεκτή πρόταση για τα χαρακτηριστικά και την λειτουργία των δικτύων αυτών. Μία ευρεία βιομηχανική κοινοπραξία, καλούμενη «Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) Forum», ξεκίνησε την πιστοποίηση των ασύρματων προϊόντων ευρείας ζώνης για την διαλειτουργικότητα και την συμβατότητά τους με ένα πρότυπο (standard). Η τεχνολογία WiMAX είναι βασισμένη στα WMAN (Wireless Metropolitan Area Networking) πρότυπα που αναπτύχθηκαν από την ομάδα IEEE 802.16 και υιοθετήθηκαν από τα ιδρύματα IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) και ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Η ομάδα IEEE 802.16 συγκροτήθηκε το 1998 με σκοπό την ανάπτυξη ενός προτύπου για την ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης. Ο αρχικός προσανατολισμός της ομάδας αυτής ήταν η ανάπτυξη ενός ασύρματου συστήματος ευρείας ζώνης και οπτικής επαφής (Line-of-Sight-LOS) για επικοινωνία σημείου-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint) και λειτουργία στην ζώνη συχνοτήτων 10GHz – 66GHz. Το πρότυπο που αναπτύχθηκε –το πρωτότυπο IEEE 802.16- ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2001 και ήταν βασισμένο σε μονοκαναλικό φυσικό επίπεδο και σε επίπεδο ελέγχου πρόσβασης που χρησιμοποιούσε ως σχήμα πολυπλεξίας το TDM (Time Division Multiplexing) με ριπές (bursts).

Μεταγενέστερα, η ομάδα εργασίας του IEEE 802.16 δημιούργησε το IEEE 802.16a, μία τροποποίηση του αρχικού προτύπου στην οποία συμπεριλήφθηκαν εφαρμογές στην ζώνη συχνοτήτων 2GHz–11GHz χωρίς την προϋπόθεση οπτικής επαφής NLOS (Non-Line-of-Sight). Το εν χρήσει φυσικό επίπεδο ήταν βασισμένο σε πολυπλεξία ορθογώνιου διαμοιρασμού συχνοτήτων, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Συμπεριλήφθηκαν επίσης και προσθήκες στο MAC επίπεδο, όπως υποστήριξη πολλαπλής πρόσβασης OFDMA. Οι επιπλέον αναθεωρήσεις είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου προτύπου που δημιουργήθηκε το 2004, το καλούμενο IEEE 802.16-2004, το οποίο αντικατέστησε όλες τις προηγούμενες εκδόσεις και αποτέλεσε την βάση για την πρώτη WiMAX πρόταση. Αυτή η πρώιμη WiMAX τεχνολογία στόχευε σε «σταθερές» (non-mobile or fixed) εφαρμογές και αναφέρεται ως fixed WiMAX. Το Δεκέμβριο του 2005, η ομάδα εργασίας του IEEE 802.16 ολοκλήρωσε και ενέκρινε το πρότυπο IEEE 802.16e-2005 [5], που αποτελεί μία τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.16-2004, στην οποία προστέθηκε υποστήριξη κινητικότητας (mobility). Το πρότυπο IEEE 802.16e-2005 αποτέλεσε την βάση για την WiMAX πρόταση που στόχευε σε «κινητές» (mobile) εφαρμογές και συχνά αναφέρεται ως mobile WiMAX. Τα πρότυπα αυτά προσφέρουν μία ποικιλία από θεμελιώδεις διαφορετικές επιλογές υλοποίησης. Για παράδειγμα, υπάρχουν πολλαπλές επιλογές για το φυσικό επίπεδο που δύναται να χρησιμοποιηθεί: φυσικό επίπεδο που χρησιμοποιεί μία μόνο φέρουσα (μονοκαναλικό-single-carrier) και καλείται WirelessMAN-SCa, φυσικό επίπεδο βασισμένο σε OFDM που καλείται WirelessMAN-OFDM, και φυσικό επίπεδο βασισμένο σε OFDMA που καλείται WirelessMAN-OFDMA. Ομοίως, υπάρχουν πολλαπλές επιλογές για την MAC αρχιτεκτονική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για τις ζώνες συχνοτήτων που θα

λειτουργεί το σύστημα, για τους τρόπους πολυπλεξίας και duplexing, για τα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης κ.ο.κ. Τα πρότυπα αυτά αναπτύχθηκαν για να μπορέσει να καλυφθεί μία ποικιλία από εφαρμογές και σενάρια ανάπτυξης, και έτσι να προσφέρεται μία πληθώρα από σχεδιαστικές επιλογές στους σχεδιαστές συστημάτων. Ουσιαστικά, το IEEE 802.16 είναι μία συλλογή από πρότυπα και όχι ένα μόνο διαλειτουργικό πρότυπο.

2.4.1 Εξέχοντα χαρακτηριστικά του WiMAX

Η τεχνολογία WiMAX έχει ως στόχο την ευρείας ζώνης ασύρματη δικτύωση και παρέχει ένα σύνολο από χαρακτηριστικά με μεγάλη ευελιξία σε θέματα σχεδιασμού, υλοποίησης και ανάπτυξης υπηρεσιών και εφαρμογών. Μερικά από τα εξέχοντα χαρακτηριστικά του WiMAX είναι τα παρακάτω:

- Φυσικό επίπεδο βασισμένο σε τεχνολογία OFDM: Το φυσικό επίπεδο του WiMAX βασίζεται στην Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας, μία τεχνολογία που είναι αποδοτική σε συνθήκες πολυδιάδευσης και επιτρέπει τη λειτουργία σε συνθήκες NLOS. Η τεχνολογία OFDM είναι ευρέως αποδεκτή ως η προτιμητέα μέθοδος για τον μετριασμό των επιπτώσεων της πολυδιάδευσης στις ευρείας ζώνης ασύρματες επικοινωνίες.
- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων: Το WiMAX είναι ικανό να υποστηρίξει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Πράγματι, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στο φυσικό επίπεδο μπορεί να προσεγγίσει τα 74 Mbps για κανάλια εύρους ζώνης 20 MHz. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας ένα κανάλι εύρους 10 MHz και TDD με λόγο κατωφερής-ζεύξης υποχρονοπλαίσιο προς ανωφερής-ζεύξης υποχρονοπλαίσιο 3:1, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στο φυσικό επίπεδο είναι περίπου 25 Mbps για την κατωφερή-ζεύξη και 6.7 Mbps για την ανωφερή-ζεύξη. Αυτοί οι υψηλοί ρυθμοί δεδομένων φυσικού επιπέδου επιτυγχάνονται όταν χρησιμοποιηθεί 64QAM διαμόρφωση με ρυθμό κωδικοποίησης για διόρθωση σφάλματος 5/6. Υπό πολύ καλές συνθήκες, ακόμα υψηλότεροι μέγιστοι ρυθμοί μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραίες και πολυπλεξία χώρου.
- Υποστήριξη κλιμακούμενου εύρους ζώνης και ρυθμού δεδομένων: Το WiMAX έχει μία κλιμακούμενη αρχιτεκτονική φυσικού επιπέδου, η οποία επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στο διαθέσιμο εύρος ζώνης καναλιού. Αυτή η δυνατότητα κλιμάκωσης υποστηρίζεται στον OFDMA τρόπο λειτουργίας, όπου το μέγεθος του ταχέως μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier Transform - FFT) μπορεί να κλιμακώνεται βασισμένο στο διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού. Παραδείγματος χάριν, ένα WiMAX σύστημα μπορεί να χρησιμοποιεί 128, 512, ή 1024-bit FFTs βασισμένο στο εάν το εύρος ζώνης καναλιού είναι 1.25 MHz, 5 MHz ή 10 MHz, αντίστοιχα. Αυτή η κλιμάκωση μπορεί να γίνει με δυναμικό τρόπο για να υποστηρίξει ενδεχόμενη περιαγωγή (roaming) του χρήστη δια μέσου διαφορετικών δικτύων, καθένα από τα οποία μπορεί να έχει διαφορετικό διαθέσιμο εύρος ζώνης καναλιού.
- Προσαρμόσιμη διαμόρφωση και κωδικοποίηση (Adaptive Modulation and Coding - AMC): Το WiMAX υποστηρίζει ένα πλήθος από σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (Modulation and Coding Scheme - MCS) και επιτρέπει την αλλαγή του χρησιμοποιούμενου σχήματος ανά χρήστη και ανά χρονοπλαίσιο (frame), με βάση τις εκάστοτε συνθήκες του καναλιού. Η προσαρμόσιμη διαμόρφωση και κωδικοποίηση συνιστά έναν

αποτελεσματικό μηχανισμό για την μεγιστοποίηση της ρυθμαπόδοσης σε ένα χρονικά μεταβαλλόμενο κανάλι. Ο αλγόριθμος τυπικά επιβάλλει την χρήση του μέγιστου σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που μπορεί να υποστηριχτεί από τον λόγο SNIR (Signal-to-Noise and Interference Ratio) στον δέκτη, έτσι ώστε σε κάθε χρήστη να παρέχεται ο υψηλότερος δυνατός ρυθμός δεδομένων που μπορεί να υποστηριχτεί από την ζεύξη του.

- Υποστήριξη αναμεταδόσεων στο Επίπεδο Ζεύξης: Για συνδέσεις που απαιτούν αυξημένη αξιοπιστία, το WiMAX υποστηρίζει αυτόματες αιτήσεις αναμετάδοσης (Automatic Retransmission reQuests-ARQ) στο Επίπεδο Ζεύξης (Link Layer). Οι συνδέσεις που έχουν ενεργοποιημένη την τεχνολογία αυτή απαιτούν την επιβεβαίωση (acknowledgement - ACK) της λήψης κάθε μεταδιδόμενου πακέτου από τον δέκτη. Πακέτα των οποίων η λήψη δεν έχει επιβεβαιωθεί θεωρούνται χαμένα και μεταδίδονται ξανά. Επίσης, το WiMAX υποστηρίζει προαιρετικά μια υβριδική τεχνολογία που καλείται hybrid-ARQ (H-ARQ) και αποτελεί ένα αποτελεσματικό υβρίδιο FEC (Forward Error correction) κωδικοποίησης και ARQ πρωτοκόλλου.
- Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA): Το Mobile WiMAX χρησιμοποιεί ως τεχνική για πολλαπλή πρόσβαση την τεχνολογία OFDMA, σύμφωνα με την οποία διαφορετικοί χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικά υποσύνολα των OFDM τόνων (ή υποφερουσών). Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης OFDMA διευκολύνει την αξιοποίηση των τεχνικών διαφοροποίησης frequency diversity (διαφοροποίηση συχνότητας) και multiuser diversity (διαφοροποίηση πολλαπλών χρηστών), για να βελτιώσει σημαντικά την χωρητικότητα του συστήματος (υπό την έννοια του συνολικά εξυπηρετούμενου ρυθμού δεδομένων -σε bps).
- Δυναμική και ευπροσάρμοστη ανάθεση πόρων ανά χρήστη: Η ανάθεση των πόρων στην κατωφερή-ζεύξη και ανωφερή-ζεύξη ελέγχεται από έναν χρονοπρογραμματιστή κίνησης στον Σταθμό Βάσης (Base Station – BS). Η χωρητικότητα (bps) του συστήματος διαμοιράζεται μεταξύ των πολλαπλών χρηστών με βάση τις απαιτήσεις τους σε εύρος ζώνης, χρησιμοποιώντας ένα TDM σχήμα πολυπλεξίας με ριπές. Όταν το φυσικό επίπεδο είναι βασισμένο σε OFDMA, η πολυπλεξία πραγματοποιείται επιπρόσθετα και στο πεδίο της συχνότητας, αναθέτοντας διαφορετικά υποσύνολα των OFDM υποφερουσών σε διαφορετικούς χρήστες. Οι πόροι μπορούν επίσης να εκχωρηθούν και στο πεδίο του χώρου, όταν χρησιμοποιηθεί η προαιρετική τεχνολογία AAS (Advanced Antenna Systems). Το πρότυπο επιτρέπει την ανάθεση πόρων στα πεδία του χρόνου, της συχνότητας και του χώρου και διαθέτει έναν ευέλικτο μηχανισμό για να μεταφέρει τις πληροφορίες σχετικά με την εκχώρηση των πόρων σε κάθε πλαίσιο.
- Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας: Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου του WiMAX έχει μία αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις συνδέσεις (connection-oriented), η οποία έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει ένα πλήθος εφαρμογών, όπως υπηρεσίες φωνής και πολυμέσων. Το σύστημα υποστηρίζει υπηρεσίες σταθερού ρυθμού μετάδοσης (constant bit rate - CBR) και μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης (variable bit rate - VBR), ροές κίνησης πραγματικού χρόνου (real-time) και μη-πραγματικού χρόνου (non-real-time), καθώς και best-effort (BE) κίνηση δεδομένων (π.χ. Web browsing). Το MAC επίπεδο του WiMAX έχει σχεδιαστεί να υποστηρίζει ένα

μεγάλο αριθμό χρηστών, με πολλαπλές συνδέσεις ανά τερματικό, κάθε μία με την δική της απαίτηση για ποιότητα υπηρεσίας.

Στα παραπάνω βασικά χαρακτηριστικά του WiMAX προστίθενται και: η αυξημένη ασφάλεια, η υποστήριξη κινητικότητας (mobility), η υποστήριξη για TDD (Time Division Duplexing) και FDD (Frequency Division Duplexing), η υποστήριξη προηγμένων τεχνικών για κεραίες (advanced antenna techniques), η βασισμένη σε IP (Internet Protocol) αρχιτεκτονική για εύκολη διασύνδεση με άλλα δίκτυα κ.α.

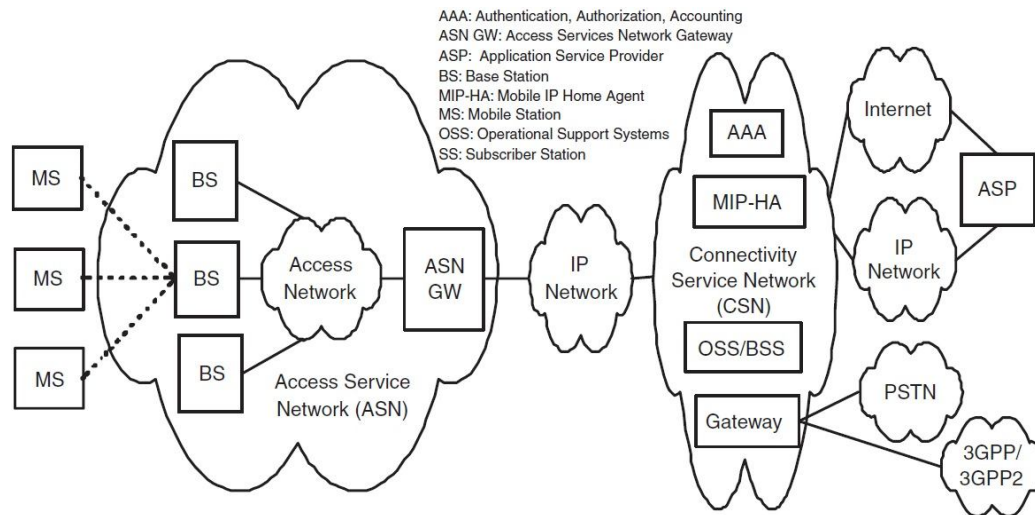
2.4.2 Αρχιτεκτονική Δικτύου Αναφοράς

Το πρότυπο IEEE 802.16e-2005 προσδιορίζει την ασύρματη διεπαφή για το WiMAX, και ορίζει την πλήρη από-άκρο-σε-άκρο αρχιτεκτονική του WiMAX. Η ομάδα εργασίας δικτύου (NWG) του WiMAX Forum είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη των απαιτήσεων από-άκρο-σε-άκρο, της αρχιτεκτονικής και των πρωτοκόλλων για το WiMAX, χρησιμοποιώντας την IEEE 802.16e-2005 ασύρματη διεπαφή.

Η WiMAX NWG έχει αναπτύξει ένα μοντέλο αναφοράς με στόχο μία αρχιτεκτονική πλαίσιο για τις διάφορες υλοποιήσεις του WiMAX, καθώς και για να διασφαλίσει την διαλειτουργικότητα ανάμεσα στα διάφορα προϊόντα του WiMAX και τους παρόχους του. Το μοντέλο αναφοράς οραματίζεται μία ενοποιημένη αρχιτεκτονική δικτύου για την υποστήριξη σταθερής, νομαδικής και υλοποίησης που υποστηρίζει κινητικότητα, που βασίζονται σε ένα IP μοντέλο υπηρεσίας. Η Εικόνα 2-5 δείχνει μία απλοποιημένη μορφή μιας IP-βασισμένης αρχιτεκτονικής δικτύου WiMAX. Το συνολικό δίκτυο μπορεί να διαχωριστεί σε τρία μέρη: (1) κινητούς σταθμούς (mobile stations-MS) που χρησιμοποιούνται από τους χρήστες για να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο, (2) το δίκτυο πρόσβασης υπηρεσίας (access service network - ASN), που αποτελείται από έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης, καθώς και από μία ή περισσότερες ASN πύλες (gateways) που σχηματίζουν στις άκρες το δίκτυο πρόσβασης στο ραδιομέσο (radio access network), και τέλος (3) το δίκτυο διασύνδεσης υπηρεσίας (connectivity service network - CSN), που παρέχει διασύνδεση IP και όλες τις συναρτήσεις κορμού δικτύου.

Το πλαίσιο αρχιτεκτονικής ορίζεται έτσι ώστε οι πολλαπλοί χρήστες να μπορούν να είναι μέρη της αλυσίδας υπηρεσιών του WiMAX. Πιο συγκεκριμένα, η αρχιτεκτονική επιτρέπει τρεις ξεχωριστές οντότητες: (1) τον παροχέα δικτυακής πρόσβασης (network access provider-NAP), ο οποίος έχει στην ιδιοκτησία του και λειτουργεί το ASN, (2) ο παροχέας δικτυακών υπηρεσιών (network services provider-NSP), οποίος παρέχει συνδεσιμότητα IP και τις WiMAX υπηρεσίες στους εγγεγραμμένους χρήστες, χρησιμοποιώντας την υποδομή ASN που παρέχεται από ένα ή περισσότερα NAPs, και (3) παροχέας υπηρεσιών εφαρμογής (application service provider-ASP), ο οποίος μπορεί να παρέχει υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας όπως πολυμεσικές εφαρμογές με την χρήση IMS (IP multimedia subsystem) και να συνεργάζεται με VPN (virtual private networks) που τρέχουν στην κορυφή του IP. Ο διαχωρισμός αυτός μεταξύ NAP, NSP, και ASP είναι σχεδιασμένος για να κάνει διαθέσιμο ένα πλουσιότερο οικοσύστημα για τις επιχειρηματικές υπηρεσίες WiMAX, οδηγώντας σε μεγαλύτερο ανταγωνισμό και έτσι καλύτερες υπηρεσίες.

Το μοντέλο αναφοράς δικτύου που αναπτύχθηκε από το WiMAX Forum NWG ορίζει έναν αριθμό από λειτουργικές οντότητες καθώς και τις διεπαφές μεταξύ τους. Η Εικόνα 2-5 δείχνει μερικές από τις πιο σημαντικές λειτουργικές οντότητες:



Εικόνα 2-5. Αρχιτεκτονική δικτύου WiMAX βασισμένου σε IP.

- Σταθμός Βάσης (BS): Ο BS είναι υπεύθυνος για την παροχή του περιβάλλοντος διεπαφής για τους MS. Επιπρόσθετες λειτουργίες που μπορούν να είναι μέρος του BS είναι η λειτουργίες διαχείρισης μικροκινητικότητας, όπως η ενεργοποίηση του handoff και εγκαθίδρυση τούνελ, διαχείριση πηγών ραδιοεκπομπών, επιβολή πολιτικής ποιότητας υπηρεσίας, διαχείριση συνεδρίας και διαχείριση εκπομπών για ομάδα πολλαπλών χρηστών.
- Πύλη πρόσβασης υπηρεσιών δικτύου (access service network gateway ή ASN-GW): Η ASN gateway λειτουργεί ως ένα σημείο συγκέντρωσης του 2ου επιπέδου μέσα στο ASN. Επιπλέον λειτουργίες του ASN-GW περιλαμβάνουν intra-ASN εντοπισμό και σελιδοποίηση, διαχείριση των πηγών ραδιοεκπομπών και έλεγχο εισδοχής στο σύστημα, εγκατάσταση και διαχείριση των κινητών τούνελ με τους BS, επιβολή ποιότητας υπηρεσίας και πολιτικής, λειτουργικότητα foreign agent για mobile IP, και τέλος δρομολόγηση προς το επιλεγμένο CSN.
- Δίκτυο υπηρεσιών διασύνδεσης (Connectivity service network-CSN): Το CSN παρέχει διασυνδεσιμότητα στο internet, στο ASP, καθώς και σε άλλα δημόσια και άλλα δίκτυα με τα οποία υπάρχει συνεργασία. Το CSN είναι ιδιοκτησία του NSP και συμπεριλαμβάνει εξυπηρετητές AAA που υποστηρίζουν αυθεντικοποίηση για τις συσκευές, τους χρήστες και συγκεκριμένες υπηρεσίες. Το CSN παρέχει επίσης πολιτική διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσίας και ασφάλειας. Επίσης είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των IP διευθύνσεων, υποστήριξη διαμεταγωγής μεταξύ διαφορετικών NSPs, διαχείριση εντοπισμού θέσης μεταξύ των ASNs καθώς και την κινητικότητα και διαμεταγωγή μεταξύ των ASNs. Επιπλέον, το CSN μπορεί επίσης να παρέχει πύλες και διαλειτουργικότητα με άλλα δίκτυα, όπως το PSTN (public switched telephone network), το 3GPP, και το 3GPP2.

Το πλαίσιο αρχιτεκτονικής του WiMAX επιτρέπει την ευέλικτη διάσπαση ή/και συνδυασμό των λειτουργικών οντοτήτων κατά το χτίσιμο των φυσικών οντοτήτων. Για παράδειγμα, το ASN μπορεί να διασπαστεί σε base station transceivers (BST), base station controllers (BSC), και έναν ASNGW ανάλογα με αυτά του GSM μοντέλου: BTS, BSC, και Serving GPRS Support Node (SGSN). Είναι επίσης πιθανόν να συμψηφιστούν τα BS και ASN-GW σε μία μοναδική οντότητα, η οποία μπορεί να είναι κάτι σαν WiMAX δρομολογητής. Ένα τέτοιο

σχέδιο αναφέρεται και ως κατανεμημένη ή επίπεδη αρχιτεκτονική. Η αρχιτεκτονική αναφοράς λοιπόν επιτρέπει την διαφοροποίηση σε κάθε πωλητή/πάροχο με το να μην επιβάλει ένα μοναδικό φυσικό ASN ή CSN. Οι διεπαφές αυτές φέρουν πρωτόκολλα ελέγχου και διαχείρισης – κυρίως IETF-ανάπτυξης πρωτόκολλα δικτύου και επιπέδου μεταφοράς- για να υποστηρίξουν διάφορες λειτουργίες, όπως κινητικότητα, ασφάλεια και ποιότητα υπηρεσίας εκτός των μεταφερόμενων δεδομένων.

Η αρχιτεκτονική αναφοράς του WiMAX ορίζει σημεία αναφοράς ανάμεσα: (1) σε MS και το ASN, που ονομάζεται R1, και που επιπρόσθετα από την ασύρματη διεπαφή συμπεριλαμβάνει πρωτόκολλα στο επίπεδο της διαχείρισης, (2) σε MS και σε CSN, που ονομάζεται R2, και παρέχει αυθεντικοποίηση, υπηρεσίες εξουσιοδότησης, διαμόρφωσης IP και διαχείρισης κινητικότητας, (3) σε ASN και σε CSN, που ονομάζεται R3, και υποστηρίζει επιβολή πολιτικών και διαχείριση κινητικότητας, (4) σε ASN και σε ASN, που ονομάζεται R4, και υποστηρίζει κινητικότητα inter-ASN, (5) σε CSN και σε CSN, που ονομάζεται R5, και υποστηρίζει διαμεταγωγή ανάμεσα σε πολλαπλά NSPs, (6) σε BS και σε ASN-GW, που ονομάζεται R6, και η οποία αποτελείται από intra-ASN bearer paths και IP tunnels γεγονότα κινητικότητας, και τέλος (7) από BS με BS, που ονομάζεται R7, και που διευκολύνει γρήγορο και το facilitate fast, μονοκόμματο handover.

2.4.2.1 Η αρχιτεκτονική Σημείου προς Πολλαπλά Σημεία (Point-to-Multi Point - PMP)

Η κατωφερής-ζεύξη, από τον BS προς τους χρήστες λειτουργεί σε μία βάση από-σημείο-προς-πολλαπλά σημεία. Το πρότυπο IEEE 802.16 ορίζει την λειτουργία με ένα κεντρικό BS και μία κεραία τομέων, η οποία είναι ικανή να διαχειρίζεται ανεξάρτητους τομείς ταυτόχρονα. Σε μία δεδομένη συχνότητα και τομέα κεραίας, όλοι οι σταθμοί λαμβάνουν την ίδια μετάδοση, ή μέρη αυτής. Ο BS είναι ο μόνος πομπός που λειτουργεί σε αυτή την ζεύξη-κατεύθυνση, οπότε μεταδίδει χωρίς να χρειάζεται να συγχρονιστεί με άλλους σταθμούς, εκτός του ότι πρέπει να υπακούει και αυτός (στην ουσία επιβάλει) το γενικό πλαίσιο της πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου (time division duplexing -TDD) στην οποία διαιρεί τον χρόνο σε περιόδους μεταδόσεων της κατωφερής και ανωφερής-ζεύξης. Στις περιπτώσεις όπου το DL-MAP δεν διευκρινίζει σαφώς ότι κάποιο ποσοστό του υποχρονοπλαισίου κατωφερής-ζεύξης αφορά ένα συγκεκριμένο MS, όλοι οι MS θα πρέπει να αντιμετωπίσουν το κομμάτι αυτό σαν να απευθυνόταν στους ίδιους. Και έτσι θα πρέπει να τσεκάρουν τα CIDs στα λαμβανόμενα PDUs και να κρατήσουν μόνο αυτά που απευθύνονται στους ίδιους.

Οι MS μοιράζονται την ανωφερή-ζεύξη ανάλογα με τις απαιτήσεις τους. Ανάλογα με την κλάση υπηρεσίας των ενεργών συνδέσεων του ο κάθε MS μπορεί να δικαιούται συνεχείς μεταδόσεις, ή δικαίωμα μετάδοσης που του εκχωρεί ο BS μετά από κάποια αίτηση για μετάδοση.

Εκτός των μηνυμάτων που απευθύνονται σε ανεξάρτητους MS, μπορεί να στέλλονται και μηνύματα σε συνδέσεις-ομάδες MS που ανήκουν σε μία ομάδα κοινής λήψης (μηνύματα ελέγχου και διανομή βίντεο είναι παραδείγματα εφαρμογών ομάδων χρηστών κοινής λήψης) καθώς και μεταδόσεις broadcast προς όλους τους χρήστες.

Μέσα σε κάθε τομέα κεραίας, οι χρήστες υπακούνε σε ένα πρωτόκολλο μετάδοσης που ελέγχει τον ανταγωνισμό μεταξύ των χρηστών και δίνει την δυνατότητα να προσαρμόσουν τις καθυστερήσεις και τις απαιτήσεις για εύρος ζώνης των εφαρμογών τους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω πέντε τύπων υπηρεσίας

χρονοπρογραμματισμού της ανωφερής-ζεύξης. Αυτές υλοποιούνται με την χρήση αυτόκλητων εκχωρήσεων εύρους ζώνης, ψηφοφορίας και διαδικασιών ανταγωνισμού. Οι μηχανισμοί αυτοί ορίζονται στο πρωτόκολλο ώστε να επιτρέπουν στους πωλητές να βελτιστοποιούν την απόδοση του συστήματος με την χρήση διάφορων συνδυασμών από αυτές τις τεχνικές κατανομής εύρους ζώνης, ενώ διατηρούν σταθερές τις διευκρινίσεις διαλειτουργικότητας. Για παράδειγμα, ο ανταγωνισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή της ανεξάρτητης ψηφοφορίας κάθε MS που είναι ανενεργός για ένα μεγάλο διάστημα χρόνου.

Η χρήση ψηφοφορίας από την άλλη απλοποιεί την λειτουργία πρόσβασης και εγγυάται ότι οι εφαρμογές εξυπηρετούνται σε μία ντετερμινιστική βάση αν αυτό απαιτηθεί. Οι εφαρμογές διακρίνονται σε αυτές που είναι ανεκτές σε καθυστερήσεις, αλλά και σε αυτές που απαιτούν εξυπηρέτηση σε μία πιο αυστηρή βάση ακόμη και με πολύ-αυστηρά ελεγχόμενο χρονοπρογραμματισμό, όπως οι εφαρμογές βίντεο και φωνής.

Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου είναι συνδέσεο-προσανατολισμένο. Για λόγους χαρτογράφησης των υπηρεσιών των MS και διασύνδεσής τους με διάφορα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας, όλες οι επικοινωνίες δεδομένων αντιστοιχίζονται σε συνδέσεις μεταφοράς. Οι ροές υπηρεσίας προδιαγράφονται όταν ένας MS εισέρχεται στο σύστημα. Αμέσως μετά την εγγραφή του MS, οι συνδέσεις μεταφοράς συνδέονται με αυτές τις ροές υπηρεσιών (μία σύνδεση για κάθε μία ροή υπηρεσίας) ώστε να παρέχουν μία αναφορά στο ποιος έχει το δικαίωμα και πως να αιτείται εύρος ζώνης. Επιπρόσθετα, νέες συνδέσεις μεταφοράς μπορούν να εγκαθιδρυθούν όταν κάποιες από τις υπηρεσίες του χρήστη χρειάζονται τροποποίηση. Μία σύνδεση μεταφοράς ορίζει τόσο την χαρτογράφηση ανάμεσα στις διαδικασίες σύγκλισης που χρησιμοποιούν το MAC αλλά και μία ροή υπηρεσίας. Η ροή υπηρεσίας ορίζει τις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας για τα PDUs που ανταλλάσσονται στην σύνδεση.

Η έννοια της ροής υπηρεσίας για κάθε μία σύνδεση μεταφοράς είναι κεντρική στην λειτουργία του MAC πρωτοκόλλου. Οι ροές υπηρεσίας παρέχουν έναν μηχανισμό για την διαχείριση της ποιότητας υπηρεσίας τόσο για την κατωφερή-ζεύξη όσο και για την ανωφερή. Πιο συγκεκριμένα, είναι ζωτικές για την διαδικασία κατανομής εύρους ζώνης. Ένας MS αιτείται εύρους ζώνης σε μία βάση ανά σύνδεση (αναγνωρίζοντας την ροή υπηρεσίας). Το εύρος ζώνης εκχωρείται από τον BS σε έναν MS ως ένα σύνολο από εκχωρήσεις σε απάντηση των ανά σύνδεση αιτημάτων από τον MS.

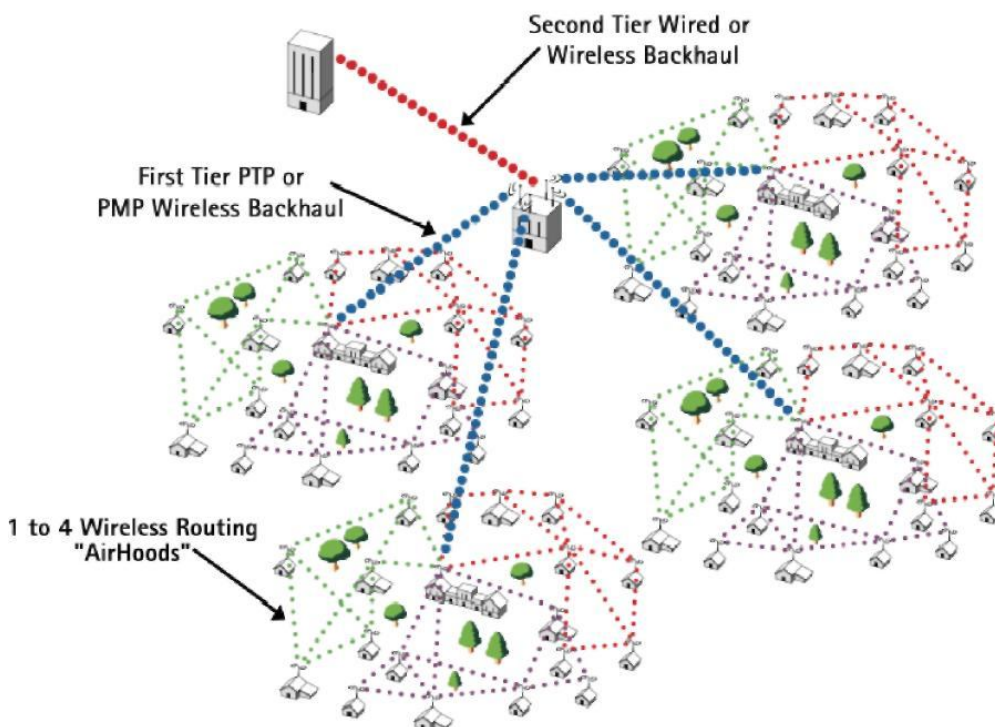
Οι συνδέσεις μεταφοράς, μόλις εγκαθιδρύονται, μπορεί να απαιτούν συντήρηση. Οι απαιτήσεις συντήρησης μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο υπηρεσίας της σύνδεσης. Για παράδειγμα, υπηρεσίες ακαναλοποίησης T1 απαιτούν ουσιαστικά την μη διατήρηση σύνδεσης καθώς έχουν περιοδικά σταθερό εύρος ζώνης. Αντίθετα οι channelized T1 υπηρεσίες απαιτούν κάποια συντήρηση εξαιτίας των δυναμικών (αλλά αργά μεταβαλλόμενων) απαιτήσεων σε εύρος ζώνης, αν συμπιεστούν και συνδυαστούν με την απαίτηση ότι ακόμη και πλήρες εύρος ζώνης θα είναι διαθέσιμο κατ' απαίτηση. Οι IP τώρα, μπορεί να απαιτούν σημαντική συντήρηση λόγω της ριπαίας φύσης τους και λόγω την μεγάλης πιθανότητας τμηματοποίησης. Όσο για την εγκαθίδρυση σύνδεσης, συνδέσεις που επιδέχονται τροποποιήσεων μπορεί να απαιτούν συντήρηση λόγω των ερεθισμάτων είτε από τον MS είτε από την πλευρά του δικτύου για την σύνδεση.

Τέλος, οι συνδέσεις μεταφοράς μπορεί και να τερματιστούν. Αυτό συμβαίνει γενικά μόνο όταν αλλάζουν οι απαιτήσεις ενός χρήστη υπηρεσίας. Ο τερματισμός μίας σύνδεσης γίνεται είτε από τον BS ή από τον MS. Όλες αυτές οι τρεις λειτουργίες διαχείρισης συνδέσεων μεταφοράς υποστηρίζονται μέσω της χρήσης στατικής διαμόρφωσης και δυναμικών προσθηκών, τροποποιήσεων και διαγραφών των ροών υπηρεσίας.

2.4.2.2 Η αρχιτεκτονική πλέγματος (MESH)

Η βασική διαφορά μεταξύ της αρχιτεκτονικής PMP και της Mesh είναι ότι στην PMP, η κίνηση συμβαίνει μόνο μεταξύ του BS και του MS, ενώ στην Mesh η κίνηση μπορεί να δρομολογείται διαμέσω άλλων MS και να συμβαίνει κατευθείαν μεταξύ MS. Ανάλογα με το πρωτόκολλο μετάδοσης που χρησιμοποιείται, αυτό μπορεί να γίνεται με την χρήση ισοκατανεμημένου χρονοπρογραμματισμού, ή με την υπεροχή του Σταθμού Βάσης Πλέγματος (Mesh BS ή MBS), που έχει αποτέλεσμα τον κεντρικοποιημένο χρονοπρογραμματισμό, ή και συνδυασμό των δύο.

Σε ένα Mesh δίκτυο, το σύστημα που διαθέτει απευθείας σύνδεση με τις υπηρεσίες κορμού δικτύου εκτός του Mesh δικτύου, ονομάζεται MBS. Όλα τα άλλα συστήματα ενός Mesh δικτύου ονομάζονται MS. Γενικά, τα συστήματα ενός Mesh δικτύου ονομάζονται κόμβοι (nodes). Για το Mesh, η ανωφερής ζεύξη και η κατωφερής ορίζονται ως η κίνηση προς και από το MBS αντίστοιχα. Οι άλλες τρεις σημαντικές έννοιες του Mesh είναι ο γείτονας, η γειτονιά και η εκτεταμένη γειτονιά. Οι σταθμοί με τους οποίους ένας κόμβος έχει απευθείας σύνδεση καλούνται γείτονες. Όλοι οι γείτονες ενός κόμβου σχηματίζουν μία γειτονιά. Επιπλέον, όλοι οι γείτονες ενός κόμβου βρίσκονται μόνο ένα βήμα μακριά του. Μία εκτεταμένη γειτονιά περιέχει επιπρόσθετα, όλους τους γείτονες της γειτονιάς. Η τυπική περίπτωση Mesh αρχιτεκτονικής φαίνεται στην Εικόνα 2-6.



Εικόνα 2-6. Τυπική περίπτωση Mesh αρχιτεκτονικής.

Σε ένα Mesh δίκτυο ακόμη και ο MBS για να μπορέσει να μεταδώσει πρέπει να είναι συντονισμένος με τους υπόλοιπους κόμβους. Με την χρήση κατανεμημένου χρονοπρογραμματισμού, όλοι οι κόμβοι, συμπεριλαμβανομένου και του συντονιστή BS, πρέπει να συντονίζουν τις μεταδώσεις τους στην δύο βήματα γειτονιά τους και να εκπέμπουν προς όλους τον χρονοπρογραμματισμό τους (διαθέσιμους πόρους, αιτήματα και εκχωρήσεις) προς όλους τους γείτονες τους. Προαιρετικά, το χρονοπρόγραμμα μπορεί να καθιερώνεται μεταξύ δύο κόμβων. Οι κόμβοι θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι οι μεταδόσεις τους δεν θα προκαλούν συγκρούσεις με δεδομένα και πληροφορίες ελέγχου που χρονοπρογραμματίζονται από κάποιον άλλο κόμβο στην δύο βήματα γειτονιά τους. Τέλος, δεν υπάρχει διαφορά στον μηχανισμό που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του χρονοπρογραμματισμού της κατωφερής και ανωφερής ζεύξης.

Με την χρήση κεντριοποιημένου χρονοπρογραμματισμού, οι πόροι εκχωρούνται με ένα πιο κεντριοποιημένο τρόπο. Ο MBS θα πρέπει να συγκεντρώσει τα αιτήματα για πόρους από όλους τους κόμβους σε ένα συγκεκριμένο εύρος βημάτων-απόστασης. Θα πρέπει να καθορίσει την ποσότητα των εκχωρούμενων πόρων για κάθε σύνδεση στο δίκτυο στην κατωφερή και στην ανωφερή ζεύξη, αλλά και να ανακοινώσει αυτές τις εκχωρήσεις σε όλους τους MS μέσα σε μία εμβέλεια βημάτων. Τα μηνύματα εκχώρησης δεν θα περιέχουν τον χρονοπρογραμματισμό, αλλά κάθε κόμβος θα τον υπολογίζει με την χρήση ενός προκαθορισμένου αλγορίθμου με δοσμένες παραμέτρους.

Όλες οι επικοινωνίες είναι υπό την έννοια μίας σύνδεσης, η οποία εγκαθίσταται μεταξύ δύο κόμβων. Μία σύνδεση θα πρέπει να χρησιμοποιείται για όλες τις μεταδόσεις ανάμεσα σε δύο κόμβους. Η ποιότητα υπηρεσίας παρέχεται πάνω από τις συνδέσεις σε μία μήνυμα-με-μήνυμα βάση. Δεν συνδέεται με μία σύνδεση κάποιο είδος υπηρεσίας ή παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας, αλλά κάθε μονοαπευθυνόμενο μήνυμα έχει παραμέτρους υπηρεσίας στην επικεφαλίδα του. Η ταξινόμηση της κίνησης και η ρύθμιση της ροής γίνεται από τον κόμβο εισόδου και από υψηλότερου επιπέδου πρωτόκολλο ταξινόμησης/ρύθμισης. Οι παράμετροι υπηρεσίας που συνδέονται με κάθε μήνυμα θα πρέπει να μεταδίδονται μαζί με το περιεχόμενο του μηνύματος μέσω του MAC SAP.

2.4.3 Το φυσικό επίπεδο (PHY) στο IEEE 802.16/WiMAX

Τα πρότυπα IEEE 802.16-2004 και IEEE 802-16e-2005 καθορίζουν τέσσερα διαφορετικά φυσικά επίπεδα (PHY layers), ώστε οποιοδήποτε από αυτά να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με το MAC (Media Access Control-Έλεγχος Πρόσβασης Μέσου) επίπεδο για την ανάπτυξη ενός ευρείας ζώνης ασύρματου συστήματος, όπως είναι το WiMAX. Τα φυσικά επίπεδα που ορίζονται στο IEEE 802.16 είναι:

- WirelessMAN SC, ένα μονοκαναλικό φυσικό επίπεδο (single-carrier) που προορίζεται για συχνότητες μεγαλύτερες από 11GHz και απαιτεί συνθήκες οπτικής επαφής (LOS – Line-Of-Sight). Αυτό το φυσικό επίπεδο αποτελεί μέρος των προδιαγραφών του αρχικού IEEE 802.16 προτύπου.
- WirelessMAN SCa, ένα μονοκαναλικό φυσικό επίπεδο (single-carrier) που προορίζεται για συχνότητες μεταξύ 2GHz και 11GHz και ζεύξεις σημείου-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint).
- WirelessMAN OFDM, ένα φυσικό επίπεδο βασισμένο σε OFDM με FFT 256-σημείων που προορίζεται για ζεύξεις σημείου-προς-πολλαπλά σημεία με NLOS συνθήκες, σε συχνότητες μεταξύ 2GHz και 11GHz. Αυτό το φυσικό επίπεδο, που οριστικοποιείται στις προδιαγραφές του IEEE 802.16-2004

προτύπου, έχει εγκριθεί από το WiMAX για «σταθερές» (fixed) εφαρμογές και συχνά αναφέρεται ως fixed WiMAX.

- WirelessMAN OFDMA, ένα φυσικό επίπεδο βασισμένο σε OFDMA με FFT 2,048-σημείων που προορίζεται για ζεύξεις σημείου-προς-πολλαπλά σημεία με NLOS συνθήκες, σε συχνότητες μεταξύ 2GHz και 11GHz. Στις προδιαγραφές του IEEE 802.16e-2005 προτύπου, αυτό το φυσικό επίπεδο έχει υποστεί τροποποιήσεις ώστε να βασίζεται σε SOFDMA (Scalable OFDMA), όπου το μέγεθος του FFT είναι μεταβλητό και μπορεί να λάβει οποιαδήποτε από τις ακόλουθες τιμές: 128, 512, 1,024 και 2,048. Το μεταβλητό μέγεθος του FFT επιτρέπει την βέλτιστη λειτουργία-υλοποίηση του συστήματος για διάφορα εύρη ζώνης καναλιού και διαφορετικές συνθήκες διάδοσης των ραδιοκυμάτων. Αυτό το φυσικό επίπεδο έχει εγκριθεί από το WiMAX για κινητές (mobile) και φορητές (portable) εφαρμογές και αναφέρεται επίσης ως mobile WiMAX.

Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε μόνο το Wireless Man Single Carrier αφού είναι αυτό που χρησιμοποιούμε στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής διατριβής.

2.4.3.1 To Wireless MAN Single Carrier

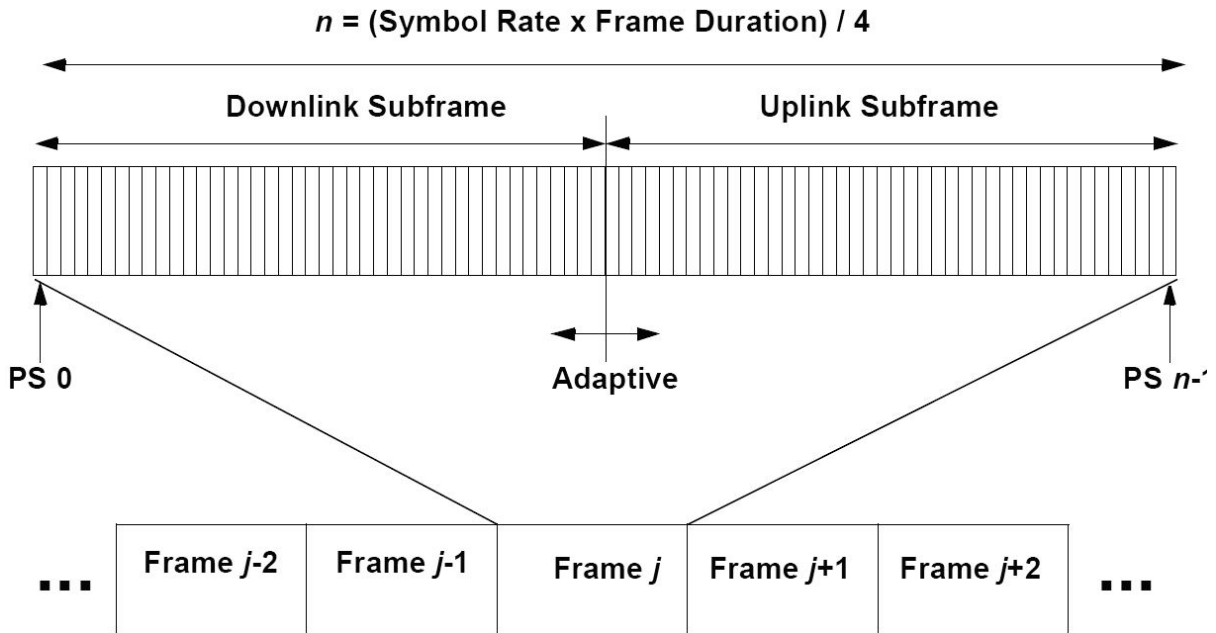
Στην ενότητα αυτή θα ασχοληθούμε με τις λεπτομέρειες του φυσικού επιπέδου του IEEE 802.16. Για το IEEE 802.16a υπάρχουν ορισμένες προσθήκες, ώστε να υποστηρίζονται νέα χαρακτηριστικά στη λειτουργία 2-11 GHz, ωστόσο δεν θα μιλήσουμε σε λεπτομέρειες. Σε γενικές γραμμές πάντως θα αναφέρουμε τις διαφορές, όπου αυτές είναι σημαντικές.

Στις προδιαγραφές φυσικού επιπέδου του πρωτοκόλλου γίνεται χρήση μονοκαναλικής διαμόρφωσης (το IEEE 802.16a υποστηρίζει επίσης OFDM και OFDMA), με δυναμικά προσαρμοζόμενες παραμέτρους μετάδοσης, συμπεριλαμβανομένου και των σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σε μια χρονοπλαίσιο με χρονοπλαίσιο (frame-by-frame) βάση και σε κάθε Σταθερό Σταθμό (SS) ξεχωριστά.

Τόσο οι TDD όσο και οι FDD όροι είναι σαφώς καθορισμένοι καθ' όλη τη διάρκεια της μετάδοσης. Τα υποστηριζόμενα σε Ευρώπη (28MHz) και Αμερική (20/25 MHz) εύρη ζώνης των καναλιών μετάδοσης είναι επίσης αυστηρά καθορισμένα. Στο ακόλουθο σχήμα (Εικόνα 2-7) απεικονίζεται η γενική μορφή ενός TDD χρονοπλαισίου όπου διακρίνουμε τα υποχρονοπλαίσια κατωφερής και ανωφερής-ζεύξης από τα οποία αποτελείται.

Η μορφοποίηση του παλμού γίνεται μέσω ενός φίλτρου ανυψωμένου συνημίτονου με παράγοντα roll-off ίσο με 0.25 (το IEEE 802.16a υποστηρίζει πλέον των 0.15, 0.25, 0.35 του IEEE 802.16, και 0.18). Η ανάκτηση του ρολογιού για το συγχρονισμό και η μορφοποίηση του φάσματος γίνεται μέσω κανονικοποίησης.

Για forward error correction ακολουθείται κώδικας Reed-Solomon GF (256), ενώ το IEEE 802.16a, μπορεί ακόμη να υποστηρίξει Block Turbo Coding, Convolutional Codes και Convolutional Turbo Coding με πολλαπλά μήκη. Οι παραπάνω κώδικες συνδυάζονται εσωτερικά με έναν Block Convolutional Code, για την ασφαλή μεταφορά κρίσιμης πληροφορίας για περιπτώσεις ελέγχου χρονοπλαισίου ή αρχικής πρόσβασης όπου η ασφάλεια είναι απαραίτητη. Για την περίπτωση του forward correction χρησιμοποιούνται διαμορφώσεις BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM και 256 QAM προαιρετικά, σχηματίζοντας προφίλ ριπής μεταβλητής στιβαρότητας και αποδοτικότητας ικανοποιώντας την αρχή της ευελιξίας και στον τομέα αυτό. Αν τώρα το τελευταίο forward error correction block



Εικόνα 2-7. Η γενική μορφή ενός TDD frame

δεν είναι γεμάτο μπορεί να μειωθεί σε μήκος. Η διαδικασία της μείωσης, στην μετάδοση τόσο της ανωφερής-ζεύξης όσο και της κατωφερής-ζεύξης ελέγχεται πλήρως από τον BS και γίνεται γνωστή στους υπόλοιπους μέσω των μηνυμάτων downlink map (DL-MAP: χάρτης κατωφερής-ζεύξης) και uplink map (UL-MAP: χάρτης ανωφερής-ζεύξης).

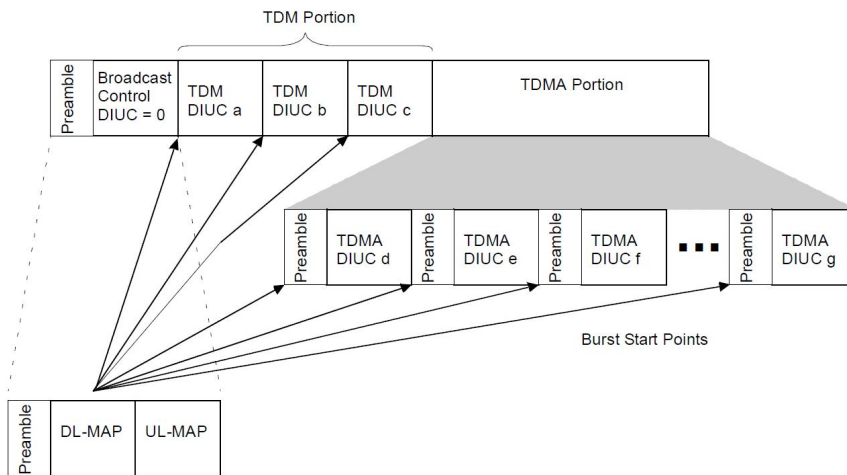
Το υποχρονοπλαίσιο κατωφερής-ζεύξης, αρχίζει με πληροφορία ελέγχου που περιέχει ένα DL-MAP μήνυμα ακολουθούμενο από ένα UL-MAP μήνυμα για καθορισμένο χρόνο στο μέλλον. Το downlink map, καθορίζει πότε συμβαίνουν αλλαγές στη διαμόρφωση και στους κώδικες διόρθωσης λαθών σε ένα υποχρονοπλαίσιο κατωφερής-ζεύξης. Ένα υποχρονοπλαίσιο κατωφερής-ζεύξης με τη σειρά του περιέχει ένα TDM τμήμα που ακολουθεί το τμήμα της πληροφορίας ελέγχου που μόλις περιγράφηκε. Η DL πληροφορία μεταδίδεται σε κάθε SS σύμφωνα με ένα διαπραγματευμένο προφίλ ριπής. Βέβαια, η όλη διαδικασία μετάδοσης της πληροφορίας γίνεται με τρόπο ώστε να μη χαθεί ποτέ ο συγχρονισμός ανάμεσα στην πληροφορία που στέλνει ο BS και λαμβάνει ο SS και αντίστροφα.

Το μέγεθος του χρονοπλαισίου μπορεί να είναι 0.5, 1, 2 ή 5 ms σε διάρκεια (αν και αυτό επεκτείνεται από έκδοση σε έκδοση του πρωτοκόλλου). Το χρονοπλαίσιο αυτό χωρίζεται σε φυσικές θυρίδες (slots) με σκοπό τον καταμερισμό εύρους ζώνης και την αναγνώριση των PHY μεταβάσεων. Μία φυσική θυρίδα (physical slot) μπορεί να είναι ένας ακέραιος αριθμός QAM 4 συμβόλων (IEEE 802.16, ή xQAM στο IEEE 802.16a SC2) ή ένας ακέραιος αριθμός OFDM συμβόλων (περίπτωση IEEE 802.16a OFDM) ή κάτι άλλο (περίπτωση IEEE 802.16a OFDMA). Στην περίπτωση του TDD, το UL υποχρονοπλαίσιο ακολουθεί το αντίστοιχο DL στην ίδια συχνότητα φέρουσας. Στο FDD, τα υποχρονοπλαίσια συμπίπτουν χρονικά αλλά μεταφέρονται σε διαφορετικές συχνότητες.

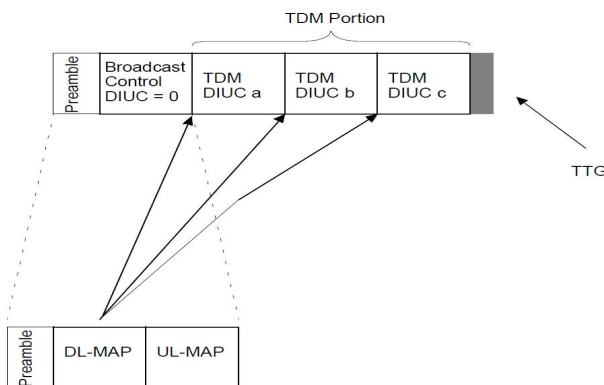
Στα FDD συστήματα, το TDM τμήμα μπορεί να ακολουθείται από ένα TDMA κομμάτι που περιέχει ένα επιπλέον preamble στην αρχή κάθε νέου προφίλ ριπής. Αυτό επιτρέπει αποδοτικότερη υποστήριξη των half-duplex SS. Σε ένα αποδοτικά δρομολογημένο FDD σύστημα με πολλούς half-duplex SS, κάποιος μπορεί να θέλει να στέλνει πληροφορία πιο γρήγορα στο χρονοπλαίσιο από ότι λαμβάνει. Σύμφωνα με την half-duplex φύση τους, αυτοί οι SS μπορεί να χάσουν τον συγχρονισμό τους στην κατωφερή-ζεύξη. Το TDMA preamble επιτρέπει την ανάκτηση του συγχρονισμού.

Εξαιτίας του δυναμικά ανατιθεμένου εύρους ζώνης ανάμεσα στις πολλών ειδών εφαρμογές, η σύνθεση και η διάρκεια των προφίλ ριπής και η παρουσία ή απουσία TDMA τμήματος, ποικίλει από χρονοπλαίσιο σε χρονοπλαίσιο. Καθώς δε, ο παραλήπτης SS, δεικτοδοτείται μόνο στα MAC headers και όχι στα DL-MAPs, οι SS ακούνε όλα τα τμήματα του DL υποχρονοπλαισίου που μπορούν να λάβουν. Για full-duplex SS, αυτό σημαίνει λήψη όλων των προφίλ ριπής ίδιας ή μεγαλύτερης σιβαρότητας, που έχουν διαπραγματευτεί με τον BS, άρα αυξημένη πολυπλοκότητα.

Στην Εικόνα 2-8 και Εικόνα 2-9, φαίνεται η τυπική δομή ενός υποχρονοπλαισίου κατωφερής-ζεύξης τόσο για FDD, όσο και για TDD.

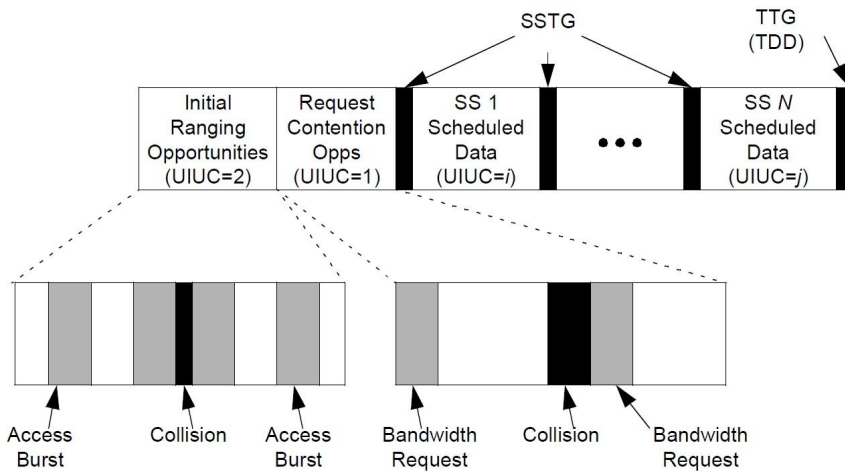


Εικόνα 2-8. Η δομή ενός FDD υποχρονοπλαισίου κατωφερής-ζεύξης.

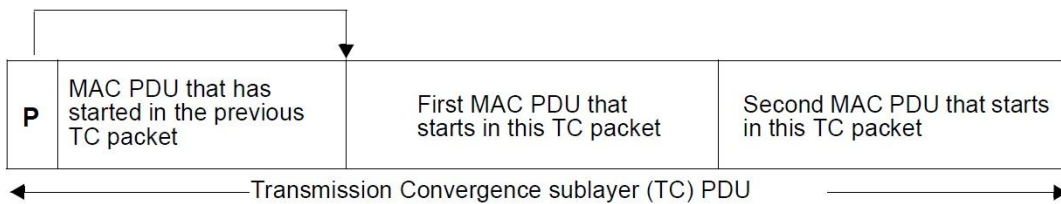


Εικόνα 2-9. Δομή TDD υποχρονοπλαισίου κατωφερής-ζεύξης.

Το UL-MAP, σε αντίθεση με το DL-MAP, χορηγεί εύρος ζώνης σε κάθε SS. Οι SS μεταδίδουν στις αποδιδόμενες σε αυτούς περιοχές, χρησιμοποιώντας το προφίλ ριπής, που καθορίζεται από το Uplink Interval Usage Code (UIUC) στο UL-MAP μήνυμα στο αντίστοιχο πεδίο χορηγώντας τους εύρος ζώνης. Το υποχρονοπλάνιο ανωφερής-ζεύξης, μπορεί επίσης να περιέχει αιτήσεις εύρους ζώνης για broadcast ή multicast. Προβλέπονται διαστήματα ανοχής, ώστε να προλαβαίνει να ολοκληρώνεται μια αίτηση ενός SS και η απάντησή της από τον SS. Στην Εικόνα 2-10, φαίνεται σε αντιστοιχία η δομή ενός τυπικού υποχρονοπλαισίου ανωφερής-ζεύξης.



Εικόνα 2-10. Δομή υποχρονοπλαισίου ανωφερής-ζεύξης (Uplink Subframe).



P = 1 byte pointer field

Εικόνα 2-11. Δομή TC PDU.

Πίνακας 2-3. Τύποι Διαμόρφωσης

Διαμόρφωση / Modulation	FEC Ρυθμός κωδικοποίησης / Coding rate	Ρυθμός ριπών χωρίς κωδικοποίηση / Uncoded Burst Rate (Mbps)	Από άκρη-σε-άκρη ρυθμαπόδοση / End-to-End Ethernet Throughput
BPSK	1/2	6	5,7
BPSK	3/4	9	5,6
QPSK	1/2	12	11,4
QPSK	3/4	18	17
QAM-16	1/2	24	22,4
QAM-16	3/4	36	33
QAM-64	2/3	48	43,2
QAM-64	3/4	54	48,1

Πίνακας 2-2. Χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου του προτύπου IEEE 802.16a.

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα
Χρήση OFDM με 256 φέρουσες	Επικοινωνία LOS και NLOS
Χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων	Αποτελεσματικές ζεύξεις με μεγάλο αριθμό bits/sec σε κάθε χρήστη
Υποστήριξη FDD και TDD	Ικανοποιεί τις συνθήκες διαχείρισης φάσματος κάθε χώρας
Μεταβλητό εύρος ζώνης καναλιού (3,5MHz, 5MHz, 10MHz)	Δυνατότητα λειτουργίας σε πολλές ζώνες συχνοτήτων ανάλογα με τον κανονισμό κάθε χώρας
Υποστήριξη έξυπνων κεραιών	Εξασφαλίζει υψηλό κέρδος ισχύος

Ανάμεσα στο PHY και το MAC επίπεδο υπάρχει ένα επίπεδο σύγκλισης

μετάδοσης (Transmission Convergence - TC). Το επίπεδο αυτό εκτελεί το μετασχηματισμό των μεταβλητού μήκους μονάδων δεδομένων του πρωτοκόλλου για το MAC επίπεδο (MAC PDUs), σε σταθερού μεγέθους forward error correction blocks (συν ένα μειωμένου μήκους FEC block στο τέλος αν υπάρχει), σε κάθε burst. Το TC επίπεδο έχει ένα PDU, με μέγεθος που να ταιριάζει με το τρέχον FEC block που γεμίζεται. Αρχίζει με ένα δείκτη που δείχνει που αρχίζει το επόμενο MAC PDU header, μέσα στο FEC block. Αυτό φαίνεται στην Εικόνα 2-11. Το TC PDU, επιτρέπει επανασυγχρονισμό στο επόμενο MAC PDU στην περίπτωση κατά την οποία το προηγούμενο FEC block έχει μη διορθώσιμα σφάλματα. Χωρίς το TC επίπεδο, ένας SS ή BS κατά τη διαδικασία λήψης θα έχανε την υπολειπόμενη πληροφορία από ένα burst όταν ένα μη διορθώσιμο λάθος συνέβαινε.

Τα συστήματα IEEE 802.16 συνδυάζουν τεχνολογίες και αλγόριθμους ώστε να επιτυγχάνουν απόδοση BER των 10^{-9} (BER of 10^{-9}) με διαθεσιμότητα ζεύξης 99,999%.

Η αύξηση της φασματικής απόδοσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει απ' ευθείας το αποτέλεσμα.

Για το λόγο αυτό, τα συστήματα IEEE 802.16 προσφέρουν διπλής κατευθύνσεως προσαρμοστική διαμόρφωση (Adaptive Modulation) που τα προσαρμόζει ανάμεσα σε έξι τύπους διαμόρφωσης (από QPSK σε 64 QAM) με σκοπό να προσαρμόζει τη ποιότητα διαβάθμισης της ζεύξης ενώ προσφέρουν το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης για δεδομένα σενάρια ανάπτυξης.

Ο Πίνακας 2-3 απεικονίζει τους τύπους διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σε σχέση με τον ρυθμό μετάδοσης. Τέλος, στον Πίνακα 2-2 παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένα χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου του προτύπου IEEE 802.16a.

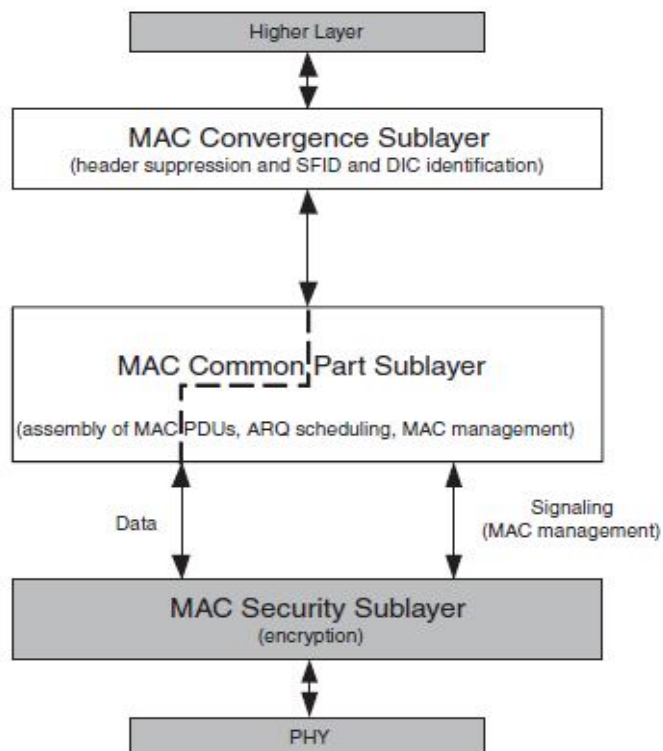
2.4.4 Επισκόπηση του MAC επιπέδου του WiMAX

Το Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου (Media Access Control Layer ή αλλιώς επίπεδο MAC), το οποίο βρίσκεται ακριβώς πάνω από το φυσικό επίπεδο (PHY Layer), είναι υπεύθυνο για την πολυπλεξία και τον έλεγχο πολλών συνδέσεων πάνω από το ίδιο φυσικό μέσο. Μερικές από τις σημαντικότερες λειτουργίες του επιπέδου MAC είναι:

- Κατακερματισμός των μονάδων δεδομένων υπηρεσίας (SDUs) που λαμβάνονται από τα ανώτερα επίπεδα μέσα σε MAC PDUs, που είναι το βασικό δομικό μπλοκ φορτίου για το επίπεδο MAC.
- Επιλογή του κατάλληλου προφίλ ριπή και του επιπέδου ισχύος για τη μετάδοση των MAC PDUs.
- Αναμετάδοση των MAC PDUs που λήφθηκαν λανθασμένα από το δέκτη, όταν χρησιμοποιείται ARQ (Αίτηση Αυτόματης Επανάληψης-Automatic Repeat Request).
- Παροχή ποιότητας υπηρεσίας και χειρισμός προτεραιοτήτων των MAC PDUs που ανήκουν σε διαφορετικούς χρήστες.
- Ο προγραμματισμός των MAC PDUs σε πόρους του επιπέδου PHY.
- Παροχή υποστήριξης σε ανώτερα επίπεδα για το χειρισμό της κινητικότητας των χρηστών.
- Παροχή ασφάλειας και διαχείριση των κλειδιών.

- Παροχή μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας και λειτουργίας σε αναμονή.

Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου του WiMAX, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-12, χωρίζεται σε τρία διακριτά μέρη: Το υποεπίπεδο σύγκλισης (Service Specific Convergence Sublayer-CS), το υποεπίπεδο κοινού μέρους (Common Part Sublayer) και το υποεπίπεδο ασφάλειας (Security Sublayer). Το CS, το οποίο είναι το σημείο διασύνδεσης μεταξύ του επιπέδου MAC και του επιπέδου δικτύου, λαμβάνει πακέτα δεδομένων από το ανώτερο επίπεδο, τα οποία είναι γνωστά ως Μονάδες Δεδομένων Υπηρεσίας (MAC Service Data Units-SDU). Το CS είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση όλων των λειτουργιών που εξαρτώνται από τη φύση του ανώτερου επιπέδου, όπως η συμπίεση των επικεφαλίδων και η αντιστοίχιση των διευθύνσεων (address mapping). Το CS μπορεί να θεωρηθεί ως ένα επίπεδο προσαρμογής το οποίο παρέχει διαφάνεια στο ανώτερο επίπεδο και τις απαιτήσεις του απέναντι στο υπόλοιπο MAC και το PHY επίπεδο του δικτύου WiMAX.



Εικόνα 2-12. Το MAC επίπεδο του WiMAX.

Το υποεπίπεδο Common Part του MAC εκτελεί όλες τις λειτουργίες πακέτων που είναι ανεξάρτητες από τα ανώτερα επίπεδα, όπως ο κατακερματισμός και η επανένωση των SDU σε MAC PDUs, μετάδοση των PDUs, έλεγχος της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) και το ARQ (Automatic Repeat Request). Το υποεπίπεδο ασφάλειας (security) είναι υπεύθυνο για την κρυπτογράφηση, τις εξουσιοδοτήσεις και την κατάλληλη ανταλλαγή των κλειδιών κρυπτογράφησης μεταξύ του σταθμού βάσης και του κινητού χρήστη.

2.4.4.1.1 Τρόποι πρόσβασης στο κανάλι – Αιτήσεις μετάδοσης δεδομένων και ανάθεση

Στην κατωφερή-ζεύξη, όλες οι αποφάσεις που σχετίζονται με την ανάθεση πόρων σε διαφορετικούς MS γίνονται από τον BS με βάση το CID, κάτι το οποίο δεν προϋποθέτει οποιαδήποτε ανάμειξη των MS. Καθώς φτάνουν MAC PDUs για κάθε CID, ο BS προγραμματίζει τους πόρους του PHY, ανάλογα με τις απαιτήσεις

για ποιότητα υπηρεσίας. Όταν, έχουν ανατεθεί πόροι του PHY για τη μετάδοση ενός MAC PDU, ο BS ενημερώνει τον ενδιαφερόμενο MS για την ανάθεση αυτή μέσω του μηνύματος DL-MAP.

Στην ανωφερή-ζεύξη, ο MS ζητά πόρους είτε χρησιμοποιώντας ένα αυτόνομο BW request MAC PDU ή μεταφορτώνοντας την αίτησή του για πόρους σε κάποιο MAC PDU που μεταφέρει δεδομένα (οπότε σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιεί και την επικεφαλίδα grant management που συζητήθηκε στα παραπάνω). Καθώς το προφίλ ριπής που συνδέεται με ένα CID μπορεί να αλλάζει δυναμικά, όλες οι αιτήσεις πόρων γίνονται από τη σκοπιά bytes δεδομένων, παρά από τη σκοπιά πόρων του PHY, όπως είναι το πλήθος καναλιών και ο αριθμός συμβόλων OFDM.

Οι αιτήσεις πόρων στην ανωφερή-ζεύξη μπορούν να είναι προσαυξητικές ή συγκεντρωτικές. Όταν λαμβάνει μια προσαυξητική αίτηση για πόρους για ένα συγκεκριμένο CID, ο BS προσθέτει τον όγκο των πόρων που ζητούνται στον όγκο που ο ίδιος αντιλαμβάνεται ότι απαιτείται από το σύστημα. Όμοια, όταν λαμβάνει ένα συγκεντρωτικό αίτημα για ένα συγκεκριμένο CID, ο BS αντικαθιστά την αντίληψή του μέχρι εκείνη τη στιγμή για τις ανάγκες της σύνδεσης σε πόρους με τον όγκο δεδομένων που ζητείται με το αίτημα αυτό. Το πεδίο Τύπου (Type) στην κεφαλίδα απαίτησης εύρους ζώνης δείχνει το αν το αίτημα είναι προσαυξητικό ή συγκεντρωτικό. Σε περίπτωση μεταφόρτωσης ενός αιτήματος για πόρους σε κάποιο MAC PDU που μεταφέρει δεδομένα, το αίτημα αυτό μπορεί να είναι μονάχα αυξητικό.

Όταν πολλαπλά CIDs συσχετίζονται με ένα συγκεκριμένο MS, ο BS αλλάζει το συνολικό όγκο πόρων που θα διαθέτει ανά MS και όχι ανά CID. Όταν δίνονται πόροι από τον BS και οι πόροι αυτοί είναι λιγότεροι από αυτούς που συνολικά έχει ζητήσει ένας MS, ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού (AX) της ανωφερής-ζεύξης στον MS αποφασίζει την ανάθεση και διανομή των πόρων αυτών μεταξύ των διαφορετικών CIDs, ανάλογα με το φορτίο που εκκρεμεί και τις απαιτήσεις τους σε ποιότητα υπηρεσίας.

Στο WiMAX, η ψηφοφορία (polling) αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία αφιερωμένοι ή κοινά διαμοιραζόμενοι πόροι στην ανωφερή-ζεύξη παρέχονται στον MS προκειμένου να κάνει αιτήματα για πόρους. Οι αναθέσεις αυτές μπορούν να προορίζονται για έναν συγκεκριμένο MS ή για ένα σύνολο από MS. Όταν γίνεται polling σε έναν μόνο MS, το polling είναι unicast και οι καθορισμένοι πόροι της ανωφερής-ζεύξης ανατίθενται στον MS για να στείλει ένα BW request PDU. Ο BS ενημερώνει τον MS για αναθέσεις πόρων και για polling στην ανωφερή-ζεύξη με το μήνυμα UL-MAP, το οποίο περιέχεται στο υποχρονοπλάσιο της κατωφερής-ζεύξης. Αφού οι πόροι ανατίθενται ανά MS, το UL-MAP χρησιμοποιεί το πρωταρχικό CID του MS προκειμένου να δείξει την ανάθεση πόρων. Το πρωταρχικό CID ανατίθεται στον MS κατά την αρχική του πρόσβαση στο δίκτυο και κατά την εκκίνηση των επικοινωνιών του και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά όλων των μηνυμάτων σηματοδότησης του επιπέδου MAC. Ένας MS μπορεί επίσης δυναμικά να ζητήσει και άλλα CIDs, γνωστά και ως δευτερεύοντα CIDs, τα οποία όμως θα χρησιμοποιήσει μονάχα για μεταφορά δεδομένων. Οι MS εκείνοι που έχουν μια ενεργή UGS σύνδεση δε συμμετέχουν στη διαδικασία του polling, καθώς οποιαδήποτε αίτηση για πόρους μπορεί να σταλεί μέσω της ανάθεσης UGS, είτε με τη μορφή ενός BW request PDU ή με μεταφόρτωση της αίτησης σε ένα απλό MAC PDU. Αν ο MS δεν έχει απαιτήσεις για πρόσθετους πόρους, στέλνει ένα πλασματικό MAC PDU κατά το unicast poll και το πεδίο Type της κεφαλίδας αναφέρει ότι το παρόν είναι ένα

πλαστό MAC PDU. Σε οποιαδήποτε περίπτωση κατά τη διάρκεια ενός unicast poll, ο MS δεν επιτρέπεται να παραμένει σιωπηρός και να μην απαντά στον BS.

Αν δεν υπάρχουν αρκετοί πόροι διαθέσιμοι για να γίνεται polling σε κάθε έναν MS ξεχωριστά, χρησιμοποιείται multicast ή broadcast polling με στόχο ένα σύνολο χρηστών ή όλους τους χρήστες κάθε φορά. Όλοι οι MS που ανήκουν στο polled σύνολο μπορούν να ζητήσουν πόρους κατά τη διάρκεια του broadcast/multicast polling. Προκειμένου να μειωθεί η πιθανότητα συγκρούσεων κατά την περίοδο αυτή, απαντούν μονάχα MS που έχουν απαιτήσεις για πόρους. Το WiMAX χρησιμοποιεί ένα συντετμημένο δυαδικό εκθετικό back off αλγόριθμο για την επίλυση του ανταγωνισμού στο broadcast / multicast polling. Εφόσον απαιτείται να στείλει κάποιο αίτημα για πόρους, ο MS μπαίνει σε μια φάση επίλυσης ανταγωνισμού, επιλέγοντας αρχικά ένα ομοιόμορφα κατανεμημένο χρόνο μεταξύ του 0 και του BACKOFF_WINDOW. Αυτή η τυχαία τιμή χρόνου δείχνει το πλήθος των ευκαιριών μετάδοσης που ο MS θα περιμένει μέχρι ο ίδιος να στείλει το αίτημά του. Αν δε λάβει κάποια ανάθεση πόρων, που θα καταδεικνύεται στο UL MAP, μέσα σε κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα που καθορίζεται από το χρονομετρητή T16, ο MS υποθέτει ότι το αίτημά του έχει χαθεί, πιθανότατα εξαιτίας κάποιας σύγκρουσης με άλλον MS, οπότε στην περίπτωση αυτή ο MS αυξάνει το χρονικό παράθυρο back off του κατά ένα παράγοντα του 2 (αρκεί να είναι μικρότερο βέβαια από το μεγαλύτερο παράθυρο back off που επιτρέπεται) και επαναλαμβάνει τη διαδικασία. Αν δεν του ανατεθούν και πάλι πόροι του συστήματος μετά από ένα μέγιστο αριθμό προσπαθειών, τότε το MAC PDU απορρίπτεται. Το πλήθος προσπαθειών για μετάδοση είναι μια ρυθμιζόμενη παράμετρος και μπορεί να μεταβληθεί όποτε χρειάζεται, είτε από τον πάροχο του δικτύου ή από τον κατασκευαστή του σχετικού εξοπλισμού.

2.4.4.2 Ποιότητα υπηρεσίας

Μια από τις κύριες λειτουργίες του επιπέδου ελέγχου πρόσβασης μέσου του WiMAX είναι να εξασφαλίζει ότι οι απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας για τα MAC PDUs που ανήκουν σε διαφορετικές ροές (service flows) ικανοποιούνται όσο το δυνατόν αξιόπιστα, με δεδομένες τις συνθήκες φόρτου του συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι διάφοροι δείκτες απόδοσης που έχουν ήδη διαπραγματευτεί και που είναι συνυφασμένοι με το Ποιότητα υπηρεσίας, όπως τα latency, jitter, packet error rate και η διαθεσιμότητα του συστήματος θα πρέπει να ικανοποιούνται για κάθε μια σύνδεση. Καθώς οι απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσίας για διαφορετικές υπηρεσίες δεδομένων μπορούν να ποικίλουν σημαντικά, το WiMAX διαθέτει μια πληθώρα μηχανισμών ελέγχου και μεταφοράς για να χειριστεί αυτήν την ποικιλομορφία.

2.4.4.2.1 Τύποι ποιότητας υπηρεσίας

Το επίπεδο MAC του WiMAX χρησιμοποιεί μια υπηρεσία δρομολόγησης για να παραδώσει και να χειριστεί SDUs και MAC PDUs με διαφορετικές απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσίας. Μια υπηρεσία χρονοπρογραμματισμού καθορίζει μοναδικά το μηχανισμό που θα χρησιμοποιήσει το δίκτυο προκειμένου να δώσει ευκαιρίες μετάδοσης στην ανωφερή και την κατωφερή-ζεύξη για τα PDUs. Το WiMAX καθορίζει πέντε (5) διαφορετικές υπηρεσίες δρομολόγησης - υπηρεσίας.

- UGS (Unsolicited Grant Service): Είναι σχεδιασμένη να υποστηρίζει ροές υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που παράγουν πακέτα δεδομένων σταθερού μήκους περιοδικά, όπως το VoIP. Το UGS προσφέρει σταθερού

μήκους πόρους στη σύνδεση που το χρησιμοποιεί και δεν απαιτείται από τον SS να αιτείται περιοδικά πόρους από το σύστημα, περιορίζοντας έτσι τον όγκο πληροφοριών ελέγχου που θα ήταν απαραίτητα για το σκοπό αυτό.

- **rtPS (Real time Polling Service):** Είναι σχεδιασμένη για την υποστήριξη υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που παράγουν περιοδικά πακέτα δεδομένων μεταβλητού μήκους, όπως το MPEG. Σε αυτήν την κατηγορία υπηρεσιών, ο BS παρέχει ευκαιρίες για unicast polling για να αιτηθεί πόρους ο MS, οι οποίες είναι τόσο συχνές όσο χρειάζεται προκειμένου να είναι σίγουρο ότι ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της υπηρεσίας για καθυστερήσεις. Προφανώς, το είδος αυτό υπηρεσίας απαιτεί ανταλλαγή μεγαλύτερου όγκου πληροφοριών ελέγχου από το UGS αλλά είναι αποδοτικότερη για εφαρμογές με μεταβλητό μήκος δεδομένων ή με κύκλο λειτουργίας μικρότερο από 100%.
- **nrtPS (non real time Polling Service):** Είναι παρόμοια με το rtPS, πέραν του ότι ο MS μπορεί να χρησιμοποιήσει επίσης μια περίοδο ανταγωνισμού προκειμένου να αιτηθεί πόρους από τον BS. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι το unicast polling σε αυτή την περίπτωση γίνεται σε μια περίοδο της τάξης δευτερολέπτων, που είναι μεγάλη σε σχέση με το rtPS. Όλοι οι MS μπορούν φυσικά να χρησιμοποιήσουν την περίοδο ανταγωνισμού, γεγονός όμως το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε συγκρούσεις και επιπρόσθετες προσπάθειες.
- **BE (Best Effort):** Παρέχει πολύ μικρή υποστήριξη ως προς την ποιότητα υπηρεσίας και είναι κατάλληλη μόνο για υπηρεσίες οι οποίες δεν έχουν αυστηρές απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας. Τα δεδομένα στέλνονται μόνο όταν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι, που δε χρειάζεται να δεσμευτούν από άλλες κατηγορίες υπηρεσιών. Στην περίπτωση αυτή, υπάρχει μόνο περίοδος ανταγωνισμού για να μπορέσει ένας MS να αιτηθεί πόρους.
- **ertPS (Extended real time polling Service):** Είναι μια υπηρεσία που εισήχθη με το πρότυπο του IEEE 802.16e και είναι χτισμένη πάνω στην αποδοτικότητα του UGS και του rtPS. Στην υπηρεσία αυτή, περιοδικές αναθέσεις στην ανωφερή-ζεύξη που προορίζονται για έναν συγκεκριμένο MS, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για μετάδοση δεδομένων ή για μετάδοση αιτημάτων για επιπρόσθετους πόρους. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτρέπουν στην υπηρεσία ertPS να προσαρμόζει εφαρμογές που οι απαιτήσεις τους σε πόρους μεταβάλλονται με το χρόνο. Σε αντίθεση με το ertPS, στην περίπτωση του UGS, ο MS επιτρέπεται να ζητήσει επιπρόσθετους πόρους μόνο κατά την ανάθεση στην ανωφερή-ζεύξη.

2.4.4.2 Ροές υπηρεσίας και λειτουργίες ποιότητας υπηρεσίας

Στα συστήματα WiMAX, μια ροή υπηρεσίας είναι μια υπηρεσία μεταφοράς του επιπέδου ζεύξης, που παρέχεται για τη μετάδοση φορτίου στην ανωφερή και κατωφερή-ζεύξη και αποτελεί μια βασική πτυχή της αρχιτεκτονικής παροχής ποιότητας υπηρεσίας. Κάθε ροή υπηρεσίας σχετίζεται με ένα μοναδικό σύνολο παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας, όπως το latency, το jitter, την ρυθμαπόδοση και το packet error rate, που το σύστημα προσπαθεί να προσφέρει. Μια ροή υπηρεσίας έχει τα ακόλουθα συστατικά στοιχεία:

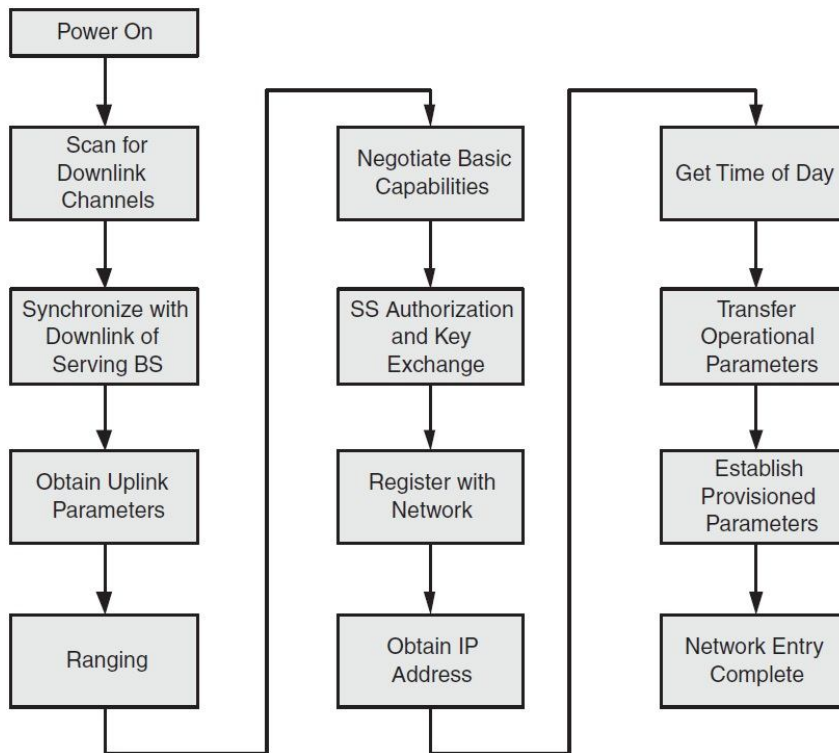
- Service Flow ID, ένας 32 bit κωδικός για τη ροή υπηρεσίας.

- Connection ID, ένας 16 bit κωδικός της λογικής σύνδεσης που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της ροής υπηρεσίας. Το CID είναι ανάλογο της ταυτότητας του MS στο φυσικό επίπεδο. Όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα, ένας MS μπορεί να έχει περισσότερα από ένα CID ταυτόχρονα, ένα κύριο CID δηλαδή και πολλαπλά δευτερεύοντα CIDs. Τα μηνύματα διαχείρισης και ελέγχου του MAC μεταφέρονται μέσω του κύριου CID.
- Provision QoS Σύνολο Παραμέτρων, οι προτεινόμενες παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας για χρήση με μια ροή υπηρεσίας, που συνήθως παρέχονται από μια οντότητα υψηλότερου επιπέδου.
- Admitted QoS Σύνολο Παραμέτρων, οι παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας που έχουν σχετιστεί στην πραγματικότητα με μια ροή υπηρεσίας και για τις οποίες ο BS και ο MS διατηρούν τους πόρους τους στο MAC και στο PHY. Το admitted QoS σύνολο παραμέτρων μπορεί να είναι ένα υποσύνολο του παρεχόμενου σύνολο παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας όταν ο BS δεν είναι σε θέση, για διάφορους λόγους, να κάνει δεκτή την υπηρεσία με το παρεχόμενο σύνολο παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας.
- Active QoS Σύνολο Παραμέτρων, όλες οι παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας οι οποίες παρέχονται για μια ροή υπηρεσίας σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή.
- Authorization Module, μια λογική λειτουργία του BS η οποία επιτρέπει ή απορρίπτει κάθε μεταβολή στις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας που σχετίζονται με μια ροή υπηρεσίας.

Οι διαφορετικές ροές υπηρεσιών οι οποίες γίνονται δεκτές σε ένα δίκτυο WiMAX συνήθως οργανώνονται σε κλάσεις, κάθε μια εκ των οποίων αναγνωρίζεται από ένα μοναδικό σύνολο παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας. Το σκεπτικό αυτής της οργάνωσης σε κλάσεις επιτρέπει σε οντότητες υψηλότερου επιπέδου στον MS και στον BS να ζητούν παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας με καθολικά συνεπείς τρόπους. Το WiMAX δεν προδιαγράφει ρητά ποιες είναι οι κλάσεις των ροών υπηρεσιών, αφήνοντάς το ανοιχτό στον εκάστοτε πάροχο δικτύου ή στον κατασκευαστή του εξοπλισμού. Κατά τη γενική τακτική βέβαια, υπηρεσίες με πολύ διαφορετικές απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας, όπως το VoIP, η πλοήγηση στο διαδίκτυο, και τα email, συνήθως κατατάσσονται σε διαφορετικές κλάσεις ροών υπηρεσίας. Η συνολική ιδέα των ροών υπηρεσίας και των κλάσεων τους βέβαια είναι ευέλικτη και αρκετά δυνατή ώστε να προσφέρει στον πάροχο πλήρη έλεγχο στη διαχείριση της ποιότητας υπηρεσίας σε όλες τις παρεχόμενες εφαρμογές.

2.4.4.3 Είσοδος στο σύστημα και αρχικοποίηση

Όταν ένας MS ανιχνεύει το δίκτυο στο οποίο πρόκειται να συνδεθεί, το ίδιο το δίκτυο του WiMAX περνά από κάποια βήματα. Μια επισκόπηση αυτής της διαδικασίας φαίνεται στην Εικόνα 2-13.



Εικόνα 2-13. Διαδικασία εισόδου στο δίκτυο.

2.4.4.3.1 Σάρωση και συγχρονισμός στην κατωφερή ζεύξη του καναλιού

Ένας MS με την ενεργοποίησή του, σαρώνει όλες τις επιτρεπόμενες συχνότητες της κατωφερής-ζεύξης για να καθορίσει αν βρίσκεται εντός της κάλυψης κάποιου κατάλληλου δικτύου WiMAX. Κάθε MS κρατά αποθηκευμένη μια αμετάβλητη λίστα όλων των παραμέτρων λειτουργίας, που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενη σύνδεσή του. Ο MS αρχικά προσπαθεί να συγχρονιστεί σε αυτήν την αποθηκευμένη συχνότητα. Αν η προσπάθεια αυτή αποτύχει, τότε σαρώνει και άλλες συχνότητες για να συγχρονιστεί στην κατωφερή-ζεύξη του καταλληλότερου BS. Επιπλέον, κάθε MS διατηρεί μια λίστα με προτιμώμενες συχνότητες κατωφερής ζεύξης, η οποία μπορεί να τροποποιείται για να ταιριάζει με τις παραμέτρους του δικτύου ενός συγκεκριμένου παρόχου.

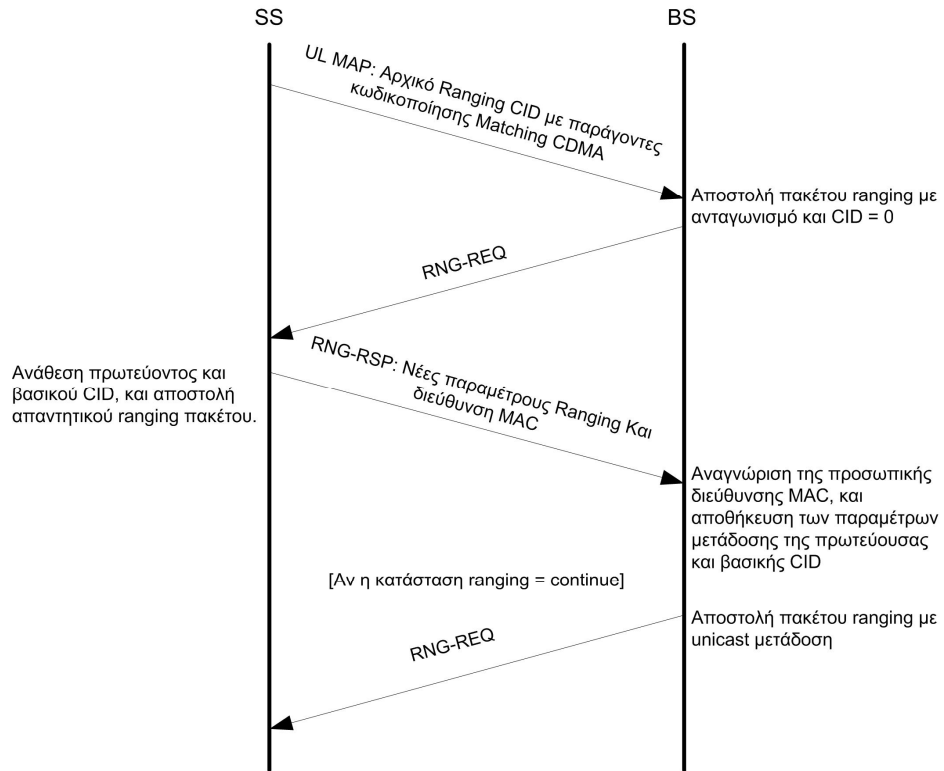
Κατά το συγχρονισμό στην κατωφερή-ζεύξη, ο κάθε MS παρακολουθεί για το preamble του υποχρονοπλαισίου κατωφερής-ζεύξης. Όταν αυτό εντοπιστεί, ο κάθε MS μπορεί να συγχρονιστεί με την κατωφερή ζεύξη του BS. Με το που αποκτήσει συγχρονισμό, ο MS παρακολουθεί για τα διάφορα μηνύματα ελέγχου, όπως τα FCH, DCD, UCD, DL-MAP και UL-MAP, τα οποία ακολουθούν το preamble, προκειμένου να αποκτήσει πληροφορίες παραμέτρων σχετικές με τα επίπεδα PHY και MAC που αντιστοιχούν στις μεταδόσεις της κατωφερής και ανωφερής-ζεύξης.

2.4.4.3.2 Απόκτηση των παραμέτρων της ανωφερούς-ζεύξης

Βασίζομενος στις παραμέτρους της ανωφερής-ζεύξης που λαμβάνει από τα μηνύματα ελέγχου, ο MS αποφασίζει αν το κανάλι είναι κατάλληλο για χρήση. Αν το κανάλι δεν είναι κατάλληλο, ο MS συνεχίζει να σαρώνει συχνότητες μέχρι να βρει μια κατάλληλη. Αν αποφανθεί ότι το κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ο MS αφουγκράζεται το μήνυμα UL-MAP για να συλλέξει πληροφορίες σχετικές με τις ευκαιρίες που μπορεί να έχει για ranging.

2.4.4.3.3 Πραγματοποίηση Ranging

Σε αυτή τη φάση, ο MS πραγματοποιεί ένα αρχικό ranging με τον BS για να αποκτήσει το σχετικό χρονισμό και να προσαρμόσει το επίπεδο ισχύος μετάδοσης που απαιτείται για να διατηρήσει μια ανωφερή-ζεύξη με τον BS. Με την καθιέρωση μιας ανωφερής-ζεύξης, ο MS πραγματοποιεί ranging περιοδικά για να ανιχνεύσει χρονικές και ενεργειακές διακυμάνσεις που μπορεί να προκύπτουν. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε κινητικότητα του χρήστη και σε διαλείψεις, ή και σε συνδυασμό τους. Εφόσον στο σημείο αυτό ο



Εικόνα 2-14. Διαδικασία ranging και προσαρμογής παραμέτρων.

MS δεν έχει εγκαταστήσει ακόμη μια σύνδεση, η προσπάθεια για το αρχικό ranging βασίζεται σε ανταγωνισμό. Η Εικόνα 2-14 δείχνει τη διαδικασία του ranging και τη διαδικασία αυτόματης προσαρμογής των παραμέτρων στο WiMAX.

2.4.4.3.4 Διαπραγμάτευση βασικών δυνατοτήτων

Μετά από το αρχικό ranging, ο MS στέλνει ένα μήνυμα SBC-REQ με το οποίο ενημερώνει τον BS για το σύνολο των βασικών του δυνατοτήτων, που περιλαμβάνει διάφορες παραμέτρους που σχετίζονται με το επίπεδο PHY και την ανάθεση εύρους ζώνης για μετάδοση. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-14 με τη λήψη αυτού του μηνύματος, ο BS απαντά με ένα μήνυμα SBC-RSP, παρέχοντας στον MS παραμέτρους επιπέδου PHY και ανάθεσης εύρους ζώνης που θα χρησιμοποιηθούν από τον MS για μελλοντικές μεταδόσεις στην ανωφερή και καθοδική-ζεύξη. Οι παράμετροι αυτοί μπορεί να είναι εκείνες ακριβώς που έχει ο MS στο σύνολο βασικών του δυνατοτήτων, ή ένα υποσύνολο αυτών.

2.4.4.3.5 Καταχώρηση και εγκαθίδρυση συνδεσιμότητας IP

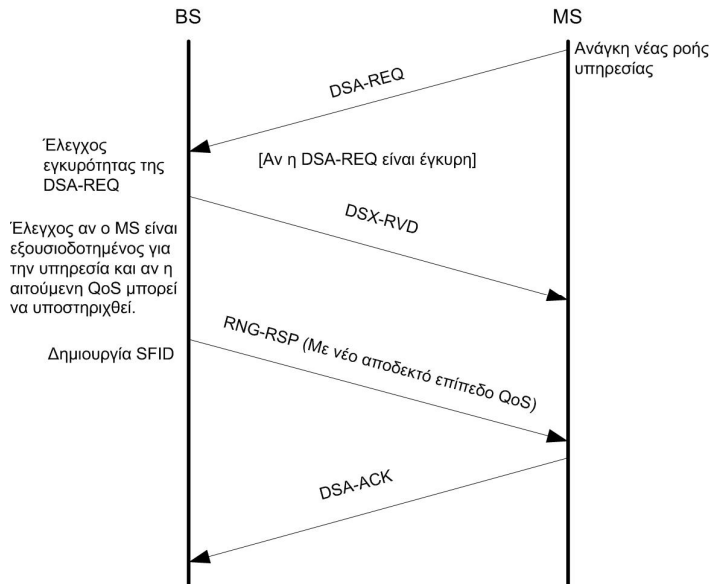
Έπειτα από τις διαπραγματεύσεις για τις βασικές δυνατότητες του και την ανταλλαγή του κλειδιού κρυπτογράφησης, ο MS εγγράφει τον εαυτό του στο δίκτυο. Στο WiMAX, η εγγραφή είναι η διαδικασία με την οποία ο MS επιτρέπεται να εισέλθει στο δίκτυο και να δεχθεί δευτερεύοντα CIDs. Η διαδικασία της εγγραφής ξεκινά όταν ο MS στέλνει ένα μήνυμα REG-REQ στον BS. Το μήνυμα

αυτό περιέχει ένα HMAC (hashed message authentication code), το οποίο ο BS χρησιμοποιεί για να πιστοποιήσει ο BS την αυθεντικότητα του μηνύματος. Όταν καθοριστεί ότι το αίτημα για εγγραφή είναι έγκυρο, τότε ο BS στέλνει ένα μήνυμα REG-RSP στον MS, με το οποίο του παρέχει το δευτερεύον CID διαχείρισης. Στο μήνυμα REG-REQ, ο MS καταδεικνύει τις δευτερεύουσες δυνατότητες του, που δεν περιλαμβάνονται στο σύνολο των βασικών του δυνατοτήτων, όπως η έκδοση του IP, τα επίπεδα σύγκλισης και το ARQ που υποστηρίζει. Ως προς το IP ειδικότερα, ο MS μπορεί να ενημερώσει τον BS για τις υποστηριζόμενες εκδόσεις του IP, οπότε στην προκειμένη περίπτωση ο BS ενημερώνει τον MS ποια έκδοση IP να χρησιμοποιήσει μέσω του REG-RSP. Ο BS επιτρέπει τη χρήση μόνο μιας από τις εκδόσεις που υποστηρίζει ο MS. Αν η πληροφορία σχετικά με τις υποστηριζόμενες εκδόσεις του IP λείπει από το REG-REQ, τότε ο BS απλά υποθέτει ότι ο MS μπορεί να υποστηρίξει τουλάχιστον το IPv4. Μετά από τη λήψη του REG-RSP από τον BS, ο MS μπορεί να χρησιμοποιήσει το DHCP για να λάβει μια διεύθυνση IP.

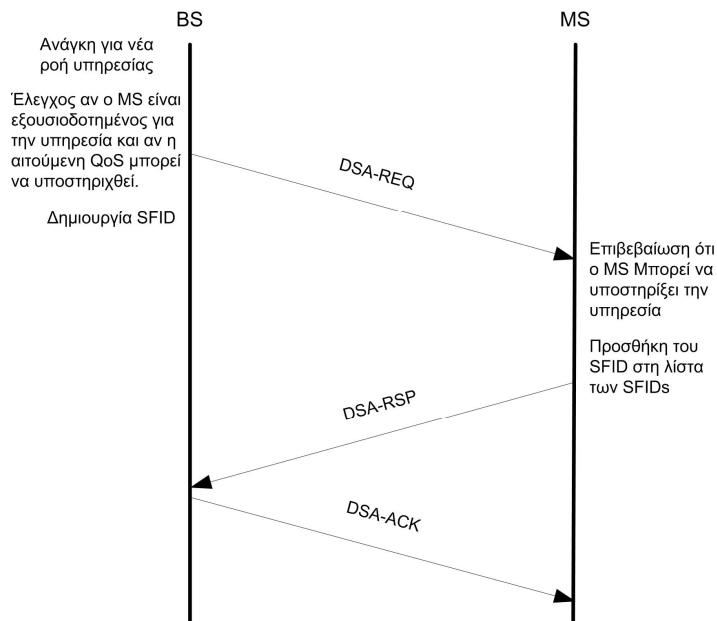
2.4.4.3.6 Εγκαθίδρυση ροής υπηρεσίας

Η εγκαθίδρυση ροών υπηρεσίας μπορεί να αρχίσει είτε από τον MS ή από τον BS. Όταν ο MS επιλέγει να ξεκινήσει τη δημιουργία μιας ροής υπηρεσίας, στέλνει ένα μήνυμα DSA-REQ που περιέχει το απαιτούμενο από τη ροή σύνολο παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας (Εικόνα 2-15). Αρχικά, με τη λήψη του μηνύματος ο BS ελέγχει την ακεραιότητά του και εν συνεχεία στέλνει ένα μήνυμα DSX-RVD, το οποίο λειτουργεί ως επιβεβαίωση ότι το αρχικό μήνυμα DSA-REQ παραλήφθηκε ακέραιο. Έπειτα, ο BS ελέγχει αν το σύνολο παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας που έχει ζητηθεί μπορεί να υποστηριχθεί, δημιουργεί ένα νέο SFID και στέλνει το κατάλληλο μήνυμα DSA-RSP με το οποίο δηλώνει το σύνολο παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας που έγιναν δεκτές. Ο MS ολοκληρώνει τη διαδικασία στέλνοντας ένα μήνυμα DSA-ACK στον BS.

Όταν ο BS επιθυμεί να εκκινήσει τη δημιουργία μιας ροής υπηρεσίας, ελέγχει αρχικά αν ο MS είναι εξουσιοδοτημένος για μια τέτοια υπηρεσία και αν το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που απαιτείται είναι δυνατό να υποστηριχτεί. Το αίτημα για μια τέτοια υπηρεσία συνήθως προέρχεται από μια οντότητα ανώτερου επιπέδου και είναι εκτός του πεδίου του προτύπου του IEEE 802.16e. Αν ο MS λάβει τελικά έγκριση για υπηρεσία, ο BS δημιουργεί ένα νέο SFID και στέλνει ένα DSA-REQ με το σύνολο των παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας που θα χρησιμοποιηθούν και το νέο CID, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-16. Με τη λήψη αυτής της αίτησης, ο MS στέλνει ένα μήνυμα DSA-RSP για να δείξει την αποδοχή από μέρους του. Ο BS ολοκληρώνει τη διαδικασία στέλνοντας ένα μήνυμα DSA-ACK. Μετά τη δημιουργία της ροής υπηρεσίας, ο MS και ο BS είναι έτοιμοι να ανταλλάξουν δεδομένα και μηνύματα διαχείρισης πάνω από το συγκεκριμένο CID.



Εικόνα 2-15. Δημιουργία ροής υπηρεσιών από τον MS.



Εικόνα 2-16. Δημιουργία ροής υπηρεσιών από τον BS.

2.4.4.4 Μηχανισμοί απόδοσης και αίτησης Εύρους Ζώνης (BW)

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την εγγραφή κάθε SS ορίζονται τρία CIDs για τον σκοπό της αποστολής και της λήψης μηνυμάτων ελέγχου. Οι τρεις συνδέσεις χρησιμοποιούνται για να επιτρέψουν την εφαρμογή διαφοροποιημένων επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας στις διαφορετικές συνδέσεις που φέρουν τη διαχείριση της κυκλοφορίας του επιπέδου ζεύξης. Η αύξηση (ή μείωση) των απαιτήσεων εύρους ζώνης είναι απαραίτητη για όλες τις υπηρεσίες, εκτός από τις ασυμπιέστες UGS συνδέσεις σταθερού ρυθμού. Οι ανάγκες των ασυμπιέστων UGS συνδέσεων δεν αλλάζουν μεταξύ της καθιέρωσης της σύνδεσης και της λήξης αυτής. Οι απαιτήσεις των συμπιέσιμων UGS συνδέσεων, όπως το διαχωρισμένο T1, μπορούν να αυξηθούν ή να μειωθούν ανάλογα με την κυκλοφορία. Οι υπηρεσίες Πολλαπλής Πρόσβασης Σχετισμένη με τις Απαιτήσεις (Demand Assigned Multiple Access -DAMA) αποδίδουν πόρους ανάλογα με τις τρέχουσες απαιτήσεις.

Όταν ένας SS χρειάζεται να ζητήσει εύρος ζώνης για μια σύνδεση BE τύπου υπηρεσίες, στέλνει ένα μήνυμα στον BS που περιέχει τις άμεσες ανάγκες της σύνδεσης. Η ποιότητα υπηρεσίας για τη σύνδεση καθιερώθηκε στην έναρξη της σύνδεσης και επιβλέπεται από τον BS. Τέλος, υπάρχουν πολυάριθμες μέθοδοι με τις οποίες ο SS μπορεί να στείλει το μήνυμα αιτήματος εύρους ζώνης στον BS.

2.4.4.4.1 Αιτήσεις (Requests)

Οι αιτήσεις αναφέρονται στο μηχανισμό που οι SSs χρησιμοποιούν για να δείξουν στον BS ότι χρειάζονται εύρος ζώνης στην ανωφερή-ζεύξη. Ένα αίτημα μπορεί να έρθει ως αυτόνομη επικεφαλίδα (Bandwidth Request Header) αιτήματος εύρους ζώνης ή ως PiggyBack αίτημα.

Επειδή το προφίλ ριπής της ανωφερής-ζεύξης μπορεί να αλλάξει δυναμικά, όλα τα αιτήματα για εύρος ζώνης υποβάλλονται με βάση τον αριθμό των bytes που απαιτούνται για να μεταφέρουν την επικεφαλίδα και το ωφέλιμο φορτίο του επιπέδου ζεύξης, αλλά όχι την επιβάρυνση του φυσικού επιπέδου. Τα αιτήματα εύρους ζώνης μπορεί να είναι επαυξητικά ή συνολικά. Όταν ο BS λαμβάνει ένα επαυξητικό αίτημα εύρους ζώνης, προσθέτει την ζητούμενη ποσότητα εύρους ζώνης στις τρέχουσες ανάγκες εύρους ζώνης της σύνδεσης. Όταν ο BS λαμβάνει ένα συνολικό αίτημα εύρους ζώνης, αντικαθιστά τις ανάγκες εύρους ζώνης της σύνδεσης με την ποσότητα του εύρους ζώνης που απαιτήθηκε. Το πεδίο Type στην επικεφαλίδα αιτήματος εύρους ζώνης δείχνει εάν το αίτημα είναι επαυξητικό ή συνολικό. Δεδομένου ότι τα piggybacked αιτήματα εύρους ζώνης δεν έχουν πεδίο Type, τα piggybacked αιτήματα εύρους ζώνης είναι πάντα επαυξητικά. Η αυτοδιορθούμενη φύση του πρωτοκόλλου αιτήματος /εκχώρησης απαιτεί οι SSs να χρησιμοποιούν περιοδικά τα συνολικά αιτήματα εύρους ζώνης. Η περίοδος αυτή μπορεί να είναι συνάρτηση του τύπου υπηρεσίας και της ποιότητας της σύνδεσης. Λόγω της πιθανότητας συγκρούσεων, τα αιτήματα εύρους ζώνης που μεταδίδονται σε broadcast ή multicast Request IEs πρέπει να είναι συνολικά αιτήματα.

Όσον αφορά την εκχώρηση του εύρους ζώνης που ζητήθηκε, υπάρχουν δύο τρόποι λειτουργίας για τους SSs: εκχώρηση ανά σύνδεση (GPC) και εκχώρηση ανά σταθμό συνδρομητή (GPSS). Στην πρώτη περίπτωση, ο BS εκχωρεί το εύρος ζώνης ρητά σε κάθε σύνδεση, ενώ στη δεύτερη περίπτωση το εύρος ζώνης εκχωρείται σε όλες τις συνδέσεις που ανήκουν στον SS. Η τελευταία περίπτωση (GPSS) επιτρέπει μικρότερους uplink maps (UL) και επιτρέπει σε πιο έξυπνους SSs να πάρουν αποφάσεις τελευταίας στιγμής και ίσως να χρησιμοποιήσουν το εύρος ζώνης διαφορετικά από ότι χορηγήθηκε αρχικά από τον BS. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για πραγματικού χρόνου εφαρμογές που απαιτούν γρηγορότερη απόκριση από το σύστημα. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν την 10-66 GHz προδιαγραφή φυσικού επιπέδου, χρησιμοποιούν τον τρόπο GPSS.

2.4.4.4.2 Εκχωρήσεις (Grants)

Εκχώρηση ανά σύνδεση (GPC)

Για έναν SS στον GPC τρόπο, τα αιτήματα εύρους ζώνης απευθύνονται ρητά σε μεμονωμένα CIDs. Όταν ο SS λαμβάνει μια πιο σύντομη ευκαιρία μετάδοσης από την αναμενόμενη (π.χ., απόφαση χρονοπρογραμματιστή, χαμένο μήνυμα αίτησης, κ.λπ.), δεν δίνεται κανένας ρητός λόγος, δεδομένου ότι είναι non-deterministic το πιο αίτημα εξυπηρετείται. Σε όλες τις περιπτώσεις, με βάση τις πιο πρόσφατες πληροφορίες που παραλαμβάνονται από τον BS καθώς και

από τη θέση του αιτήματος, ο SS ίσως αποφασίσει να εκτελέσει backoff και να ζητήσει πάλι ή να απορρίψει τη MAC SDU.

Ένας GPC SS ίσως χρησιμοποιήσει Request IEs που είναι broadcast, απευθείας σε ένα multicast polling group του οποίου είναι μέλος, ή απευθείας σε ένα unicast CID που αντιπροσωπεύει μια ροή υπηρεσιών που ανήκει στον ίδιο (ΣΣ). Το προφίλ ριπής που σχετίζεται με το Request IEs χρησιμοποιείται ακόμα κι αν ο BS είναι σε θέση να λάβει τον SS με ένα πιο αποδοτικό προφίλ ριπής. Για να εκμεταλλευθεί ένα αποδοτικότερο προφίλ ριπής ο SS πρέπει να μεταδώσει, σε ένα διάστημα που καθορίζεται από ένα Data Grant IE, απευθείας ένα unicast CID που αντιπροσωπεύει μια ροή υπηρεσιών που ανήκει σε στον ίδιο. Εξαιτίας αυτού, το unicast polling ενός GPC SS γίνεται με τη δέσμευση ενός Data Grant IE, που απευθύνεται σε ένα unicast CID, το οποίο αντιπροσωπεύει μια ροή υπηρεσιών του GPC SS. Πρέπει να σημειώσουμε επίσης ότι σε ένα Data Grant IE που απευθύνεται σε ένα unicast CID, ο SS, στον οποίο ανήκει το unicast CID, υποβάλει τα αιτήματα εύρους ζώνης μόνο για την υποδεδειγμένη σύνδεση.

Εκχώρηση ανά συνδρομητή (GPSS)

Για έναν SS που λειτουργεί στον τρόπο GPSS, τα αιτήματα εύρους ζώνης απευθύνονται στις μεμονωμένες συνδέσεις, ενώ η εκχώρηση εύρους ζώνης απευθύνεται στα βασικά CIDs του SS, και όχι ρητά σε μεμονωμένα CIDs. Όταν ο SS λαμβάνει μια πιο σύντομη ευκαιρία μετάδοσης από την αναμενόμενη (π.χ., απόφαση χρονοπρογραμματιστή, χαμένο μήνυμα αίτησης, κ.λπ.), δεν δίνεται κανένας ρητός λόγος, δεδομένου ότι είναι μη ντετερμινιστικό (non-deterministic) το πιο αίτημα εξυπηρετείται. Σε όλες τις περιπτώσεις, και με βάση τις πιο πρόσφατες πληροφορίες που παραλαμβάνονται από τον BS και τη θέση του αιτήματος, ο SS ίσως αποφασίσει να εκτελέσει backoff και να ζητήσει πάλι ή να απορρίψει τη MAC SDU.

Ένας GPSS SS ίσως χρησιμοποιήσει Request IEs που είναι ευρείας εκπομπής (broadcast), και που απευθύνεται σε ένα multicast polling group του οποίου είναι μέλος, ή κατευθύνεται στο βασικό του CID.

Σε όλες τις περιπτώσεις, το Request IE προφίλ ριπής χρησιμοποιείται, ακόμα κι αν ο BS είναι σε θέση να λάβει τον SS με ένα αποδοτικότερο προφίλ ριπής. Για να εκμεταλλευθεί ένα αποδοτικότερο προφίλ ριπής ο SS πρέπει να μεταδώσει σε ένα διάστημα που καθορίζεται από ένα Data Grant IE που κατευθύνεται στο βασικό του CID. Εξαιτίας αυτού, το unicast polling ενός GPSS SS θα γινόταν κανονικά με τη δέσμευση ενός Data Grant IE που κατευθύνεται στο βασικό του CID. Επίσης, σε ένα Data Grant IE που κατευθύνεται στο βασικό του CID, ο SS ίσως υποβάλει αιτήματα εύρους ζώνης για οποιαδήποτε από τις συνδέσεις του.

2.4.4.4.3 Με εκχώρηση κοινού χρόνου αιτήσεων ή Ψηφοφορία (Polling)

Η ψηφοφορία είναι η διαδικασία με την οποία ο BS κατανέμει στους SSs εύρος ζώνης ειδικά για τον σκοπό της υποβολής αιτημάτων εύρους ζώνης. Αυτές οι κατανομές μπορούν να είναι σε μεμονωμένους SSs ή σε ομάδες SSs. Κατανομές σε ομάδες συνδέσεων και /ή σε SSs καθορίζουν τον ισχυρισμό αιτήματος εύρους ζώνης IEs. Οι κατανομές δεν είναι υπό μορφή ρητού μηνύματος, αλλά περιλαμβάνονται ως σειρά IEs μέσα στον χάρτη ανωφερής-ζεύξης.

Αυτό που πρέπει εδώ να επισημανθεί, είναι ότι η ψηφοφορία γίνεται είτε ανά SS είτε ανά σύνδεση. Το εύρος ζώνης ζητείται πάντα βάση του CID και το

εύρος ζώνης αντίστοιχα διατίθεται ανά σύνδεση (τρόπος GPC) είτε ανά SS (τρόπος GPSS).

2.4.4.4 Μονόδρομη κλήση για πιθανή αίτηση (Unicast)

Όταν ένας SS ψηφίζεται χωριστά, κανένα ρητό μήνυμα δεν διαβιβάζεται για να ψηφίσει τον SS. Εάν ο SS δεν χρειάζεται εύρος ζώνης, επιστρέφει bytes ουσίας (0xFF). Οι SSs που λειτουργούν στον τρόπο GPSS που έχει μια ενεργή UGS σύνδεση ικανοποιητικού εύρους ζώνης δεν θα ψηφίζονται χωριστά εκτός αν θέτουν το Poll me (PM) bit στην επικεφαλίδα ενός πακέτου στη UGS σύνδεση. Αυτό σώζει εύρος ζώνης πέρα από το να ψηφίσουν όλοι οι SSs χωριστά. Σημειώστε ότι το unicast polling ενός GPSS SS θα γινόταν κανονικά σε μια ανά-SS βάση με την κατανομή ενός Data Grant IE που κατευθύνεται στο βασικό του CID.

2.4.4.5 Υπηρεσίες μετάδοσης δεδομένων σε πολλαπλούς αποδέκτες (multicast) και πλήρους εκπομπής (broadcast)

Εάν το ανεπαρκές εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο να ψηφίσει χωριστά πολλούς ανενεργούς SSs, κάποιοι SSs μπορεί να ψηφιστούν σε multicast groups ή μια broadcast poll μπορεί να εκδοθεί. Ορισμένα CIDs είναι διατηρημένα για multicast groups και για μηνύματα broadcast. Όπως με τη μεμονωμένη ψηφοφορία, η ψηφοφορία δεν είναι ένα ρητό μήνυμα αλλά κατανομή εύρους ζώνης στον ανοδικό χάρτη. Η διαφορά είναι ότι, παρά την ένωση του διατιθέμενου εύρους ζώνης με το βασικό CID ενός SS, η κατανομή είναι σε ένα multicast ή broadcast CID.

Όταν η ψηφοφορία κατευθύνεται σε ένα multicast ή broadcast CID, ένας SS που ανήκει στην ψηφισμένη ομάδα ίσως να ζητήσει εύρος ζώνης κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε διαστήματος που κατανεμήθηκε σε εκείνο το CID στον ανοδικό χάρτη από ένα Request IE. Προκειμένου να μειωθεί η πιθανότητα της σύγκρουσης με multicast ή broadcast ψηφοφορία, μόνο οι SSs που χρειάζονται εύρος ζώνης αποκρίνονται. Τα αιτήματα εύρους ζώνης μηδενικού μήκους δεν θα χρησιμοποιηθούν στα διαστήματα multicast ή broadcast αιτήματος.

Ο SS θα υποθέσει ότι η μετάδοση είναι ανεπιτυχής εάν καμία εκχώρηση δεν έχει παραληφθεί σε έναν αριθμό επόμενων UL-MAP μηνυμάτων, ίσο με την παράμετρο Λήξης Τυχαίας Πρόσβασης (Random Access Timeout). Εάν η προαίτηση γίνεται σε μια multicast ή broadcast ευκαιρία, ο SS συνεχίζει να τρέχει τον αλγόριθμο ψηφίσματος ισχυρισμού.

2.4.5 Προηγμένα χαρακτηριστικά για βελτίωση της απόδοσης

Το WiMAX ορίζει έναν αριθμό από προαιρετικά χαρακτηριστικά, που αποσκοπούν στην βελτίωση της απόδοσης. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγεται η υποστήριξη τεχνικών πολλαπλών κεραιών, υβριδικού ARQ και η εκτεταμένη επαναχρησιμοποίηση συχνότητων.

2.4.5.1 Προηγμένα συστήματα κεραιών (AAS)

Το WiMAX παρέχει εκτεταμένη υποστήριξη για την υλοποίηση προηγμένων λύσεων πολυκεραιών, για την βελτίωση της απόδοσης του συστήματος. Με την εφαρμογή των προηγμένων συστημάτων κεραιών (AAS) όπως ορίζονται από το WiMAX, μπορούν να επιτευχθούν μεγάλα κέρδη στην συνολική χωρητικότητα του καναλιού καθώς και στην επάρκεια του φάσματος. Τα AAS περιλαμβάνουν υποστήριξη σε μία ποικιλία λύσεων πολυκεραιών, συμπεριλαμβανομένου ποικιλόμορφης μετάδοσης (transmit diversity), beamforming και χωρικής πολυπλεξίας.

2.4.5.2 Υβριδική αυτόματη αίτηση επανάληψης(Hybrid-ARQ)

Το υβριδικό ARQ (H- ARQ), είναι ένα σύστημα που υλοποιείται στο φυσικό επίπεδο μαζί με FEC, παρέχοντας βελτιωμένη απόδοση σε σχέση με το παραδοσιακό ARQ, με κόστος τη μεγαλύτερη πολυπλοκότητα υλοποίησης. Η απλούστερη έκδοση του H- ARQ, είναι ένας απλός συνδυασμός του FEC και του ARQ, όπου μπλοκ δεδομένων, μαζί με έναν κώδικα CRC, κωδικοποιούνται με την χρήση ενός FEC κωδικοποιητή πριν την μετάδοση, οπότε αίτηση επαναμετάδοσης γίνεται μόνο αν ο αποκωδικοποιητής είναι ανίκανος να αποκωδικοποιήσει και να λάβει σωστά το μπλοκ δεδομένων. Όταν λαμβάνεται ένα επαναμεταδιδόμενο κωδικοποιημένο μπλοκ, συνδυάζεται με το προηγούμενο μη σωστά λαμβανόμενο μπλοκ και τροφοδοτείται στον αποκωδικοποιητή FEC. Ο συνδυασμός των δύο λήψεων του ίδιου μπλοκ δεδομένων βελτιώνει τις πιθανότητες για σωστή αποκωδικοποίηση. Αυτός ο τύπος H-ARQ, συχνά καλείται τύπος I κυνήγι συνδυασμού.

Το WiMAX υποστηρίζει τον τύπο I σε συνδυασμό με ένα N-καναλικό παύσης και αναμονής ARQ (N-channel stop and wait ARQ) μαζί με την χρήση μία ποικιλίας υποστηριζόμενων FEC κωδίκων. Η δημιουργία πολλαπλών παράλληλων καναλιών του H-ARQ μαζί μπορεί να βελτιώσει την ρυθμαπόδοση, καθώς κατά την αναμονή μίας H-ARQ διαδικασίας για επιβεβαίωση λήψης, μία άλλη διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιεί το κανάλι για την αποστολή επιπλέον δεδομένων. Το WiMAX υποστηρίζει μηχανισμούς σηματοδοσίας για την επίτευξη ασύγχρονης λειτουργίας του H-ARQ και υποστηρίζει ένα αποκλειστικό κανάλι επιβεβαίωσης λήψης στην ανωφερή-ζεύξη για σηματοδοσία ACK/NACK. Η ασύγχρονη λειτουργία επιτρέπει διάφορες τιμές καθυστέρησης ανάμεσα στις επαναμεταδόσεις, γεγονός που παρέχει μεγάλη ευελιξία στον χρονοπρογραμματιστή.

Για να βελτιώσει την αξιοπιστία των μεταδόσεων, το WiMAX υποστηρίζει προαιρετικά τον τύπο II H-ARQ, που επίσης αποκαλείται και ως αυξημένου πλεονασμού. Στον τύπο II H-ARQ, σε αντίθεση με τον τύπο I, κάθε επαναμετάδοση κωδικοποιείται διαφορετικά ώστε να επιτευχθεί βελτιωμένη απόδοση. Τυπικά, ο ρυθμός κωδικοποίησης μειώνεται κατάλληλα σε κάθε επαναμετάδοση. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε επανάληψη μετάδοσης στέλνονται επιπλέον δυαδικά ψηφία ισότητας (parity bits), που αντιστοιχίζονται με την κωδικοποίηση των επαναμεταδόσεων.

2.4.5.3 Βελτιωμένη επαναχρησιμοποίηση συχνότητων

Παρόλο που τα WiMAX συστήματα μπορούν να λειτουργούν με ένα καθολικό πλάνο επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, που αντιστοιχίζεται με παράγοντα επαναχρησιμοποίησης 1 (όπου όλοι οι τομείς και όλα τα κελιά χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα), κάτι τέτοιο μπορεί να προκαλέσει μέχρι και διακοπή λειτουργίας εξαιτίας των αλληλοπαρεμβολών, ιδίως στις άκρες των κυψελών και των τομέων. Για να μετριαστεί το πρόβλημα αυτό, το WiMAX επιτρέπει την εναρμόνιση της κατανομής των υποκαναλιών στους χρήστες στις άκρες των κυψελών ώστε να υπάρχει η ελάχιστη επικάλυψη. Αυτό επιτρέπει πιο δυναμική κατανομή συχνότητων στους τομείς, βασισμένη στις συνθήκες φόρτωσης και αλληλοπαρεμβολής, καθώς αντιστρατεύεται την παραδοσιακή σταθερή κατανομή. Οι χρήστες με καλές SINR συνθήκες καναλιού θα έχουν πρόσβαση στο πλήρες εύρος ζώνης και θα λειτουργούν υπό συνθήκες επαναχρησιμοποίησης συχνότητων 1. Αντίθετα, οι χρήστες με κακές SINR συνθήκες καναλιού θα τους κατανέμονται μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια, ώστε να λειτουργούν σε συνθήκες επαναχρησιμοποίησης 2, 3 ή 4, ανάλογα με τις μη

επικαλυπτόμενες ομάδες υποκαναλιών που κατανέμονται ώστε να διαμοιράζονται ανάμεσα σε αυτούς τους χρήστες. Αυτού του τύπου η κατανομή υποκαναλιών οδηγεί σε έναν αποτελεσματικό παράγοντα επαναχρησιμοποίησης που παίρνει κλασματικές τιμές μεγαλύτερες της μονάδας. Η δυνατότητα του WiMAX να υποστηρίζει διάφορα σχήματα υποκαναλοποίησης επιτρέπει κάτι τέτοιο με πολύ ευέλικτο τρόπο. Προφανώς, οι χρήστες που βρίσκονται στις άκρες των κυψελών δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση στο πλήρες εύρος ζώνης του καναλιού, και έτσι οι μέγιστοι ρυθμοί τους θα είναι μειωμένοι.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ DVB-RCS

3.1 Εισαγωγή

Το DVB – Digital Video Broadcast είναι ένα πρότυπο το οποίο αρχικά δημιουργήθηκε για να περιγράψει το σχήμα συμπίεσης και μετάδοσης της ψηφιακής τηλεόρασης (DTV – Digital TeleVision). Δημιουργήθηκε από μια κοινοπραξία δημόσιων και ιδιωτικών οργανισμών, με την ονομασία DVB Project, που σκοπό είχε την εγκαθίδρυση και τον προσδιορισμό ενός πλαισίου εργασίας για την εισαγωγή των υπηρεσιών της ψηφιακής τηλεόρασης. Οι προδιαγραφές του DVB ξεκίνησαν από την Ευρώπη και τυποποιήθηκε από τον ETSI – European Telecommunications Standards Institute.

Παρόλο που η προέλευση του DVB είναι Ευρωπαϊκή, το DVB Project αποτελείται από περισσότερους από 200 οργανισμούς από περισσότερες από 25 χώρες. Αποτέλεσμα αυτής της κοινοπραξίας ήταν η δημιουργία μεγάλου εύρους προτύπων για καλωδιακές, επίγειες και δορυφορικές υπηρεσίες ψηφιακής τηλεόρασης. Τα πρότυπα αυτά παρέχουν είτε επίγειες (π.χ. DVB-T – DVB Terrestrial) είτε δορυφορικές (π.χ. DVB-S – DVB via Satellite) υπηρεσίες. Τα πιο πρόσφατα πρότυπα εξασφαλίζουν τη λειτουργία επίγειου καναλιού επιστροφής (DVB-RCT – DVB Return Channel Terrestrial) καθώς και δορυφορικού (DVB-RCS – DVB Return Channel via Satellite). Το σημαντικότερο, όσον αφορά το ενδιαφέρον της παρούσας διατριβής, είναι ότι, εκτός από την υποστήριξη διαδραστικής τηλεόρασης (iTV – interactive television), τα πρότυπα αυτά μπορούν να υποστηρίξουν πάνω από την υποδομή του DVB και άλλες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες όπως ευρυζωνική διαδικτυακή πρόσβαση (Broadband Internet Access) και τηλεφωνία. Αυτό οφείλεται στην τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την μεταφορά των δεδομένων, στην οποία τα δεδομένα μεταδίδονται σε σταθερού μεγέθους πλαίσια, τα ονομαζόμενα πακέτα μεταφοράς ροής δεδομένων (Transport Stream packets – TS packets). Με τον τρόπο αυτό ο εξοπλισμός που επεξεργάζεται τις ροές δεδομένων δεν γνωρίζει τι είδους είναι και τι μορφή έχουν αυτές. Έτσι οι ροές δεδομένων μπορεί να είναι ψηφιακή εικόνα, ψηφιακός ήχος, ηλεκτρονικοί οδηγοί προγραμμάτων και κάθε είδους ψηφιακά δεδομένα. Πλέον το DVB είναι το πρότυπο που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο για την μετάδοση της ψηφιακής τηλεόρασης. Κάποιες χώρες έχουν τις δικές τους εκδοχές των προτύπων όπως για παράδειγμα οι ΗΠΑ (ATSC – Advanced Television System Committee) και η Ιαπωνία (ARIB – Association of Radio, Industries and Businesses). Ακόμη και σε αυτές τις χώρες τα συστήματα ακολουθούν την ίδια δομή με το DVB με τις προσθήκες των αντίστοιχων τροποποιήσεων ανάλογα με τη χώρα (π.χ. διαφορετική τυποποίηση ήχου και εικόνας).

Στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής διατριβής, μελετάμε τη μεταφορά δεδομένων στην ανωφερή ζεύξη επικοινωνίας από τα ευρυζωνικά δίκτυα προς τον δορυφόρο. Για αυτόν τον λόγο, στις επόμενες ενότητες παρουσιάζουμε τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου DVB-RCS ([6], [7]).

3.2 DVB-RCS

Οι διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και το πλήθος των διαδραστικών εφαρμογών μέσω του διαδικτύου δημιούργησε την ανάγκη για ένα αμφίδρομο δορυφορικό σύστημα που να βασίζεται στα πρότυπα του DVB. Έτσι μια ομάδα εταιρειών δορυφορικών επικοινωνιών, χρηματοδοτούμενη από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA – European Space Agency),

δημιούργησε το 1999 το πρότυπο DVB-RCS για την αμφίδρομη δορυφορική επικοινωνία.

Το DVB-RCS χρησιμοποιείται σήμερα από πολλούς παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου. Υποστηρίζεται από πολλούς διαχειριστές και κατασκευαστές. Επιπλέον, υπάρχει ένας τόπος δημόσιας συζήτησης με το όνομα Satlabs που σκοπό έχει να βελτιώσει και να αναπτύξει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των DVB-RCS τερματικών και της προηγμένης ανάπτυξης της τεχνολογίας. Συγχρόνως, η ομάδα του DVB-RCS συνεχίζει να αναπτύσσει και να βελτιώνει τις προδιαγραφές του προτύπου.

Παρά το γεγονός ότι αυτό το πρότυπο παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι προηγούμενων ιδιωτικών προτύπων, αυτή η τεχνολογία δεν έχει ακόμη διεισδύσει στη μαζική αγορά. Υπάρχει ακόμα ανταγωνισμός για το DVB-RCS, συμπεριλαμβανομένων και αμφίδρομων δορυφορικών συστημάτων που χρησιμοποιούν το DVB-S για την εξερχόμενη μετάδοσή τους, αλλά όχι το DVB-RCS για το κανάλι επιστροφής (ίσως λόγω επενδύσεων κατασκευαστών σε ιδιωτικά συστήματα ή λόγω του μη ανταγωνιστικού κόστους των σημερινών DVB-RCS τερματικών σε μερικές αγορές).

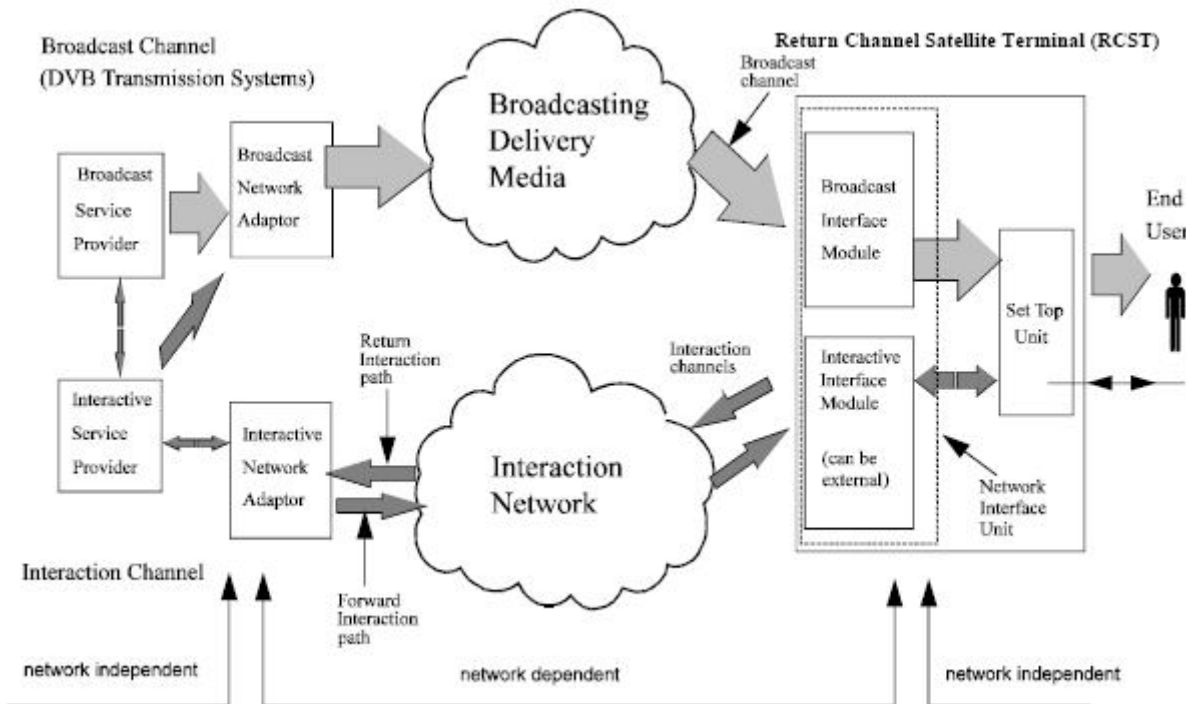
Το DVB-RCS σύστημα συνεχίζει να εξελίσσεται, καθώς ενισχύεται και από την δουλειά της ομάδας του Satlabs. Η ομάδα αυτή έχει επιδείξει σημαντικές επιτυχίες στην βελτίωση της διαλειτουργικότητας των στοιχείων των DVB-RCS συστημάτων. Παρέχει ήδη ένα επιτυχημένο πρόγραμμα αξιολόγησης DVB-RCS τερματικών που οδηγεί σε ένα ανεξάρτητο εργαστήριο πιστοποίησης διαλειτουργικότητας του εξοπλισμού. Παράλληλα, το DVB και ο ETSI συνεχίζουν και αναπτύσσουν τις εργασίες της προτυποποίησης. Μερικοί από τους τομείς που εργάζονται είναι η παροχή συναρτήσεων ποιότητας υπηρεσίας, η ενσωμάτωση προσαρμοστικών φυσικών κυματομορφών και η υποστήριξη αναγεννητικών δορυφόρων.

3.3 Μοντέλο, αρχιτεκτονική και δομή του συστήματος

Το πρότυπο DVB-RCS περιγράφει ένα σύστημα όπου και τα δύο κανάλια, από και προς τον τερματικό σταθμό, χρησιμοποιούν δορυφορικές ζεύξεις. Ο τερματικός δορυφορικός εξοπλισμός, που υποστηρίζει ένα αμφίδρομο δορυφορικό DVB σύστημα ονομάζεται Διαδραστικό Δορυφορικό Τερματικό (Satellite Interactive Terminal – SIT) ή Δορυφορικό Τερματικό Επιστρεφόμενου Καναλιού RCST (Return Channel Satellite Terminal –RCST).

Στο μοντέλο του συστήματος ορίζονται δύο κανάλια μεταξύ του παρόχου υπηρεσιών και του χρήστη: το κανάλι ευρείας εκπομπής (Broadcast Channel) και το κανάλι αλληλεπίδρασης (Interaction Channel). Το κανάλι ευρυεκπομπής είναι ένα μονοκατευθυντικό ευρυζωνικό κανάλι, που μεταφέρει το φορτίο του χρήστη και σηματοδοσία από το Κέντρο Ελέγχου του Δικτύου NCC (Network Control Centre – NCC) και μπορεί να περιέχει και το Ορθό Μονοπάτι Αλληλεπίδρασης (Forward Interaction Path). Το κανάλι αλληλεπίδρασης είναι ένα αμφίδρομο κανάλι για αλληλεπίδραση και χωρίζεται περαιτέρω στο Μονοπάτι Αλληλεπίδρασης Επιστροφής (Return Interaction Path), το οποίο είναι ένα κανάλι από το χρήστη στον πάροχο υπηρεσιών για να αποστέλλει πληροφορία ελέγχου (αιτήσεις/ αποκρίσεις), και στο Ορθό Μονοπάτι Αλληλεπίδρασης (Forward Interaction Path), που είναι ένα κανάλι που παρέχει πληροφορίες από τον NCC στον χρήστη και οποιαδήποτε άλλη απαιτούμενη επικοινωνία για την παροχή διαδραστικών υπηρεσιών. Είναι πιθανό αυτό το κανάλι να μην είναι απαραίτητο σε κάποιες απλές εφαρμογές που χρησιμοποιούν το κανάλι ευρυεκπομπής για μεταφορά δεδομένων στον χρήστη. Το RCST παρέχει διεπαφές και για τα δύο

είδη καναλιών. Αποτελείται από τη Μονάδα Διεπαφής Δικτύου (Network Interface Unit), η οποία χωρίζεται περαιτέρω στη Μονάδα Διεπαφής Ευρυεκπομπής (Broadcast Interface Module) και στη Μονάδα Διεπαφής Αλληλεπίδρασης (Interactive Interface Module), και από τη Μονάδα Ανώτερου Συνόλου (Set Top Unit). Η διεπαφή μεταξύ του RCST και του δικτύου αλληλεπίδρασης είναι μέσω του Interactive Interface Module. Το παραπάνω μοντέλο του συστήματος για διαδραστικές υπηρεσίες παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-1.



Εικόνα 3-1. Μοντέλο ανταλλαγής πληροφορίας στο DVB-RCS σύστημα για διαδραστικές υπηρεσίες

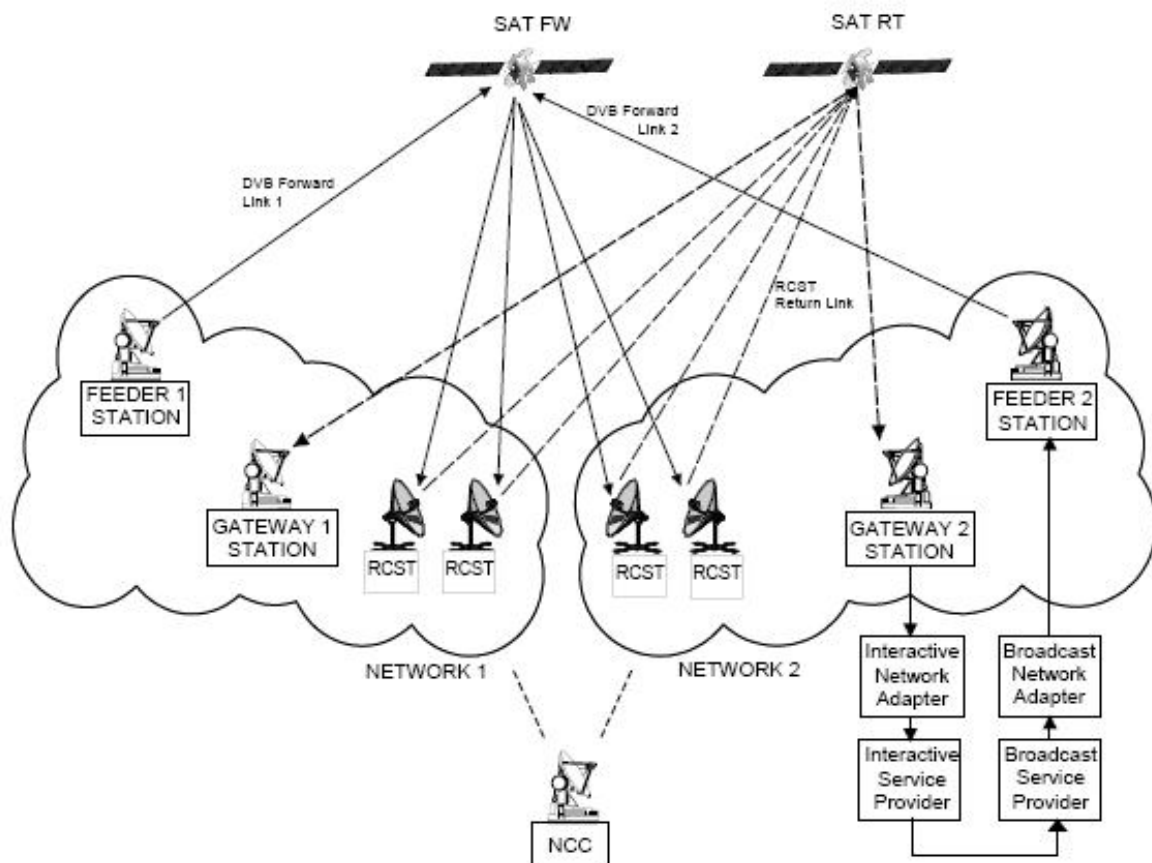
Ένα γενικό δορυφορικό διαδραστικό δίκτυο, στο οποίο θα λειτουργούν ένα μεγάλο πλήθος από δορυφορικά τερματικά RCSTs, θα περιλαμβάνει και τα παρακάτω λειτουργικά δομικά στοιχεία, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 3-2:

- *Κέντρο Ελέγχου Δικτύου – Network Control Centre*: Ο NCC παρέχει Λειτουργίες Ελέγχου και Παρακολούθησης (CMF – Control and Monitoring Functions). Παράγει σήματα χρονισμού και ελέγχου για τη σωστή λειτουργία του διαδραστικού δορυφορικού δικτύου τα οποία μεταδίδονται από έναν ή περισσότερους Σταθμούς Τροφοδοσίας (Feeder Stations).
- *Πύλη Κίνησης – Traffic Gateway*: Μια πύλη κίνησης παραλαμβάνει την επιστρεφόμενη σηματοδότηση από τα RCSTs, παρέχει λογιστικές λειτουργίες, διαδραστικές υπηρεσίες και/ή συνδέσεις με το εξωτερικό κοινό, ιδιοκτησιακούς και ιδιωτικούς παρόχους υπηρεσιών (βάσεις δεδομένων, τηλεόραση με χρονοχρέωση ή πηγές βίντεο, κατέβασμα λογισμικού, τηλεαγορές, οικονομικές υπηρεσίες, διαδραστικά παιχνίδια, κ.λπ.) και δίκτυα (Διαδίκτυο, ISDN, PSTN, κ.λπ.).
- *Σταθμός Τροφοδοσίας – Feeder* : Ο σταθμός τροφοδοσίας μεταδίδει το σήμα της ορθής ζεύξης, το οποίο είναι ένα σύνθετο δορυφορικό ψηφιακό βίντεο ευρυεκπομπής που χρησιμοποιείται στη ζεύξη με κατεύθυνση προς τον NCC (DVB-S και DVB-S2), πάνω στο οποίο είναι πολυπλεγμένα τα δεδομένα των

χρηστών και/ή σήματα ελέγχου και χρονισμού που χρειάζονται για την λειτουργία του δορυφορικού διαδραστικού δικτύου.

Όπως βλέπουμε και στην παραπάνω εικόνα, ο έλεγχος της λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος γίνεται από την μονάδα ελέγχου NCC. Κάθε δίκτυο αποτελείται από τα RCSTs, τους σταθμούς τροφοδοσίας και τις πύλες κίνησης. Τα δεδομένα των δορυφορικών τερματικών που αποστέλλονται στον δορυφόρο λαμβάνονται από την πύλη κίνησης και φθάνουν στον αντίστοιχο πάροχο ώστε να επεξεργαστούν αναλόγως. Αντίστοιχα τα δεδομένα που προορίζονται για τα τερματικά, μαζί με την αντίστοιχη σηματοδοσία και πληροφορία ελέγχου από τον NCC, για την σωστή λειτουργία του συστήματος, δρομολογούνται στον σταθμό τροφοδοσίας από όπου και μεταδίδονται στον δορυφόρο και στην συνέχεια προς το σύνολο των RCSTs. Κάθε τερματικό λαμβάνει το μεταδιδόμενο σήμα του δορυφόρου και ξεχωρίζει την πληροφορία που απευθύνεται σε αυτό.

Η ορθή ζεύξη μεταφέρει τη σηματοδοσία από τον NCC και την κίνηση των χρηστών προς τα RCSTs. Η σηματοδοσία από τον NCC στα RCSTs που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία της ζεύξης επιστροφής του συστήματος θα ονομάζεται από αυτό το σημείο και στο υπόλοιπο κείμενο “Σηματοδοσία Ορθού Καναλιού” (Forward Link Signaling). Τόσο το τελευταίο όσο και η κίνηση του χρήστη μπορούν να μεταφερθούν από διαφορετικά σήματα της ζεύξης. Διάφοροι σχηματισμοί RCSTs είναι δυνατοί βασιζόμενοι στο πλήθος των δεκτών σε ένα



Εικόνα 3-2. Αρχιτεκτονική και δομή ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου

RCST.

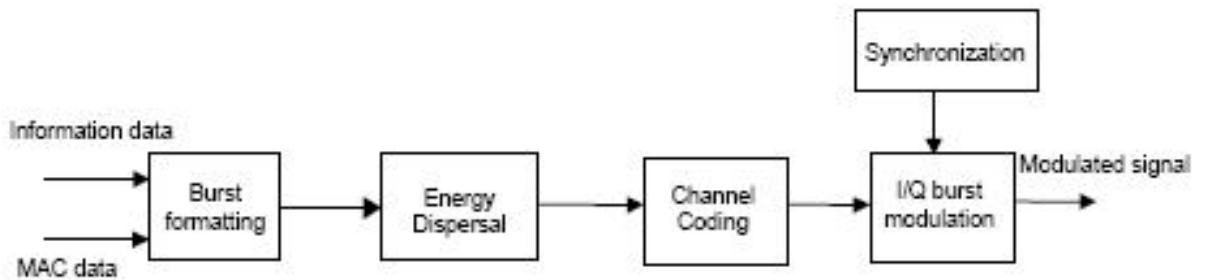
Στις ενότητες που ακολουθούν θα παρουσιαστούν εν συντομία οι προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου στη βασική ζώνη για το κανάλι επιστροφής του συστήματος DVB-RCS. Η Εικόνα 3-3 παρουσιάζει σε γενική μορφή την

επεξεργασία του ψηφιακού σήματος που λαμβάνει χώρα στο κομμάτι του εκπομπού του RCST, από τον σχηματισμό των χρονοθυρίδων από μια ροή ψηφιακής πληροφορίας, μέχρι την διαμόρφωση που αναπαριστά τη μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό.

3.4 Συγχρονισμός του RCST

3.4.1 Έλεγχος χρονισμού

Ο συγχρονισμός ενός RCST είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του δορυφορικού διαδραστικού δικτύου. Επιβάλλονται περιορισμοί στα RCSTs προκειμένου να εξασφαλίσουν ένα αποτελεσματικό σύστημα TDMA (Time



Εικόνα 3-3. Μπλοκ διάγραμμα με τα στάδια της επεξεργασίας του σήματος βασικής ζώνης στο RCST στο κανάλι επιστροφής διαδραστικές υπηρεσίες

Division Multiple Access) το οποίο θα έχει την ελάχιστη παρεμβολή μεταξύ των χρηστών και την μέγιστη δυνατή ρυθμαπόδοση (throughput). Οι τελευταίοι ωστόσο μπορούν να ελαχιστοποιηθούν αν ο NCC εκτελέσει λειτουργίες όπως μετάφραση λάθους δορυφορικής συχνότητας και επανόρθωση Doppler κοινού τρόπου για την συχνότητα φέροντος του RCST. Για το λόγο αυτό, η διάταξη του συγχρονισμού βασίζεται σε πληροφορία που περιέχεται στο Forward Link Signaling με την μορφή του NCR (Network Clock Reference), που είναι το ρολόι ολόκληρου του δικτύου, και της σηματοδότησης στα ιδιωτικά τμήματα του DVB/MPEG2-TS. Το NCR διανέμεται με ένα συγκεκριμένο PID μέσα σε μια MPEG2 ροή μεταφοράς που μεταφέρει το Forward Link Signaling. Ο μηχανισμός της διανομής του διαφοροποιείται αν χρησιμοποιείται σύστημα Σταθερής Κωδικοποίησης και Διαμόρφωσης (CCM- Constant Coding and Modulation) με DVB-S ή DVB-S2 ή αν χρησιμοποιείται Προσαρμοστική Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση (ACM – Adaptive Coding and Modulation) με DVB-S2.

3.4.2 Συγχρονισμός φέροντος

Η MPEG2 ροή μεταφοράς που περιέχει το Forward Link Signaling περιέχει την NCR πληροφορία η οποία παρέχει στα RCSTs μια αναφορά 27MHz του ρολογιού αναφοράς του NCC. Η ακρίβεια της κανονικοποιημένης συχνότητας φέροντος πρέπει να είναι καλύτερη από 10^{-8} .

3.4.3 Συγχρονισμός χρονοθυρίδας

Τα RCSTs ανακτούν την κεντρική συχνότητα, το χρόνο έναρξης και τη διάρκεια των χρονοθυρίδων που μεταδίδουν εξετάζοντας τη σηματοδότηση που λαμβάνουν στην ορθή ζεύξη και συγκεκριμένα από τους πίνακες SCT (Superframe Composition Table), FCT (Frame Composition Table) και TCT (Timeslot Composition Table) οι οποίοι αναλύονται στις επόμενες ενότητες. Ο ανταγωνισμός ανάμεσα στα RCSTs για τη σωστή μετάδοση στο κανάλι

επιστροφής γίνεται με τη μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου σε διάφορες συχνότητες MF-TDMA (Mutli-Frequency Time Division Multiple Access) η οποία θα εξεταστεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Οι χρονοθυρίδες αποστέλλονται με βάση το Πλάνο Χρονισμού Ριπών (Burst Time Plan – BTP), που λαμβάνεται από την σηματοδότηση ορθού καναλιού με την μορφή ενός πίνακα του Πλάνου Χρονισμού Ριπών Τερματικού (TBTP – Terminal Burst Time Plan) που καθορίζει την δομή και την διαίρεση ενός υπερπλαίσιου. Οι τιμές στο BTP εκφράζονται ως προς την κεντρική συχνότητα και μια απόλυτη χρονική στιγμή έναρξης για τα υπερπλαίσια (superframes), η οποία είναι μια τιμή μετρημένη ως προς το NCR, και μια συσχετισμένη συχνότητα και χρονικές μετατοπίσεις των εκχωρήσεων των ριπών μαζί με μια περιγραφή των ιδιοτήτων των χρονοθυρίδων. Ένα υπερπλαίσιο ξεκινά πάντα σε μια δεδομένη τιμή του τοπικού NCR μετρητή του RCST, που χρησιμοποιείται σαν αναφορά για όλες τις εκχωρήσεις χρονοθυρίδων μέσα σε ένα υπερπλαίσιο. Για λόγους συγχρονισμού με το δίκτυο, το RCST ανακατασκευάζει την απόλυτη τιμή του NCC ρολογιού αναφοράς. Το RCST συγκρίνει την ανακατασκευασμένη τιμή με την NCR τιμή που δίνεται στο BTP. Ο χρόνος αναφοράς για τη μέτρηση των χρονοθυρίδων λαμβάνει χώρα όταν οι δύο αυτές τιμές είναι ίσες.

Η ακρίβεια του συγχρονισμού των ριπών πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση της μισής περιόδου του συμβόλου. Η απόφαση πρέπει να ληφθεί μέσα στη διάρκεια μιας NCR μέτρησης. Η ακρίβεια του συγχρονισμού μιας ριπής είναι η μέγιστη απόκλιση από την προγραμματισμένη στιγμή έναρξης μιας ριπής και της πραγματικής χρονικής στιγμής της έναρξης της στην έξοδο του πομπού. Η προγραμματισμένη χρονική στιγμή έναρξης μιας ριπής είναι το σημείο στο χρόνο όταν η ιδανική ανακατασκευασμένη NCR συμπίπτει με την τιμή που είναι καταχωρημένη στο TBTP (Terminal Burst Time Plan) για αυτή την ριπή. Η ιδανική ανακατασκευασμένη NCR ορίζεται ως αυτή που θα παρατηρηθεί στην έξοδο ενός ιδανικού DVB-S δέκτη χωρίς καθυστερήσεις. Εάν απαιτείται αντιστάθμιση της καθυστέρησης στο δέκτη, για να επιτευχθεί η ζητούμενη ακρίβεια, πρέπει να γίνει από το RCST.

3.4.4 Συγχρονισμός ρολογιού συμβόλου

Η ακρίβεια του ρολογιού συμβόλου πρέπει να είναι το πολύ 20 ppm (parts per million) από την ονομαστική τιμή του πεδίου symbol_rate που βρίσκεται στο TCT. Ο ρυθμός ρολογιού συμβόλου πρέπει να έχει μια βραχυπρόθεσμη σταθερότητα που περιορίζει το χρονικό σφάλμα κάθε συμβόλου μιας χρονοθυρίδας στο 1/20 της διάρκειας του συμβόλου.

3.5 Δομή χρονοθυρίδων

Υπάρχουν τέσσερα είδη χρονοθυρίδων τα οποία περιγράφονται στις υποενότητες που ακολουθούν:

- Κίνησης – TRaFfic (TRF)
- Απόκτησης – ACQuisition (ACQ)
- Συγχρονισμού – SYNChronization (SYNC)
- Σηματοδότησης Κοινού Καναλιού – Common Signaling Channel (CSC)

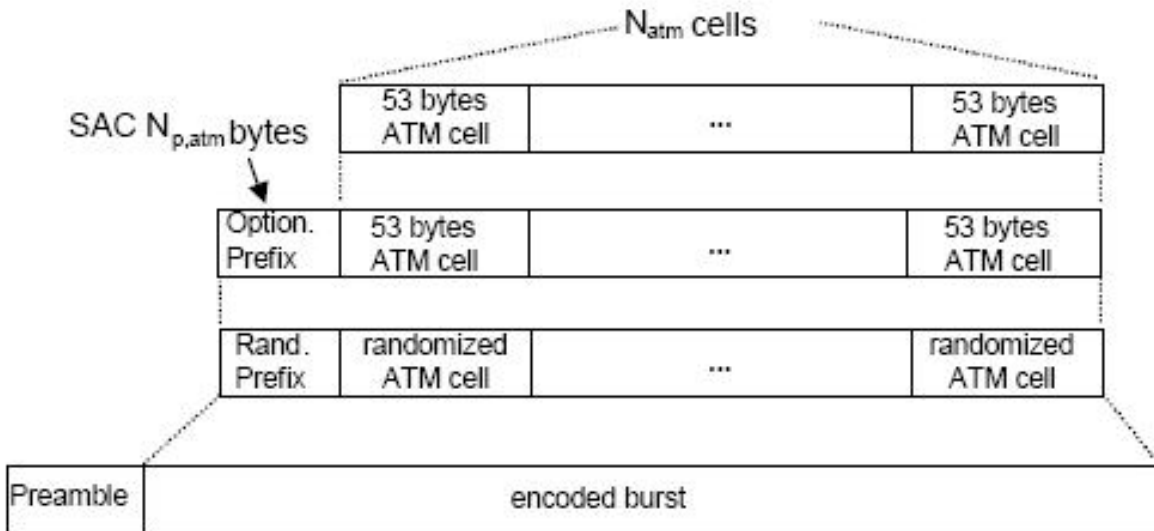
3.5.1 Δομή χρονοθυρίδας κίνησης (TRF)

Οι χρονοθυρίδες κίνησης (TRF) χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν χρήσιμα δεδομένα από το RCST προς τις Πύλες (Gateways) ή τα υπόλοιπα RCSTs. Υπάρχουν δύο είδη χρονοθυρίδων κίνησης, τα οποία και περιγράφονται

στην συνέχεια: είναι οι χρονοθυρίδες που μεταφέρουν ATM κελιά και αυτές που μεταφέρουν MPEG2-TS πακέτα. Η κωδικοποίηση καναλιού που χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή περιγράφεται στην επόμενη ενότητα. Μια TRF ριπή συνήθως ακολουθείται από ένα χρόνο προστασίας (guard time) προκειμένου να μηδενιστεί η ισχύς εκπομπής και να αντισταθμιστεί η χρονική μετατόπιση.

3.5.1.1 ATM TRF χρονοθυρίδα

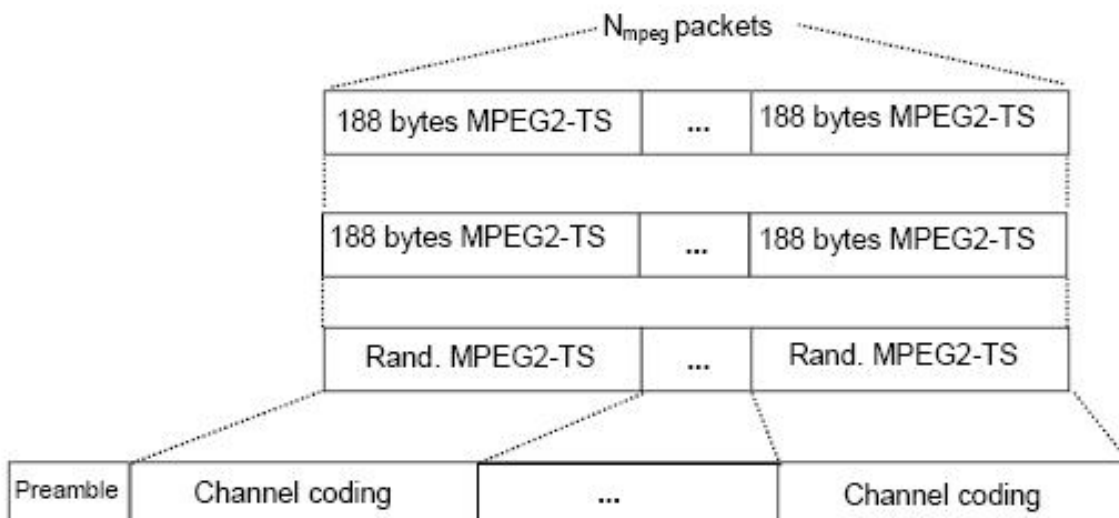
Το φορτίο μιας ATM χρονοθυρίδας κίνησης αποτελείται από N_{atm} αλυσιδωτά ATM κελιά, καθένα από τα οποία έχει μήκος 53 bytes, συν ένα προαιρετικό πρόθεμα μήκους $N_{p,atm}$ bytes. Τα ATM κελιά ακολουθούν τη δομή ενός ATM κελιού αλλά δεν υποστηρίζουν απαραίτητα ATM κλάσεις υπηρεσιών. Η δομή της ATM TRF χρονοθυρίδας παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 3-4.



Εικόνα 3-4. Σύνθεση μιας ATM TRF χρονοθυρίδας

3.5.1.2 Προαιρετική MPEG2-TS TRF χρονοθυρίδα

Στην περίπτωση αυτή η χρονοθυρίδα περιέχει N_{mpeg} αλυσιδωτά MPEG2-TS πακέτα, καθένα από τα οποία έχει μήκος 188 bytes. Η χρονοθυρίδα αποτελείται από μερικά blocks με κωδικοποίηση καναλιού που θα περιγραφεί στην επόμενη ενότητα. Τα RCSTs μπορούν να συμπεράνουν το πλήθος των MPEG2 πακέτων σε μια TRF ριπή από το πεδίο του TCT, που δίνει τη διάρκεια μιας χρονοθυρίδας, αφού αφαιρέσουν τη χρονική διάρκεια των υπόλοιπων πεδίων της. Η μετάδοση αυτού του είδους χρονοθυρίδων είναι προαιρετική. Το RCST πρέπει να ενημερώσει τον NCC ότι υποστηρίζει αυτόν τον μηχανισμό μέσω της CSC χρονοθυρίδας. Η δομή της MPEG2-TS TRF ριπής παρουσιάζεται

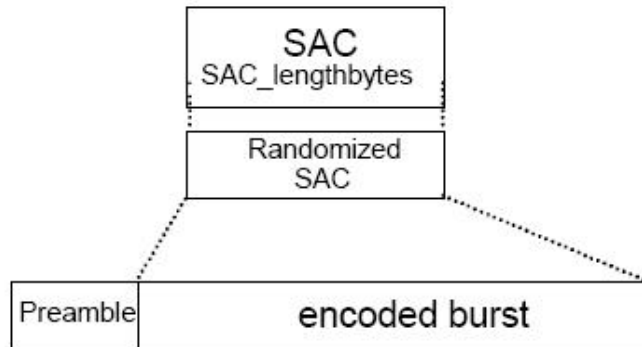


Εικόνα 3-5. Σύνθεση μιας MPEG2-TS TRF ριπής υπηρεσιών

στην Εικόνα 3-5.

3.5.2 Δομή της χρονοθυρίδας συγχρονισμού (SYNC)

Οι χρονοθυρίδες συγχρονισμού και απόκτησης απαιτούνται για να καθοριστεί επακριβώς η θέση της μετάδοσης των ριπών του RCST κατά τη διάρκεια και μετά την εισαγωγή του στο δίκτυο (logon). Τα δύο αυτά είδη ριπών θα εξεταστούν σε αυτή και την επόμενη ενότητα.



Εικόνα 3-6. Σύνθεση μια χρονοθυρίδας συγχρονισμού SYNC

Μια SYNC ριπή χρησιμοποιείται από ένα RCST για να διατηρεί το συγχρονισμό και να στέλνει πληροφορία ελέγχου στο σύστημα. Οι ριπές SYNC αποτελούνται από μια αλληλουχία εισαγωγικών bits (preamble) για ανίχνευση της ριπής (διαμορφωμένη και υποδηλωμένη στο RCST μέσω του TCT) και ένα προαιρετικό πεδίο για τον έλεγχο της πρόσβασης στο δορυφορικό δίκτυο που ονομάζεται SAC (Satellite Access Control) που έχει μήκος SAC_length bytes. Το πεδίο SAC είναι πολύ σημαντικό διότι μέσω αυτού τα RCSTs έχουν την δυνατότητα να κάνουν τις αιτήσεις τους για πόρους και για το λόγο αυτό θα μελετηθεί διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο. Μετά την διαδικασία της τυχαίωσης, μια προαιρετική αλληλουχία CRC (Cyclic Redundancy Check) bits πλεονασμού μπορούν να προστεθούν στο πεδίο αυτό, δίνοντας ένα συνολικό μέγεθος ριπής $N_{p, sync}$ bytes. Η ριπή αυτή προστατεύεται επιπλέον και με μια κωδικοποίηση ελέγχου λαθών όπως θα περιγράψουμε στην επόμενη υποενότητα. Όπως και στην περίπτωση των TRF χρονοθυρίδων, και η ριπή συγχρονισμού συνήθως προστατεύεται από ένα χρόνο προστασίας (guard time) προκειμένου να μηδενιστεί η ισχύ εκπομπής και να αντισταθμιστεί η χρονική μετατόπιση. Η συχνότητα χρήσης της ριπής αυτής εξαρτάται από τις δυνατότητες του NCC. Η Εικόνα 3-6 αναπαριστά μια χρονοθυρίδα συγχρονισμού.

3.5.3 Δομή χρονοθυρίδας απόκτησης ACQ

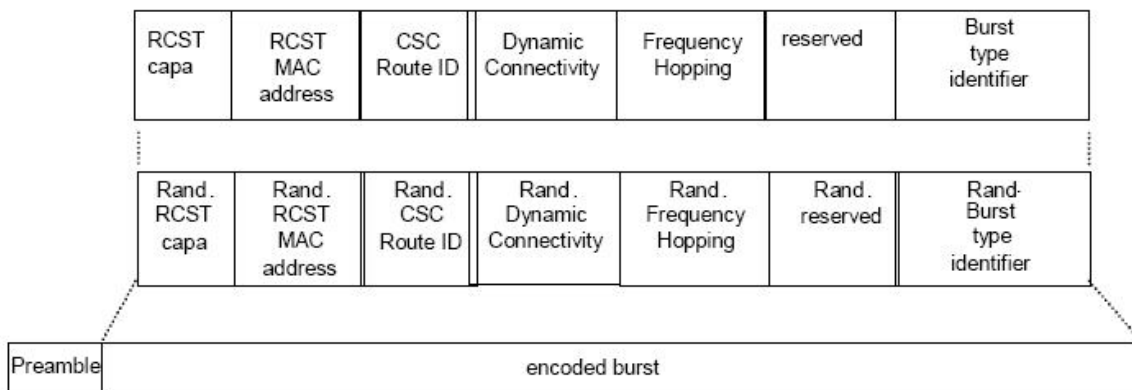
Μια ACQ ριπή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός, πριν τη λειτουργική χρήση του δικτύου από το RCST. Οι μεταδόσεις μιας τέτοιας χρονοθυρίδας πρέπει να έχουν τη δομή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-7. Το μήκος και το περιεχόμενο των εισαγωγικών bits (preamble), συμπεριλαμβανομένης και της ακολουθίας συχνότητας αποστέλλονται στα RCSTs μέσω του TCT. Η ACQ ριπή περιβάλλεται από ένα χρόνο προστασίας (guard time).



Εικόνα 3-7. Σύνθεση μιας ACQ χρονοθυρίδας

3.5.4 Δομή χρονοθυρίδας σηματοδοσίας κοινού καναλιού CSC

Η ριπή σηματοδοσίας κοινού καναλιού CSC χρησιμοποιείται από το RCST μόνο όταν θέλει να ταυτοποιήσει τον εαυτό του κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εισαγωγής στο σύστημα. Οι ριπές αυτές αποτελούνται από μια αλληλουχία bits εισαγωγής για ανίχνευση της χρονοθυρίδας και την έναρξή της, ένα πεδίο που περιέχει τις δυνατότητες του RCST, την MAC (Medium Access Control) διεύθυνση του RCST, το χαρακτηριστικό αριθμό ταυτοποίησης CSC_Route_ID της ριπής, το πεδίο που υποδηλώνει την δυνατότητα δυναμικής συνδεσιμότητας (Dynamic Connectivity), το πεδίο για την υποστήριξη της μεταπήδησης της συχνότητας (frequency hopping), ένα πεδίο που δεν χρησιμοποιείται προς το παρόν και έχει κρατηθεί για μελλοντική χρήση και ένα πεδίο ταυτοποίησης της ριπής. Το σχήμα κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται και στην περίπτωση της ριπής αυτής παρουσιάζεται στην επόμενη υποενότητα. Η CSC χρονοθυρίδα περικλείεται από χρόνο προστασίας. Η δομή της όπως, παρουσιάστηκε παραπάνω, παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-8.



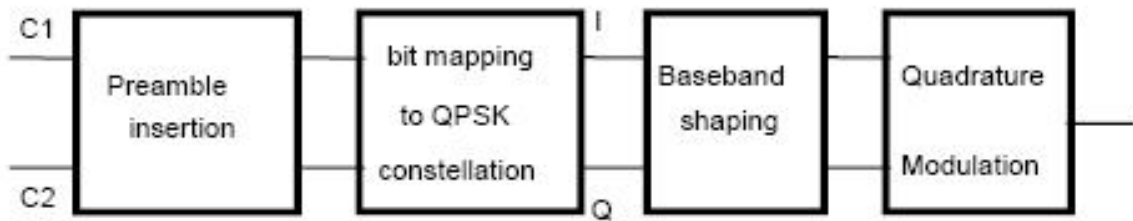
Εικόνα 3-8. Σύνθεση μιας CSC χρονοθυρίδας

3.6 Κωδικοποίηση

Η κωδικοποίηση για την προστασία από τα λάθη που επιφέρει το κανάλι εφαρμόζεται στα δεδομένα κίνησης και ελέγχου, τα οποία μεταδίδονται με τα είδη των χρονοθυρίδων που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Στο DVB-RCS υπάρχουν δύο σχήματα κωδικοποίησης: η Turbo κωδικοποίηση και η κωδικοποίηση Reed-Solomon που ακολουθείται από έναν συγκεραστικό κώδικα και οι οποίες εφαρμόζονται αλυσιδωτά πάνω στα δεδομένα. Τα RCSTs πρέπει να υλοποιούν και τα δύο σχήματα. Κατά τη διάρκεια μιας συνόδου το RCST δεν καλείται να αλλάξει το σχήμα κωδικοποίησης που χρησιμοποιεί. Και για τα δύο σχήματα, ένας κυκλικός έλεγχος πλεονασμού CRC (Cyclic Redundancy Check) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις CSC και SYNC ριπές έτσι ώστε να γίνει δυνατή η ανίχνευση λαθών.

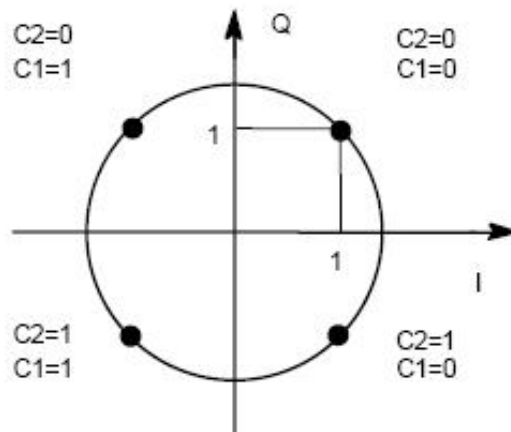
3.7 Διαμόρφωση

Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στο σύστημα DVB-RCS είναι η QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) διαμόρφωση. Η αντιστοίχιση της ακολουθίας των κωδικοποιημένων bits περιγράφεται στην συνέχεια με συντομία. Όλα τα στάδια της διαδικασίας της διαμόρφωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 3-9.



Εικόνα 3-9. Τα στάδια της διαδικασίας της διαμόρφωσης στο DVB-RCS σύστημα

Αρχικά η ακολουθία των bits εισαγωγής (preamble) πρέπει να είναι εναρμονισμένη με το RCST και γνωστοποιείται σε αυτό μέσω του TCT. Αμέσως μετά οι έξοδοι C_1 και C_2 του κωδικοποιητή πρέπει να αποστέλλονται χωρίς να διαμορφώνονται στη διάταξη που αναλαμβάνει να κάνει την αντιστοίχιση των bits. Στο στάδιο αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθεί συμβατική Gray κωδικοποιημένη QPSK διαμόρφωση με πλήρη αντιστοίχιση (μη διαφορική κωδικοποίηση). Η διαδικασία αντιστοίχισης των bits στον αστερισμό του QPSK πρέπει να γίνεται όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-10. Εάν χρησιμοποιηθεί παράγοντας κανονικοποίησης $1/\sqrt{2}$ στις I και Q συνιστώσες, η αντίστοιχη μέση ενέργεια ανά σύμβολο πρέπει να είναι ίση με την μονάδα. Η έξοδος C_1 του κωδικοποιητή αντιστοιχίζεται στο I κανάλι ενώ η έξοδος C_2 στο Q κανάλι της διαμόρφωσης.



Εικόνα 3-10. Αντιστοίχιση των bits στον αστερισμό του QPSK

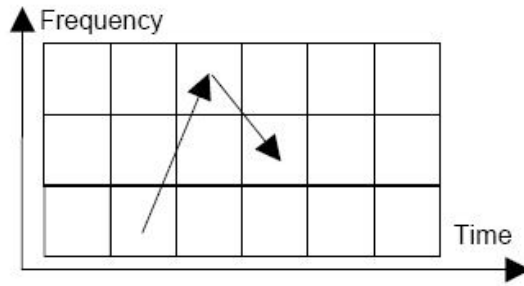
3.8 Πολλαπλή πρόσβαση

Οι μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούνται στο DVB-RCS σύστημα είναι το σταθερό και το δυναμικό MF-TDMA (Multi-Frequency Time Division Multiple Access). Τα RCST πρέπει να δηλώνουν ποιον ή ποιους τρόπους υποστηρίζουν χρησιμοποιώντας το MF-TDMA πεδίο που υπάρχει την CSC ριπή.

3.8.1 Σταθερό MF-TDMA

Στην περίπτωση του σταθερού MF-TDMA, το εύρος ζώνης και η διάρκεια μιας επιτυχούς χρονοθυρίδας κίνησης που χρησιμοποιείται από ένα RCST είναι σταθερά, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 3-11 όπου τα βέλη υποδεικνύουν μια τυπική ακολουθία από χρονοθυρίδες που έχουν εκχωρηθεί από τον NCC. Στην περίπτωση αυτή οι παράμετροι του TCT ενός υπερπλαισίου που ορίζουν τα χαρακτηριστικά της ριπής (ρυθμός συμβόλου, τύπος εσωτερικής κωδικοποίησης, εξωτερική κωδικοποίηση, διαμόρφωση, κ.λπ.) είναι σταθερά. Ένα RCST που

υποστηρίζει σταθερό MF-TDMA μπορεί να στέλνει ένα μείγμα από SYNC και συγκεκριμένου μεγέθους TRF χρονοθυρίδες δεδομένου ότι τα χαρακτηριστικά

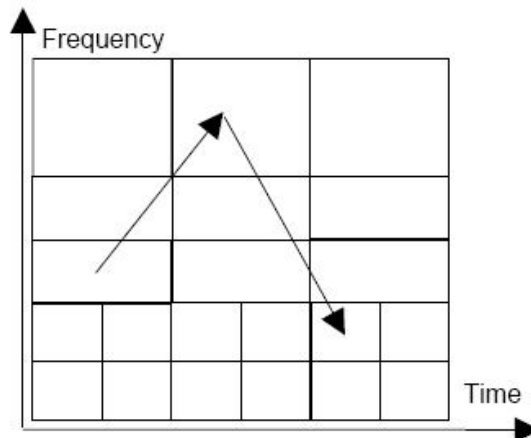


Εικόνα 3-11. Σταθερό MF-TDMA

τους πληρούν τις παραπάνω απαιτήσεις. Εάν ο NCC ζητήσει μια αλλαγή σε αυτές τις παραμέτρους, τότε αυτές θα εφαρμοστούν σε ένα νέο υπερπλαίσιο με κάποια καθυστέρηση.

3.8.2 Δυναμικό MF-TDMA

Το δυναμικό MF-TDMA χρησιμοποιεί επιπρόσθετη ευελιξία του RCST για να επιτρέψει χρονοθυρίδες διαφορετικού εύρους ζώνης και διάρκειας. Επιπροσθέτως, το RCST μπορεί να αλλάξει τον ρυθμό μετάδοσης και τον ρυθμό κώδικα μεταξύ διαδοχικών ριπών. Βέβαια η δυνατότητα αυτή στα RCST είναι προαιρετική. Το πλεονέκτημα ενός περισσότερο ευέλικτου RCST είναι η πιο αποτελεσματική υιοθέτηση του μεγάλου εύρους και ποικιλίας απαιτήσεων μετάδοσης, τυπικό χαρακτηριστικό των πολυμέσων. Ένα παράδειγμα χρονοθυρίδων διαφορετικού εύρους ζώνης και διάρκειας που υποστηρίζεται από ένα ευέλικτο RCST παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-12, όπου τα βέλη δείχνουν τις χρονοθυρίδες που έχουν εκχωρηθεί σε ένα τέτοιο RCST.



Εικόνα 3-12. Δυναμικό MF-TDMA

3.8.2.1 Εύρος συχνότητας στο MF-TDMA

Τα RCST έχουν ένα δεδομένο εύρος για τις αλλαγές της συχνότητας μεταξύ δύο διαδοχικών χρονοθυρίδων. Αυτό το εύρος συχνότητας αποστέλλεται από το RCST στον NCC μέσω της CSC ριπής κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εισαγωγής του RCST στο σύστημα (διαδικασία του logon). Η ικανότητα μετάβασης συχνότητας κάθε RCST είναι στην διακριτική ευχέρεια του κατασκευαστή του και πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 MHz (± 10 MHz από την κεντρική συχνότητα).

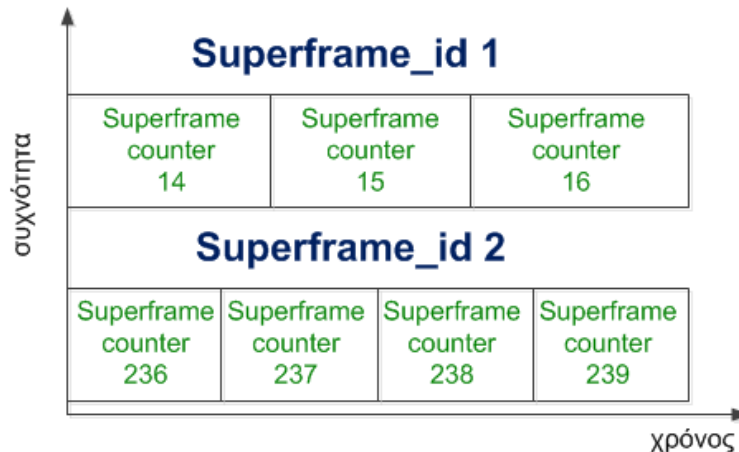
Η ευκινησία της συχνότητας εκφράζεται σε βραχυπρόθεσμη μετάβαση συχνότητας και μακροπρόθεσμος συντονισμός συχνότητας. Η μετάβαση συχνότητας καλύπτει μεταβάσεις μεταξύ γειτονικών χρονοθυρίδων στο χρόνο. Ο χρόνος αποκατάστασης μεταξύ των χρονοθυρίδων δεν πρέπει να ξεπερνά το χρονικό διάστημα προστασίας (guard interval). Σαν δεύτερη επιλογή ο κατασκευαστής μπορεί να δηλώσει ότι το τερματικό χρειάζεται μια ολόκληρη ριπή κίνησης μεταξύ δύο μεταδόσεων σε διαφορετικές συχνότητες φέροντος μέσα σε αυτό το εύρος. Η επιλογή του τερματικού πρέπει κάθε φορά να σηματοδοτείται μέσω της CSC ριπής. Ο συντονισμός συχνότητας καλύπτει την αλλαγή της κεντρικής συχνότητας στις μεταβάσεις. Ο χρόνος αποκατάστασης στην περίπτωση αυτή δεν πρέπει να ξεπερνά το 1 sec.

3.8.3 Κατάτμηση και οργάνωση της χωρητικότητας του καναλιού επιστροφής

Σε ένα δορυφορικό διαδραστικό δίκτυο οι χρονοθυρίδες, που είναι το μικρότερο κομμάτι χωρητικότητας που μπορεί να εκχωρηθεί σε ένα RCST, οργανώνεται και αριθμείται με τέτοιο τρόπο ώστε το δίκτυο να μπορεί να κάνει την κατανομή τους εύκολα και γρήγορα. Στις παρακάτω ενότητες θα δούμε την οργάνωση και την ιεραρχία της χωρητικότητας στο DVB-RCS σύστημα.

3.8.3.1 Υπερπλαίσια

Ένα υπερπλαίσιο (superframe) είναι ένα κομμάτι χρόνου και συχνότητας του καναλιού επιστροφής. Σε ένα δορυφορικό δίκτυο, το Superframe_ID ταυτοποιεί τους πόρους του καναλιού επιστροφής τους οποίους μπορεί να προσπελάσει ένα δεδομένο σύνολο από RCST. Η συνολική χωρητικότητα του καναλιού επιστροφής μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικά σύνολα από RCST και στη συνέχεια το δίκτυο να διαχειρίζεται ξεχωριστά αυτά τα Superframe_ID. Στην Εικόνα 3-13 μπορούμε να δούμε ένα τυπικό παράδειγμα υπερπλαισίων όπου τα Superframe_ID είναι ξεχωριστά σύνολα συχνοτήτων φέροντος.



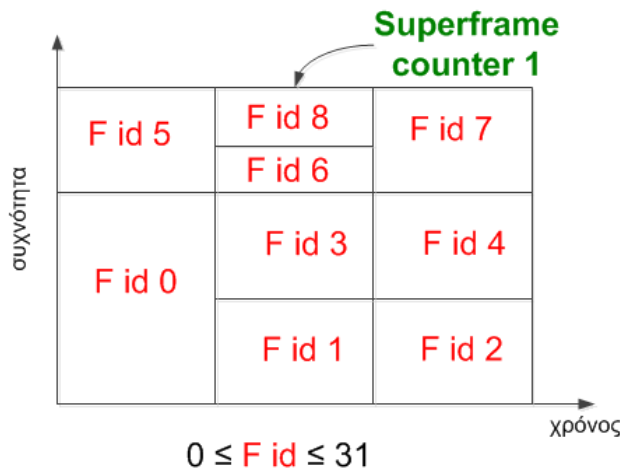
Εικόνα 3-13. Οργάνωση του καναλιού επιστροφής σε υπερπλαίσια στο DVB-RCS

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 3-13, ένα Superframe_ID αποτελείται από διαδοχικά στο χρόνο υπερπλαίσια. Κάθε τέτοιο υπερπλαίσιο ταυτοποιείται στο σύστημα με ένα αύξων αριθμό που ονομάζεται superframe_counter. Η εκχώρηση των χρονοθυρίδων από τον NCC στα τερματικά RCST γίνεται κάθε ένα τέτοιο υπερπλαίσιο και μεταδίδεται σε αυτά μέσω του TBTP (Terminal Burst Time Plan), τη δομή του οποίου θα μελετήσουμε αναλυτικά σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου. Κατά συνέπεια η διάρκεια του υπερπλαισίου είναι η στοιχειώδης χρονική περίοδος για την εκχώρηση των πόρων στα τερματικά. Ένας τερματικός

σταθμός επιτρέπεται να μεταδώσει ριπές μοναχά στις χρονοθυρίδες που του έχουν εκχωρηθεί (αποκλειστική πρόσβαση) ή στις χρονοθυρίδες τυχαίας προσπέλασης (πρόσβαση με ανταγωνισμό). Μερικές χρονοθυρίδες, όπως οι ACQ και SYNC που είδαμε προηγουμένως, μπορούν να εκχωρηθούν σε περιοδικά χρονικά διαστήματα που είναι πολύ μεγαλύτερα από την διάρκεια ενός υπερπλασίου μέσω ξεχωριστών μηνυμάτων TIM (Terminal Information Message). Τα μηνύματα TIM θα τα μελετήσουμε στην συνέχεια. Η περίοδος αυτών των χρονοθυρίδων εξαρτάται από το σύστημα, αλλά συνήθως είναι της τάξης του ενός δευτερολέπτου (1 sec).

3.8.3.2 Πλαίσια

Ένα υπερπλαίσιο αποτελείται από πλαίσια (frames), τα οποία με την σειρά τους αποτελούνται από χρονοθυρίδες. Το πλαίσιο είναι ένα ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ των υπερπλασίων και των χρονοθυρίδων όμως σε αντίθεση με αυτά, που έχουν λειτουργική σημασία για το σύστημα, τα πλαίσια έχουν εισαχθεί μόνο για λόγους σηματοδότησης (στο forward link signaling). Χρησιμοποιούνται για τη διευκόλυνση της αρίθμησης και της οργάνωσης των χρονοθυρίδων. Η διάρκεια του πλαισίου δε χρησιμοποιείται σαν βάση σε καμία διαδικασία εκχώρησης χρονοθυρίδων.



Εικόνα 3-14. Η δομή και η οργάνωση ενός υπερπλασίου σε πλαίσια

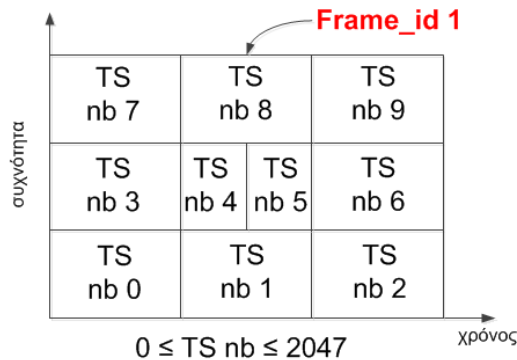
Μέσα σε ένα υπερπλαίσιο, τα πλαίσια αριθμούνται από το μηδέν μέχρι το N, ταξινομημένα πρώτα στο χρόνο και έπειτα στην συχνότητα, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 3-14. Έτσι, το πλαίσιο μηδέν είναι αυτό με την μικρότερη συχνότητα και το πρώτο χρονικά ενώ το N έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα και είναι το τελευταίο χρονικά αντίστοιχα. Το N μπορεί να είναι μικρότερο ή ίσο του 31. Τα πλαίσια και τα υπερπλαίσια μπορεί να μην έχουν όλα την ίδια διάρκεια, το ίδιο εύρος ζώνης και το ίδιο πλήθος χρονοθυρίδων. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζουμε ένα τέτοιο παράδειγμα. Σαφώς στην απλούστερη περίπτωση όλα αυτά τα χαρακτηριστικά παραμένουν σταθερά. Κάθε πλαίσιο χαρακτηρίζεται από έναν αύξων αριθμό που ονομάζεται frame_id.

3.8.3.3 Χρονοθυρίδες

Ένα πλαίσιο αποτελείται από χρονοθυρίδες. Ένα frame_id ορίζει μια συγκεκριμένη αλληλουχία χρονοθυρίδων. Παραδείγματος χάριν, το frame_id=1 μπορεί να ορίζει μια ακολουθία από 10 χρονοθυρίδες κίνησης ενός χρήστη στο ίδιο φέρον και το frame_id=2 μια ακολουθία από 4 χρονοθυρίδες ελέγχου και 8 χρονοθυρίδες κίνησης οι οποίες είναι και αυτές όλες πάνω στο ίδιο φέρον. Ένα

πλαίσιο όμως μπορεί να εκτείνεται και σε μερικές συχνότητες φέροντος. Ένα παράδειγμα της σύνθεσης ενός πλαισίου από χρονοθυρίδες παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-15.

Μέσα σε ένα πλαίσιο οι χρονοθυρίδες αριθμούνται από το μηδέν μέχρι το M, όπου το M μπορεί να είναι μικρότερο ή ίσο με 2047. Η αρίθμηση γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στην αρίθμηση των πλαισίων. Έτσι, η χρονοθυρίδα μηδέν είναι αυτή με τη μικρότερη συχνότητα που είναι πρώτη χρονικά ενώ η M είναι η



Εικόνα 3-15. Η δομή και η οργάνωση ενός πλαισίου σε χρονοθυρίδες

τελευταία χρονικά χρονοθυρίδα που βρίσκεται στην μεγαλύτερη συχνότητα.

Στη διαδικασία της εκχώρησης πόρων στα τερματικά, κάθε χρονοθυρίδα προσδιορίζεται μοναδικά από τις τιμές των παραμέτρων Superframe_ID, Superframe_counter, Frame_number ή Frame_id και Timeslot_number. Κάθε RCST πρέπει να επεξεργαστεί το TBTP μήνυμα που λαμβάνει από τον NCC έτσι ώστε να ενημερωθεί για τη χρονική στιγμή και τη διάρκεια που του έχει δοθεί για να μεταδώσει την πληροφορία του στο κανάλι επιστροφής κατά τη διάρκεια του επόμενου υπερπλασίου. Ο μέγιστος χρόνος καθυστέρησης από τη στιγμή που λαμβάνεται το TBTP μήνυμα μέχρι τη στιγμή που το RCST είναι έτοιμο να μεταδώσει στις χρονοθυρίδες που του έχουν εκχωρηθεί δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 90 msec.

3.9 Κατηγορίες αίτησης χωρητικότητας

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου, στο DVB-RCS σύστημα υπάρχουν πέντε κατηγορίες αίτησης χωρητικότητας. Η κάθε κατηγορία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και ανάλογα με την υπηρεσία που επιθυμεί να ικανοποιήσει το τερματικό αιτείται τους πόρους που χρειάζεται χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη κατηγορία. Το τερματικό μπορεί να κάνει διάφορους συνδυασμούς ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες. Στις ενότητες που ακολουθούν θα αναλύσουμε την κάθε μια κατηγορία ξεχωριστά και θα αναφέρουμε για κάθε περίπτωση όλους τους δυνατούς συνδυασμούς της.

3.9.1 Continuous Rate Assignment (CRA)

Η εκχώρηση συνεχούς ρυθμού (CRA) είναι ένας σταθερός εγγυημένος ρυθμός ο οποίος διακανονίζεται και συμφωνείται κατά την έναρξη της DVB-RCS σύνδεσης μεταξύ του τερματικού και του NCC. Στη συνέχεια ο ρυθμός αυτός πρέπει να παρέχεται εξ ολοκλήρου σε κάθε υπερπλαίσιο μέχρι τη λήξη της συνόδου. Η CRA χωρητικότητα πρέπει να χρησιμοποιείται για υπηρεσίες που απαιτούν σταθερό εγγυημένο ρυθμό, ελάχιστη καθυστέρηση και ελάχιστες μεταβολές (jitter) στην καθυστέρηση.

3.9.2 Rate Based Dynamic Capacity (RBDC)

Η RBDC είναι μια χωρητικότητα που αιτείται δυναμικά από τον RCST και είναι σε μορφή ρυθμού, δηλαδή το τερματικό αιτείται το ρυθμό μετάδοσης που χρειάζεται για να καλύψει μια ή περισσότερες υπηρεσίες. Η RBDC χωρητικότητα πρέπει να παρέχεται σε απάντηση ρητών αιτήσεων από το RCST στον NCC, οι οποίες πρέπει να είναι απόλυτες, που σημαίνει ότι πρέπει κάθε τερματικό να αιτείται κάθε φορά το ρυθμό που χρειάζεται. Κάθε νέο αίτημα πρέπει να αντιπαρέχεται όλων των προηγούμενων RBDC αιτημάτων από το ίδιο RCST και πρέπει να είναι μικρότερο από το μέγιστο δυνατό ρυθμό που μπορεί να αιτηθεί το συγκεκριμένο τερματικό. Ο μέγιστος αυτός ρυθμός, που αντιπροσωπεύεται από την παράμετρο RBDC_{max}, διακανονίζεται μεταξύ του NCC και του τερματικού κατά την διάρκεια της εισαγωγής του τελευταίου στο σύστημα (διαδικασία του logon) μέσω των πινάκων που ανταλλάσσουν μεταξύ τους. Για τους πίνακες αυτούς θα μιλήσουμε πιο αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

Για να αποτραπεί κάποια λειτουργική ανωμαλία με χωρητικότητα που έχει ζητηθεί από ένα τερματικό στο παρελθόν, η τελευταία RBDC αίτηση χωρητικότητας που έχει ληφθεί από τον NCC πρέπει αυτόματα να λήγει μετά από μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η προκαθορισμένη τιμή της οποίας είναι τα 2 υπερπλαίσια. Οι υπόλοιπες δυνατές τιμές που μπορεί να πάρει είναι από 1 έως και 15 υπερπλαίσια, ενώ αν πάρει την τιμή μηδέν ο μηχανισμός αυτός απενεργοποιείται. Μετά το πέρας της χρονικής αυτής περιόδου ο RBDC ρυθμός παίρνει την τιμή μηδέν. Έτσι εάν ένα τερματικό δεν στείλει κάποια αίτηση για RBDC χωρητικότητα και δεν έχει παρέλθει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα, τότε ο NCC θεωρεί ότι το τερματικό έχει αιτηθεί τον ίδιο RBDC ρυθμό με το προηγούμενο υπερπλαίσιο.

Η RBDC χωρητικότητα πρέπει να χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταβλητού ρυθμού που μπορούν να ανεχθούν καθυστερήσεις. Πέραν τούτου, οι CRA και RBDC χωρητικότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με τέτοιο τρόπο ώστε η CRA να παρέχει μια σταθερή ελάχιστη χωρητικότητα ανά υπερπλαίσιο και η RBDC μια συνιστώσα δυναμικής διακύμανσης που προστίθεται σε αυτή.

3.9.3 Volume Based Dynamic Capacity (VBDC)

Η VBDC είναι μια χωρητικότητα που αιτείται το δορυφορικό τερματικό δυναμικά και σε μορφή ποσότητας σε Bytes ή σε χρονοθυρίδες που έχουν δεδομένο μέγεθος. Η χωρητικότητα αυτή πρέπει να παρέχεται σε απάντηση ρητών αιτημάτων από το RCST προς τον NCC. Τα αιτήματα αυτά είναι αθροιστικά, που σημαίνει ότι η χωρητικότητα που αιτείται κάθε τερματικό προστίθεται στις προηγούμενες που έχει ζητήσει το ίδιο. Μπορούμε να το φανταστούμε σαν μια στοίβα, μια για κάθε RCST τις οποίες διαχειρίζεται ο NCC, η οποία περιέχει τα VBDC bytes που αιτείται το τερματικό. Σε κάθε υπερπλαίσιο το RCST αιτείται μια ποσότητα bytes η οποία προστίθεται στο περιεχόμενο της στοίβας το οποίο, αφού γίνει η κατανομή των πόρων από τον NCC, μειώνεται κατά τη VBDC χωρητικότητα που τελικά εκχωρείται στο τερματικό για το επόμενο υπερπλαίσιο. Η VBDC χωρητικότητα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για υπηρεσίες που μπορούν να ανεχθούν μεταβολές (jitter) στην καθυστέρηση, αφού παρέχει μια επέκταση χωρητικότητας χαμηλής προτεραιότητας επιπλέον του εγγυημένου ορίου των RBDC και CRA κατηγοριών.

3.9.4 Absolute Volume Based Dynamic Capacity (AVBDC)

Η AVBDC είναι μια χωρητικότητα που αιτείται το δορυφορικό τερματικό δυναμικά και σε μορφή ποσότητας σε Bytes ή σε χρονοθυρίδες που έχουν δεδομένο μέγεθος. Η χωρητικότητα αυτή πρέπει να παρέχεται σε απάντηση ρητών αιτημάτων από το RCST προς τον NCC. Η διαφορά με την VBDC κατηγορία έγκειται στο γεγονός ότι τα αιτήματα αυτά είναι απόλυτα, που σημαίνει ότι μια αίτηση χωρητικότητας αντιπαράχεται προηγούμενες αιτήσεις από το ίδιο τερματικό. Η AVBDC χωρητικότητα χρησιμοποιείται αντί της RBDC όταν το RCST αντιληφθεί ότι το VBDC αίτημα μπορεί να χαθεί, για παράδειγμα στην περίπτωση μικρο-χρονοθυρίδων ανταγωνισμού.

3.9.5 Free Capacity Assignment (FCA)

Η FCA είναι μια χωρητικότητα που δίνεται στα τερματικά, με τη μορφή ποσότητας σε Bytes ή σε χρονοθυρίδες δεδομένου μεγέθους, η οποία σε άλλη περίπτωση θα παρέμενε αχρησιμοποίητη. Αυτή η εκχώρηση χωρητικότητας πρέπει να γίνεται αυτόματα και δεν πρέπει να εμπλέκει κανενός είδους σηματοδότηση μεταξύ του NCC και των δορυφορικών τερματικών. Επιπροσθέτως, ο NCC έχει την δυνατότητα να αναστείλει τη χωρητικότητα από όποια τερματικά χρειαστεί.

Η FCA κατηγορία δεν πρέπει να αντιστοιχίζεται σε κανένα είδος υπηρεσίας μιας και η διαθεσιμότητα της είναι ασταθής σε μεγάλο βαθμό. Οι πόροι που εκχωρούνται μέσω της κατηγορίας αυτής έχει την μορφή μιας επιπλέον χωρητικότητας που σκοπό έχει να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση των καθυστερήσεων σε υπηρεσίες που μπορούν να ανεχθούν μεταβολές (jitter) στην καθυστέρηση.

3.10 Βασικοί πίνακες στο DVB-RCS σύστημα

Το DVB σύστημα ορίζει ένα σύνολο από πίνακες που έχουν δημιουργηθεί με βάση τους PSI πίνακες του MPEG προτύπου για να παρέχουν λεπτομερειακή πληροφόρηση σχετικά με τα χαρακτηριστικά και την κατάσταση του δικτύου. Αυτοί οι πίνακες ονομάζονται πίνακες Υπηρεσίας Πληροφοριών (SI – Service Information). Σε ένα αμφίδρομο Δορυφορικό Διαδραστικό Δίκτυο, όπου και τα δύο κανάλια επικοινωνίας είναι δορυφορικά, οι πληροφορίες ελέγχου του μέσου πρόσβασης και η λοιπή σηματοδότηση μεταδίδονται μέσω του ορθού καναλιού, δηλαδή του καναλιού από τον NCC στα δορυφορικά τερματικά, και πρέπει να μεταδίδονται με έναν συμβατό τρόπο με το DVB. Για το λόγο αυτό ορίστηκαν οι DVB SI πίνακες. Η σηματοδότηση ορθού καναλιού (forward link signaling) αποτελείται από αυτούς τους πίνακες, οι οποίοι μεταφέρουν πληροφορία που αφορά τη δομή του δορυφορικού διαδραστικού δικτύου, ειδικά μηνύματα των τερματικών προς συγκεκριμένα δορυφορικά τερματικά, προσωπικά πεδία δεδομένων, ειδικά πακέτα ροής μεταφοράς (TS πακέτα) και ειδικούς περιγραφείς.

Στα πλαίσια αυτής της διατριβής θα μελετήσουμε μόνο εκείνους τους πίνακες που θα χρησιμοποιήσουμε ή που φέρουν πληροφορία που θα χρειαστούμε. Θα αναφέρουμε τη δομή και τη λειτουργία των πινάκων αυτών και θα επεξηγήσουμε τις παραμέτρους εκείνες που θα συναντήσουμε και στη συνέχεια. Συνεπώς, θα ξεκινήσουμε με τη μελέτη των πινάκων SCT, FCT και TCT, οι οποίοι φέρουν πληροφορία για την κατάτμηση και οργάνωση της χωρητικότητας του καναλιού επιστροφής. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε εν συντομία, εστιάζοντας στα σημεία που μας ενδιαφέρουν, τον πίνακα TIM, ο οποίος περιέχει ειδικά μηνύματα που μπορεί να αφορούν ένα και μόνο τερματικό ή ένα δεδομένο σύνολο αυτών. Ολοκληρώνοντας την ενότητα, θα αναλύσουμε

διεξοδικά τα πεδίο SAC (Satellite Access Control), μέσω του οποίου το τερματικό στέλνει στον NCC τις αιτήσεις του για πόρους του συστήματος, και το TBTP (Terminal Burst Time Plan), μέσω του οποίου ο NCC γνωστοποιεί στα τερματικά τους πόρους που τελικά τους έχει εκχωρήσει.

Μια σημαντική παράμετρος που συναντάμε σε πολλούς πίνακες είναι η ταυτότητα του τερματικού ή των τερματικών στα οποία μεταδίδεται. Στην σηματοδότηση ορθού καναλιού, κάθε RCST πρέπει να αναγνωρίζεται μοναδικά μέσω μιας φυσικής MAC διεύθυνσης και μίας λογικής διεύθυνσης. Η MAC διεύθυνση είναι μια φυσική διεύθυνση που αποθηκεύεται σε μια μνήμη μόνιμης αποθήκευσης. Η διεύθυνση αυτή αντιστοιχεί σε μια μοναδική φυσική ταυτότητα του RCST αποτελείται από 48 bits. Η τιμή 0xFFFFFFFF πρέπει να κρατείται για την ευρυεκπομπή προς όλα τα τερματικά. Από την άλλη μεριά, η λογική διεύθυνση αποτελείται από δύο πεδία, το Group_ID και το Logon_ID, τα οποία εκχωρούνται σε κάθε RCST κατά την διάρκεια της εισαγωγής τους στο σύστημα και χρησιμοποιούνται για την διευθυνσιοδότηση των τερματικών μέχρι την έξοδο τους από αυτό. Το Group_ID αντιστοιχεί σε ένα σύνολο από τερματικά που έχουν εισαχθεί στο σύστημα και αποτελείται από 8 bits. Η τιμή 0xFF πρέπει να κρατείται για χρήση από το σύστημα. Το Logon_ID ταυτοποιεί μοναδικά ένα RCST που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο Group_ID από τερματικά. Η τιμή του πρέπει να αποτελείται από 16 bits ενώ η τιμή 0xFFFF πρέπει να κρατείται για χρήση από το σύστημα.

3.10.1 Πίνακας σύνθεσης των υπερπλαισίων (SCT)

Ο SCT πίνακας μεταφέρει πληροφορίες σχετικές με την οργάνωση του δορυφορικού διαδραστικού δικτύου και πιο συγκεκριμένα για την υποδιαίρεση της δομής του σε πλαίσια. Ο συνδυασμός των παραμέτρων `interactive_network_id` και `superframe_id` επιτρέπει σε κάθε υπερπλαίσιο να αναγνωρίζεται μοναδικά. Σε κάθε δορυφορικό διαδραστικό δίκτυο εκχωρείται μια μοναδική ταυτότητα, που ονομάζεται `interactive_network_id`, η οποία χρησιμοποιείται σαν μοναδικός κωδικός αναγνώρισης μέσα στο δίκτυο.

Ο πίνακας σύνθεσης των υπερπλαισίων περιγράφει την υποδιαίρεση ολόκληρου του δορυφορικού δικτύου σε υπερπλαίσια και πλαίσια. Για κάθε υπερπλαίσιο περιέχονται η ταυτότητα του υπερπλαισίου, η κεντρική του συχνότητα, μια απόλυτη χρονική στιγμή έναρξης εκφρασμένη σαν NCR τιμή και η αρίθμηση του υπερπλαισίου. Κάθε υπερπλαίσιο στη συνέχεια διαιρείται σε πλαίσια, καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από έναν αύξοντα αριθμό που ονομάζεται `frame_id`. Η θέση του πλαισίου μέσα στο υπερπλαίσιο δίνεται από τον αριθμό του πλαισίου, όπως τον περιγράψαμε στην ενότητα 3.8.3, που χρησιμοποιείται για την εκχώρηση των χρονοθυρίδων στο TBTP. Τα πλαίσια αυτά τοποθετούνται αναφορικά με την κεντρική συχνότητα και τη χρονική στιγμή της έναρξης του υπερπλαισίου μέσα στο οποίο βρίσκονται.

Πίνακας 3-1. Σύνταξη ενός τμήματος του πίνακα SCT

Syntax	No. of bits	
	Reserved (see note)	Information
Superframe composition section(){		
SI_private_section_header		64
superframe_loop_count		8
for(i=0;i<=superframe_loop_count;i++){		
superframe_id		8
uplink_polarization	6	2
superframe_start_time_base		33
superframe_start_time_ext	6	9
superframe_duration		32
superframe_centre_frequency		32
superframe_counter		16
frame_loop_count	3	5
for(j=0;j<=frame_loop_count;j++){		
frame_id		8
frame_start_time		32
frame_centre_frequency_offset		24
}		
}		
CRC_32		32
}		
NOTE: Reserved bits shall precede the Information bits on the same line.		

Όλα τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να τα δούμε στον Πίνακα 3-1 που ακολουθεί, ο οποίος περιγράφει τη σύνταξη ενός τμήματος του πίνακα SCT. Ο πίνακας SCT διαιρείται σε τμήματα που έχουν συγκεκριμένη ταυτότητα PID και table_id, εάν είναι αρκετά μεγάλος για να μεταδοθεί μέσω ενός TS πακέτου. Κάθε παράμετρος του πίνακα αναλύεται στην συνέχεια.

Επεξήγηση των παραμέτρων του πίνακα SCT:

- SI_private_section_header: Το πεδίο αυτό αποτελεί μια πρότυπη επικεφαλίδα των SI πινάκων, μήκους 64 bits, η οποία περιέχει πληροφορίες που αφορούν τον συγκεκριμένο πίνακα.
- Superframe_loop_count: Το πεδίο αυτό, μήκους 8 bits, περιέχει το πλήθος των επαναλήψεων που πρόκειται να ακολουθήσουν μειωμένο κατά ένα. Η τιμή μηδέν αντιστοιχεί σε μια επανάληψη.

Πίνακας 3-2. Ορισμός της πολυπλοκότητας του σήματος

Polarization	Value
linear - horizontal	00
linear - vertical	01
circular - left	10
circular - right	11

- Superframe_id: Το πεδίο αυτό, μήκους 8 bits, χρησιμοποιείται για να αναγνωρίζεται μοναδικά το υπερπλαίσιο μεταξύ των υπολοίπων μέσα στο δορυφορικό διαδραστικό δίκτυο.

- Uplink_polarization: Το πεδίο αυτό, μήκους 2 bits, προσδιορίζει την πολικότητα του μεταδιδόμενου σήματος σύμφωνα με τον Πίνακα 3-2.
- Superframe_start_time_base και superframe_start_time_ext: Τα δύο αυτά πεδία προσδιορίζουν την απόλυτη χρονική στιγμή της έναρξης του υπερπλασιού με ταυτότητα superframe_id. Οι δύο τιμές είναι η βάση και η επέκταση της τιμής αντίστοιχα.
- Superframe_duration: Το πεδίο αυτό, μήκους 32 bits, περιέχει την διάρκεια του υπερπλασιού αυτού. Τα 32 bits αντιστοιχούν σε μέγιστη διάρκεια 93,2 sec.
- Superframe_centre_frequency: Το πεδίο αυτό, μήκους 32 bits, περιέχει την πλήρη τιμή της κεντρικής συχνότητας του υπερπλασιού. Η συχνότητα αυτή δίνεται σε πολλαπλάσια των 100 Hz.
- Superframe_counter: Το πεδίο αυτό, μήκους 16 bits, περιέχει τον αύξοντα αριθμό του υπερπλασιού εκφρασμένο σαν το υπόλοιπο της διαίρεσής του με το 65536 (modulo 65536). Χρησιμοποιείται για να αποφευχθεί οποιαδήποτε αμφιβολία κατά την επεξεργασία του TBTP μηνύματος.
- Frame_loop_count: Το πεδίο αυτό, μήκους 5 bits, περιέχει το πλήθος των επαναλήψεων που πρόκειται να ακολουθήσουν μειωμένο κατά ένα. Η τιμή μηδέν αντιστοιχεί σε μια επανάληψη. Η αρίθμηση των πλαισίων ακολουθεί την συμβατική αρίθμηση που περιγράψαμε στην ενότητα 3.8.3.
- Frame_id: Είναι η ταυτότητα του τύπου του j-ιοστού πλαισίου, σύμφωνα με το τύπο του πλαισίου που ορίζεται στο FCT.
- Frame_start_time: Το πεδίο αυτό, μήκους 32 bits, περιέχει τη χρονική στιγμή της έναρξης του j-ιοστού πλαισίου σε σχέση με την χρονική στιγμή της έναρξης του υπερπλασιού μέσα στο οποίο βρίσκεται. Τα 32 bits αντιστοιχούν σε μέγιστη τιμή 93,2 sec.
- Frame_centre_frequency_offset: Το πεδίο αυτό, μήκους 24 bits, περιέχει την προσημασμένη τιμή της μετατόπισης της κεντρικής συχνότητας του j-ιοστού πλαισίου από την παράμετρο superframe_centre_frequency του SCT πίνακα. Η συχνότητα δίνεται σε πολλαπλάσια των 100 Hz.
- CRC_32: Το πεδίο αυτό δίνει την τιμή του CRC κώδικα μήκους 32 bits.

3.10.2 Πίνακας σύνθεσης του πλαισίου (FCT)

Ο FCT πίνακας μεταδίδει πληροφορία σχετικά με το διαμερισμό των πλαισίων σε χρονοθυρίδες. Πιο συγκεκριμένα, ορίζει την δομή στο συχνотικό και χρονικό χώρο για κάθε τύπου πλαισίου. Ο πίνακας περιέχει για κάθε frame_id τη διάρκεια του πλαισίου, το συνολικό πλήθος των χρονοθυρίδων από τις οποίες αποτελείται το πλαίσιο καθώς επίσης και τους χρόνους έναρξης και τις μετατοπίσεις συχνότητας των χρονοθυρίδων αυτών. Οι παράμετροι μετάδοσης (όπως για παράδειγμα ο ρυθμός συμβόλου, ο ρυθμός κώδικα, κ.λπ.) κάθε χρονοθυρίδας αναφέρονται μέσω της ταυτότητας κάθε χρονοθυρίδας, που συμβολίζεται με την παράμετρο timeslot_id, στην περιγραφή που περιέχεται στον πίνακα TCT. Στον Πίνακα 3-3 παρουσιάζεται η σύνταξη ενός τμήματος του FCT πίνακα και στη συνέχεια αναλύονται οι παράμετροι από τις οποίες αποτελείται. Όπως και στον SCT πίνακα, ο FCT πίνακας θα διαιρεθεί σε τμήματα που έχουν συγκεκριμένη ταυτότητα PID και table_id, εάν είναι αρκετά μεγάλος για να μεταδοθεί μέσω ενός TS πακέτου.

Πίνακας 3-3. Σύνταξη ενός τμήματος του πίνακα FCT

Syntax	No. of bits	
	Reserved (see note)	Information
Frame composition section(){		
SI private section header		64
frame ID loop count		8
for(i=0;i<=frame_ID_loop_count;i++){		
frame_id		8
frame_duration		32
total timeslot count	5	11
start timeslot number	5	11
timeslot loop count		8
for(j=0;j<=timeslot_loop_count;j++){		
timeslot frequency offset		24
timeslot time offset		32
timeslot id		8
repeat count		8
}		
}		
CRC 32		32
}		
NOTE: Reserved bits shall precede the Information bits on the same line.		

Επεξήγηση των παραμέτρων του πίνακα FCT:

- **SI_private_section_header:** Το πεδίο αυτό αποτελεί μια πρότυπη επικεφαλίδα των SI πινάκων, μήκους 64 bits, η οποία περιέχει πληροφορίες που αφορούν τον συγκεκριμένο πίνακα.
- **Frame_ID_loop_count:** Το πεδίο αυτό, μήκους 8 bits, περιέχει το πλήθος των επαναλήψεων που πρόκειται να ακολουθήσουν μειωμένο κατά ένα. Η τιμή μηδέν αντιστοιχεί σε μια επανάληψη.
- **Frame_id:** Το πεδίο αυτό, μήκους 8 bits, είναι η ταυτότητα του τύπου του i-ιοστού πλαισίου που τα διακρίνει από τους υπόλοιπους τύπους πλαισίων.
- **Frame_duration:** Το πεδίο αυτό, μήκους 32 bits, περιέχει την διάρκεια του i-ιοστού πλαισίου. Τα 32 bits αντιστοιχούν σε μέγιστη διάρκεια 93,2 sec.
- **Total_timeslot_count:** Το πεδίο αυτό, μήκους 11 bits, ορίζει το συνολικό πλήθος των χρονοθυρίδων από τις οποίες αποτελείται το i-ιοστό πλαίσιο.
- **Start_timeslot_number:** Το πεδίο αυτό, μήκους 11 bits, ορίζει τον αύξων αριθμό, σύμφωνα με την περιγραφή της ενότητας 3.1.2, της πρώτης χρονοθυρίδας του i-ιοστού πλαισίου του συγκεκριμένου τμήματος του FCT. Αυτό το πεδίο απλοποιεί την διαδικασία του διαμερισμού ενός πλαισίου σε τμήματα, αφού ο ορισμός της δομής ενός μη ομογενούς πλαισίου μπορεί να ξεπεράσει την χωρητικότητα ενός τμήματος.
- **Timeslot_loop_count:** Το πεδίο αυτό, μήκους 8 bits, περιέχει το πλήθος των επαναλήψεων που πρόκειται να ακολουθήσουν μειωμένο κατά ένα. Η τιμή μηδέν αντιστοιχεί σε μια επανάληψη. Η σειρά ακολουθεί την αρίθμηση που περιγράψαμε στην ενότητα 3.1.2, ξεκινώντας από την τιμή Start_timeslot_number.

- **Timeslot_frequency_offset:** Το πεδίο αυτό, μήκους 24 bits, περιέχει την προσημασμένη τιμή της μετατόπισης της κεντρικής συχνότητας του j-ιοστής χρονοθυρίδας από την παράμετρο `frame_centre_frequency` του FCT πίνακα. Η συχνότητα δίνεται σε πολλαπλάσια των 100 Hz.
- **Timeslot_time_offset:** Το πεδίο αυτό, μήκους 32 bits, περιέχει την χρονική μετατόπιση του j-ιοστού συνόλου χρονοθυρίδων σε σχέση με την χρονική στιγμή της έναρξης του πλαισίου μέσα στο οποίο βρίσκεται. Τα 32 bits αντιστοιχούν σε μέγιστη τιμή 93,2 sec.
- **Timeslot_id:** Το πεδίο αυτό, μήκους 8 bits, ορίζει τον τύπο χρονοθυρίδας για το j-ιοστό σύνολο χρονοθυρίδων, σύμφωνα με το `timeslot_id` που ορίζεται στο TCT.
- **Repeat_count:** Η τιμή αυτού του πεδίου, μήκους 8 bits, είναι το πλήθος των επαναλήψεων του προηγούμενου τύπου χρονοθυρίδων που δίνεται από την παράμετρο `timeslot_id`. Η τιμή είναι μειωμένη κατά ένα από το πλήθος των επιτυχών χρονοθυρίδων του ίδιου τύπου. Όλες οι επαναλήψεις πρέπει να έχουν την ίδια τιμή του `Timeslot_frequency_offset`, αλλά η τιμή του `Timeslot_time_offset` πρέπει να είναι αυξημένη από την τιμή της προηγούμενης χρονοθυρίδας κατά την τιμή `timeslot_duration` που βρίσκεται στο TCT για το δεδομένο `timeslot_id`.
- **CRC_32:** Το πεδίο αυτό δίνει την τιμή του CRC κώδικα μήκους 32 bits.

3.10.3 Πίνακας σύνθεσης χρονοθυρίδας (TCT)

Ο πίνακας TCT ορίζει τις παραμέτρους μετάδοσης για τύπο χρονοθυρίδας που προσδιορίζεται από την ταυτότητα της χρονοθυρίδας `timeslot_id`. Η `timeslot_id` επιτρέπει κάθε είδος χρονοθυρίδας να αναγνωρίζεται μοναδικά. Ο πίνακας παρέχει πληροφορίες για τις ιδιότητες της χρονοθυρίδας όπως ο ρυθμός συμβόλου, ο ρυθμός κώδικα, η ακολουθία εισαγωγής (preamble), το είδος του περιεχομένου της χρονοθυρίδας (TRF με κελιά ATM, TRF με MPEG TS πακέτα, CSC,ACQ,SYNC) και άλλες. Μόνο οι ιδιότητες της χρονοθυρίδας περιγράφονται σε αυτό τον πίνακα, οι συνιστώσες χρόνου και συχνότητας περιέχονται στους

Πίνακας 3-4. Σύνταξη ενός τμήματος του πίνακα TCT

Syntax	No. of bits	
	Reserved (see note)	Information
Timeslot_composition_section(){		
SI_private_section_header		64
timeslot_loop_count		8
For(i=0;i <= timeslot_loop_count;i++){		
timeslot_id		8
symbol_rate		24
timeslot_duration		24
burst_start_offset		16
inner_code_type		1
inner_code_ordering		1
outer_coding		2
inner_code_puncturing		4
modulation		5
baseband_shaping		3
timeslot_payload_type		8
Route_ID_flag		1
ACM_flag		1
SAC_length	1	5
request_flag		1
M_and_C_flag		1
Group_ID_flag		1
Logon_ID_flag		1
capacity_requests_number		3
New_permutation		1
If((Inner_code_type == 1) and (New_permutation == 1)){		
P0	3	5
P1	6	10
P2	6	10
P3	6	10
}		
preamble_length		8
for(j=0;j < preamble_length;j++){		
preamble_symbol		2
}		
while (!bytealigned){		
stuffing_bit }		1
}		
CRC_32		32
}		

NOTE: Reserved bits shall precede the Information bits on the same line.

πίνακες SCT και FCT. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, ο TCT πίνακας θα διαιρεθεί σε τμήματα που έχουν συγκεκριμένη ταυτότητα PID και `table_id` εάν

είναι αρκετά μεγάλος για να μεταδοθεί μέσω ενός TS πακέτου. Στον Πίνακα 3-4 παρουσιάζουμε τη σύνταξη ενός τμήματος TCT πίνακα.

Επεξήγηση των παραμέτρων του πίνακα FCT:

- **SI_private_section_header:** Το πεδίο αυτό αποτελεί μια πρότυπη επικεφαλίδα των SI πινάκων, μήκους 64 bits, η οποία περιέχει πληροφορίες που αφορούν τον συγκεκριμένο πίνακα.
- **Timeslot_loop_count:** Το πεδίο αυτό, μήκους 8 bits, περιέχει το πλήθος των επαναλήψεων που πρόκειται να ακολουθήσουν μειωμένο κατά ένα. Η τιμή μηδέν αντιστοιχεί σε μια επανάληψη.
- **Timeslot_id:** Το πεδίο αυτό, μήκους 8 bits, χρησιμοποιείται σαν ταυτότητα της i-οστής χρονοθυρίδας συμπεριλαμβανομένου και όλων των ιδιοτήτων της χρονοθυρίδας αυτής.
- **Symbol_rate:** Αυτό το πεδίο, μήκους 24 bits, περιέχει το ρυθμό συμβόλου σε σύμβολα/sec.
- **Timeslot_duration:** Αυτό το πεδίο, μήκους 24 bits, ορίζει τη διάρκεια της χρονοθυρίδας. Τα 24 bits αντιστοιχούν σε μέγιστη διάρκεια 364 msec.
- **Burst_start_offset:** Αυτό το πεδίο, μήκους 16 bits, ορίζει την απόκλιση της αρχής της ριπής από την αρχή της χρονοθυρίδας. Τα 16 bits αντιστοιχούν σε μέγιστη διάρκεια 1,42 msec.
- **Inner_code_type:** Αυτό το bit καθορίζει την εσωτερική κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται. Η τιμή "0" αντιστοιχεί στο K=7 συγκεραστικό κώδικα ενώ η τιμή "1" στον Turbo κώδικα.
- **Inner_code_ordering:** Αυτό το bit καθορίζει την σειρά της μετάδοσης του κωδικοποιημένου μπλοκ για τον Turbo κώδικα. Η τιμή "0" αντιστοιχεί στην κανονική σειρά ενώ η τιμή "1" στην αντίστροφη. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε συγκεραστικό κώδικα το bit αυτό κρατείται ως εφεδρικό.
- **Outer_coding:** Αυτά τα 2 bits καθορίζουν την μέθοδο εξωτερικής κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται. Η τιμή "01" αντιστοιχεί στην χρήση RS κώδικα, η τιμή "10" στην χρήση CRC κώδικα ανίχνευσης σφάλματος, η τιμή

Πίνακας 3-5. Ρυθμοί κώδικα εσωτερικής κωδικοποίησης

Code Rate	Value 0000 0001	K = 7 0011 0100	Turbo 1111
1/2	0000	x	x
2/3	0001	x	x
3/4	0010	x	x
5/6	0011	x	Not used
7/8	0100	x	Not used
1/3	0101	Not used	x
2/5	0110	Not used	x
4/5	0111	Not used	x
6/7	1000	Not used	x
Reserved for future use	1001 to 1110		
Inner code is omitted	1111	x	x
NOTE: x means supported.			

"00" στη χρήση και των δύο παραπάνω κωδίκων και η τιμή "11" στη μη εφαρμογή κανενός εκ των δύο κωδίκων.

- **Inner_code_puncturing:** Αυτό το πεδίο, μήκους 24 bits, καθορίζει τους ρυθμούς εσωτερικής κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται, σε συνδυασμό με την εσωτερική κωδικοποίηση που έχει επιλεγεί, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.5.
- **Modulation:** Το πεδίο αυτό, μήκους 5 bits, καθορίζει το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται. Η τιμή “0000” δεν ορίζεται, η τιμή “0001” δηλώνει QPSK διαμόρφωση, ενώ οι τιμές από “00010” έως “11111” διαφυλάσσονται για μελλοντική χρήση.
- **Baseband_shaping:** Αυτά τα 3 bits καθορίζουν το σχήμα του σήματος βασικής ζώνης που χρησιμοποιείται.
- **Timeslot_payload_type:** Το πεδίο αυτό μήκους 8 bits, ορίζει το τύπο της χρονοθυρίδας που χρησιμοποιείται σύμφωνα με τον Πίνακα 3-6.

Πίνακας 3-6. Οι τύποι των χρονοθυρίδων

Timeslot type	Value
Reserved	0x00
TRF with one ATM cell	0x01
TRF with two ATM cells	0x02
Reserved	0x03
TRF with four ATM cells	0x04
TRF with MPEG2-TS packet(s)	0x05
CSC	0x06
ACQ	0x07
SYNC	0x08
Reserved for future use	0x09 to 0xFF

- **Route_ID_flag:** Η τιμή “0” αντιστοιχεί στην ύπαρξη πεδίου Route_ID στο πεδίο SAC της χρονοθυρίδας, ενώ η τιμή “1” στην μη ύπαρξη του πεδίου Route_ID.
- **ACM_flag:** Η τιμή “0” αντιστοιχεί στην ύπαρξη πεδίου ACM στο πεδίο SAC της χρονοθυρίδας, ενώ η τιμή “1” στην μη ύπαρξη του πεδίου ACM.
- **SAC_length:** Αυτό το πεδίο, μήκους 5 bits, προσδιορίζει το μήκος του πεδίου SAC σε bytes μη συμπεριλαμβανομένου του προαιρετικού CRC.
- **Request_flag:** Η τιμή “1” δηλώνει ότι το πεδίο SAC της χρονοθυρίδας περιέχει τουλάχιστον ένα πεδίο αίτησης. Στην περίπτωση αυτή το πλήθος των αιτήσεων ορίζεται από την παράμετρο capacity_requests_number. Η τιμή “0” δηλώνει τη μη ύπαρξη πεδίου αίτησης.
- **M_and_C_flag:** Η τιμή “1” δηλώνει ότι το πεδίο SAC της χρονοθυρίδας περιέχει το πεδίο M&C. Η τιμή “0” δηλώνει τη μη ύπαρξη του πεδίου αυτού.
- **Group_ID_flag:** Η τιμή “1” δηλώνει ότι το πεδίο SAC της χρονοθυρίδας περιέχει το πεδίο Group_ID. Η τιμή “0” δηλώνει τη μη ύπαρξη του πεδίου αυτού.
- **Logon_ID_flag:** Η τιμή “1” δηλώνει ότι το πεδίο SAC της χρονοθυρίδας περιέχει το πεδίο Logon_ID. Η τιμή “0” δηλώνει τη μη ύπαρξη του πεδίου αυτού.
- **Capacity_request_number:** Αυτό το πεδίο, μήκους 3 bits, δηλώνει το πλήθος των αιτήσεων χωρητικότητας, μειωμένο κατά ένα, που επιτρέπει το πεδίο SAC. Στα δίκτυα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο σηματοδότησης TRF-

προθέματος (δηλαδή οι αιτήσεις χωρητικότητας προσαρτώνται στις TRF ριπές), το πεδίο αυτό θα έχει υπό κανονικές συνθήκες την τιμή 0 ("000"). Το πεδίο αυτό διαφυλάσσεται όταν η τιμή του bit Request_flag είναι "0".

- New_permutation: Όταν το bit αυτό έχει την τιμή "0" τότε η ανταλλαγή των bits που χρησιμοποιείται στον Turbo κώδικα είναι η προκαθορισμένη, ενώ όταν έχει την τιμή "1" οι παράμετροι της ανταλλαγής ορίζονται στην συνέχεια του πίνακα TCT. Εάν δεν χρησιμοποιείται Turbo κωδικοποίηση το bit αυτό φυλάσσεται.
- P0, P1, P2 και P3: Τα πεδία αυτά ορίζουν τις παραμέτρους ανταλλαγής που χρησιμοποιούνται για το συγκεκριμένο τύπο ριπής.
- Preamble_length: Αυτό το πεδίο, μήκους 8 bits, ορίζει το μήκος της ακολουθίας εισαγωγής σε σύμβολα. Παρόλα αυτά, ο βρόχος που ακολουθεί είναι ευθυγραμμισμένος σύμφωνα με τα όρια του byte. Αυτό σημαίνει ότι εάν για παράδειγμα η ακολουθία εισαγωγής έχει μήκος 14 σύμβολα (άρα 28 bits), ο αντίστοιχος βρόχος που ακολουθεί θα αποτελείται από 4 bytes από τα οποία τα 4 τελευταία bits είναι απλά τυχαία bits που συμπληρώνουν τον κενό χώρο (stuffing bits).
- Preamble_symbol: Αυτά τα 2 bits του πεδίου καθορίζουν ένα QPSK σύμβολο της ακολουθίας εισαγωγής (preamble). Τα σύμβολα δίνονται με τη σειρά που πρέπει να μεταδοθούν. Το πρώτο bit ορίζει το I bit και το δεύτερο το Q bit του QPSK συμβόλου.
- Stuffing_bit: Εφόσον η περιγραφή της ακολουθίας εισαγωγής είναι ευθυγραμμισμένη σύμφωνα με το μέγεθος του byte, τα bits αυτά χρησιμοποιούνται μέχρι τα όρια του επόμενου byte. Τα bits αυτά μπορούν να έχουν οποιαδήποτε τιμή και πρέπει να απορρίπτονται από το RCST.
- CRC_32: Το πεδίο αυτό δίνει την τιμή του CRC κώδικα μήκους 32 bits.

3.10.4 Μήνυμα Πληροφοριών Τερματικού (TIM)

Το μήνυμα TIM (Terminal Information Message) χρησιμοποιείται για να μεταδώσει στατικές και εν μέρει στατικές πληροφορίες σχετικά με τις ζεύξεις και των δύο κατευθύνσεων, όπως παραμέτρους διαμόρφωσης. Οι πληροφορίες αυτές περιέχονται μέσα σε περιγραφείς (descriptors) οι οποίοι μεταφέρονται μέσω των TIM μηνυμάτων. Η μορφοποίηση του μηνύματος υποστηρίζει δύο εκδοχές:

- Ένα μήνυμα που απευθύνεται σε ένα συγκεκριμένο τερματικό και μεταφέρει πληροφορίες που αφορούν αποκλειστικά αυτό (uni-cast message). Το τερματικό ταυτοποιείται μέσω της MAC διεύθυνσής του. Η εκδοχή αυτή μπορεί να κρυπτογραφηθεί για λόγους ασφαλείας. Αποστέλλεται κατά τη διάρκεια της έναρξης της διαδικασίας εισαγωγής του τερματικού στο δορυφορικό σύστημα και στην περίπτωση που κάποια από τις παραμέτρους διαφοροποιηθεί. Όταν ένα TIM μήνυμα περιέχει πολλούς περιγραφείς, το τερματικό πρέπει να τους επεξεργαστεί όλους πριν τροποποιήσει τη δομή του.
- Ένα μήνυμα ευρυεκπομπής (broadcast) που περιέχει γενικές πληροφορίες οι οποίες είναι εφαρμόσιμες σε όλα τα τερματικά. Το μήνυμα αυτό αναγνωρίζεται από τα τερματικά από την χαρακτηριστική τιμή της MAC διεύθυνσης 0xFFFFFFFFFFFFFFF η οποία έχει διαφυλαχθεί για να χρησιμοποιηθεί σε αυτές τις περιπτώσεις των μηνυμάτων ευρείας

εκπομπής. Η εκδοχή αυτή είναι απίθανο να κρυπτογραφηθεί. Πρέπει να μεταδίδεται αρκετά συχνά έτσι ώστε τα νέα τερματικά που επιθυμούν να εισέλθουν στο δίκτυο να μπορούν να ανακτήσουν τις απαραίτητες πληροφορίες σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Αυτό ταιριάζει με μια παρόμοια απαίτηση για τους SCT, FCT και TCT πίνακες όπου προτείνεται να χρησιμοποιείται το ίδιο περιοδικό διάστημα.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας δεν θα μελετήσουμε τη σύνθεση του πίνακα TIM αλλά μόνο τον περιγραφέα της διαδικασίας εισαγωγής ενός τερματικού στο σύστημα (logon initialize descriptor), ο οποίος μεταφέρεται μέσω του μηνύματος TIM. Το μήνυμα TIM χρησιμοποιείται για να μεταφέρει έναν ή περισσότερους περιγραφείς που χρησιμοποιούνται σε διάφορες λειτουργίες του συστήματος.

3.10.5 Περιγραφέας Αρχικοποίησης διαδικασίας εισαγωγής στο σύστημα

Η σύνθεση του πίνακα του περιγραφέα της αρχικοποίησης της εισαγωγής ενός τερματικού στο σύστημα (logon initialize descriptor) παρουσιάζεται στον Πίνακα 3-7.

Πίνακας 3-7. Η σύνθεση του περιγραφέα της αρχικοποίησης της διαδικασίας εισαγωγής των τερματικών στο σύστημα

Syntax	No. of bits	
	Reserved (see note)	Information
Logon_initialize_descriptor() {		
descriptor_tag		8
descriptor_length		8
Group_ID		8
Logon_ID		16
Security_handshake_required	3	1
Prefix_flag		1
Data_unit_labelling_flag		1
Mini_slot_flag		1
Contention_based_mini_slot_flag		1
Capacity_type_flag	1	1
Traffic_burst_type		1
If (Traffic_burst_type == 0) {		
Connectivity		1
If (Connectivity == 0) {		
Return_VPI	4	8
Return_VCI		16
}		
Else {		
Return_signalling_VPI	4	8
Return_signalling_VCI		16
Forward_signalling_VPI	8	8
Forward_signalling_VCI		16
}		
}		
Else {		
Return_TRF_PID		13
Return_CTRL_MNGM_PID	3	13
}		
if (Capacity_type_flag == 0) {		
CRA_level		24
VBDC_max	5	11
RBDC_max		24
RBDC_timeout		16
}		
}		

Ο περιγραφέας αυτός μεταφέρεται μέσω unicast μηνυμάτων TIM και χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της αρχικής εισαγωγής ενός τερματικού στο σύστημα. Με τη βοήθεια αυτού του περιγραφέα ορίζεται ο τύπος της σύνδεσης που θα χρησιμοποιηθεί, οι μέθοδοι ασφαλείας και τα μέγιστα επιτρεπτά επίπεδα των κατηγοριών αιτημάτων χωρητικότητας. Τα μέγιστα αυτά επίπεδα θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια σε κάθε αίτηση χωρητικότητας του τερματικού από τον NCC.

Ακολουθεί μια σύντομη επεξήγηση των παραμέτρων του περιγραφέα αυτού.

- **Descriptor_tag:** Το πεδίο αυτό, μήκους 8 bits, είναι η ταυτότητα του κάθε περιγραφέα.

- **Descriptor_length:** Η τιμή των 8 bits αυτού του πεδίου ορίζουν τον αριθμό των bytes του περιγραφέα που ακολουθούν αμέσως μετά από το πεδίο αυτό.
- **Group_ID:** Το πεδίο αυτό, μήκους 8 bits, ορίζει την ομάδα με ταυτότητα Group_ID στην οποία ανήκει το τερματικό. Το ίδιο Group_ID θα χρησιμοποιηθεί και κατά την εκχώρηση χωρητικότητας στο συγκεκριμένο RCST στον πίνακα TBTP.
- **Logon_ID:** Αυτό το πεδίο, μήκους 16 bits, καθορίζει την ταυτότητα του τερματικού που του εκχωρήθηκε μόλις εισήλθε στο σύστημα. Το ίδιο Logon_ID θα χρησιμοποιηθεί και κατά την εκχώρηση χωρητικότητας στο συγκεκριμένο RCST στον πίνακα TBTP.
- **Security_handshake_required:** Η τιμή “1” του bit δηλώνει ότι πρόκειται να χρησιμοποιηθεί χειραψία ασφαλείας, ενώ η τιμή “0” χρησιμοποιείται σε κάθε άλλη περίπτωση.
- **Prefix_flag:** Η τιμή “1” του bit δηλώνει ότι η μέθοδος του προθέματος εφαρμόζεται στο δίκτυο, ενώ σε αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιείται η τιμή “0”.
- **Data_unit_labeling_flag:** Η τιμή “1” του bit δηλώνει ότι η μέθοδος Data Unit Labeling Method (DULM) εφαρμόζεται στο δίκτυο, ενώ σε αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιείται η τιμή “0”.
- **Mini_slot_flag:** Η τιμή “1” του bit δηλώνει ότι η μέθοδος Mini-Slot εφαρμόζεται στο δίκτυο, ενώ σε αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιείται η τιμή “0”.
- **Contention_based_mini_slot_flag:** Η τιμή “1” του bit δηλώνει ότι η μέθοδος Contention based mini slot εφαρμόζεται στο δίκτυο, ενώ σε αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιείται η τιμή “0”.
- **Capacity_type_flag:** Η τιμή “0” του bit αυτού δηλώνει ότι υπάρχουν πεδία που ορίζουν τα όρια και τις παραμέτρους των αιτημάτων χωρητικότητας. Η τιμή “1” δηλώνει την απουσία των πεδίων αυτών.
- **Traffic_burst_type:** Αυτό το πεδίο του ενός bit καθορίζει τον τύπο της ριπής κίνησης που χρησιμοποιείται στο κανάλι επιστροφής. Η τιμή “0” υποδηλώνει μια ATM TRF και η τιμή “1” μια MPEG2-TS TRF ριπή.
- **Connectivity:** Αυτό το ένα bit του πεδίου ορίζει τη συνδεσιμότητα που χρησιμοποιείται. Η τιμή “0” υποδηλώνει IP συνδεσιμότητα και η τιμή “1” υποδηλώνει την προαιρετική ATM συνδεσιμότητα. Στην περίπτωση που έχουμε MPEG2-TS TRF ριπή η συνδεσιμότητα είναι πάντα IP και για το λόγο αυτό δεν σηματοδοτείται.
- **Return_VPI, Return_VCI:** Αυτά τα πεδία ορίζουν τα VPI/VCI που πρέπει να χρησιμοποιήσει το RCST στα ATM κελιά στο κανάλι επιστροφής.
- **Return_signalling_VPI, Return_signalling_VCI:** Αυτά τα πεδία ορίζουν τα VPI/VCI που χρησιμοποιούνται στη ζεύξη επιστροφής αντί των κανονικών τιμών 0/5 για σηματοδότηση ITU-T Recommendation Q.2931. Η σηματοδότηση χρησιμοποιείται για την εγκαθίδρυση συνδέσεων κίνησης. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλα τα RCSTs.
- **Forward_signalling_VPI, Forward_signalling_VCI:** Αυτά τα πεδία ορίζουν τα VPI/VCI που χρησιμοποιούνται στην ορθή ζεύξη αντί των κανονικών τιμών

0/5 για σηματοδосία ITU-T Recommendation Q.2931. Η σηματοδосία χρησιμοποιείται για την εγκαθίδρυση συνδέσεων κίνησης.

- Return_TRF_PID: Το πεδίο αυτό, μήκους 13 bits, ορίζει το PID που πρέπει να χρησιμοποιήσει ένα RCST στα προαιρετικά MPEG2 TS πακέτα στο κανάλι επιστροφής για πληροφορία κίνησης. Η παράμετρος αυτή μπορεί να είναι η ίδια για όλα τα RCSTs.
- Return_CTRL_MNGN_PID: ο πεδίο αυτό, μήκους 13 bits, ορίζει το PID που πρέπει να χρησιμοποιήσει ένα RCST στα προαιρετικά MPEG2 TS πακέτα στο κανάλι επιστροφής για πληροφορία ελέγχου και διαχείρισης. Η παράμετρος αυτή μπορεί να είναι η ίδια για όλα τα RCSTs.
- CRA_level: Η CRA εκχώρηση στο τερματικό αυτό σε bits/sec.
- VBDC_max: Ο μέγιστος επιτρεπτός αριθμός VBDC χρονοθυρίδων ανά πλαίσιο για το τερματικό αυτό.
- RBDC_max: Ο μέγιστος επιτρεπτός RBDC ρυθμός δεδομένων για το τερματικό αυτό σε bits/sec.
- RBDC_timeout: Ο χρόνος λήξης της RBDC τιμής σε υπερπλαίσια. Η τιμή "0" υποδηλώνει ότι ο χρόνος λήξης δεν χρησιμοποιείται.

3.10.6 Δορυφορικός Έλεγχος Πρόσβασης (SAC)

Το SYNC, το προαιρετικό πρόθεμα που επισυνάπτεται στις ATM TRF ριπές και στις προαιρετικές MPEG TRF ριπές, μπορεί να περιέχει το πεδίο Δορυφορικού Ελέγχου Πρόσβασης SAC (Satellite Access Control), το οποίο αποτελείται από πληροφορία σηματοδосίας από το RCST και σκοπό έχει την υποβολή αιτήματος χωρητικότητας από το τερματικό ή κάποια επιπρόσθετη MAC πληροφορία. Η σύνταξη του πεδίου αυτού παρουσιάζεται στον Πίνακα 3-8, ενώ οι παράμετροι από τις οποίες αποτελείται αναλύονται εν συντομία στην συνέχεια. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα μας απασχολήσει ο μηχανισμός με τον οποίο το DVB-RCS δίνει τη δυνατότητα σε κάθε τερματικό να αιτηθεί τη χωρητικότητα που χρειάζεται για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του. Μέσω του πεδίου αυτού δίνεται η δυνατότητα στο τερματικό να αιτηθεί χωρητικότητα από κάθε κατηγορία ξεχωριστά δηλώνοντας τον τύπο και την ποσότητα που επιθυμεί ανάλογα με την κατηγορία.

Πίνακας 3-8. Σύνταξη του SAC πεδίου

Syntax (see note)	No. of bits	
	Reserved	Information
SAC_field() {		
if (Route_ID_flag == 0)		
Route_ID		16
if (request_flag == 1)		
for (i=0;		
i<=capacity_requests_number;		
i++) {		
Capacity_Request {		
Scaling_Factor		1
Capacity_Request_Type		3
Channel_ID		4
Capacity_Request_Value		8
}		
}		
if (M_and_C_flag == 1)		
M_and_C_Message		16
if (Group_ID_flag == 1)		
Group_ID		8
if (Logon_ID_flag == 1)		
Logon_ID		16
if (ACM_flag == 0) {		
ACM {		
CNI		8
MODCOD_RQ		8
}		
}		
Pad_Bytes		see text
}		

Επεξήγηση των παραμέτρων του SAC πεδίου:

- **Route_ID:** Αυτό το πεδίο, μήκους 16 bits, ορίζει μια ζεύξη προορισμού από τον NCC στο τερματικό για το φορτίο του προθέματος σε ένα αναγεννητικό σύστημα. Οι τιμές που μπορεί να πάρει το πεδίο εξαρτώνται από το σύστημα.
- **Capacity_request:** Κάθε αίτημα χωρητικότητας αποτελείται από τις τέσσερις παραμέτρους που ακολουθούν.

Πίνακας 3-9. Παράγοντας κλιμάκωσης

Value	Scaling factor
0	1
1	16

- **Scaling_Factor:** Αυτό το ένα bit καθορίζει τον παράγοντα κλιμάκωσης, σύμφωνα με τον Πίνακα 3-9, με τον οποίο θα πολλαπλασιαστεί η τιμή του πεδίου Capacity_Request_Value.
- **Capacity_Request_Type:** Τα 3 bits αυτού του πεδίου καθορίζουν την κατηγορία αίτησης χωρητικότητας στην οποία αναφερόμαστε στην τρέχουσα επανάληψη του βρόγχου, σύμφωνα με τον Πίνακα 3-10.
- **Channel_ID:** Το πεδίο αυτό, μήκους 4 bits, καθορίζει το κανάλι για το οποίο εξέρχεται η αίτηση χωρητικότητας. Η τιμή "0000" είναι η προκαθορισμένη τιμή και υποδηλώνει ότι η αίτηση υποβάλλεται σε οποιοδήποτε κανάλι. Οι τιμές του πεδίου εξαρτώνται από το σύστημα.

Πίνακας 3-10. Οι κατηγορίες αίτησης χωρητικότητας

Value	Capacity category	Meaning of Capacity_Request_Value
000	VBDC	Requested volume units of payload size * scaling factor
001	RBDC	Requested bit rate in units of 2kbits/s * scaling factor
010	AVBDC	Requested volume units of payload size * scaling factor
011 - 111	Reserved	

- **Capacity_Request_Value:** Τα 8 bits του μη προσημασμένου ακεραίου ορίζουν τις μονάδες όγκου του φορτίου ή το ρυθμό των bits, με μονάδα τα 2 kbps, της αίτησης χωρητικότητας. Η πραγματική τιμή της χωρητικότητας που αιτείται το τερματικό είναι η τιμή του πεδίου αυτού επί τον παράγοντα κλιμάκωσης.

Στην περίπτωση που το RCST δε χρειάζεται κάποια χωρητικότητα για να αιτηθεί, πρέπει να στείλει ένα VBDC αίτημα μηδενικής ποσότητας.

- **M_and_C_message:** Το πεδίο αυτό, μήκους 16 bits, ορίζει τα μηνύματα ελέγχου και διαχείρισης του δικτύου σύμφωνα με τον Πίνακας 3-11.

Πίνακας 3-11. Μηνύματα ελέγχου και διαχείρισης του δικτύου

M_and_C_Message value	Meaning
0x0000	No Message
0x0001	Fine synchronization achieved
0x0002	Log-off request
0x0003 - 0x7FFF	Reserved
0x8000 - 0xFFFF	Echo Reply

- **Group_ID:** Αυτό το πεδίο, μήκους 8 bits, ορίζει το σύνολο Group_ID στο οποίο έχει τοποθετηθεί το RCST κατά την εισαγωγή του στο σύστημα, όπως ορίζεται στο μήνυμα TIM. Το Group_ID και το Logon_ID επιτρέπουν στον NCC να ταυτοποιήσει το RCST που έχει μεταδώσει μια ριπή σε μια χρονοθυρίδα ανταγωνισμού.
- **Logon_ID:** Αυτό το πεδίο, μήκους 8 bits, ορίζει τον αριθμό ταυτότητας Logon_ID στο οποίο έχει εκχωρηθεί το RCST κατά την εισαγωγή του στο σύστημα, όπως ορίζεται στο μήνυμα TIM. Το Group_ID και το Logon_ID επιτρέπουν στον NCC να ταυτοποιήσει το RCST που έχει μεταδώσει μια ριπή σε μια χρονοθυρίδα ανταγωνισμού.
- **ACM:** Το πεδίο αυτό επιτρέπει στο RCST να αποστείλει στον NCC την ποιότητα λήψης στην ορθή ζεύξη για την ενεργοποίηση της προσαρμοστικής κωδικοποίησης και διαμόρφωσης. Αποτελείται από τα πεδία CNI και MODCOD_RQ που ακολουθούν.
- **CNI:** Το πεδίο αυτό, μήκους 8 Bits, ορίζει το λόγο σήματος προς θόρυβο και παρεμβολές.
- **MODCOD_RQ:** Αυτά τα 8 bits ορίζουν τον τύπο διαμόρφωσης και το αίτημα κωδικοποίησης.
- **Pad_bytes:** Εάν το μέγεθος του πεδίου SAC είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των υποπεδίων από τα οποία αποτελείται, τότε προστίθενται όσα

μηδενικά bytes χρειάζονται για να φτάσει το άθροισμα το μέγεθος του πεδίου SAC.

3.10.7 Terminal Burst Time Plan – TBTP

Ο πίνακας αυτός αποστέλλεται από τον NCC σε ένα σύνολο από δορυφορικά τερματικά. Το σύνολο αυτό αναγνωρίζεται από τη λογική του διεύθυνση Group_ID, ενώ κάθε μεμονωμένο τερματικό από τη λογική διεύθυνση Logon_ID. Και οι δύο αυτές διευθύνσεις γνωστοποιούνται στο τερματικό κατά τη διάρκεια της εισαγωγής του στο δίκτυο. Ο πίνακας αυτός περιέχει μια ή περισσότερες καταχωρήσεις για κάθε RCST, όπου κάθε μια καταχώρηση ορίζει μια εκχώρηση ενός συνεχόμενου συνόλου από χρονοθυρίδες. Κάθε τέτοια εκχώρηση περιγράφεται από τον αύξοντα αριθμό της πρώτης χρονοθυρίδας του συνόλου και έναν παράγοντα επανάληψης που ισούται με το πλήθος των συνεχόμενων εκχωρημένων χρονοθυρίδων.

Πίνακας 3-12. Σύνταξη ενός τμήματος του πίνακα TBTP

Syntax	No. of bits	
	Reserved (see note)	Information
Terminal_burst_time_plan(){		
SI_private_section_header		64
Group_ID		8
Superframe_count		16
frame_loop_count	3	5
for (i=0;i<=frame_loop_count;i++) {		
frame_number	3	5
BTP_loop_count	5	11
for (j=0;j<= BTP loop count;j++){		
Logon_ID		16
Multiple_channels_flag		1
Assignment_type		2
VBDC_queue_empty_flag		1
Start_slot	1	11
If (Multiple_channels_flag == 1)		
Channel_ID	4	4
Assignment_count}		8
}		
CRC_32		32
}		
NOTE:	Reserved bits shall precede the Information bits on the same line.	

Ο TBTP πίνακας επιτρέπει μια δυναμική εκχώρηση των πόρων του συστήματος σε κάθε υπερπλαίσιο. Επιτρέπει επίσης οι χρονοθυρίδες να εκχωρούνται μια φορά ή συνεχόμενα. Στη δεύτερη περίπτωση παρέχεται ένας μηχανισμός που επιτρέπει την προσθήκη ή διαγραφή εκχωρημένων χρονοθυρίδων από τον πίνακα. Με τη βοήθεια του μηνύματος αυτού ο NCC έχει την δυνατότητα να εκχωρεί δυναμικά τις χρονοθυρίδες κίνησης ακολουθώντας σε κάθε περίπτωση ένα βέλτιστο αλγόριθμο.

Η δομή ενός τμήματος του Terminal Burst Time Plan παρουσιάζεται στον Πίνακα 3-12. Το TBTP, όπως και κάθε άλλος πίνακας, θα πρέπει να χωριστεί σε τμήματα στην περίπτωση που έχει μέγεθος μεγαλύτερο από ένα πακέτο ροής μεταφοράς. Οι παράμετροι του πίνακα επεξηγούνται στην συνέχεια.

Επεξήγηση των παραμέτρων του πίνακα TBTP:

- **SI_private_section_header:** Το πεδίο αυτό αποτελεί μια πρότυπη επικεφαλίδα των SI πινάκων, μήκους 64 bits, η οποία περιέχει πληροφορίες που αφορούν τον συγκεκριμένο πίνακα.
- **Group_ID:** Αυτό το πεδίο, μήκους 8 bits, ορίζει το σύνολο στο οποίο απευθύνεται το μήνυμα.
- **Superframe_count:** Αυτό πεδίο των 16 bits προσδιορίζει τον αύξοντα αριθμό του υπερπλασίου (modulo 65536) στο οποίο εφαρμόζεται το BTP.
- **Frame_loop_count:** Το πεδίο αυτό, μήκους 5 bits, καθορίζει το πλήθος των επαναλήψεων που πρόκειται να ακολουθήσουν μειωμένο κατά ένα. Η τιμή μηδέν αντιστοιχεί σε μια επανάληψη. Κάθε είσοδος στο βρόγχο αντιστοιχεί στον ορισμό ενός πλαισίου του υπερπλασίου.
- **Frame_number:** Αυτό το πεδίο, μήκους 5 bits, ορίζει τον αύξοντα αριθμό του πλαισίου μέσα στο υπερπλαίσιο.
- **BTP_loop_count:** Το πεδίο αυτό, μήκους 11 bits, καθορίζει το πλήθος των επαναλήψεων που πρόκειται να ακολουθήσουν μειωμένο κατά ένα. Η τιμή μηδέν αντιστοιχεί σε μια επανάληψη. Κάθε είσοδος στο βρόγχο αντιστοιχεί στον ορισμό ενός συνόλου εκχωρημένων χρονοθυρίδων. Στην περίπτωση που εκχωρούνται πολλαπλά σύνολα σε ένα δεδομένο τερματικό, θα υπάρχει μόνο μια καταχώρηση σε κάθε σύνολο. Οι καταχωρήσεις για ένα δεδομένο RCST μπορεί να μην είναι συνεχόμενες σε ένα τμήμα του πίνακα.
- **Logon_ID:** Αυτό το πεδίο, μήκους 16 bits, ορίζει την ταυτότητα που εκχωρήθηκε στο τερματικό κατά την είσοδό του στο σύστημα. Ο αριθμός της ταυτότητας αυτής είναι μοναδικός στα πλαίσια του ίδιου Group_ID, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ίδιος αριθμός σε δύο διαφορετικά σύνολα τερματικών.
- **Multiple_channels_flag:** Η τιμή "1" αυτού του bit υποδηλώνει την ύπαρξη του πεδίου Channel_ID στην τρέχουσα εκχώρηση, ενώ η τιμή "0" δηλώνει στο RCST ότι πρέπει να θεωρήσει ότι channel_ID=0.
- **Assignment_type:** Αυτά τα 2 bits του πεδίου προσδιορίζουν την επαναληπτική φύση της εκχώρησης σύμφωνα με τον Πίνακα 3.13.
- **VBDC_queue_empty_flag:** Η σημαία αυτή έχει την τιμή "1" όταν η VBDC ουρά για αυτό το τερματικό είναι άδεια μετά τις εκχωρήσεις στον πίνακα αυτό, ενώ έχει την τιμή "0" όταν η ουρά δεν είναι άδεια. Εάν η σημαία Multiple_channels_flag έχει την τιμή "1", τότε η ουρά αναφέρεται στο κανάλι που προσδιορίζεται από το πεδίο Channel_ID.
- **Start_slot:** Αυτό το πεδίο, μήκους 11 bits, προσδιορίζει τον αύξοντα αριθμό της πρώτης χρονοθυρίδας του συνόλου που εκχωρείται στο τερματικό σε αυτό το πλαίσιο.
- **Channel_ID:** Αυτά τα 4 bits του πεδίου ορίζουν το κανάλι στο οποίο εκχωρούνται οι χρονοθυρίδες. Οι τιμές αυτές διαχειρίζονται από τον NCC. Αυτό το πεδίο υπάρχει στον πίνακα εάν η σημαία Multiple_channels_flag έχει την τιμή "1".
- **Assignment_count:** Αυτό το πεδίο, μήκους 8 bits, προσδιορίζει το πλήθος των χρονοθυρίδων που εκχωρούνται σε αυτό το σύνολο μειωμένο κατά ένα.

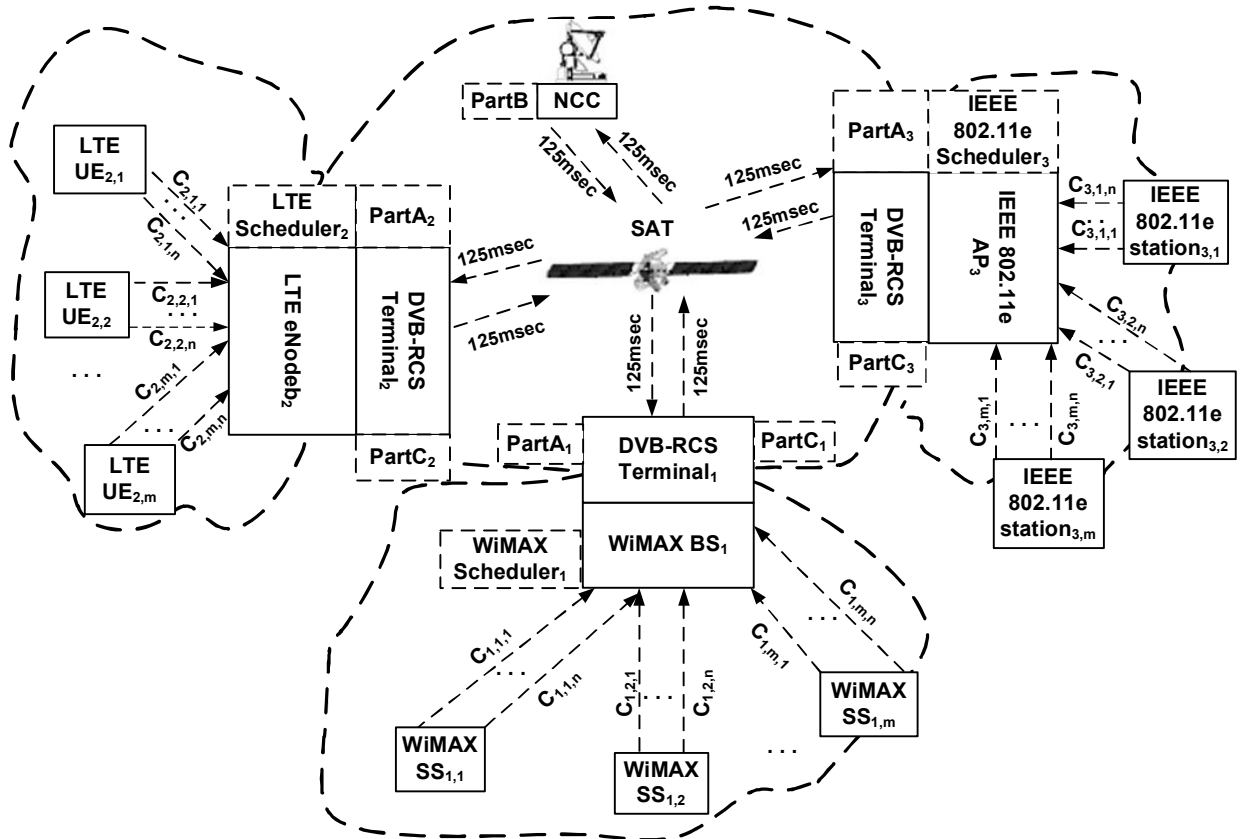
Οι χρονοθυρίδες αυτές θα είναι συνεχόμενα αριθμημένες σε αύξουσα σειρά, ξεκινώντας από την τιμή που υπάρχει στο πεδίο `start_slot`.

- `CRC_32`: Το πεδίο αυτό δίνει την τιμή του CRC κώδικα μήκους 32 bits.

4. ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια αυτής της διατριβής μελετάμε την διασύνδεση μεταξύ ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου, που ακολουθεί το πρότυπο DVB-RCS, και ευρυζωνικών δικτύων όπως αυτά που λειτουργούν σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.11e, το πρότυπο IEEE 802.16 και το πρότυπο LTE.



Εικόνα 4-1. Αρχιτεκτονική συστήματος διασύνδεσης ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου με IEEE 802.11e, WiMAX και LTE δίκτυα.

Η αρχιτεκτονική ενός τέτοιου συστήματος διασύνδεσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-1. Σε ένα τέτοιο σύστημα ένα ή περισσότερα DVB-RCS τερματικά μπορεί να συνδέονται με αντίστοιχα IEEE 802.16e σημεία πρόσβασης, ένα ή περισσότερα DVB-RCS τερματικά μπορεί να συνδέονται με αντίστοιχους WiMAX σταθμούς βάσης και ένα ή περισσότερα DVB-RCS τερματικά μπορεί να συνδέονται με αντίστοιχα LTE eNodeB. Το Κέντρο Ελέγχου του Δικτύου (NCC) εκχωρεί την χωρητικότητα που απαιτείται για να διεκπεραιωθεί το φορτίο της κίνησης σε έναν σταθμό βάσης, ακολουθώντας τις προδιαγραφές του προτύπου DVB-RCS. Κατά συνέπεια, ο NCC διαχειρίζεται ένα πλήθος από l RCST τερματικά. Κάθε ένα από τα RCST τερματικά μπορεί να συνδέεται είτε με:

- ένα IEEE 802.11e σημείο πρόσβασης (AP), το οποίο με την σειρά του διαχειρίζεται m σταθμούς IEEE 802.11e
- έναν WiMAX σταθμό βάσης, ο οποίος με την σειρά του διαχειρίζεται m συνδρομητές, κάθε ένας από τους οποίους έχει n ενεργές συνδέσεις με αυτόν τον σταθμό βάσης

- έναν LTE eNodeB, το οποίο με την σειρά του διαχειρίζεται m εξοπλισμούς χρήστη, κάθε ένας από τους οποίους έχει n ενεργές ροές δεδομένων με αυτόν τον σταθμό κόμβο.

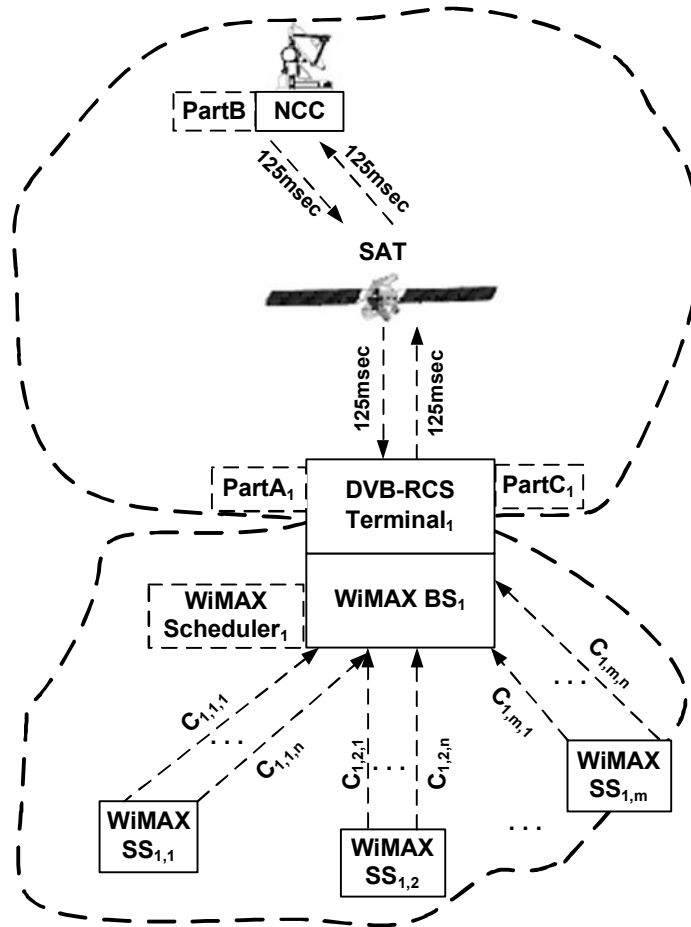
Για τη σωστή λειτουργία του συστήματος απαιτείται ο σχεδιασμός ενός μηχανισμού που θα λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες και τον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων που καλούνται να διασυνδεθούν. Ο μηχανισμός αυτός, που παρουσιάστηκε στα [8] και [9], πρέπει να καλύπτει τις λειτουργίες της αίτησης χωρητικότητας από τα δορυφορικά τερματικά, της εκχώρησης των διαθέσιμων πόρων από τον NCC και, τέλος, την ανακατανομή των πόρων στις αντίστοιχες συνδέσεις των συνδρομητών του ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου. Για το λόγο αυτό, ο μηχανισμός αποτελείται από τρία μέρη:

1. PartA: Μία οντότητα που βρίσκεται στο RCST με κύριο ρόλο να αποστέλλει στον NCC το αίτημά του για χωρητικότητα για το επόμενο υπερπλαίσιο
2. PartB: Μία οντότητα που βρίσκεται στον NCC με κύριο ρόλο την κατανομή των διαθέσιμων πόρων και τη δημιουργία του TBTP
3. PartC: Μία οντότητα που βρίσκεται στο RCST με κύριο ρόλο την διανομή της χωρητικότητας που του έχει εκχωρηθεί στους συνδρομητές του ευρυζωνικού δικτύου.

Τα προβλήματα που προκύπτουν και καλούνται να επιλυθούν σε ένα τέτοιο σύστημα είναι οι μεγάλες απαιτήσεις των ευρυζωνικών υπηρεσιών συναρτήσει των μεγάλων καθυστερήσεων που επιβάλλονται λόγω της φύσης του δορυφορικού δικτύου. Η εκχώρηση της χωρητικότητας στις τελικές συνδέσεις γίνεται μετά από χρονικό διάστημα 500 msec από τη στιγμή που στάλθηκε το αντίστοιχο αίτημα από το αντίστοιχο RCST. Οι περισσότερες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου δεν μπορούν να ανεχθούν τόσο μεγάλες καθυστερήσεις. Για το λόγο αυτό εισάγουμε την λογική της πρόβλεψης των αναγκών των συνδέσεων κατά την αίτηση της χωρητικότητας προς τον NCC, όπως θα δούμε στην συνέχεια, αναλύοντας τους αλγορίθμους που υλοποιούνται σε κάθε τμήμα του μηχανισμού στις ενότητες που ακολουθούν.

Ο τρόπος λειτουργίας των τριών προτεινόμενων οντοτήτων (PartA, PartB, PartC) είναι ανεξάρτητος από το είδος του ευρυζωνικού δικτύου με το οποίο είναι διασυνδεδεμένο το δορυφορικό τερματικό. Στην ουσία, μας ενδιαφέρει το είδος των ροών δεδομένων που φτάνουν στο δορυφορικό τερματικό, για να μπορέσει να κάνει την αντίστοιχη πρόγνωση το PartA και την αντίστοιχη διανομή της χωρητικότητας το PartC. Για λόγους απλότητας, στην συνέχεια αυτής της διατριβής, μελετάμε τη διασύνδεση μεταξύ ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου, που ακολουθεί το πρότυπο DVB-RCS, και δικτύων που λειτουργούν σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.16, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι υπάρχει περιορισμός για το είδος του διασυνδεδεμένου ευρυζωνικού δικτύου όσο αφορά την προτεινόμενη αρχιτεκτονική και τους προτεινόμενους αλγορίθμους. Η αρχιτεκτονική του συστήματος διασύνδεσης που μελετάμε στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής διατριβής παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-2. Ο χρονοπρογραμματιστής που χρησιμοποιείται στο WiMAX αναφέρεται ως Προηγμένος Αλγόριθμος Δενδρικής Καταχώρησης Χρονοπλαισίων ή “Π-ΑΔΚΧ” (“Enhanced Frame Registry Tree Scheduler” ή “E-FRTS”) [11], [12]. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί μία δενδρική δομή η οποία αντί να διατηρεί τα πακέτα δεδομένων που βρίσκονται στις ουρές των χρηστών, διατηρεί κάποια μεταδεδομένα (metadata) που αφορούν τα πακέτα δεδομένων που βρίσκονται αποθηκευμένα στις ουρές αναμονής (των χρηστών και των Σταθμών Βάσης για παράδειγμα). Κάθε επίπεδο της δενδρικής δομής εκφράζει και ένα διαφορετικό

χαρακτηριστικό ή σύνολο από παρόμοια χαρακτηριστικά, π.χ. το τελευταίο χρονοπλάισιο στο οποίο μπορεί να μεταδοθεί ένα πακέτο, τον τύπο ποιότητας υπηρεσίας στην οποία ανήκει κλπ..



Εικόνα 4-2. Αρχιτεκτονική συστήματος διασύνδεσης ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου με WiMAX δίκτυα.

4.2 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας στη διασύνδεση WiMAX και δορυφορικών δικτύων

Στην βιβλιογραφία, υπάρχει ένας αριθμός από λύσεις για τη διασύνδεση WiMAX και δορυφορικών δικτύων, οι οποίες όμως επικεντρώνονται στην αρχιτεκτονική επίλυση της διασύνδεσης αυτής. Για παράδειγμα, στο [13] προτείνεται ένα σχήμα δέσμευσης πόρων για ένα υβριδικό ασύρματο σενάριο μεταξύ WiMAX και WiFi δικτύων χρησιμοποιώντας έξυπνους κινητούς agents, ενώ το [14] παρουσιάζει μία νέα λύση υβριδικού δικτύου βασισμένη στη συνεργασία μεταξύ δικτύων βασισμένα στο IEEE 802.16 και στο DVB-RCS.

Ένα σύνολο από προτάσεις επικεντρώνονται στον τρόπο που ένα τερματικό δορυφορικού δικτύου κάνει τις αιτήσεις χωρητικότητας. Αυτές οι λύσεις ακολουθούν κυρίως μία προσέγγιση σε σχέση με την χωρητικότητα που ζητείται (bandwidth-on-demand). Στο [15] και [16], προτείνεται ένα σχήμα δυναμικής δέσμευσης χωρητικότητας σε δορυφορικά δίκτυα, χρησιμοποιώντας προσαρμοσμένες μεθόδους ελέγχου πρόγνωσης (adaptive predictive control methods). Οι κυρίως ιδέες είναι: (i) η χρήση ενός προσαρμοσμένου προγνώστη (predictor) για την ροή της κίνησης εισόδου, (ii) η τυποποίηση του προβλήματος δέσμευσης ως ένα πρόβλημα βέλτιστου ελέγχου με ανταλλαγή κόστους μεταξύ της δέσμευσης-κατάληψης της ουράς και της απώλειας εύρους ζώνης

(bandwidth) και (iii) η υιοθέτηση μίας οριζόντιας στρατηγικής υποχώρησης για τη γένεση αιτήσεων εύρους ζώνης. Στο [17], προτείνεται ένας αλγόριθμος ελέγχου της αποδοχής μίας καινούργιας σύνδεσης με στόχο την αποδοτική διαχείριση μόνο πηγών βίντεο (δηλαδή πραγματικού χρόνου πολυμεσικών εφαρμογών) με μεταδόσεις σταθερού αλλά και μεταβλητού ρυθμού δεδομένων. Σύμφωνα με το [18], όποτε πραγματοποιείται μία ανάθεση χωρητικότητας, ο NCC προβλέπει το μέγεθος των ουρών που θα έχει το RCST. Αυτή η πρόβλεψη πραγματοποιείται μέσω ενός συρόμενου παραθύρου βάσει ενός μηχανισμού πρόβλεψης της δορυφορικής κίνησης. Στο [19] αναπτύσσεται μία αποδοτική αλλά πολύπλοκη μέθοδος για βέλτιστο χρονοπρογραμματισμό χρονοθυρίδων ενός διαδραστικού πολυμεσικού δορυφορικού δικτύου, ώστε να μεγιστοποιείται η ρυθμαπόδοση (throughput) του δικτύου. Το πρόβλημα της ανάθεσης χρονοθυρίδων τυποποιείται ως ένα πρόβλημα δυαδικού προγραμματισμού (binary integer programming problem) με ένα τεράστιο αριθμό από μεταβλητές απόφασης.

Τέλος, στο [20] παρουσιάζεται μία στρατηγική δυναμικής διαχείρισης της κίνησης για το κανάλι επιστροφής ενός DVB-RCS δορυφορικού δικτύου που αποτελείται από δύο τμήματα: τον Χρονοπρογραμματιστή Διαχειριστή Πόρων (Resource Manager scheduler) και τον Χρονοπρογραμματιστή Τερματικού. Ο Χρονοπρογραμματιστής Διαχειριστής Πόρων έχει την εργασία της ανάθεσης χωρητικότητας στις ομάδες συνδέσεων Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) και Best Effort Allocation (BEA) που ανήκουν σε κάθε τερματικό, η οποία εργασία πραγματοποιείται βάσει της πληροφορίας σε σχέση με την κίνηση τη στιγμή που γίνεται μία αίτηση εύρους ζώνης. Ο Χρονοπρογραμματιστής Τερματικού διαμοιράζει τη χωρητικότητα που δεσμεύεται από τον Χρονοπρογραμματιστή Διαχειριστή Πόρων βάσει μιας παραμέτρου ανά σύνδεση που εισάγεται για να αποτιμήσει τον υποβιβασμό της ποιότητας υπηρεσίας κάθε σύνδεσης.

Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι δεν υπάρχει μια πρόταση που να αντιμετωπίζει όλα τα προβλήματα μίας τέτοιας διασύνδεσης, που είναι ο κύριος στόχος αυτής της διατριβής.

4.3 Λειτουργία του PartA

Ο ρόλος του PartA είναι να υπολογίζει και να αποστέλλει το αίτημα για πόρους που χρειάζεται το συγκεκριμένο RCST. Όπως είπαμε και προηγουμένως, η χρονική διαφορά μεταξύ μίας αίτησης για χωρητικότητα από τον RCST και της απόδοσης της χωρητικότητας από τον NCC είναι τουλάχιστον ίση με την καθυστέρηση διάδοσης του δορυφορικού δικτύου (round trip delay). Αυτό σημαίνει πως αν το RCST κάνει τις αιτήσεις χωρητικότητας βάσει των πακέτων που υπάρχουν εκείνη τη στιγμή στις ουρές του, είναι πολύ πιθανό οι πραγματικές ανάγκες του για πόρους να είναι πολύ διαφορετικές τη στιγμή που θα του εκχωρηθεί χωρητικότητα. Αυτός είναι ο λόγος που ο PartA πρέπει να προβλέψει τις ανάγκες του για πόρους μετά από χρονική διάρκεια ίση με την καθυστέρηση διάδοσης. Συμβολίζουμε με T_{FR} τη διάρκεια του πλαισίου και με T_{MF} την διάρκεια του υπερπλαισίου που για λόγους ευκολίας το θεωρούμε ίσο με την καθυστέρηση διάδοσης. Όπως περιγράψαμε και στην αρχή του κεφαλαίου, υποθέτουμε ότι το σύστημά μας αποτελείται από ℓ RCST / BS σταθμούς, καθένας από τους οποίους εξυπηρετεί m σταθμούς συνδρομητών, οι οποίοι έχουν n ενεργές συνδέσεις έκαστος. Έστω c_{ijk} η k -ιστή σύνδεση του j -ιστού σταθμού συνδρομητή του RCST _{i} ($i \leq \ell$, $j \leq m$, $k \leq n$). Η χρονική διάρκεια του υπερπλαισίου είναι αρκετά μεγάλη ώστε να θεωρούμε ότι η κίνηση που προκύπτει από την σύνδεση c_{ijk} έχει μικρή απόκλιση από το μέσο ρυθμό δεδομένων της σύνδεσης που είναι

μ_{ijk} kbps. Κατά συνέπεια, οι χρονοθυρίδες req_{ijk} που απαιτούνται για την σύνδεση αυτή την χρονική στιγμή t για το επόμενο υπερπλαίσιο δίνονται από τον τύπο:

$$req_{ijk}(t) = \frac{\mu_{ijk} * T_{SF}}{B * 8} \quad (4-1)$$

όπου B είναι το μέγεθος του πακέτου σε bytes που μπορούν να μεταδοθούν σε μια χρονοθυρίδα. Στην περίπτωση μιας MPEG χρονοθυρίδας το μέγεθος του πακέτου είναι 188 bytes, ενώ στην περίπτωση μιας ATM χρονοθυρίδας το ATM κελί είναι 53 bytes.

Εκτός από το μέσο πλήθος των χρονοθυρίδων που χρειάζεται μια σύνδεση, ο PartA λαμβάνει υπόψη την αίτηση χωρητικότητας που έκανε στο προηγούμενο υπερπλαίσιο. Θεωρεί ότι εάν για τη σύνδεση c_{ijk} είχαμε μια αυξημένη ζήτηση χωρητικότητας στο προηγούμενο υπερπλαίσιο, είναι πολύ πιθανό στο επόμενο υπερπλαίσιο να χρειαζόμαστε $req_{ijk}(t-1) - \frac{\mu_{ijk} * T_{SF}}{B * 8}$ λιγότερες χρονοθυρίδες. Αντιθέτως, εάν στο προηγούμενο υπερπλαίσιο το αίτημα για χωρητικότητα ήταν μικρότερο της μέσης τιμής, είναι πολύ πιθανό στο επόμενο να χρειαστούμε $\frac{\mu_{ijk} * T_{SF}}{B * 8} - req_{ijk}(t-1)$ περισσότερες χρονοθυρίδες. Επομένως, στο μέσο πλήθος χρονοθυρίδων που απαιτεί μια σύνδεση προσθέτουμε κάθε φορά την ποσότητα (είτε θετική είτε αρνητική)

$$\frac{\mu_{ijk} * T_{SF}}{B * 8} - req_{ijk}(t-1) \quad (4-2)$$

Τέλος, στα παραπάνω προσθέτουμε το πλήθος των bytes που βρίσκονται μέσα στην ουρά $q_{ijk}(t-1)$ στο προηγούμενο υπερπλαίσιο. Η πληροφορία της ουράς αυτής παρέχεται από τον χρονοπρογραμματιστή που εκτελείται στον WiMAX BS, ο οποίος λαμβάνει τα αιτήματα των συνδρομητών και στη συνέχεια εκχωρεί σε αυτούς τους πόρους που τους αναλογούν σε κάθε περίπτωση. Το περιεχόμενο κάθε ουράς προκύπτει αφού εκχωρηθούν οι πόροι που παραχωρήθηκαν στο προηγούμενο υπερπλαίσιο για να μεταδοθούν τα κατάλληλα πακέτα και αφού έχουν στη συνέχεια διαγραφεί τα πακέτα για τα οποία παρήλθε η μέγιστη καθυστέρηση που μπορούν να ανεχτούν. Η περίπτωση αυτή εμφανίζεται όταν στον προηγούμενο υπερπλαίσιο δεν εκχωρήθηκε όση χωρητικότητα χρειαζόταν το RCST για να διεκπεραιώσει όλες του τις συνδέσεις. Συνεπώς, οι χρονοθυρίδες που απαιτούνται για την κίνηση που υπάρχει στην ουρά στο προηγούμενο υπερπλαίσιο είναι $\frac{q_{ijk}(t-1)}{B}$.

Συγκεντρώνοντας όλα τα παραπάνω, οι χρονοθυρίδες $req_{ijk}(t)$ που χρειάζεται μια σύνδεση i στο υπερπλαίσιο t δίνονται από την σχέση:

$$req_{ijk}(t) = \max \left(\left(\frac{\mu_{ijk} * T_{SF}}{B * 8} + \left| \frac{\mu_{ijk} * T_{SF}}{B * 8} - req_{ijk}(t-1) \right| + \frac{q_{ijk}(t-1)}{B} \right) \right), \quad (4-3)$$

Η συνολική χωρητικότητα $Sreq_i(t)$ που χρειάζεται ένα RCST για να καλύψει όλες τις n συνδέσεις και των m συνδρομητών του δίνεται από τη σχέση

$$Sreq_i(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n req_{ijk}(t) \quad (4-4)$$

ή αλλιώς

$$Sreq_i(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \max \left(\left(\frac{\mu_{ijk} * T_{SF}}{B * 8} + \frac{\mu_{ijk} * T_{SF}}{B * 8} - req_{ijk}(t-1) + \frac{q_{ijk}(t-1)}{B} \right), 0 \right) \quad (4-5)$$

Όπως περιγράψαμε και στην ενότητα 3.10.5, κατά τη διάρκεια της εισαγωγής του δορυφορικού τερματικού RCST_i στο δίκτυο, το τελευταίο συμφωνεί με τον NCC τις μέγιστες τιμές που μπορεί να ζητήσει για κάθε κατηγορία αίτησης χωρητικότητας, και όπως είδαμε στην ενότητα 3.10.4 αυτές μεταδίδονται μέσω του μηνύματος TIM. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές που συμφωνούνται είναι ο μέγιστος ρυθμός CRA_level_i σε kbps που μπορεί να ζητηθεί στην CRA κατηγορία, ο μέγιστος ρυθμός $RBDC_max_i$ σε kbps που μπορεί να ζητηθεί στην RBDC κατηγορία και το μέγιστο πλήθος χρονοθυρίδων $VBDC_max_i$ που μπορούν να ζητηθούν ανά πλαίσιο στην VBDC κατηγορία. Επιπλέον, στην RBDC κατηγορία συμφωνείται ο μέγιστος αριθμός υπερπλαισίων, που συμβολίζεται με $RBDC_timeout_i$, για τα οποία η χωρητικότητα που έχει ζητηθεί από τον NCC στην RBDC κατηγορία είναι έγκυρη. Εάν η τιμή της μεταβλητής αυτής είναι μηδέν, τότε ισχύει η προκαθορισμένη τιμή που είναι δύο υπερπλάγια. Η μεταβλητή αυτή πρέπει να ορισθεί διότι, όπως είχαμε αναφέρει και στην ενότητα 3.10.5, εάν ένα τερματικό δεν στείλει κάποια αίτηση για RBDC χωρητικότητα και δεν έχει παρέλθει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα $RBDC_i$, τότε ο NCC θεωρεί ότι το τερματικό έχει αιτηθεί τον ίδιο RBDC ρυθμό με το προηγούμενο υπερπλαίσιο.

Με βάση τα παραπάνω, το μέγιστο πλήθος χρονοθυρίδων που μπορεί να αιτηθεί ένα RCST κατά τη διάρκεια ενός υπερπλαισίου, θεωρώντας ότι το τελευταίο αποτελείται από $N_{Fr} = T_{SF}/T_{Fr}$ πλαίσια, δίνεται από την σχέση

$$\max_slots_i = \frac{CRA_level_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} + \frac{RBDC_max_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} + VBDC_max_i * N_{Fr} \quad (4-6)$$

Για να στείλει το RCST το αίτημά του για πόρους, αφού έχει υπολογίσει το συνολικό πλήθος χρονοθυρίδων που χρειάζεται για το επόμενο υπερπλαίσιο $Sreq_i(t)$, συγκρίνει την τιμή αυτή με τη μέγιστη χωρητικότητα που έχει συμφωνήσει ότι μπορεί να αιτηθεί, η οποία δίνεται από την μεταβλητή \max_slots_i . Εάν η τιμή $Sreq_i(t)$ είναι μικρότερη της τιμής \max_slots_i τότε ακολουθεί έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο για τη σύνταξη του αιτήματος που θα αποστείλει. Εάν η ποσότητα CRA_level δεν καλύπτει τις ανάγκες του RCST, τότε αιτείται χωρητικότητα και από την RBDC κατηγορία και στην περίπτωση που ούτε αυτή επαρκεί συμπληρώνει ζητώντας χωρητικότητα και από την VBDC κατηγορία. Αξίζει να σημειωθεί ότι, όπως αναφέραμε και στην ενότητα 3.10.5, αίτημα για RBDC χωρητικότητα θα αποσταλεί στην περίπτωση που ο ρυθμός που απαιτείται για το επόμενο υπερπλαίσιο είναι διαφορετικός από αυτόν που ζητήθηκε στο προηγούμενο ή στην περίπτωση που έχει παρέλθει το πλήθος των $RBDC_timeout_i$ υπερπλαισίων. Για να μπορεί να κάνει τους παραπάνω ελέγχους,

το RCST αποθηκεύει τις τιμές του τελευταίου RBDC ρυθμού που αιτήθηκε στην μεταβλητή $RBDC_last_i$ και των υπερπλαισίων που έχουν περάσει από τότε που απέστειλε το συγκεκριμένο αίτημα στην μεταβλητή mid_last_i .

Ο αλγόριθμος που περιγράψαμε εν συντομία, παρουσιάζεται αναλυτικά στην συνέχεια:

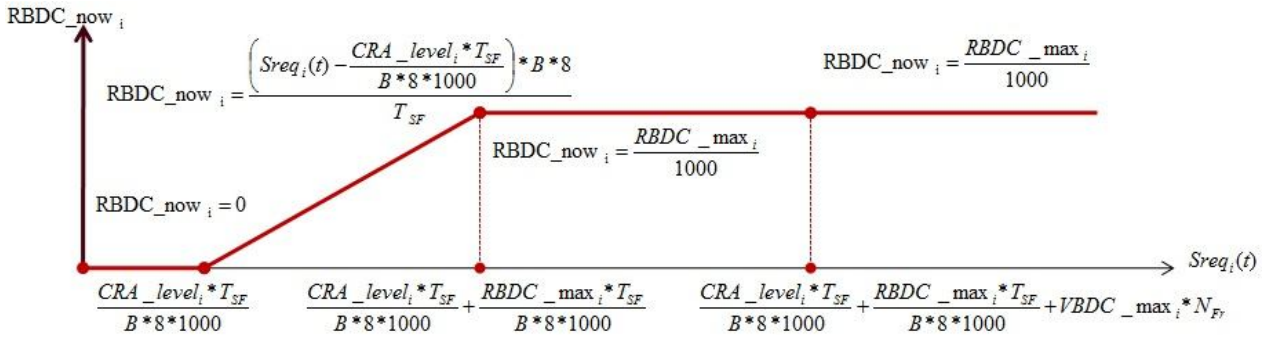
1. Εάν $Sreq_i(t) \leq \frac{CRA_level_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000}$ τότε το RCST πρέπει να αποστείλει μια αίτηση RBDC χωρητικότητας μηδενικού ρυθμού μόνο στην περίπτωση που $RBDC_last_i \neq 0$ ή $mid_last_i > RBDC_timeout_i$.

2. Εάν $\frac{CRA_level_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} < Sreq_i(t) < \frac{CRA_level_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} + \frac{RBDC_max_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000}$ τότε το RCST_i χρειάζεται να αιτηθεί $Sreq_i(t) - \frac{CRA_level_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000}$ χρονοθυρίδες μέσω μια RBDC αίτησης ρυθμού ίσου με $RBDC_now_i = \frac{\left(Sreq_i(t) - \frac{CRA_level_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} \right) * B * 8}{T_{SF}}$. Το αίτημα αυτό θα αποσταλεί μόνο στη περίπτωση που $RBDC_last_i \neq RBDC_now_i$ ή $mid_last_i > RBDC_timeout_i$.

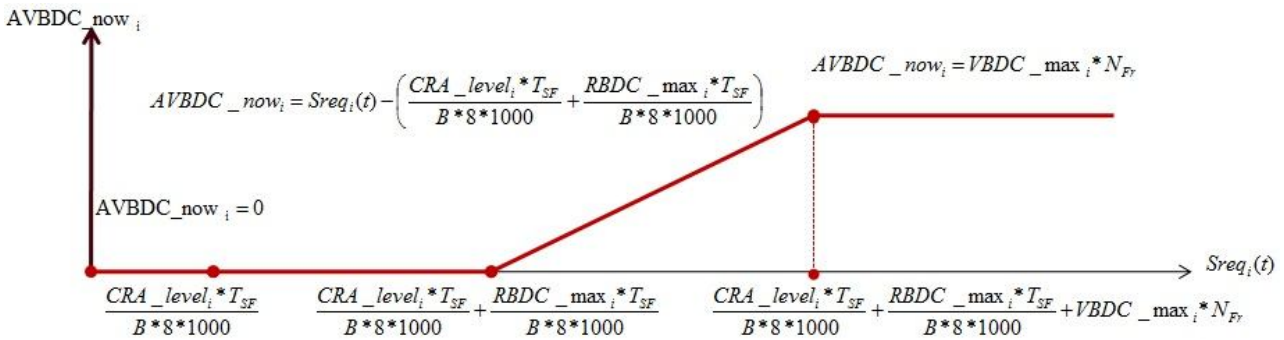
3. Εάν $Sreq_i(t) < \frac{CRA_level_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} + \frac{RBDC_max_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} + VBDC_max_i * N_{Fr}$ και επιπλέον ισχύει ότι $Sreq_i(t) > \frac{CRA_level_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} + \frac{RBDC_max_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000}$ τότε αποστέλλεται καταρχήν μια αίτηση RBDC ρυθμού ίσου με $RBDC_now_i = \frac{RBDC_max_i}{1000}$ kbps, μόνο στην περίπτωση που $RBDC_last_i \neq RBDC_now_i$ ή $mid_last_i > RBDC_timeout_i$, καθώς και μια αίτηση για AVBDC χωρητικότητα πλήθους $Sreq_i(t) - \left(\frac{CRA_level_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} + \frac{RBDC_max_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} \right)$ χρονοθυρίδων.

4. Τέλος, εάν $Sreq_i(t) > \frac{CRA_level_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} + \frac{RBDC_max_i * T_{SF}}{B * 8 * 1000} + VBDC_max_i * N_{Fr}$ τότε αποστέλλεται η μέγιστη χωρητικότητα που έχει συμφωνηθεί με τον NCC, δηλαδή αποστέλλεται καταρχήν μια αίτηση RBDC ρυθμού ίσου με $RBDC_now_i = \frac{RBDC_max_i}{1000}$ kbps, μόνο στην περίπτωση που $RBDC_last_i \neq RBDC_now_i$ ή $mid_last_i > RBDC_timeout_i$, καθώς και μια αίτηση AVBDC $VBDC_max_i * N_{Fr}$ χρονοθυρίδων.

Στην Εικόνα 4-4 και Εικόνα 4-3, φαίνεται οπτικά η διακύμανση της RBDC και AVBDC αίτησης που αποστέλλει ένα RCST, σε συνάρτηση με το συνολικό πλήθος χρονοθυρίδων $Sreq_i(t)$ που χρειάζεται για το επόμενο υπερπλαίσιο.



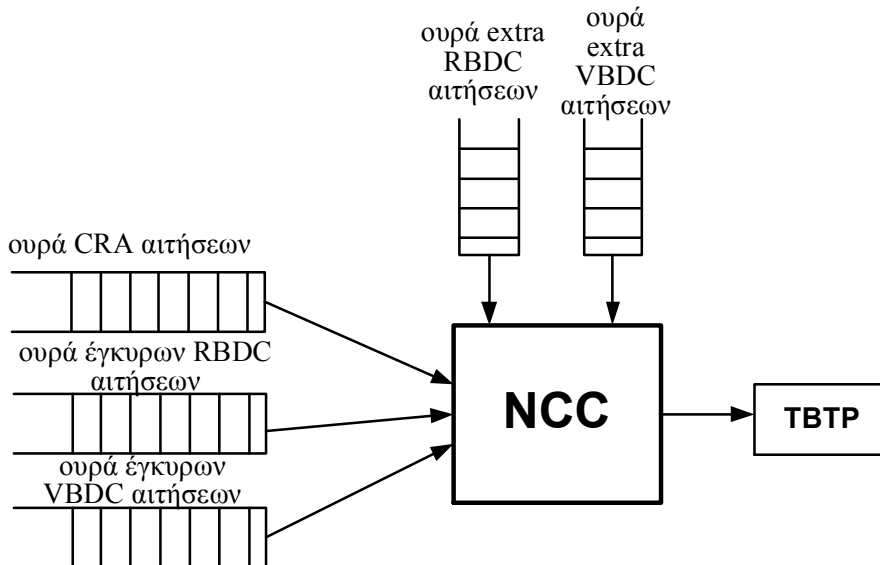
Εικόνα 4-4. Διάγραμμα της RBDC αίτησης σε σχέση με το σύνολο χρονοθυρίδων που αιτείται ένα τερματικό



Εικόνα 4-3. Διάγραμμα της AVBDC αίτησης σε σχέση με το σύνολο χρονοθυρίδων που αιτείται ένα τερματικό

4.4 Λειτουργία του PartB

Ο PartB λειτουργεί στον NCC και ο ρόλος του είναι η δίκαιη και αποδοτική κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος καθώς και η σύνταξη του TBTP και η αποστολή του στα δορυφορικά τερματικά. Σε περιοδικά χρονικά διαστήματα, φτάνουν στον NCC τα αιτήματα των τερματικών που βρίσκονται στο δίκτυο. RBDC αίτημα αποστέλλεται στην περίπτωση που το τερματικό θέλει να αντικαταστήσει κάποιο προηγούμενο αίτημα που έχει αποστείλει, ενώ VBDC αίτημα αποστέλλεται στην περίπτωση που υπάρχει ανάγκη για κάποια επιπλέον χωρητικότητα.



Εικόνα 4-5. Οι ουρές του NCC

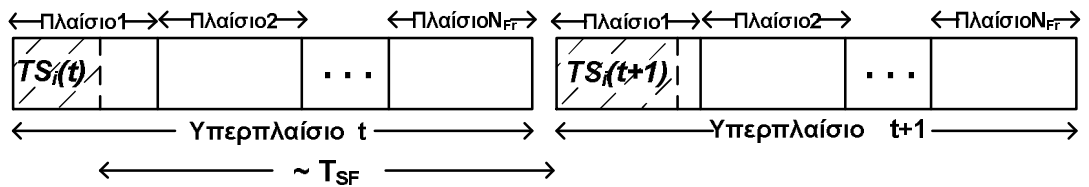
Ο NCC συγκεντρώνει όλα τα αιτήματα και τα κατατάσσει στις πέντε ουρές του. Οι ουρές που χρησιμοποιούνται από τον NCC για τη δημιουργία του TBTP παρουσιάζονται σχηματικά στην Εικόνα 4-5. Στην πρώτη ουρά, η οποία ονομάζεται CRA_queue , ο NCC καταχωρεί την εγγυημένη ποσότητα CRA_level που έχει συμφωνήσει με κάθε RCST κατά τη διάρκεια της εισαγωγής του τελευταίου στο δίκτυο. Αυτή είναι η μικρότερη χωρητικότητα που θα εκχωρηθεί σε κάθε τερματικό σε κάθε υπερπλαίσιο. Για τα RBDC αιτήματα ο NCC δημιουργεί δύο ουρές: την $RBDC_valid_queue$ και την $RBDC_extra_queue$. Κάθε τερματικό στέλνει στον NCC το αίτημά του για RBDC χωρητικότητα μόνο στην περίπτωση που θέλει να αντικαταστήσει το προηγούμενο αίτημά του ή στην περίπτωση που η χρονική διάρκεια ισχύς του τελευταίου έχει λήξει. Διαφορετικά, ο NCC θεωρεί ότι το αίτημα για RBDC χωρητικότητα του τερματικού είναι το ίδιο με αυτό του προηγούμενου υπερπλαισίου. Για το λόγο αυτό, ο NCC διατηρεί το τελευταίο RBDC αίτημα κάθε τερματικού, καθώς και τα υπερπλαίσια που έχουν παρέλθει από τη στιγμή που το έλαβε στις μεταβλητές $RBDC_last_i$ και mid_last_i αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση ο NCC ελέγχει εάν η ποσότητα $RBDC_now_i$, που αιτείται το τερματικό για το επόμενο υπερπλαίσιο, είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από την μέγιστη $RBDC_max_i$ που είχαν συμφωνήσει κατά την εισαγωγή του στο δίκτυο. Εάν η ποσότητα $RBDC_now_i$ είναι μικρότερη της μέγιστης, τότε καταχωρούνται

$\frac{RBDC_now_i * T_{MF}}{B * 8 * 1000}$ χρονοθυρίδες στην ουρά $RBDC_valid_queue$. Εάν η ποσότητα $RBDC_now_i$ είναι μεγαλύτερη της μέγιστης, τότε στην ουρά

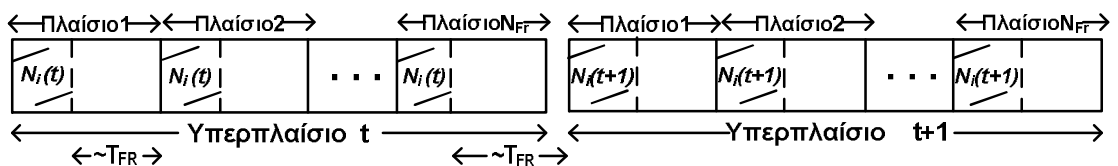
$RBDC_valid_queue$ καταχωρούνται $\frac{RBDC_max_i * T_{MF}}{B * 8 * 1000}$ χρονοθυρίδες και στην

ουρά $RBDC_extra_queue$ $\frac{(RBDC_max_i - RBDC_now_i) * T_{MF}}{B * 8 * 1000}$ χρονοθυρίδες.

Τέλος, για τα VBDC αιτήματα που θα λάβει ο NCC χρησιμοποιεί επίσης δύο ουρές. Οι ουρές αυτές ονομάζονται $VBDC_valid_queue$ και $VBDC_extra_queue$ και λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο. Εάν η ποσότητα $VBDC_now_i$, που αιτείται το τερματικό i για το επόμενο υπερπλαίσιο, είναι μικρότερη της μέγιστης ποσότητας $VBDC_max_i$, που είχε συμφωνηθεί κατά την εισαγωγή του RCST στο δίκτυο, τότε στην ουρά $VBDC_valid_queue$ καταχωρούνται $VBDC_now_i$ χρονοθυρίδες. Αντίθετα, στην περίπτωση που η ποσότητα $VBDC_now_i$ είναι μεγαλύτερη της μέγιστης που έχει συμφωνηθεί, τότε στην ουρά $VBDC_valid_queue$ καταχωρούνται $VBDC_max_i$ χρονοθυρίδες, ενώ στην ουρά $VBDC_extra_queue$



(i) Η κατανομή των χρονοθυρίδων ενός τερματικού δεν είναι διεσπαρμένη μεταξύ των πλαισίων



(ii) Η κατανομή των χρονοθυρίδων ενός τερματικού είναι διεσπαρμένη μεταξύ των πλαισίων

Εικόνα 4-6. Κατανομή των χρονοθυρίδων μεταξύ των πλαισίων ενός τερματικού

καταχωρούνται $VBDC_now_i - VBDC_max_i$ χρονοθυρίδες.

Στην συνέχεια, ο PartB προχωρά στη μεγαλύτερη σε σπουδαιότητα λειτουργία του, που είναι η αποδοτική και όσο το δυνατόν πιο δίκαιη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος. Η λογική που ακολουθεί ο αλγόριθμος είναι η κατανομή των πόρων με βάση την προτεραιότητα της κάθε κατηγορίας υπηρεσιών ανάλογα με τους περιορισμούς που την ακολουθούν από τις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας. Κατά συνέπεια, εάν το άθροισμα των χρονοθυρίδων από τις ουρές CRA_queue , $RBDC_valid_queue$ και $VBDC_valid_queue$ είναι μικρότερο από τη χωρητικότητα που μπορεί να διαθέσει ο NCC, τότε εκτός από την χωρητικότητα που βρίσκεται σε αυτές τις ουρές, ο NCC θα ικανοποιήσει και όση περισσότερη χωρητικότητα μπορεί πρώτα από την ουρά $RBDC_extra_queue$ και αν υπάρχει ακόμα περιθώριο και από την ουρά $VBDC_extra_queue$. Εάν, υπάρχουν ακόμα διαθέσιμοι πόροι έχοντας ικανοποιήσει τα αιτήματα και από τις πέντε ουρές, ο NCC θα τους μοιράσει σε όλα τα δορυφορικά τερματικά με την μορφή FCA χωρητικότητας. Το παραπάνω θα δώσει τη δυνατότητα στα τερματικά να ικανοποιήσουν ανάγκες που δεν μπόρεσαν να προβλέψουν κατά την αποστολή του αιτήματος.

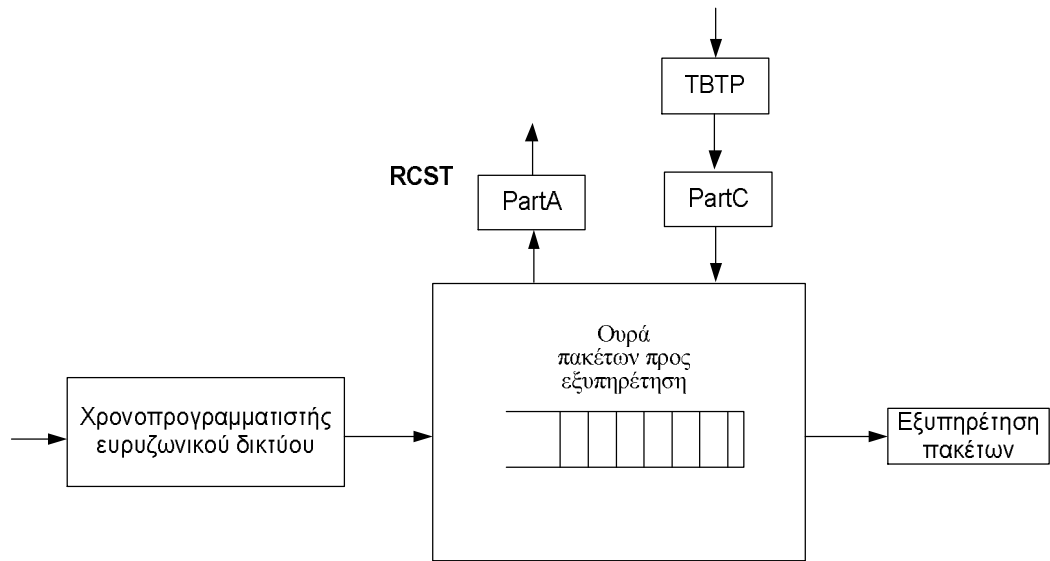
Από την άλλη μεριά, εάν το άθροισμα των χρονοθυρίδων από τις ουρές CRA_queue , $RBDC_valid_queue$ και $VBDC_valid_queue$ είναι μεγαλύτερο από την χωρητικότητα που μπορεί να διαθέσει ο NCC, τότε καταρχήν θα εκχωρηθεί η CRA χωρητικότητα που έχει εγγυηθεί σε κάθε τερματικό και στη συνέχεια, εάν υπάρχει περιθώριο, θα ικανοποιηθούν όσα το δυνατόν περισσότερα $RBDC$ αιτήματα από την $RBDC_valid_queue$ ουρά και, εάν υπάρχει ακόμα η δυνατότητα, όσο το δυνατόν περισσότερα $VBDC$ αιτήματα από την $VBDC_valid_queue$ ουρά. Για να αποφευχθεί η πιθανότητα της αδικίας και της άνιση μεταχείρισης ανάμεσα στα τερματικά, όλα τα αιτήματα εισέρχονται στις ουρές με τυχαία σειρά, η οποία είναι διαφορετική σε κάθε υπερπλαίσιο. Με τον τρόπο αυτό, δεν υπάρχει περίπτωση να εξυπηρετούνται συνεχώς τα ίδια τερματικά.

Ολοκληρώνοντας την παραπάνω διαδικασία, ο NCC πλέον γνωρίζει τη συνολική ποσότητα των χρονοθυρίδων TS_i που αντιστοιχούν σε κάθε τερματικό σταθμό ($total_slots_i$). Συνεπώς, μπορεί να προχωρήσει στη σύνταξη του TBTP, δηλαδή στη δομή του επόμενου υπερπλαϊσίου στο ανερχόμενο κανάλι. Ο NCC καλείται να αποφασίσει ποιές χρονοθυρίδες θα εκχωρηθούν σε κάθε τερματικό. Θα ήταν απλό και εύκολο υπολογιστικά να δοθούν σε κάθε τερματικό σειριακά όλες οι χρονοθυρίδες που δικαιούται. Λόγω όμως του μεγάλου μεγέθους των υπερπλαϊσίων, που είναι συνήθως μεγαλύτερα από 200 msec, αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα μεγάλες καθυστερήσεις, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-6(i). Το χρονικό διάστημα που θα μεσολαβούσε μεταξύ δύο διαδοχικών ριπών χρονοθυρίδων του ίδιου τερματικού θα ήταν της τάξης της διάρκειας του υπερπλαϊσίου. Οι περισσότερες εφαρμογές πραγματικού χρόνου δεν μπορούν να ανεχθούν τέτοιες καθυστερήσεις και κατά συνέπεια μια τέτοια υλοποίηση είναι απαγορευτική για το ευρυζωνικό σύστημα που μελετάμε. Στόχος μας λοιπόν είναι να κατανεύουμε τις χρονοθυρίδες που αντιστοιχούν σε κάθε RCST σε όλα τα πλαίσια από τα οποία αποτελείται ένα υπερπλαίσιο. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα οι μέγιστες καθυστερήσεις που θα προκύψουν, από το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο ριπών χρονοθυρίδων, να είναι της τάξης της διάρκειας του πλαϊσίου. Το παραπάνω παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 4-6(ii). Επομένως, σε κάθε υπερπλαίσιο εκχωρούμε $N_{j,i} = TS_i / N_{FR}$ χρονοθυρίδες για κάθε RCST, όπου N_{FR} είναι το πλήθος των πλαϊσίων ενός υπερπλαϊσίου. Εκτός αυτού, ο NCC ακολουθεί, σε κάθε πλαίσιο αλλά και σε κάθε υπερπλαίσιο, την

ίδια σειρά των τερματικών για την εκχώρηση των χρονοθυρίδων, έτσι ώστε να μειώσει όσο το δυνατό περισσότερο τις μέσες καθυστερήσεις των εφαρμογών. Τέλος, αφού ο NCC μεταδώσει το TBTP, διαγράφει τα περιεχόμενα κάθε ουράς έτσι ώστε να είναι έτοιμος για τις αιτήσεις του επόμενου υπερπλαισίου.

4.5 Λειτουργία του PartC

Ο PartC εκτελείται σε κάθε RCST. Η οργάνωση και λειτουργία του PartC φαίνεται στην Εικόνα 4-7. Οργάνωση και λειτουργία του PartC ο ρόλος του είναι να λαμβάνει το TBTP που μεταδίδει σε όλους ο NCC, να διαπιστώνει ποιες χρονοθυρίδες έχουν εκχωρηθεί στο συγκεκριμένο τερματικό και να τις εκχωρεί στα πακέτα των συνδρομητών του ευρυζωνικού δικτύου του. Η εκχώρηση των πόρων αυτών γίνεται με βάση μόνο το είδος υπηρεσίας στην οποία ανήκει το κάθε πακέτο. Ο χρονοπρογραμματιστής που λειτουργεί στον PartC δεν λαμβάνει υπόψη άλλα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας, παρά μόνο τις χρονικές προθεσμίες κάθε πακέτου. Τα πακέτα είναι τοποθετημένα στην ουρά ανάλογα με τα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας τους και τις χρονικές προθεσμίες τους, και η ουρά εξυπηρετείται από τον χρονοπρογραμματιστή με λογική FIFO, δηλαδή ο πρώτος που εισήλθε στην ουρά είναι και ο πρώτος που εξυπηρετείται. Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία αυτή, ο PartC διαγράφει τα πακέτα για τα οποία έχει παρέλθει η μέγιστη καθυστέρηση που μπορούν να ανεχθούν πριν από την μετάδοσή τους στο δορυφορικό δίκτυο.



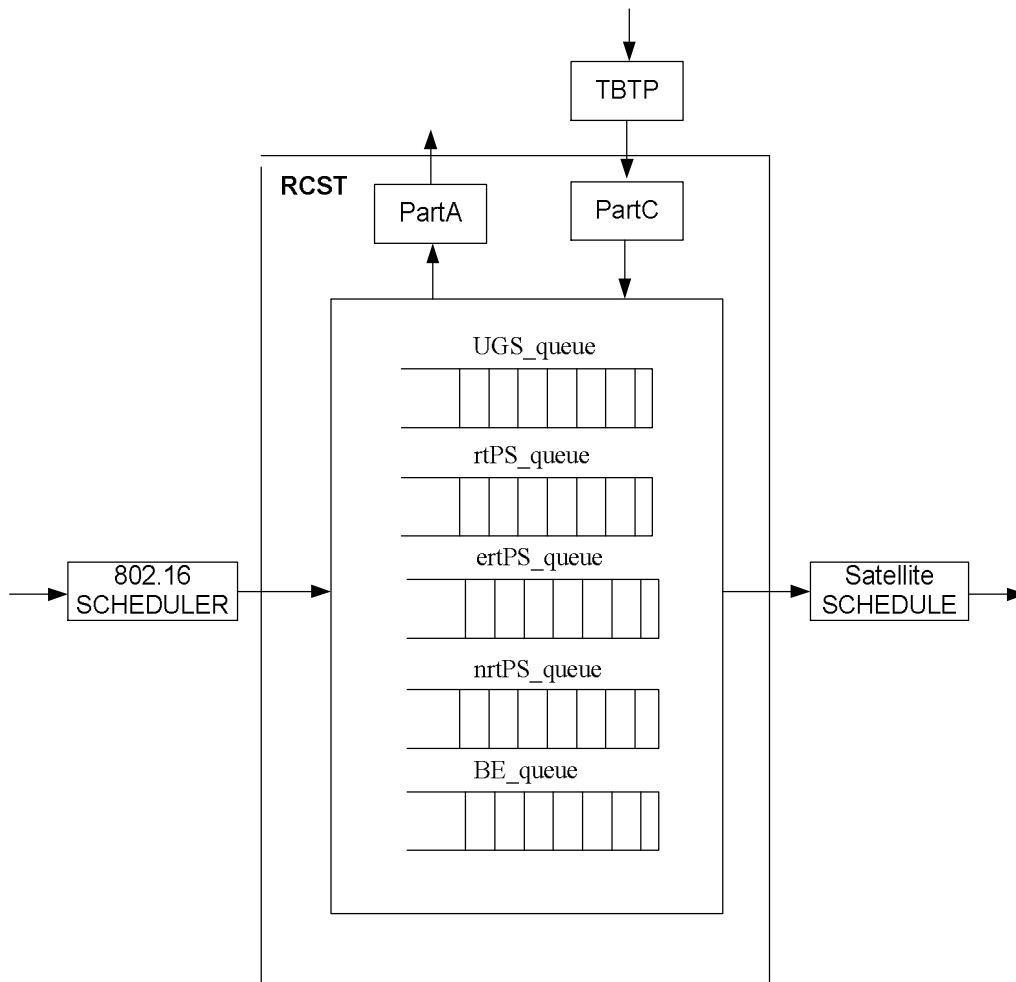
Εικόνα 4-7. Οργάνωση και λειτουργία του PartC

4.6 Μελέτη απόδοσης

Το σύστημα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα παρέχει καλύτερη εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων, δίνει την δυνατότητα να ικανοποιηθούν περισσότερες υπηρεσίες ταυτόχρονα και η συνολική του απόδοση είναι καλύτερη από ένα σύστημα στο οποίο τα αιτήματα γίνονται χωρίς καμία πρόβλεψη. Για την μέτρηση και την απόδειξη των παραπάνω κατασκευάστηκε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης με την βοήθεια του οποίου πραγματοποιήθηκαν τα αντίστοιχα πειράματα. Για λόγους σύγκρισης, αναπτύχθηκε ένας απλούστερος μηχανισμός αποτελούμενος από έναν πιο απλό PartA (dummy) που κάνει τις αιτήσεις μόνο βάσει των πακέτων που περιμένουν στις ουρές του τερματικού, ενώ η λογική του PartB και PartC είναι ίδια για να δείξουμε την βελτίωση που έχουμε κάνοντας τις αιτήσεις με τη χρήση πρόγνωσης. Το ευρυζωνικό σύστημα που

επιλέξαμε να υλοποιήσουμε είναι το WiMAX. Η επιλογή του ευρυζωνικού δικτύου στον σχεδιασμό του παραπάνω συστήματος, επηρεάζει μόνο την επιλογή του χρονοπρογραμματιστή του PartC σε σχέση με τα πακέτα που θα επιλεγθούν να εξυπηρετηθούν.

Με την επιλογή του WiMAX ως ευρυζωνικό σύστημα διασύνδεσης, ο PartC οργανώνεται και λειτουργεί ως εξής: τα πακέτα οργανώνονται σε πέντε ουρές στον PartC σύμφωνα με το είδος υπηρεσίας την οποία ανήκουν, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-8. Τα πακέτα φτάνουν από τους WiMAX SS και εισέρχονται σε μια από τις UGS_queue, rtPS_queue, ertPS_queue, nrtPS_queue, BE_queue, ανάλογα με το είδος υπηρεσίας, και ταξινομούνται μόνο με βάση τον χρόνο ισχύς τους. Συνεπώς ο PartC, γνωρίζοντας την κατανομή των χρονοθυρίδων σε όλο το υπερπλαίσιο μέσω του TBTP, καταρχήν εξυπηρετεί τις UGS υπηρεσίες από την UGS_queue, προσπαθώντας να ικανοποιήσει τους περιορισμούς ποιότητας υπηρεσίας που τίθενται, και συνεχίζει με τις ertPS, rtPS, nrtPS και BE υπηρεσίες από τις αντίστοιχες ουρές ικανοποιώντας όσο το δυνατόν περισσότερες από αυτές.

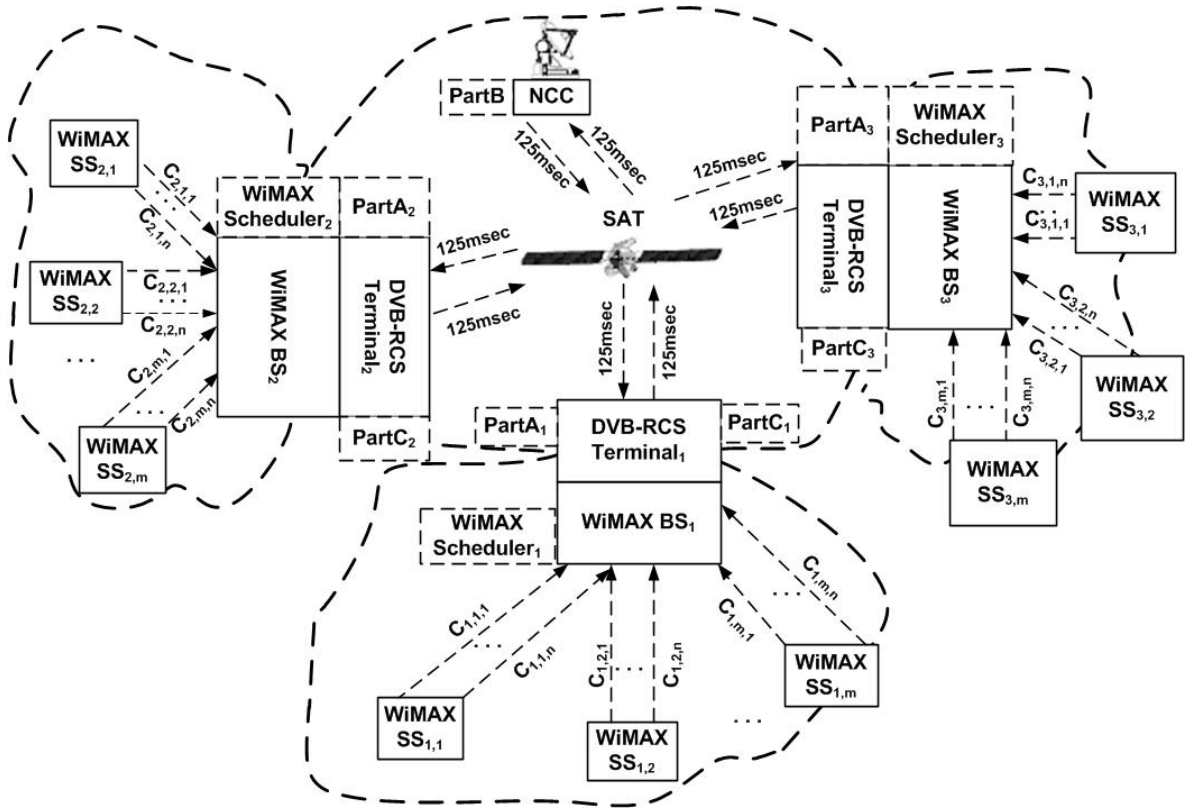


Εικόνα 4-8. Οργάνωση και λειτουργία του PartC με επιλεγμένο ευρυζωνικό δίκτυο το WiMAX

Η γλώσσα προγραμματισμού που επιλέχθηκε για την δημιουργία του προγράμματος προσομοίωσης είναι η C++.

4.6.1 Αρχιτεκτονική και Παραδοχές του προγράμματος προσομοίωσης

Στο πρόγραμμα που κατασκευάστηκε προσομοιώνουμε την πλήρη λειτουργία του καναλιού επιστροφής του DVB-RCS και την PMP τοπολογία του συστήματος IEEE 802.16. Η αρχιτεκτονική του συστήματος που κατασκευάστηκε αποτελείται από τρία DVB-RCS τερματικά που λειτουργούν παράλληλα και ως WiMAX BS, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-9.



Εικόνα 4-9. Αρχιτεκτονική του συστήματος στο πρόγραμμα προσομοίωσης

Πίνακας 4-1. Χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας κάθε τύπου κίνησης.

Είδος κίνησης	Τύπος υπηρεσίας	mrtr (kbps)	mstr (kbps)	Καθυστέρηση στο 802.16 δίκτυο (msecs)	Jitter (msecs)	Μέση κίνηση (kbps)	Καθυστέρηση στο δορυφορικό δίκτυο (msecs)
ασυμπίεστη φωνή/βίντεο	UGS	128	128	30	15	170	300
συμπιεσμένη φωνή(voip)	ertPS	18	32	50	-	25	400
συμπιεσμένο βίντεο	rtPS	80	128	40	-	128	500
ftp	nrtPS	60	110	-	-	100	-
http	BE	-	90	-	-	80	-

Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη ενότητα, ο χρονοπρογραμματιστής του WiMAX είναι υπεύθυνος να εξυπηρετεί την κίνηση του αντίστοιχου WiMAX BS. Κάθε WiMAX SS στέλνει πακέτα πολλαπλών τύπων κίνησης, όπως βίντεο, συμπιεσμένη και ασυμπιεστή φωνή, FTP και HTTP, έτσι ώστε να αποτιμηθούν τα χαρακτηριστικά του προτύπου και του προτεινόμενου μηχανισμού σε κάθε περίπτωση. Παρόλο που έχει συμφωνηθεί ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης για κάθε είδος υπηρεσίας (mrrt και mstr), όλες οι συνδέσεις, εκτός της συμπιεσμένης φωνής, έχουν διαμορφωθεί να δημιουργούν περισσότερο εύρος ζώνης από αυτό που έχει επιτραπεί. Στον Πίνακα 4-1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας για κάθε τύπο κίνησης. Όλες οι συνδέσεις ενός συγκεκριμένου τύπου θεωρούνται ανεξάρτητες και στατιστικά ταυτόσημες.

Το μήκος του χρονοπλαισίου ορίστηκε στο 1 msec, το μέγεθος του πακέτου στα 54 bytes και το σχήμα διαμόρφωσης που επιλέξαμε είναι το 64-QAM για κάθε συνδρομητή, τα οποία έχουν σαν αποτέλεσμα ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης να είναι 120 Mbps. Για να περιορίσουμε την προσομοίωση σε λογικούς αριθμούς, θεωρούμε ότι για την παραπάνω κίνηση έχουμε διαθέσιμο το 50% του συνολικού εύρους ζώνης. Επιπροσθέτως, ο μέγιστος αριθμός πακέτων στην BE ουρά εξόδου τέθηκε στα 2000 πακέτα ενώ ο μέγιστος αριθμός nrPS πακέτων στην αντίστοιχη ουρά τέθηκε στα 4000 πακέτα. Το παραπάνω εξασφαλίζει μια ελάχιστη προστασία της UGS και rtPS κίνησης έναντι των nrPS και BE.

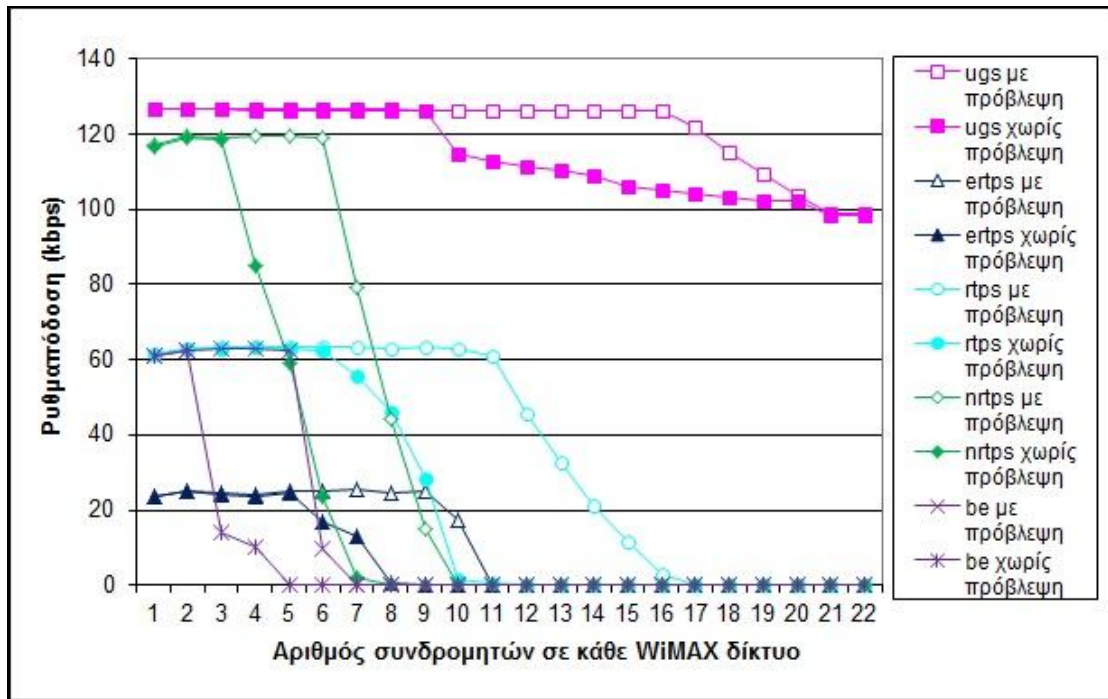
Για το σύστημα DVB-RCS ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στο κανάλι επιστροφής είναι τα 6Mbps. Η διάρκεια του πλαισίου, που όπως αναφέραμε θεωρήσαμε ότι είναι σταθερή, τέθηκε στα 50 msec ενώ η διάρκεια του υπερπλασίου στα 500 msec. Η παράμετρος που συμβολίζει το διάστημα που μεσολαβεί από την στιγμή που αποστέλλεται το αίτημα μέχρι να επιστραφεί το TBTP με τους εκχωρημένους πόρους του συστήματος, συμπεριλαμβανομένου και της αναπόφευκτης καθυστέρησης λόγω της επεξεργασίας των δεδομένων, ονομάζεται round trip delay και ισοδυναμεί με 500 msec. Επιπλέον, κατά την διάρκεια της εισαγωγής των τερματικών στο σύστημα διακανονίζονται οι μέγιστες τιμές χωρητικότητας που μπορεί να αιτηθεί κάθε τερματικό σε κάθε υπερπλαίσιο. Για τις ανάγκες του συγκεκριμένου πειράματος, θεωρήσαμε ότι οι τιμές αυτές είναι οι ίδιες για όλα τα τερματικά. Συνεπώς, ο μέγιστος ρυθμός που μπορεί να αιτηθεί ένας σταθμός στην CRA κατηγορία είναι τα 1000 kbps, στην RBDC κατηγορία είναι 700 kbps ενώ ο μέγιστος χρόνος ισχύος ενός αιτήματος είναι η διάρκεια των δύο υπερπλασίων. Τέλος, η μέγιστη χωρητικότητα που μπορούν να αιτηθούν τα τερματικά στην VBDC κατηγορία είναι οι 110 χρονοθυρίδες ανά υπερπλαίσιο. Οι μέγιστες καθυστερήσεις στο δορυφορικό δίκτυο καθώς και οι τιμές του μέσου ρυθμού σε κάθε τύπο κίνησης, που χρησιμοποιούνται στον PartA που παρουσιάζουμε σε αυτή την διατριβή, δίνονται από τον Πίνακα 4-1. Ολοκληρώνοντας, όπως και στην περίπτωση των WiMAX δικτύων, για να παρέχουμε μια ελάχιστη προστασία τω UGS και rtPS πακέτων έναντι των nrPS και BE ορίσαμε τον μέγιστο αριθμό των BE πακέτων που μπορούμε να έχουμε στην ουρά εξόδου του PartC ίσο με 300 πακέτα και τον μέγιστο αριθμό nrPS πακέτων στην αντίστοιχη ουρά εξόδου ίσο με 500 πακέτα.

4.6.2 Μελέτη απόδοσης

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που παραθέσαμε προηγουμένως, εκτελέσαμε τα πειράματα και πήραμε τις μετρήσεις που παρουσιάζονται στις

επόμενες γραφικές παραστάσεις αυξανοντας σε κάθε περίπτωση το πλήθος των συνδρομητών που εξυπηρετούνται σε κάθε σταθμό βάσης.

Στην Εικόνα 4-10, παρουσιάζεται η ρυθμαπόδοση των πέντε διαφορετικών ειδών υπηρεσίας για έναν αυξανόμενο αριθμό SS σε κάθε WiMAX δίκτυο. Μέχρι δύο SS, όλη η κίνηση εξυπηρετείται, καθώς οι χρονοθυρίδες που είναι δεσμευμένες από το CRA_level είναι επαρκείς. Για παραπάνω από τρεις συνδρομητές ο απλός μηχανισμός δεν μπορεί να εξυπηρετήσει όλη την best effort κίνηση και μετά από τέσσερις SS δεν μπορεί να εξυπηρετήσει καθόλου από αυτήν. Η ρυθμαπόδοση της nrPS κίνησης αρχίζει να μειώνεται μετά από τέσσερις και μηδενίζεται μετά από επτά SS. Η αντίστοιχη μείωση για την rtPS κίνηση ξεκινάει μετά από έξι συνδρομητές, για την erPS κίνηση μετά από οκτώ συνδρομητές και τέλος για την UGS κίνηση μετά από δέκα SS σε κάθε WiMAX



Εικόνα 4-10. Ρυθμαπόδοση ανά τύπο υπηρεσίας

δίκτυο.

Αντίθετα, ο προτεινόμενος μηχανισμός λειτουργεί καλύτερα για όλα τα είδη κίνησης. Πιο λεπτομερώς, η ρυθμαπόδοση της BE, nrPS, rtPS, erPS και UGS κίνησης αρχίζει να μειώνεται μετά από έξι, επτά, δέκα, δεκατέσσερις και δεκαεπτά SS αντίστοιχα. Μετά από είκοσι συνδρομητές, οι δύο μηχανισμοί έχουν την ίδια συμπεριφορά, καθώς και στις δύο περιπτώσεις εκχωρείται στον RCST ο μέγιστος αριθμός από χρονοθυρίδες. Στον Πίνακα 4-3, φαίνεται το ποσοστό της ελάχιστης, της μέγιστης και του μέσου όρου βελτίωσης της ρυθμαπόδοσης ανά τύπο υπηρεσίας όσο αφορά τον προτεινόμενο αλγόριθμο συγκριτικά με τον ίδιο μηχανισμό χωρίς πρόγνωση κίνησης. Ο μέσος όρος βελτίωσης της ρυθμαπόδοσης συνολικά είναι 66,75%.

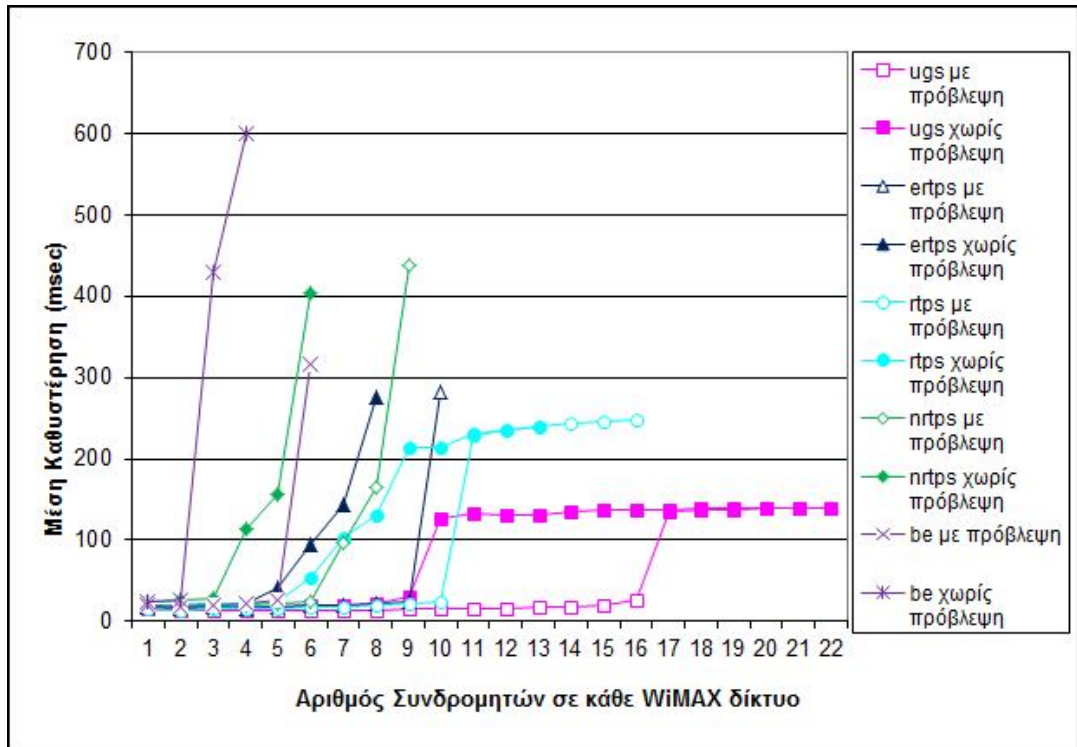
Πίνακας 4-3. Ποσοστό βελτίωσης της ρυθμαπόδοσης με τον προτεινόμενο αλγόριθμο συγκριτικά με αυτόν που δεν κάνει πρόβλεψη κίνησης

Είδος Υπηρεσίας	ugs	rtps	ertps	nrtps	be
Ελάχιστη βελτίωση	6,30%	12,09%	31,86%	29,00%	77,83%
Μέγιστη βελτίωση	17,03%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Μέσος όρος βελτίωσης	12,63%	78,97%	75,68%	76,10%	90,37%

Στην Εικόνα 4-11, παρουσιάζεται η μέση καθυστέρηση των πέντε διαφορετικών ειδών υπηρεσίας για έναν αυξανόμενο αριθμό συνδρομητών σε κάθε WiMAX δίκτυο. Όπως απεικονίζεται καλύτερα, για την rtPS και UGS κίνηση, ο απλός μηχανισμός φτάνει σχεδόν την μέγιστη καθυστέρηση για την rtPS κίνηση στους οκτώ SS και για την UGS κίνηση στους δέκα SS, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τον προτεινόμενο μηχανισμό είναι δέκα και δεκαεπτά SS. Αυτή η εικόνα δείχνει επίσης ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός δεν εξυπηρετεί μόνο περισσότερη κίνηση από τον απλούστερο, αλλά επίσης με μικρότερη μέση καθυστέρηση λόγω της λογικής πρόβλεψης που ακολουθεί. Αυτό είναι ιδιαίτερα επιθυμητό ειδικά στα δορυφορικά δίκτυα, όπου δεν μπορεί να αποφευχθεί η καθυστέρηση διάδοσης. Στον Πίνακα 4-2, φαίνεται το ποσοστό της ελάχιστης, της μέγιστης και του μέσου όρου βελτίωσης της μέσης καθυστέρησης ανά τύπο υπηρεσίας όσο αφορά τον προτεινόμενο αλγόριθμο συγκριτικά με τον ίδιο μηχανισμό χωρίς πρόγνωση κίνησης. Ο μέσος όρος βελτίωσης της μέσης καθυστέρησης συνολικά είναι 80,65%.

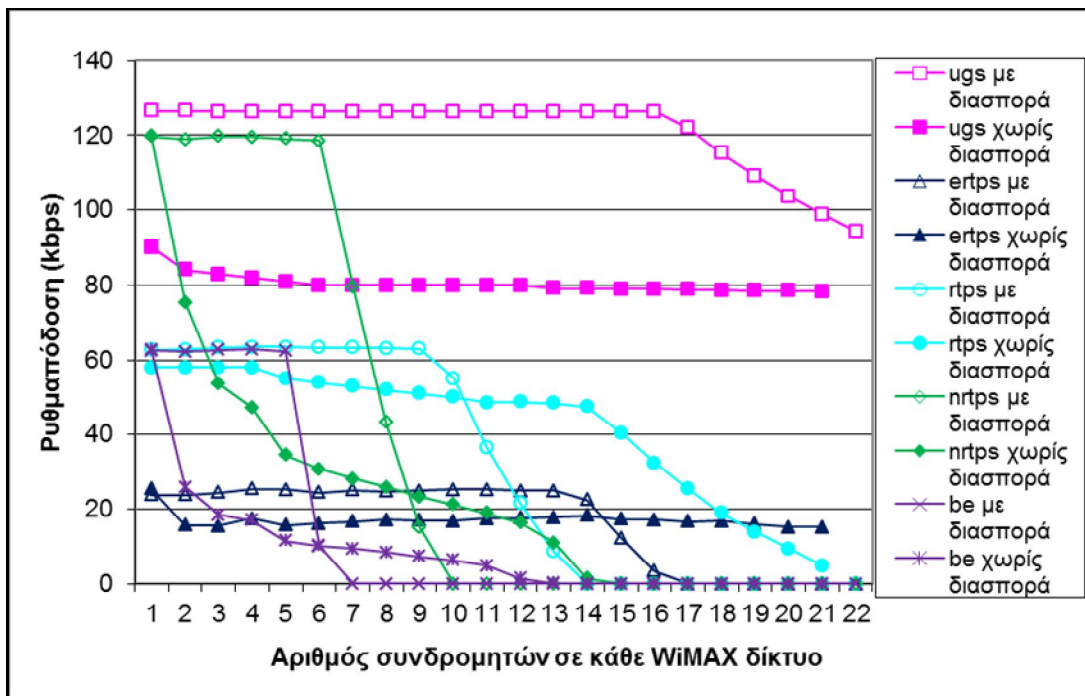
Πίνακας 4-2. Ποσοστό βελτίωσης της μέσης καθυστέρησης με τον προτεινόμενο αλγόριθμο συγκριτικά με αυτόν που δεν κάνει πρόβλεψη κίνησης

Είδος Υπηρεσίας	ugs	rtps	ertps	nrtps	be
Ελάχιστη βελτίωση	0,62%	0,11%	79,57%	82,84%	88,61%
Μέγιστη βελτίωση	87,79%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Μέσος όρος βελτίωσης	57,64%	64,59%	91,52%	93,48%	96,00%

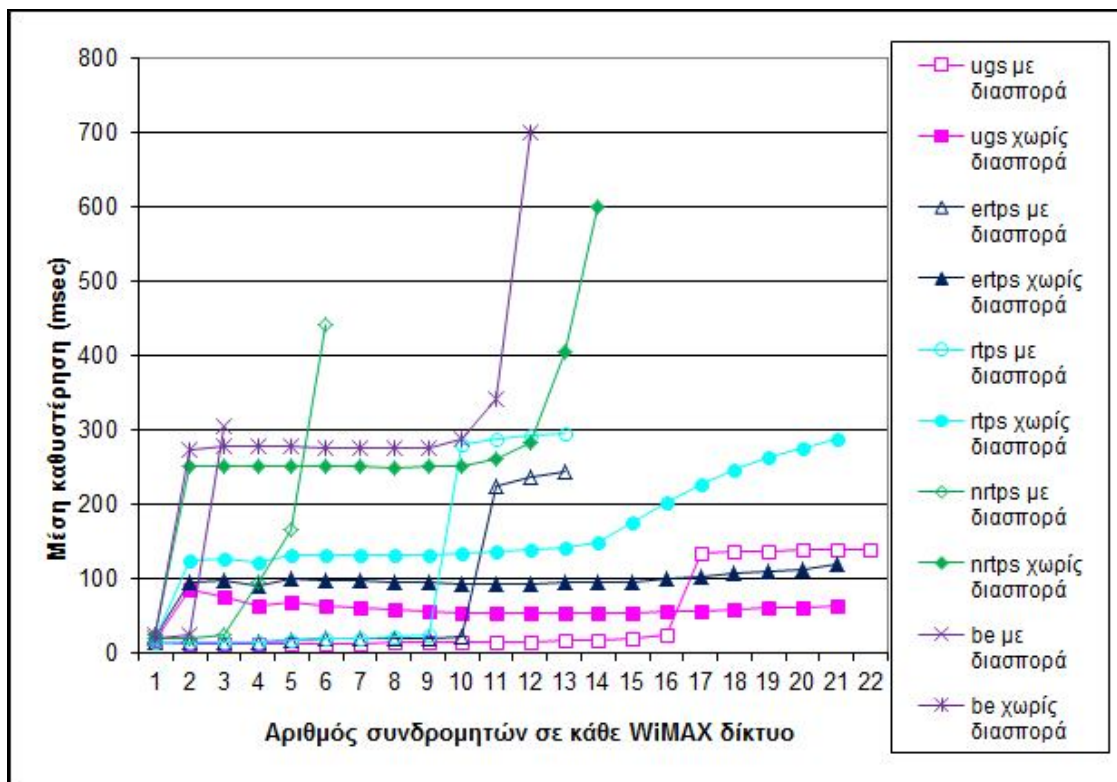


Εικόνα 4-11. Μέση καθυστέρηση ανά τύπο υπηρεσίας

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων, καταλήγουμε ότι η χρήση πρόγνωσης στο PartA μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένες τιμές ρυθμαπόδοσης και μέσης καθυστέρησης. Για να μετρήσουμε την αποτελεσματικότητα του PartB, έχουμε χρησιμοποιήσει ένα διαφορετικό σενάριο, με δύο μηχανισμούς που χρησιμοποιούν τον προτεινόμενο PartA και δύο διαφορετικά PartBs. Το πρώτο PartB είναι αυτό που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-6(i) και το οποίο δεν διασπείρει την εκχωρημένη χωρητικότητα μέσα σε ένα υπερπλαίσιο, ενώ το δεύτερο παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-6(ii), και το οποίο διασπέρνει με ίδιο τρόπο την εκχωρημένη χωρητικότητα ανάμεσα στα πλαίσια ενός υπερπλαισίου. Αναφερόμαστε στις δύο εναλλακτικές ως «δισπαρμένη» και «μη δισπαρμένη» έκδοση αντίστοιχα.



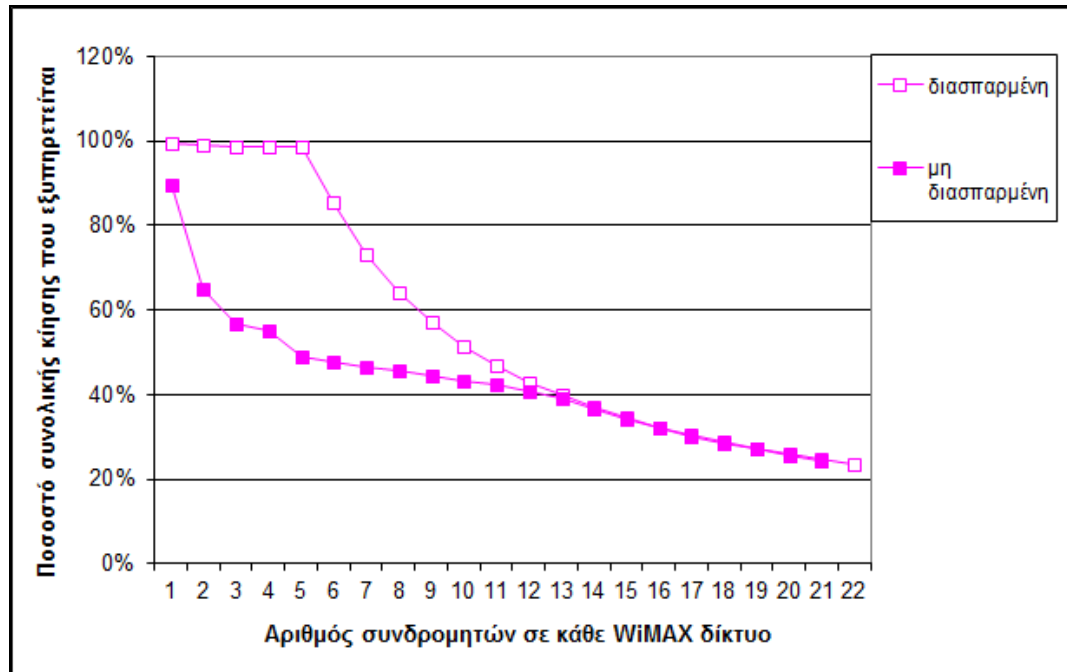
Εικόνα 4-13. Η ρυθμαπόδοση ανά τύπο υπηρεσίας με τη χρήση της «δισπαρμένης» και της «μη δισπαρμένης» έκδοσης του PartB



Εικόνα 4-12. Η μέση καθυστέρηση ανά τύπο υπηρεσίας με τη χρήση της «δισπαρμένης» και της μη δισπαρμένης έκδοσης του PartB

Η Εικόνα 4-13 και η Εικόνα 4-12 παρουσιάζει την ρυθμαπόδοση και τη μέση καθυστέρηση των πέντε διαφορετικών ειδών υπηρεσίας για έναν αυξανόμενο αριθμό SS σε κάθε WiMAX δίκτυο. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι η ρυθμαπόδοση όλων των κατηγοριών ξεκινάει από χαμηλότερες τιμές και μηδενίζεται αργότερα με τη χρήση της «μη δισπαρμένης» έκδοσης. Ομοίως, η μέση καθυστέρηση στην

περίπτωση της «μη διεσπαρμένης» έκδοσης ξεκινάει από υψηλότερες τιμές και αυξάνεται αργότερα από τη «διεσπαρμένη» έκδοση. Αυτό συμβαίνει επειδή η «μη διεσπαρμένη» έκδοση δίνει όλο τον αριθμό από τις δεσμευμένες χρονοθυρίδες σε κάθε RCST σε μία ομάδα, όποτε ένας μεγάλος αριθμός από πακέτα φτάνουν στο RCST στο υπόλοιπο υπερπλαίσιο τα οποία λήγουν πριν μπορέσουν να εξυπηρετηθούν στο επόμενο υπερπλαίσιο ή εξυπηρετούνται με μεγάλες καθυστερήσεις. Η Εικόνα 4-14 παρουσιάζει το ποσοστό της συνολικής κίνησης που εξυπηρετείται σε κάθε περίπτωση, δείχνοντας την τάση της «μη διεσπαρμένης» έκδοσης να χάνει περισσότερα δεδομένα λόγω λήξης των πακέτων.



Εικόνα 4-14. Ποσοστό της συνολικής κίνησης που εξυπηρετείται με τη χρήση της «διεσπαρμένης» και της «μη διεσπαρμένης» έκδοσης του PartB

Οι τρεις τελευταίες εικόνες αποκαλύπτουν τη σημαντικότητα της επιλογής των σωστών συνιστωσών σε αυτόν τον μηχανισμό. Πιστεύουμε ότι η «διεσπαρμένη» έκδοση είναι πιο κατάλληλη για τη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική, καθώς παρέχει το συμφωνημένο επίπεδο ρυθμαπόδοσης για περισσότερους συνδρομητές με μικρότερες καθυστερήσεις, που είναι ιδιαίτερα επιθυμητό ιδιαίτερα στα δορυφορικά δίκτυα.

4.7 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε ένας μηχανισμός χρονοπρογραμματισμού για τη διασύνδεση δορυφορικού και ευρυζωνικών δικτύων. Ο προτεινόμενος μηχανισμός αποτελείται από τρία τμήματα: το PartA που βρίσκεται στο RCST και είναι υπεύθυνο για τη διευθέτηση των αιτήσεων χωρητικότητας, το PartB που βρίσκεται στον NCC και είναι υπεύθυνο για την εκχώρηση χωρητικότητας ανά RCST και τη δημιουργία του TBTP, και το PartC που βρίσκεται στο RCST και είναι υπεύθυνο για τον διαμοιρασμό της δοσμένης χωρητικότητας στους συνδρομητές του ευρυζωνικού δικτύου. Η κύρια συνεισφορά του προτεινόμενου μηχανισμού είναι ότι παίρνει υπόψη τα διαφορετικά χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας της κίνησης στο ευρυζωνικό

δίκτυο και προτείνει έναν μηχανισμό πρόγνωσης που χρησιμοποιείται στο PartA για την πραγματοποίηση των αιτήσεων χωρητικότητας. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός μπορεί να παρέχει μια διαφοροποιημένη αντιμετώπιση στις υπηρεσίες διαφορετικού τύπου, που μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένα αποτελέσματα, ειδικά σε όρους ρυθμαπόδοσης και μέσης καθυστέρησης, συγκριτικά με έναν απλούστερο μηχανισμό που δεν χρησιμοποιεί πρόγνωση. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο μηχανισμός της πρόβλεψης των αναγκών ενός σταθμού βάσης που περιγράψαμε έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος, της καλύτερη εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων καθώς και την βελτίωση της καθυστέρησης σε κάθε τύπο υπηρεσίας. Από τις γραφικές παραστάσεις της Εικόνα 4-10 μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η χωρητικότητα του συστήματος αυξάνεται σχεδόν κατά 100%, αφού με τον προτεινόμενο μηχανισμό στους περισσότερους τύπους υπηρεσιών μπορούν να εξυπηρετηθούν οι διπλάσιοι συνδρομητές από την περίπτωση του απλού μηχανισμού. Το παραπάνω ισχύει ακόμα και στην περίπτωση της εγγυημένης χωρητικότητας της UGS κίνησης. Επιπροσθέτως, όπως παρουσιάστηκε από την Εικόνα 4-11, η μέση καθυστέρηση φτάνει την μέγιστη τιμή της εξυπηρετώντας μεγαλύτερο δίκτυο στην περίπτωση του προτεινόμενου αλγορίθμου. Το τελευταίο είναι πολύ κρίσιμο στην περίπτωση των δορυφορικών εφαρμογών λόγω της μεγάλης καθυστέρησης που επιφέρει η δορυφορική φύση του δικτύου. Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται βελτιώσεις και στα τρία τμήματα του προτεινόμενου μηχανισμού.

5. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ PartA

5.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο στοχεύει στη βελτίωση του μηχανισμού πρόβλεψης που χρησιμοποιείται στο PartA του ενοποιημένου δορυφορικού και WiMAX δίκτυου που προτείναμε στο κεφάλαιο 1. Μετά από μία βιβλιογραφική έρευνα που γίνεται σε σχέση με τους μηχανισμούς πρόβλεψης στο WiMAX και στα δορυφορικά δίκτυα (ενότητα 5.2), επιλέγεται ο NLMS (Normalized Least Mean Square) αλγόριθμος για να χρησιμοποιηθεί στον προτεινόμενο μηχανισμό διασύνδεσης. Για την βελτίωση αυτή ερευνώνται τρεις εναλλακτικές. Η πρώτη εναλλακτική υλοποιεί τον NLMS αλγόριθμο στο WiMAX BS (ενότητα 5.3.1), η δεύτερη εναλλακτική προτείνει την υλοποίηση του NLMS αλγορίθμου στο δορυφορικό τερματικό (ενότητα 5.3.2), ενώ η τρίτη προτείνει την υλοποίηση του NLMS αλγορίθμου στο WiMAX BS και στο δορυφορικό τερματικό (ενότητα 5.3.3). Τα αποτελέσματα προσομοίωσης, δείχνουν βελτιωμένα αποτελέσματα και των τριών εναλλακτικών, ενώ η δεύτερη εναλλακτική έχει και τη μικρότερη πολυπλοκότητα σε υπολογισμούς και απαιτήσεις μνήμης.

5.2 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Αυτή η ενότητα παρουσιάζει τις πιο σημαντικές λύσεις που έχουν ήδη προταθεί για πρόβλεψη βίντεο σε WiMAX και δορυφορικά δίκτυα. Στο τέλος αυτής της ενότητας, υπάρχει μία κατηγοριοποίηση και σύγκριση αυτών των προτάσεων, με στόχο την καλύτερη επιλογή για εφαρμογή στο δικό μας μηχανισμό.

5.2.1 Πρόβλεψη βίντεο στο WiMAX

Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, υπάρχει ένας αριθμός από προτάσεις που προτείνουν λύσεις για πρόβλεψη κίνησης στο WiMAX που βασίζονται στη δυναμική κράτηση εύρους ζώνης όπως το [21]. Μερικές από αυτές, κάνουν πρόγνωση της rTPS κίνησης είτε χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά της κίνησης των πραγματικών δεδομένων, όπως self-similarity¹ και εξάρτηση μεγάλης εμβέλειας², είτε επεξεργάζοντας την πληροφορία που παίρνουν από τις ουρές του SS.

Ένας αριθμός από προτάσεις χρησιμοποιούν τα χαρακτηριστικά της κίνησης των πραγματικών δεδομένων και προσπαθούν να μοντελοποιήσουν την κίνηση με στόχο την πραγματοποίηση της πρόβλεψης. Στο [22], παρουσιάζεται η αναγκαιότητα για ένα σωστό μοντέλο κίνησης για την ανάλυση της απόδοσης του δικτύου και την πρόβλεψη της κίνησης. Επίσης, ερευνάται η επιρροή του πρότυπου της self-similar κίνησης στην απόδοση της ανωφερής ζεύξης του MAC

¹ Ένα self-similar αντικείμενο είναι ακριβώς ή περίπου ίδιο με ένα κομμάτι του εαυτού του (για παράδειγμα έχει το ίδιο σχήμα με ένα ή περισσότερα κομμάτια του). Πολλά αντικείμενα στον πραγματικό κόσμο, όπως οι ακτογραμμές, είναι στατιστικά self-similar.

² Η εξάρτηση μεγάλης εμβέλειας (Long-Range-Dependency) χρησιμοποιείται στην μοντελοποίηση κίνησης βίντεο και αποτελεί ένα φαινόμενο που σχετίζεται με τον ρυθμό απόσβεσης της στατιστικής εξάρτησης των δεδομένων. Έχει παρατηρηθεί ότι η ροή βίντεο παρουσιάζει στατιστική εξάρτηση μεγάλης εμβέλειας

επιπέδου του για τις WiMAX rTPS και BE υπηρεσίες όσον αφορά την ρυθμαπόδοση και τη μέση καθυστέρηση.

Από την άλλη, ένας αριθμός από προτάσεις προσπαθούν να κάνουν στοχαστική πρόβλεψη των δεδομένων που μπορεί να αφιχθούν στην ουρά στο ενδιάμεσο διάστημα μεταξύ της πραγματοποίησης μίας αίτησης και της στιγμής που εκχωρείται αυτή η αίτηση. Στο [23], η μέθοδος που υιοθετείται για πρόγνωση είναι η «differential time grant». Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του μέσου ρυθμού των εισερχόμενων δεδομένων και της διάρκειας του παραπάνω χρονικού διαστήματος. Αυτοί οι υπολογισμοί χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των δεδομένων που έχουν αφιχθεί σε αυτό το χρονικό διάστημα. Η πρόταση δεν παίρνει υπόψη την αίτηση χωρητικότητας του SS ούτε το μήκος της ουράς, για αυτό δεν μπορεί να έχει τη βέλτιστη απόδοση. Στο [24] προτείνεται ένας μηχανισμός αίτησης χωρητικότητας, που μπορεί να μειώσει την καθυστέρηση και το απαιτούμενο μέγεθος της ενδιάμεσης μνήμης. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος φαίνεται να λειτουργεί καλύτερα από τον υπάρχοντα μηχανισμό του WiMAX, σε όρους καθυστέρησης και απαίτησης για ενδιάμεση μνήμη στο SS. Το [24] βασίζεται στο [23], αφού και αυτό χρησιμοποιεί την «differential time grant» μέθοδο για να εκτιμήσει τον μέσο ρυθμό των εισερχόμενων δεδομένων και τη διάρκεια του παραπάνω χρονικού διαστήματος. Η επέκταση που κάνει αυτή η πρόταση είναι η χρήση της συνάρτησης παρεμβολής Lagrange για την εκτίμηση του χρόνου και του ρυθμού άφιξης των δεδομένων. Παρόλο που το [25] αναφέρεται στα DOCSIS-Based HFC δίκτυα [26], η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή των WiMAX δικτύων. Ένας προγνώστης κίνησης προτείνεται με στόχο την απλή αλλά και ακριβή πρόβλεψη MPEG βίντεο. Ο προτεινόμενος προγνώστης βασίζεται σε έναν απλό αλγόριθμο ανίχνευσης σκηνης και στον Variable Step Size Normalized Least Mean Square (VSSNLMS) αλγόριθμο, που είναι μία επέκταση του normalized least mean square (NLMS) αλγορίθμου. Λόγω της ικανότητας του για γρήγορη ανίχνευση, ο VSSNLMS αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να προβλέψει την κίνηση μέσα στην ίδια σκηνή. Όταν ανιχνεύεται μία αλλαγή σκηνης, οι συντελεστές του φίλτρου ανανεώνονται χρησιμοποιώντας τα σήματα που ανήκουν στην καινούργια σκηνή. Αυτό γίνεται για να επιταχύνει την επαναφορά σε σωστές τιμές των συντελεστών και να αποφύγει τη δημιουργία ενός μεγάλου λάθους πρόβλεψης στα όρια της σκηνης. Οπότε, ο προτεινόμενος προγνώστης προσφέρει προσαρμοστικότητα όχι μόνο στην προσαρμογή του μεγέθους του βήματος και των συντελεστών αλλά και στην δυναμική ανανέωση των εισόδων. Βάσει του προτεινόμενου προγνώστη, σχεδιάζεται ένας καινούργιος αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού βασισμένου στην πρόγνωση κίνησης για να υποστηρίξει την ποιοτική μεταφορά πραγματικού χρόνου MPEG βίντεο. Ένα από τα καινοτόμα χαρακτηριστικά αυτού του αλγορίθμου είναι η μείωση της καθυστέρησης μετάδοσης των πακέτων επιτρέποντας την αίτηση χωρητικότητας όχι μόνο για τα πακέτα που είναι στην ενδιάμεση μνήμη αλλά και των δεδομένων που θα αφιχθούν στο μέλλον. Στο [27] προτείνεται ένα καινούργιο σχήμα πρόβλεψης κίνησης για MPEG κίνηση που βασίζεται στην εκτίμηση της πυκνότητας που ονομάζεται Εκτιμητής Βασισμένος στην Εκτίμηση της Πυκνότητας (Density Estimation Based Predictor -DEEP). Η πυκνότητα των I, P και B frames εκτιμάται με την μέθοδο Εκτίμησης Πυκνότητας Kernel. Για να επιταχύνουν τη σύγκλιση του εκτιμητή στις αλλαγές των σκηνών, οι συγγραφείς επισυνάπτουν ένα βάρος στα MPEG frames και χρησιμοποιούν έναν μηχανισμό που ενημερώνει τα βάρη με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνεται μεγαλύτερο βάρος στα πιο πρόσφατα frames συγκριτικά με τα παλιότερα. Προσομοιώσεις που χρησιμοποιούν πραγματικά MPEG δοκιμαστικά αρχεία (traces) δείχνουν ότι

ο προτεινόμενος εκτιμητής παρέχει βελτιώσεις συγκριτικά με τον VSSNLMS αλγόριθμο.

5.2.2 Πρόβλεψη βίντεο σε δορυφορικά δίκτυα

Μερικές από τις προτάσεις για πρόγνωση σε δορυφορικά δίκτυα χρησιμοποιούν τα χαρακτηριστικά της πραγματικού χρόνου κίνησης. Στο [28], χρησιμοποιείται ένα μοντέλο που συλλαμβάνει με ακρίβεια τη συμπεριφορά των πολυπλεγμένων MPEG-4 ταινιών τηλεδιάσκεψης, ώστε να προβλεφθεί η συμπεριφορά της κίνησης τηλεδιάσκεψης σε ένα DVB-RCS σύστημα. Διερευνάται η πιθανότητα της μοντελοποίησης των δοκιμαστικών αρχείων (traces) με έναν αριθμό από γνωστές κατανομές και αποτελέσματα δείχνουν πως τα καλύτερα αποτελέσματα από όλες τις κατανομές που εξετάζονται, επιτυγχάνονται με την Pearson type V κατανομή [29] (που είναι επίσης γνωστή ως inverted gamma κατανομή). Η χρήση του προηγούμενου μοντέλου παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα όταν χρησιμοποιείται από χρονοπρογραμματιστή ενσωματωμένο στο δορυφόρο όσο αφορά την υψηλή χρησιμοποίηση εύρους ζώνης και απαιτήσεων για ποιότητα υπηρεσίας. Το κύριο μειονέκτημα της προτεινόμενης μεθόδου είναι ότι αφορά μόνο κίνηση για τηλεδιάσκεψη και όχι όλα τα είδη κίνησης βίντεο. Στο [30], παρουσιάζεται μία τεχνική αποδοτικής δυναμικής κατανομής εύρους ζώνης βασισμένη στην πρόβλεψη κίνησης. Συγκεκριμένα, παίρνεται υπόψη η self-similar μοντελοποίηση κίνησης και η ακρίβεια αρκετών τεχνικών πρόβλεψης. Με στόχο τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος, εισάγεται ένας παράγοντας διόρθωσης που εφαρμόζεται στην πρόβλεψη της κίνησης. Αυτή η προσέγγιση εφαρμόζεται στη συνέχεια σε ένα δορυφορικό IP δίκτυο βασισμένο στο πρότυπο του DVB-RCS, δίνοντας έμφαση στα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης πολιτικής δέσμευσης σε σχέση με την καθυστέρηση της σύνδεσης στην περίπτωση μίας κλάσης κίνησης αλλά και σε ένα περιβάλλον πολλών κλάσεων βάσει του Diffserv μοντέλου.

Το [31] υλοποιεί ένα Bayesian Νευρωνικό Δίκτυο ως μία καινοτόμο προσέγγιση για μοντελοποίηση της VoIP κίνησης σε ένα δορυφορικό τερματικό για να προβλέπει τις ριπές κίνησης και για να κάνει τις αιτήσεις του κατάλληλου εύρους ζώνης. Το Bayesian δίκτυο είναι ένα πιθανοτικό γραφικό μοντέλο στο οποίο το πρόβλημα δομείται σαν μια σειρά από παραμέτρους και τις πιθανοτικές σχέσεις τους. Σε αυτή την πρόταση, μία τεχνική προσομοίωσης με ένα Bayesian Νευρωνικό Δίκτυο και μία Μαρκοβιανή αλυσίδα Μόντε Κάρλο Markov chain Monte Carlo (MCMC) χρησιμοποιείται για να προβλέψει τον ρυθμό της VoIP κίνησης χρησιμοποιώντας ένα σύνολο από συλλεγμένα διαγράμματα ρυθμού δεδομένων. Οι αλγόριθμοι πρόβλεψης που χρησιμοποιούν μεθόδους με χρονικές σειρές χρειάζονται λιγότερο χρόνο αρχικοποίησης αλλά δουλεύουν με λιγότερη ταχύτητα, ενώ το Bayesian δίκτυο δουλεύει πολύ γρήγορα όταν έχει πλήρως εκπαιδευτεί. Παρόλα αυτά ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη εκπαίδευση του δικτύου είναι ένα σοβαρό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου.

Τέλος, το [32] προσπαθεί να κάνει στοχαστική πρόβλεψη των δεδομένων που μπορεί να αφιχθούν στην ουρά στο χρονικό διάστημα μεταξύ της πραγματοποίησης μίας αίτησης και της στιγμής που αυτή η αίτηση ικανοποιείται. Για κάθε ουρά από RBDC, VBDC και BE αιτήσεις μέσα σε ένα δορυφορικό τερματικό, υλοποιείται ένας αλγόριθμος πρόβλεψης σε σχέση με το επίπεδο συμφόρησης. Αυτός ο αλγόριθμος προβλέπει το στιγμιαίο μέγεθος ουράς και το εύρος ζώνης που θα δεσμευτεί σε μία χρονική στιγμή στο μέλλον. Το σχήμα πρόβλεψης για την δέσμευση του εύρους ζώνης βασίζεται στην εκτίμηση του στιγμιαίου μεγέθους ουράς σε σχέση με μία συγκεκριμένη κλάση κίνησης χρησιμοποιώντας τον NLMS αλγόριθμο. Αποτελέσματα προσομοίωσης

επικυρώνουν την καλή απόδοση του NLMS αλγορίθμου για πρόγνωση στα δορυφορικά δίκτυα.

5.2.3 Κατηγοριοποίηση και σύγκριση

Από τις δύο παραπάνω υποενότητες μπορούμε να καταλήξουμε ότι υπάρχουν τρεις κύριες προσεγγίσεις μεθόδων για πρόγνωση κίνησης. Η πρώτη χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά της κίνησης των πραγματικών δεδομένων, όπως self-similarity και εξάρτηση μεγάλης εμβέλειας και προσπαθεί να μοντελοποιήσει την κίνηση με στόχο την πρόγνωση ([22],[27], και [30]). Το κύριο μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι οι τιμές των παραμέτρων των διάφορων μοντέλων πρέπει να προκαθοριστούν ώστε να επιτύχουν τη βέλτιστη απόδοση, ιδιαίτερα για βίντεο πραγματικού χρόνου στα οποία τα χαρακτηριστικά της κίνησης δεν είναι γνωστά εκ των προτέρων. Αυτός είναι ο λόγος που εξαιρούμε αυτήν την κατηγορία από την επιλογή μας.

Η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα [31], τα οποία είναι ένα πολύ δυνατό εργαλείο για πρόβλεψη κίνησης, αλλά η υλοποίησή τους μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκη με μεγάλα υπολογιστικά overheads. Επιπλέον, η διαδικασία εκπαίδευσης ενός νευρωνικού δικτύου μπορεί να έχει αργή σύγκλιση και να είναι πολύ χρονοβόρα. Αυτά είναι τα μειονεκτήματα που κάνουν τα νευρωνικά δίκτυα μη ελκυστικά για χρήση σε εφαρμογές με περιορισμένες υπολογιστικές δυνατότητες όπως τα δορυφορικά δίκτυα.

Η τρίτη προσέγγιση κάνει στοχαστική πρόβλεψη των δεδομένων που μπορεί να αφιχθούν σε μία ουρά στο χρονικό διάστημα μεταξύ μίας αίτησης και της στιγμής που αυτή η αίτηση ικανοποιείται ([23]-[25] και [32]). Θεωρούμε ότι αυτή η προσέγγιση είναι η πιο κατάλληλη για το σκοπό μας. Ανάμεσα στις προηγούμενες προτάσεις, οι [25] και [32] έχουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Η λειτουργία του NLMS αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε για πρόγνωση στο [32] είναι η εξής:

Έστω F η τάξη του φίλτρου NLMS που χρησιμοποιούμε, $q(t)$ το μέγεθος ουράς τη χρονική στιγμή t και $\bar{q}(t)$ ένα διάνυσμα του στιγμιαίου μεγέθους ουράς των προηγούμενων F εμφανίσεων. Η πρόβλεψη του στιγμιαίου μεγέθους ουράς έπειτα από F_0 εμφανίσεις μετά τη πρόβλεψη της t -ιστής εμφάνισης γίνεται με βάση το $\bar{q}(t)$. Η παράμετρος πρόβλεψης είναι το F_0 και το εκτιμώμενο μήκος ουράς υπολογίζεται ως εξής:

$$\hat{q}(t + F_0) = \langle \bar{w}(t), \bar{q}(t) \rangle \quad (5-1)$$

δηλαδή ως το εσωτερικό γινόμενο του διανύσματος $\bar{w}(t)$ και του διανύσματος $\bar{q}(t)$, όπου $\bar{w}(t)$ είναι ένα διάνυσμα βάρους με μέγεθος $F \times 1$ και το $\bar{q}(t)$ είναι το διάνυσμα $\bar{q}(t) = [q(t), q(t-1), \dots, q(t-F+1)]$. Τα βάρη ενημερώνονται αυτόματα βάση του σφάλματος μεταξύ του μεγέθους που προβλέφθηκε και του πραγματικού μεγέθους ουράς.

Το σφάλμα πρόβλεψης υπολογίζεται ως:

$$\varepsilon(t) = q(t + F_0) - \hat{q}(t + F_0) = q(t + F_0) - \langle \bar{w}(t), \bar{q}(t) \rangle \quad (5-2)$$

Τα βάρη ενημερώνονται με την εξίσωση:

$$\bar{w}^T(t+1) = \bar{w}^T(t) + \mu(t) \cdot \varepsilon(t) \cdot \bar{q}(t) \quad (5-3)$$

Τέλος, το $\mu(t)$ υπολογίζεται με τη χρήση της παρακάτω εξίσωσης:

$$\mu(t) = \frac{\mu_0}{1 + \langle \bar{q}(t), \bar{q}(t) \rangle} \quad (5-4)$$

Στα βάρη δίνονται αρχικές τιμές και ενημερώνονται στη συνέχεια με την χρήση των παραπάνω εξισώσεων. Συνήθως τα βάρη αρχικοποιούνται στο 0, ενώ το μ_0 και το F παίρνουν τις τιμές 0.01 και 10 αντίστοιχα. Η επιλογή χαμηλής τιμής της παραμέτρου F αποσκοπεί στην μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Η παράμετρος F_0 ισούται με την καθυστέρηση διάδοσης στην δορυφορική ζεύξη, σε αριθμό πλαισίων, την οποία οι συγγραφείς την υπολόγισαν σε $F_0=6$.

Στο [25] χρησιμοποιείται για πρόγνωση ο VSSNLMS αλγόριθμος, ο οποίος είναι ο ίδιος με τον NLMS αλγόριθμο με τη διαφορά του υπολογισμού της δυναμικής προσαρμογής του μεγέθους βήματος μ_t ως εξής:

$$\mu'_{t+1} = \alpha \mu_t + \gamma \varepsilon_t^2 \quad \text{με } 0 < \alpha < 1, \gamma > 0, \text{ και}$$

$$\mu_{t+1} = \begin{cases} \mu_{\max}, & \text{αν } \mu'_{t+1} > \mu_{\max} \\ \mu_{\min}, & \text{αν } \mu'_{t+1} < \mu_{\min} \\ \mu'_{t+1}, & \text{αλλιώς} \end{cases}, \quad \text{όπου } 0 < \mu_{\min} < \mu_{\max}$$

Η σταθερά μ_{\max} επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε να φραχθεί το μέσο τετραγωνισμένο λάθος (MSE), το μ_{\min} επιλέγεται ως ένας συμβιβασμός μεταξύ του επιθυμητού επιπέδου προσαρμογής στην σταθερή κατάσταση και της απαιτούμενης δυνατότητας ανίχνευσης. Η παράμετρος α επιλέγεται μεταξύ του εύρους (0, 1) για την ύπαρξη εκθετικής αμνησίας, ενώ μία μικρή τιμή για το γ επιλέγεται συνήθως για να ελεγχθεί η ταχύτητα σύγκλισης και το επίπεδο προσαρμογής.

Το μειονέκτημα του NLMS αλγορίθμου είναι ότι η απόδοση του επιδεινώνεται σημαντικά για εφαρμογές με γρήγορες διακυμάνσεις της κίνησης και συχνές αλλαγές σκηνών (όπως στα βίντεο ψυχαγωγίας). Αυτό συμβαίνει γιατί ο NLMS αλγόριθμος συγκλίνει αργά όταν γίνονται αλλαγές σκηνών, οπότε έχουμε ως αποτέλεσμα μεγάλα λάθη πρόβλεψης στα όρια σκηνών. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος το [25] χρησιμοποίησε τον VSSNLMS αλγόριθμο και το [27] τον DEEP αλγόριθμο. Η ιδέα του VSSNLMS είναι ότι ένα μεγάλο λάθος πρόβλεψης αυξάνει το μέγεθος βήματος με στόχο την πιο γρήγορη ανίχνευση του, ενώ ένα μικρό λάθος πρόβλεψης μειώνει το μέγεθος βήματος. Ο VSSNLMS είναι ίδιος με τον NLMS αλγόριθμο με την εξαίρεση της δυναμικής προσαρμογής του μεγέθους βήματος μ_t , όπως παρουσιάστηκε πριν με πιο λεπτομέρεια. Παρόλα αυτά, καταλήγουμε ότι στο σύστημα μας ο NLMS αλγόριθμος είναι πιο κατάλληλος από τον VSSNLMS και τον DEEP κυρίως επειδή αυτοί οι δύο αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται στο WiMAX, όπου η χρονική διαφορά μεταξύ των αιτήσεων χωρητικότητας και των αντίστοιχων εκχωρήσεων είναι σύντομη οπότε η διαφορά που προκαλείται από τις αλλαγές σκηνών είναι κρίσιμη. Στο δικό μας σύστημα, η πρόβλεψη της κίνησης πραγματικού χρόνου γίνεται στις αιτήσεις χωρητικότητας του δορυφορικού δικτύου, όπου η χρονική τους διαφορά είναι της τάξης των 500msec. Αυτό το χρονικό διάστημα είναι αρκετά μεγάλο ώστε η κίνηση να εξομαλύνεται και οι αλλαγές σκηνών να μην είναι τόσο κρίσιμες. Επιπλέον, είναι πολύ δύσκολη η προσαρμογή των μεταβλητών παραμέτρων του

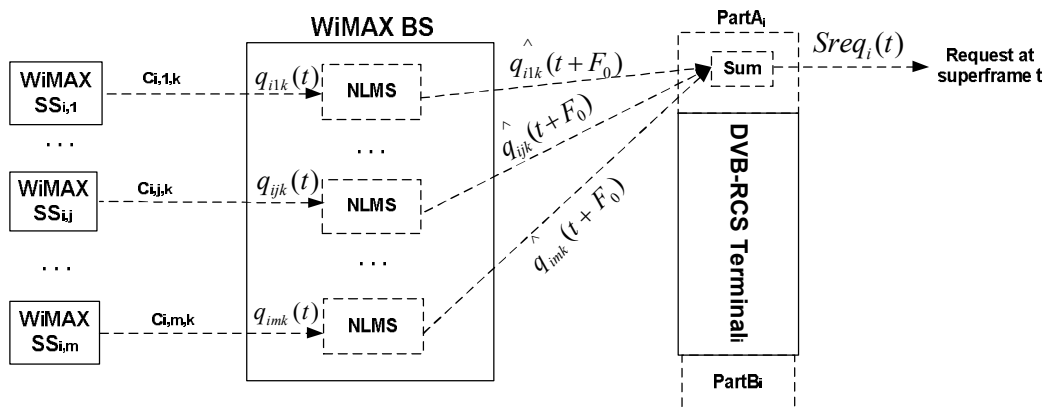
VSSNLMS και του DEEP αλγόριθμου ώστε να είναι πιο αποτελεσματικός από τον NLMS. Το κύριο πλεονέκτημα του NLMS αλγόριθμου είναι ότι είναι απλός και αποτελεσματικός στην πρόβλεψη του. Αυτό το πλεονέκτημα παρουσιάζεται και στο [33] που παρουσιάζει μία σύγκριση μεταξύ του LMS, του Kalman φίλτρου, του Recursive Mean Square, και του Linear Regression αλγόριθμου.

5.3 Προτεινόμενος μηχανισμός για αποδοτική μετάδοση VBR video

Το PartA είναι μία οντότητα στο RCST/BS που κάνει τις αιτήσεις χωρητικότητας. Ο αλγόριθμος πρόβλεψης, που χρησιμοποιείται στο PartA στον προτεινόμενο μηχανισμό, ονομάζεται BMDR (Based on Mean Data Rate) και περιγράφεται στην ενότητα 4.3. Σε αυτήν την ενότητα, περιγράφουμε τη χρήση του NLMS αλγόριθμου με στόχο τη βελτίωση της πρόβλεψης της rtPS κίνησης στο PartA, προτείνοντας τρεις εναλλακτικές. Η πρώτη εναλλακτική προτείνει την υλοποίηση του NLMS αλγόριθμου στο WiMAX BS, η δεύτερη εναλλακτική προτείνει την υλοποίηση του NLMS αλγόριθμου στο δορυφορικό τερματικό, ενώ η τρίτη εναλλακτική προτείνει την υλοποίηση του NLMS αλγόριθμου και στο WiMAX BS και στο δορυφορικό τερματικό. Στις παρακάτω υποενότητες περιγράφονται οι τρεις προτεινόμενες εναλλακτικές που παρουσιάστηκαν στα [34] και [35].

5.3.1 VPNLMSa

Η πρώτη εναλλακτική ονομάζεται VPNLMSa (Video Prediction Based on NLMS), και υλοποιεί τον αλγόριθμο NLMS στο τμήμα του WiMAX όπως δείχνει η Εικόνα 5-1. Στη μέθοδο VPNLMSa, ο αλγόριθμος NLMS εφαρμόζεται σε κάθε σύνδεση rtPS του WiMAX ξεχωριστά.



Εικόνα 5-1. Η αρχιτεκτονική της μεθόδου VPNLMSa

Έστω F η τάξη του φίλτρου που χρησιμοποιούμε για πρόβλεψη, $q_{ijk}(t)$ το στιγμιαίο μέγεθος ουράς στο υπερπλαίσιο t της c_{ijk} rtPS σύνδεσης και $\bar{q}_{ijk}(t)$ ένα διάνυσμα του στιγμιαίου μεγέθους ουράς των προηγούμενων F υπερπλαisiών.

Η πρόβλεψη του στιγμιαίου μεγέθους ουράς έπεται από F_0 υπερπλαίσια μετά το t -ιστό πλαίσιο γίνεται με βάση το $\bar{q}_{ijk}(t)$. F_0 είναι η παράμετρος πρόβλεψης και το εκτιμώμενο μήκος ουράς υπολογίζεται ως εξής:

$$\hat{q}_{ijk}(t + F_0) = \bar{w}_{ijk}^T * \bar{q}_{ijk}(t)$$

όπου $\bar{w}_{ijk}^{-T}(t)$ είναι ένα διάνυσμα βάρους με μέγεθος $F \times 1$. Τα βάρη ενημερώνονται αυτόματα βάση του σφάλματος μεταξύ του μεγέθους που προβλέφθηκε και του πραγματικού μεγέθους ουράς.

Το σφάλμα πρόβλεψης υπολογίζεται σαν:

$$\varepsilon_{ijk}(t) = q_{ijk}(t + F_0) - \bar{w}_{ijk}^{-T}(t) * \bar{q}_{ijk}(t)$$

Αυτό σημαίνει ότι στο υπερπλαίσιο t μπορούμε να υπολογίσουμε το $\varepsilon_{ijk}(t - F_0)$ ως:

$$\varepsilon_{ijk}(t - F_0) = q_{ijk}(t) - \bar{w}_{ijk}^{-T}(t - F_0) * \bar{q}_{ijk}(t - F_0)$$

Τα βάρη ενημερώνονται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\bar{w}_{ijk}^{-T}(t + 1) = \bar{w}_{ijk}^{-T}(t) + \mu_{ijk}(t) * \bar{q}_{ijk}(t) * \varepsilon_{ijk}(t)$$

Τέλος, το $\mu_{ijk}(t)$ υπολογίζεται με την χρήση του παρακάτω τύπου:

$$\mu_{ijk}(t) = \frac{\mu_0}{1 + \bar{q}_{ijk}^{-T}(t) * \bar{q}_{ijk}(t)}$$

Οι χρονοθυρίδες που χρειάζονται για την rtPS σύνδεση c_{ijk} στο υπερπλαίσιο $(t+F_0)$ είναι:

$$req_{ijk}(t) = \frac{\hat{q}_{ijk}(t + F_0)}{B}$$

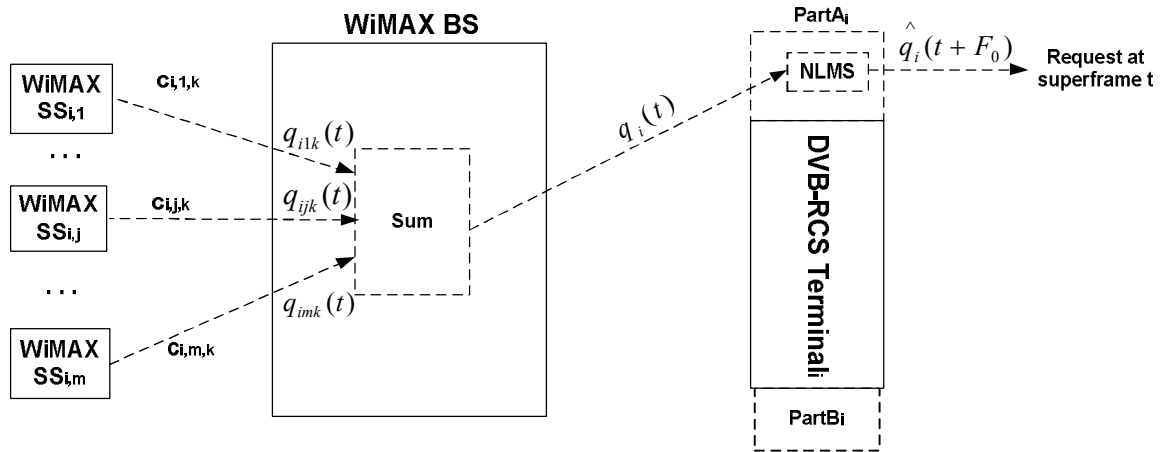
Οι προβλέψεις φτάνουν σε μια ουρά πραγματικού χρόνου και στη συνέχεια το RCST πραγματοποιεί την αίτηση με βάση το άθροισμα αυτών των προβλέψεων. Έτσι η συνολική χωρητικότητα (σε χρονοθυρίδες) που αιτείται το $RCST_i$ στο υπερπλαίσιο t είναι:

$$Sreq_i(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n req_{ijk}(t)$$

5.3.2 VPNLMSb

Η δεύτερη εναλλακτική, που ονομάζεται VPNLMSb, υλοποιεί τον αλγόριθμο NLMS στο τμήμα του δορυφόρου, όπως δείχνει και η Εικόνα 5-2. Στην εναλλακτική VPNLMSb, τα πακέτα από κάθε σύνδεση rtPS αθροίζονται στο BS και στη συνέχεια το RCST εφαρμόζει τον αλγόριθμο NLMS στο άθροισμα αυτό. Η παραγόμενη πρόβλεψη αποτελεί την αίτηση που πρέπει να γίνει.

Έστω F η τάξη του φίλτρου που χρησιμοποιούμε για πρόβλεψη, $q_{ijk}(t)$ το στιγμιαίο μέγεθος ουράς στο υπερπλαίσιο t της c_{ijk} rtPS συνδεσης, $q_i(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n q_{ijk}(t)$ η στιγμιαία εμφάνιση της ουράς στο υπερπλαίσιο t της ουράς πραγματικού χρόνου στον RCST και $\bar{q}_i(t)$ ένα διάνυσμα του στιγμιαίου μεγέθους της ουράς πραγματικού χρόνου στον RCST των προηγούμενων F υπερπλαισίων.



Εικόνα 5-2. Η αρχιτεκτονική της μεθόδου VPNLMSb

Η πρόβλεψη του στιγμιαίου μεγέθους ουράς έπειτα από F_0 υπερπλαίσια μετά το t -ιστό πλαίσιο γίνεται με βάση το $\bar{q}_i(t)$. F_0 είναι η παράμετρος πρόβλεψης και το εκτιμώμενο μήκος ουράς $\hat{q}_i(t + F_0)$ υπολογίζεται ως εξής:

$$\hat{q}_i(t + F_0) = \bar{w}_i^T(t) * \bar{q}_i(t)$$

όπου $\bar{w}_i^T(t)$ είναι ένα διάνυσμα βάρους με μέγεθος $F \times 1$. Τα βάρη ενημερώνονται αυτόματα βάση του σφάλματος μεταξύ του μεγέθους που προβλέφθηκε και του πραγματικού μεγέθους ουράς.

Το σφάλμα πρόβλεψης υπολογίζεται ως:

$$\varepsilon_i(t) = q_i(t + F_0) - \bar{w}_i^T(t) * \bar{q}_i(t)$$

Αυτό σημαίνει ότι στο υπερπλαίσιο t μπορούμε να υπολογίσουμε το $\varepsilon_i(t - F_0)$ ως:

$$\varepsilon_i(t - F_0) = q_i(t) - \bar{w}_i^T(t - F_0) * \bar{q}_i(t - F_0)$$

Τα βάρη ενημερώνονται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\bar{w}_i^T(t + 1) = \bar{w}_i^T(t) + \mu_i(t) * \bar{q}_i(t) * \varepsilon_i(t)$$

Τέλος, το $\mu_i(t)$ υπολογίζεται με την χρήση του παρακάτω τύπου:

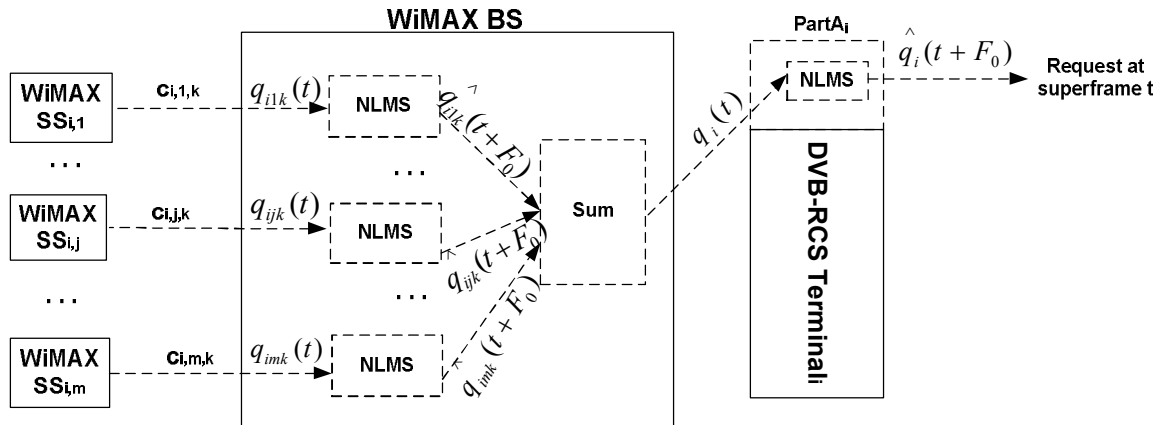
$$\mu_i(t) = \frac{\mu_0}{1 + \bar{q}_i^T(t) * \bar{q}_i(t)}$$

Η συνολική χωρητικότητα (σε χρονοθυρίδες) που αιτείται το $RCST_i$ στο υπερπλαίσιο t είναι:

$$Sreq_i(t) = \frac{\hat{q}_i(t + F_0)}{B}$$

5.3.3 VPNLMSc

Η τρίτη εναλλακτική VPNLMSc είναι ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων και εφαρμόζεται τόσο στο τμήμα του WiMAX όσο και στο τμήμα του δορυφόρου, όπως δείχνει Εικόνα 5-3.



Εικόνα 5-3. Η αρχιτεκτονική της μεθόδου VPNLMSc

Σε αυτή την μέθοδο ο αλγόριθμος NLMS εφαρμόζεται σε κάθε σύνδεση ξεχωριστά, μετά οι προβλέψεις αθροίζονται στο BS και στη συνέχεια το RCST εφαρμόζει ξανά τον αλγόριθμο NLMS πάνω σε αυτό το άθροισμα παράγοντας έτσι την πρόβλεψη για την αίτηση χωρητικότητας που πρέπει να γίνει.

Αναλυτικότερα, έστω $q_{ijk}(t)$ το στιγμιαίο μέγεθος ουράς στο υπερπλαίσιο t της c_{ijk} rtPS σύνδεσης και $\bar{q}_{ijk}(t)$ ένα διάνυσμα του στιγμιαίου μεγέθους ουράς των προηγούμενων F υπερπλαισίων. Το εκτιμώμενο μήκος ουράς έπειτα από F_0 υπερπλαίσια μετά το t -ιοστό υπερπλαίσιο υπολογίζεται ως εξής:

$$\hat{q}_{ijk}(t + F_0) = \bar{w}_{ijk}^{-T}(t) * \bar{q}_{ijk}(t), \text{ όπως και στο VPNLMSa.}$$

Έστω $q_i(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \hat{q}_{ijk}(t + F_0)$ το στιγμιαίο μέγεθος ουράς στο υπερπλαίσιο t

της ουράς πραγματικού χρόνου στο RCST και $\bar{q}_i(t)$ ένα διάνυσμα του στιγμιαίου μεγέθους ουράς των προηγούμενων F υπερπλαισίων. Η πρόβλεψη του μεγέθους ουράς $\hat{q}_i(t + F_0)$ υπολογίζεται ως εξής:

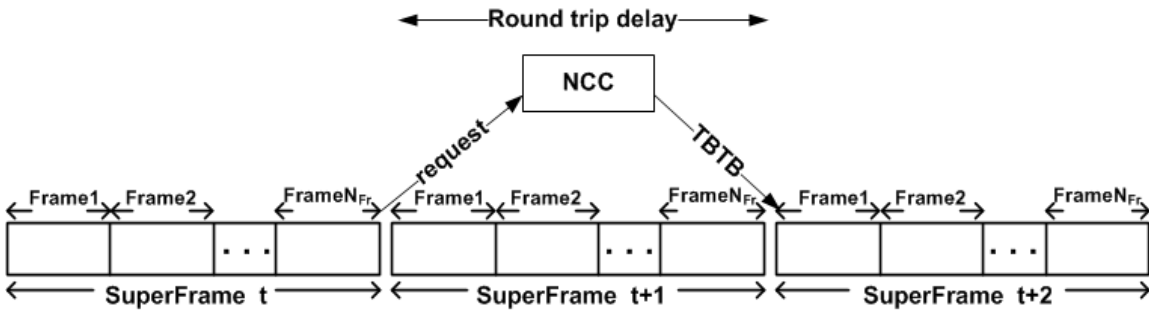
$$\hat{q}_i(t + F_0) = \bar{w}_i^{-T}(t) * \bar{q}_i(t), \text{ όπως και στο VPNLMSa.}$$

Η συνολική χωρητικότητα (σε χρονοθυρίδες) που αιτείται το $RCST_i$ στο υπερπλαίσιο t είναι:

$$Sreq_i(t) = \frac{\hat{q}_i(t + F_0)}{B}$$

5.3.4 Παράμετροι και υπολογιστική ανάλυση

Και στις τρεις εναλλακτικές, τα βάρη αρχικοποιούνται στο μηδέν και ενημερώνονται στη συνέχεια με την χρήση της εξίσωσης (5-3). Το RCST πραγματοποιεί μια αίτηση ανά υπερπλαίσιο. Το δεσμευμένο εύρος ζώνης παρέχεται μετά από μια καθυστέρηση ίση με το round-trip (500 msec), όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-4. Για τις προσομοιώσεις επιλέξαμε το μέγεθος του υπερπλαισίου ίσο με την καθυστέρηση του round-trip. Αυτό σημαίνει ότι το εύρος ζώνης που δεσμεύεται για ένα RCST είναι διαθέσιμο σε αυτό έπειτα από διάρκεια δυο υπερπλαisiών από τη στιγμή που έγινε η αίτηση. Γι' αυτό και στα VPNLMSa και VPNLMSb η τιμή του F_0 τίθεται ίση με 2.

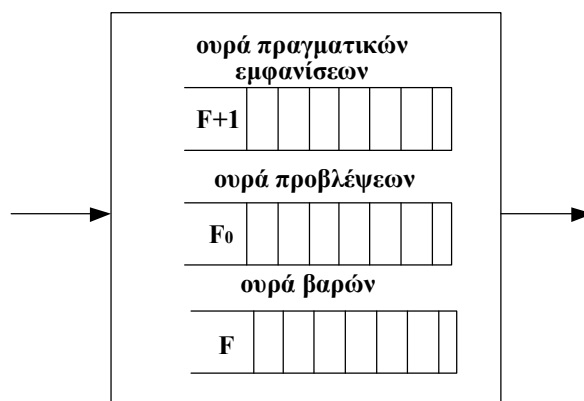


Εικόνα 5-4. Αίτηση και εκχώρηση χωρητικότητας μεταξύ ενός RCST και του NCC

Αν το μέγεθος του υπερπλαισίου δεν είναι ίση με την καθυστέρηση του round-trip, τότε το F_0 θα πρέπει να είναι ίσο με:

$$F_0 = \left\lceil \frac{\text{round trip delay}}{T_{\text{superframe}}} \right\rceil + 1$$

Στη μέθοδο VPNLMSc η τιμή του F_0 τίθεται ίση με 1 και στις δύο εφαρμογές του αλγόριθμου NLMS, ώστε η τελική πρόβλεψη να αφορά τις ανάγκες που θα έχει το RCST δυο υπερπλαίσια αργότερα. Το μ_0 και το F παίρνουν τις τιμές 0.1 και 3 αντίστοιχα. Η επιλογή χαμηλής τιμής της παραμέτρου F αποσκοπεί στην μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας.



Εικόνα 5-5. Η αρχιτεκτονική του NLMS κομματιού

Το NLMS τμήμα που φαίνεται στην Εικόνα 5-1, Εικόνα 5-2 και Εικόνα 5-3 παρουσιάζεται αναλυτικά στην Εικόνα 5-5. Το NLMS τμήμα αποτελείται από:

- Μία ουρά \bar{q} των πραγματικών εμφανίσεων μεγέθους $F+1$. Αυτό το διάνυσμα περιέχει τις στιγμιαίες εμφανίσεις της ουράς των προηγούμενων F

υπερπλαισίων και τη στιγμιαία εμφάνιση της ουράς στο παρών υπερπλαίσιο.

- Μία ουρά \hat{q} με τις προβλέψεις μεγέθους $F+1$. Αυτό το διάνυσμα περιέχει τις προβλέψεις των προηγούμενων F_0 υπερπλαισίων, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί το λάθος $\varepsilon(t - F_0)$.
- Μία ουρά \bar{w} με τα βάρη μεγέθους F . Αυτά τα βάρη ανανεώνονται αυτόματα βάσει του λάθους μεταξύ του προβλεπόμενου και του πραγματικού μεγέθους ουράς.

Από τα παραπάνω, μπορούμε να καταλήξουμε ότι το NLMS τμήμα χρειάζεται $(2 \cdot F + 1 + F_0)$ θέσεις μνήμης. Οπότε, το VPNLMSa χρειάζεται $n \cdot (2 \cdot F + 1 + F_0)$, το VPNLMSb χρειάζεται $(2 \cdot F + 1 + F_0)$, ενώ το VPNLMSc χρειάζεται $(n+1) \cdot (2 \cdot F + 1 + F_0)$ θέσεις μνήμης, το οποίο σημαίνει ότι το VPNLMSb χρειάζεται το λιγότερο χώρο μνήμης.

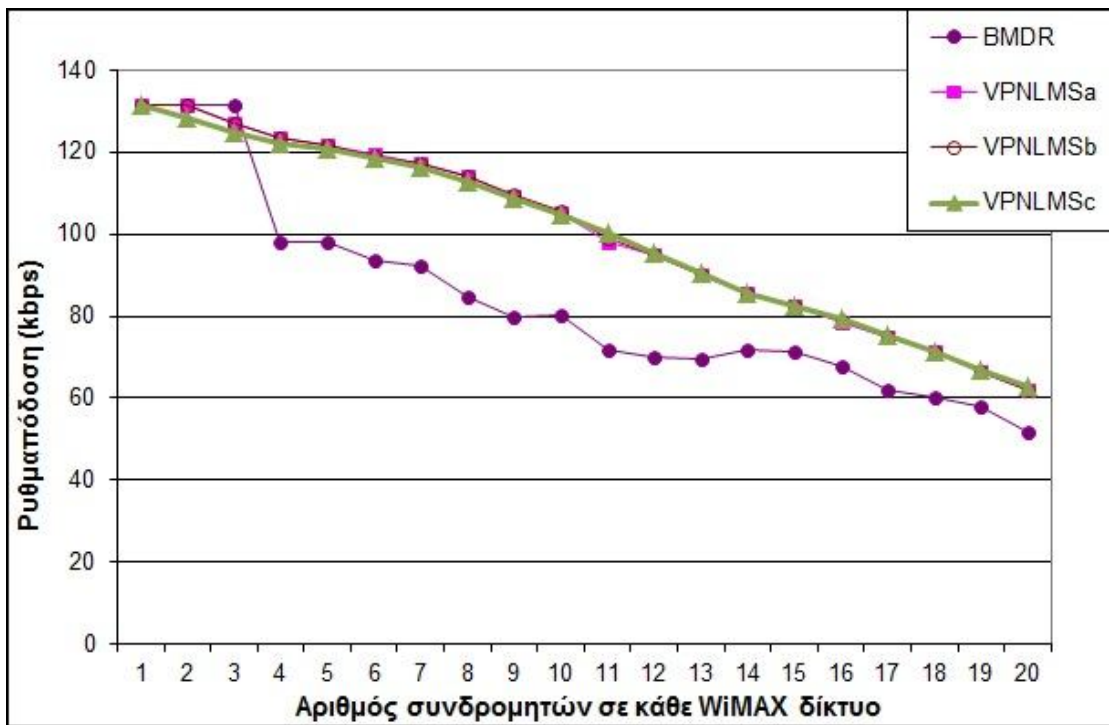
Η εξίσωση (5-1) απαιτεί F πολλαπλασιασμούς και F προσθέσεις, η (5-2) απαιτεί μία πρόσθεση, η (5-3) απαιτεί F πολλαπλασιασμούς και F προσθέσεις και η (5-4) απαιτεί $(F+1)$ πολλαπλασιασμούς και $(F+1)$ προσθέσεις. Οπότε, το συνολικό υπολογιστικό κόστος του NLMS αλγορίθμου είναι $(3 \cdot F + 1)$ πολλαπλασιασμοί και $(3 \cdot F + 1)$ προσθέσεις. Επομένως, η πολυπλοκότητα του NLMS τμήματος είναι $O(F)$. Το VPNLMSa περιέχει n NLMS τμήματα, το VPNLMSb ένα NLMS τμήμα, ενώ το VPNLMSc περιέχει $n+1$ NLMS τμήματα. Συμπερασματικά, η υπολογιστική πολυπλοκότητα του VPNLMSa είναι $O(n \cdot F)$, του VPNLMSb είναι $O(F)$ και του VPNLMSc είναι $O(n \cdot F)$. Οπότε, το VPNLMSb έχει επίσης τη μικρότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.

5.4 Μελέτη απόδοσης

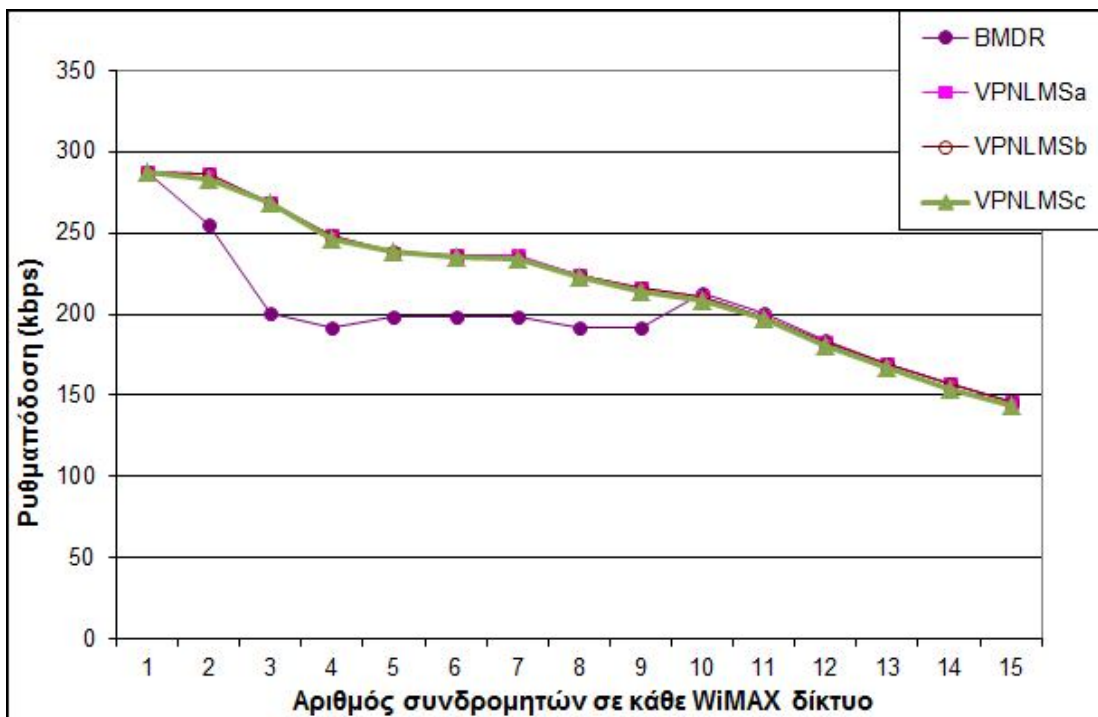
Προκειμένου να αξιολογήσουμε την απόδοση των προτεινόμενων εναλλακτικών, χρησιμοποιούμε το σενάριο προσομοίωσης που παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.6.1 με τρία DVB-RCS τερματικά με το καθένα από αυτά να συνδέεται με ένα WiMAX δίκτυο, ενώ κάθε WiMAX δίκτυο έχει τον ίδιο αριθμό από SS. Θέλοντας να δείξουμε την βελτίωση που επιτυγχάνει ο προτεινόμενος αλγόριθμος στην μετάδοση VBR video, κάθε SS του WiMAX διατηρεί μόνο μια σύνδεση video. Κάνουμε δύο σύνολα πειραμάτων με τα δυο διαφορετικά αρχεία βίντεο για να δούμε τη διαφορετική συμπεριφορά των αλγορίθμων σε αρχεία με διαφορετικό μέσο ρυθμό δεδομένων. Σε κάθε ένα από τα πειράματα όλοι οι χρήστες έχουν το ίδιο δοκιμαστικό αρχείο βίντεο. Τα δοκιμαστικά αρχεία βίντεο που χρησιμοποιούνται είναι το "Terse_Jurassic_10_14_18.dat" και το "Terse_formula_10.dat" από το "trace.eas.asu.edu/TRACE/pics/FrameTrace/mp4/". Τα δοκιμαστικά αρχεία βίντεο έχουν ρυθμό 25fps, που σημαίνει ότι υπάρχει ένα frame κάθε 40msec. Μερικά από τα κρίσιμα στατιστικά στοιχεία των δοκιμαστικών αρχείων βίντεο που παρουσιάζονται στον Πίνακας 5-1.

Πίνακας 5-1. Στατιστικά στοιχεία των δοκιμαστικών αρχείων βίντεο.

Video Trace	Mean traffic (kbps)	Peak Bit Rate (kbps)	Frame Size Min (bytes)	Frame Size Max (bytes)
Terse_Jurassic_10.dat	132	1630	26	8154
Terse_formula_10.dat	288	1406	47	7032



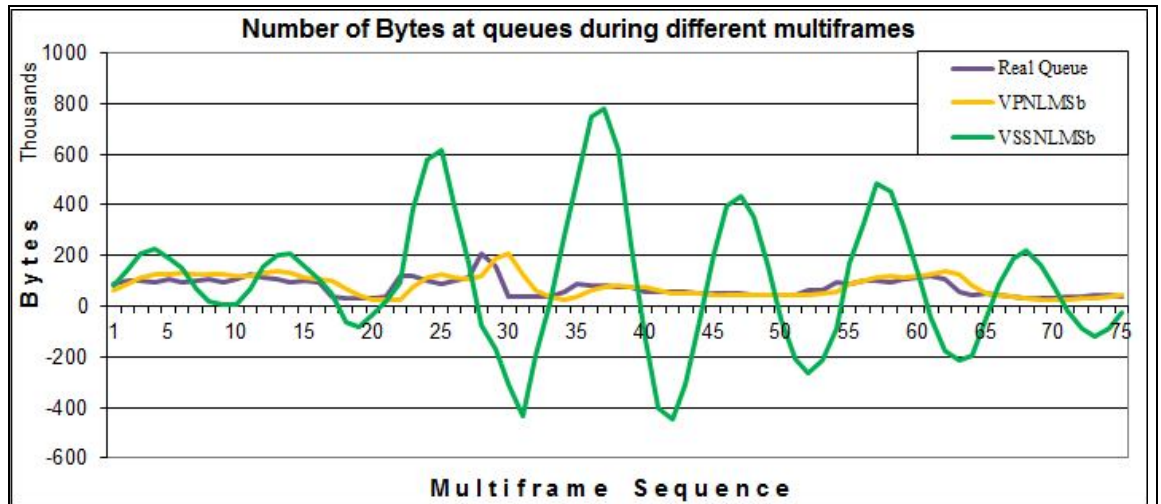
Εικόνα 5-7. Η ρυθμαπόδοση ανά προτεινόμενο αλγόριθμο με δοκιμαστικό αρχείο βίντεο το “Terse_Jurassic_10_14_18.dat”



Εικόνα 5-6. Η ρυθμαπόδοση ανά προτεινόμενο αλγόριθμο με δοκιμαστικό αρχείο βίντεο το “Terse_formula_10.dat”

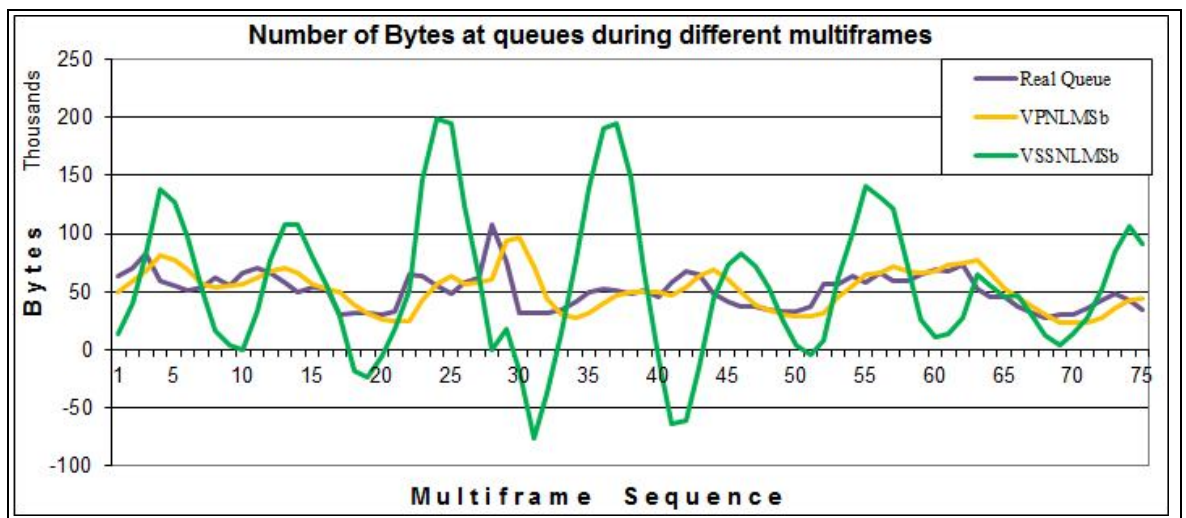
Στην Εικόνα 5-6 φαίνεται η ρυθμαπόδοση των τεσσάρων διαφορετικών αλγορίθμων για αυξανόμενο αριθμό SS ανά BS. Οι VPNLMSa, VPNLMSb και VPNLMSc έχουν παρόμοια συμπεριφορά και πολύ καλύτερη ρυθμαπόδοση σε σχέση με τον BMDR αλγόριθμο που προτείνεται στην ενότητα 4.3 που βασίζεται στους μέσους ρυθμούς των συνδέσεων. Στην Εικόνα 5-7 φαίνεται η ρυθμαπόδοση των τεσσάρων διαφορετικών αλγορίθμων για αυξανόμενο αριθμό

SS ανά BS με ένα δοκιμαστικό αρχείο βίντεο που έχει διπλάσιο μέσο ρυθμό δεδομένων από το βίντεο που χρησιμοποιείται στο πείραμα που απεικονίζεται στην Εικόνα 5-6. Ομοίως, και σε αυτό το πείραμα μας, οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι έχουν παρόμοια συμπεριφορά και πολύ καλύτερη ρυθμαπόδοση σε σχέση με τον BMDR αλγόριθμο. Επιπλέον, οι τέσσερις αλγόριθμοι έχουν την ίδια ρυθμαπόδοση για αριθμό SS μεγαλύτερο από 10, αφού ο αριθμός των χρονοθυρίδων που ζητούνται είναι μεγαλύτερος από αυτόν που ο NCC μπορεί να παρέχει στα δορυφορικά τερματικά. Έτσι, όλοι οι προτεινόμενοι μηχανισμοί λαμβάνουν τον ίδιο αριθμό από χρονοθυρίδες και έχουν την ίδια ρυθμαπόδοση.



Εικόνα 5-9. Ο VSSNLMS αλγόριθμος με τιμές παραμέτρων $\alpha=0.94$, $\gamma=5 \times 10^{-9}$, $\mu_{\min}=0.05$, $\mu_{\max}=0.54$

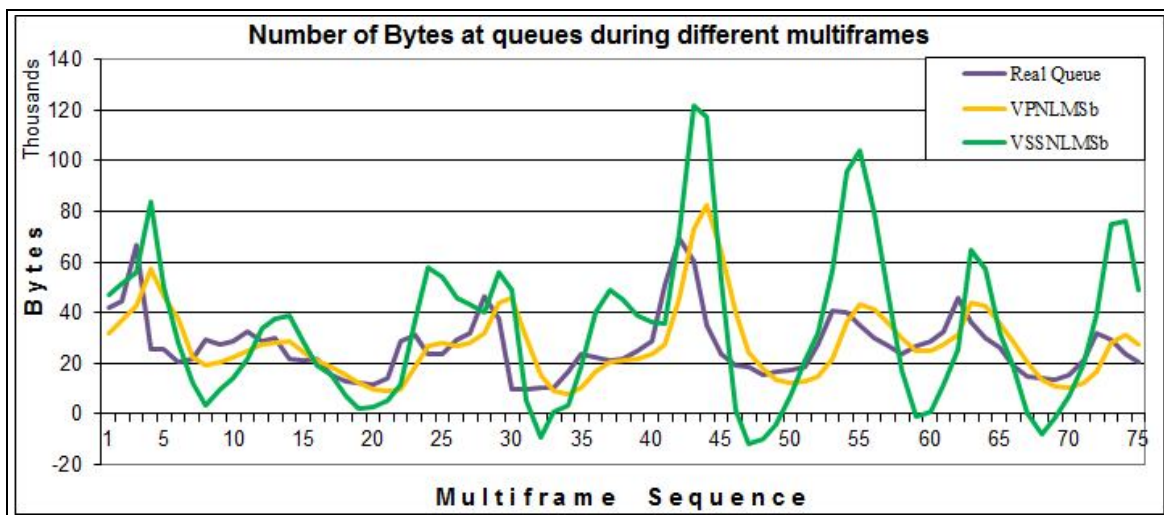
Από τις παραπάνω εικόνες συμπεραίνουμε ότι ο VPNLMSb έχει την ίδια ρυθμαπόδοση σε σχέση με τους άλλους δύο προτεινόμενους αλγορίθμους. Έχει όμως τις μικρότερες υπολογιστικές απαιτήσεις και τις ελάχιστες απαιτήσεις σε μνήμη όπως προκύπτει από την υπολογιστική ανάλυση. Επιπλέον, ο VPNLMSb θέτει απαιτήσεις μόνο στο δορυφορικό τερματικό, ενώ ο VPNLMSa και ο VPNLMSc αυξάνουν τις υπολογιστικές απαιτήσεις και των WiMAX τερματικών, το οποίο δεν είναι επιθυμητό. Αυτοί είναι οι λόγοι που επιλέγουμε τον VPNLMSb



Εικόνα 5-8. Ο VSSNLMS αλγόριθμος με τιμές παραμέτρων $\alpha=0.94$, $\gamma=0.5$, $\mu_{\min}=0.05$, $\mu_{\max}=0.54$

αλγόριθμο σε σχέση με τον VPNLMSa και τον VPNLMSc.

Οι εικόνες Εικόνα 5-9, Εικόνα 5-8 και Εικόνα 5-10 παρουσιάζουν μία σύγκριση του επιλεγμένου VPNLMSb μηχανισμού με τον VSSNLMSb μηχανισμό, ο οποίος είναι παρόμοιος με τον VPNLMSb εκτός από το ότι χρησιμοποιεί τον VSSNLMS αλγόριθμο αντί του NLMS αλγορίθμου, για επτά συνδρομητές ανά σταθμό βάσης και διαφορετικές τιμές παραμέτρων. Ο VSSNLMS είναι ίδιος με τον NLMS αλγόριθμο με την εξαίρεση του υπολογισμού της δυναμικής προσαρμογής του μεγέθους βήματος μ_t . Η Εικόνα 5-9 παρουσιάζει τον πραγματικό αριθμό από bytes που χρειάζονται και τον προβλεπόμενο αριθμό χρησιμοποιώντας τον VPNLMSb και VSSNLMSb με το σύνολο παραμέτρων που προτείνεται στο [25]. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-8 και στην Εικόνα 5-10 επιβεβαιώνουν ότι είναι πολύ δύσκολη η προσαρμογή των μεταβλητών παραμέτρων του VSSNLMS αλγορίθμου ώστε να είναι πιο αποδοτικός από τον NLMS αλγόριθμο στο σύστημα μας. Συμπερασματικά, η επιλογή του NLMS αλγορίθμου συγκριτικά με τον VSSNLMS επιβεβαιώνεται.



Εικόνα 5-10. Ο VSSNLMS αλγόριθμος με τιμές παραμέτρων $\alpha=0.94$, $\gamma=0.5$, $\mu_{\min}=0.05$, $\mu_{\max}=0.35$

5.5 Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάσαμε στην ενότητα 5.4, συμπεραίνουμε ότι όλες οι εκδοχές του αλγορίθμου επιτυγχάνουν βελτίωση σε σχέση με τη μέθοδο των μέσων όρων που ακολουθείται στην ενότητα 4.3. Ο VPNLMSb κάνει το ίδιο καλή πρόβλεψη στην κίνηση των δεδομένων για την υπηρεσία rtPS με τους άλλους αλγορίθμους, αλλά έχει τις μικρότερες υπολογιστικές απαιτήσεις, αφού ο μηχανισμός της πρόβλεψης εκτελείται μόνο στο τερματικό BS/RCST για την συνολική κίνηση όλων των συνδέσεων του. Οι άλλοι δύο προτεινόμενοι μηχανισμοί εφαρμόζουν τον αλγόριθμο NLMS στο τμήμα του WiMAX, το οποίο δεν είναι επιθυμητό αφού μειώνει την απόδοση του συστήματος. Για αυτούς τους λόγους, επιλέγουμε τον VPNLMSb ως τον πιο κατάλληλο μηχανισμό για την πρόβλεψη της rtPS κίνησης στο σύστημα διασύνδεσης WiMAX/DVB-RCS.

6. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ PartB

6.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια αυτού του κεφαλαίου μελετάμε την επέκταση του PartB του προτεινόμενου μηχανισμού διασύνδεσης μεταξύ ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου, που ακολουθεί το πρότυπο DVB-RCS, και δικτύων WiMAX. Στόχος της επέκτασης αυτής είναι να γίνεται η κατανομή των χρονοθυρίδων στα ενεργά τερματικά του δορυφορικού δικτύου από τον NCC σε MF-TDMA, καθώς ο αρχικός μηχανισμός κατανέμει τις χρονοθυρίδες σε μία συχνότητα για λόγους απλότητας (ενότητα 4.4). Το κεφάλαιο αυτό οργανώνεται ως εξής: Αρχικά γίνεται μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη διανομή χρονοθυρίδων σε στατικά MF-TDMA δορυφορικά συστήματα (ενότητα 6.2) και στην ενότητα 6.3 προτείνουμε την βελτίωση του PartB ώστε να λειτουργεί σε MF-TDMA, η οποία έχει βελτιωμένη λειτουργία όπως παρουσιάζουν και τα αποτελέσματα πειραμάτων στην ενότητα 0.

6.2 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Αυτή η ενότητα παρουσιάζει τις πιο σημαντικές λύσεις που έχουν ήδη προταθεί για κατανομή χρονοθυρίδων σε δορυφορικά δίκτυα, ενώ μερικές από αυτές κάνουν και υπολογισμό των αντίστοιχων χρονοθυρίδων. Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε μερικές από τις πιο ενδιαφέρουσες προτάσεις για κατανομή χρονοθυρίδων σε δορυφορικά δίκτυα που λειτουργούν με σταθερό MF-TDMA.

Το [36] ορίζει το MF-TDMA πρόβλημα πακεταρίσματος (packing) και προτείνει έναν απλό αλλά δυνατό αλγόριθμο για πακετάρισμα. Ο αλγόριθμος πακεταρίσματος πακετάρει τέλεια οποιαδήποτε ανάθεση μπορεί να πακεταριστεί πλήρως σε ένα πέρασμα. Σε περιπτώσεις όπου η ανάθεση δεν είναι πλήρως ικανή να πακεταριστεί, παρατηρείται μία πολλή μικρή απώλεια αξιοποίησης (λιγότερη από 3%). Όταν γίνει το πακετάρισμα όλων την ίδια στιγμή, η απόδοση του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί διαχωρίζοντας τους χρήστες που έχουν ίσο εύρος ζώνης σε ξεχωριστές ομάδες καναλιών. Όταν αυτό δεν είναι δυνατό, αναμένεται τα πακεταρίσματα που περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό από χρήστες μικρού εύρους ζώνης να πακετάρονται λιγότερα αποδοτικά. Αυτές οι δυνατότητες μπορούν να ποσοτικοποιηθούν σύμφωνα με αυτήν την πρόταση. Επίσης σε αυτήν την πρόταση περιγράφονται και πιο πολύπλοκες στρατηγικές πακεταρίσματος που μπορούν να βελτιώσουν επιπλέον το πακετάρισμα πολλών περασμάτων, όταν υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από χρήστες μικρού εύρους ζώνης.

Στο [37], τα RCSTs υπολογίζουν τις χρονοθυρίδες που χρειάζονται και κάνουν τις αντίστοιχες αιτήσεις. Στη συνέχεια, η κατανομή των χρονοθυρίδων γίνεται παίρνοντας υπόψη την προτεραιότητα της κίνησης. Αν υπάρχουν περισσότερες από μία αιτήσεις του ίδιου επιπέδου προτεραιότητας, τότε χρησιμοποιείται η λογική του Round Robin. Η κατανομή των χρονοθυρίδων είναι συνεχής στο χρόνο. Στο πρώτο τερματικό ανατίθεται ο αριθμός των χρονοθυρίδων που του είχαν δοθεί ξεκινώντας από τη Χρονοθυρίδα 1 της Συχνότητας 1, μετά τη Χρονοθυρίδα 2 της Συχνότητας 1, μέχρι το σύνολο των χρονοθυρίδων που του έχει δοθεί. Στη συνέχεια, συνεχίζει το δεύτερο τερματικό και αν χρειάζεται πηγαίνει στη δεύτερη συχνότητα.

Στο [38], αναπτύσσεται ένας δυναμικός αλγόριθμος διανομής πόρων σε MF-TDMA για τη σύνδεση επιστροφής ενός διαδραστικού πολυμεσικού δορυφορικού δικτύου, το οποίο διατυπώνει το πρόβλημα διανομής χρονοθυρίδων ως ένα πρόβλημα δυαδικού προγραμματισμού με έναν μεγάλο αριθμό από

μεταβλητές απόφασης. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος δυναμικής διανομής χρονοθυρίδων δίνει το βέλτιστο σχέδιο διανομής σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Το [39] αντιμετωπίζει τη φάση υπολογισμών πόρων ως ένα πρόβλημα πρόβλεψης και παρουσιάζει ένα σχήμα βασισμένο στο Μαρκοβιανό μοντέλο για την επίλυση του. Η φάση της διανομής των πόρων δείχνει το πρόβλημα της διανομής των πραγματικών χρονοθυρίδων στη δομή του καναλιού του MF-TDMA (MTCS). Το MTCS αντιμετωπίζεται ως μία συλλογή από δοχεία (bins), οπότε η διανομή των χρονοθυρίδων μπορεί να θεωρηθεί ως μία παραλλαγή του δυναμικού πακεταρίσματος δοχείων (bin-packing problem). Αυτό το πρόβλημα είναι γνωστό ως NP-complete, οπότε η απόκτηση του βέλτιστου σχήματος πακεταρίσματος απαιτεί μία απαγορευτική ποσότητα υπολογισμών. Προτείνεται ένα ευρετικό (heuristic) πακετάρισμα που ονομάζεται προκράτηση καναλιού με ταίριασμα προτεραιότητας (RCP), και παρουσιάζει βελτιωμένη απόδοση σε σχέση με τον αλγόριθμο πρώτου ταιριάσματος (first-fit) και τον αλγόριθμο βέλτιστου ταιριάσματος (best-fit). Ο αλγόριθμος πρώτου ταιριάσματος τοποθετεί την επόμενη ριπή που έρχεται στην πρώτη φέρουσα που έχει ελεύθερο άδειο χώρο για αυτή τη ριπή, ενώ ο αλγόριθμος βέλτιστου ταιριάσματος τοποθετεί την επόμενη ριπή που έρχεται στην πρώτη φέρουσα που έχει τον λιγότερο ελεύθερο χώρο, αρκετά μεγάλο όμως για να χωρέσει αυτήν την ριπή. Οι αλγόριθμοι καλύτερου ταιριάσματος και πρώτου ταιριάσματος προκαλούν κατακερματισμό που μπορεί να οδηγήσει στην παρεμπόδιση της ανάθεσης ενός τμήματος, παρόλο που ο συνολικός χώρος είναι αρκετός για αυτό. Αυτό βελτιώνεται από τον αλγόριθμο RCP-fit, του οποίου η κύρια ιδέα είναι ότι προκρατάει μία φέρουσα για κάθε ενεργό RCST ώστε να μπορεί να μεταδίδει όλες τις ριπές του. Στην περίπτωση που ο αριθμός των ενεργών RCSTs υπερβαίνει τον αριθμό των φερουσών, τα περίσσεια τερματικά μεταδίδουν χρησιμοποιώντας τις φέρουσες που είναι προκρατημένες για τερματικά με το μικρότερο φορτίο κίνησης. Αυτή η δουλειά παρουσιάζεται καλύτερα στο [40].

Στο [41], προτείνεται ένας καινούργιος αποδοτικός αλγόριθμος δύο φάσεων για δυναμική διανομή των χρονοθυρίδων του συνδέσμου επιστροφής στα τερματικά των χρηστών σε ένα DVB-RCS δορυφορικό σύστημα, που εξυπηρετεί κίνηση συνεχούς ρυθμού ανάθεσης (CRA). Η φάση υπολογισμού των πόρων περιγράφεται στο [42]. Στη φάση ανάθεσης πόρων, παρουσιάζεται ένας καινούργιος υβριδικός αλγόριθμος πακεταρίσματος δοχείων που μεγιστοποιεί τη χρησιμοποίηση του πλαισίου. Ο αλγόριθμος συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των αλγορίθμων καλύτερου ταιριάσματος και του RCP-fit. Αν μία παράμετρος k είναι κάτω από ένα υπολογισμένο όριο, τότε επιλέγεται ο αλγόριθμος καλύτερου ταιριάσματος, ενώ σε αντίθετη περίπτωση επιλέγεται ο RCP-fit αλγόριθμος.

Το [43] χρησιμοποιεί τον RCP-fit αλγόριθμο για επιλογή φέρουσας. Χρησιμοποιείται μία μέθοδος οργάνωσης των χρονοθυρίδων σε ένα bin-tree χρονοθυρίδων για τη διανομή των χρονοθυρίδων σε ένα κανάλι, το οποίο γίνεται με έναν Buddy-fit αλγόριθμο με Επαναλαμβανόμενη Προσαρμογή (BFRA) για να βελτιωθεί ο ρυθμός χρησιμοποίησης του συστήματος. Η κύρια συνεισφορά της πρότασης αυτής είναι η ιδέα της Buddy σχέσης, όπου δύο ομάδες είναι buddy συσχετισμένες αν τα μεγέθη των δύο ομάδων είναι ίσα, οι σειριακοί αριθμοί των δύο ομάδων είναι συνεχόμενοι και οι δύο ομάδες χωρίζονται από μία μεγαλύτερη.

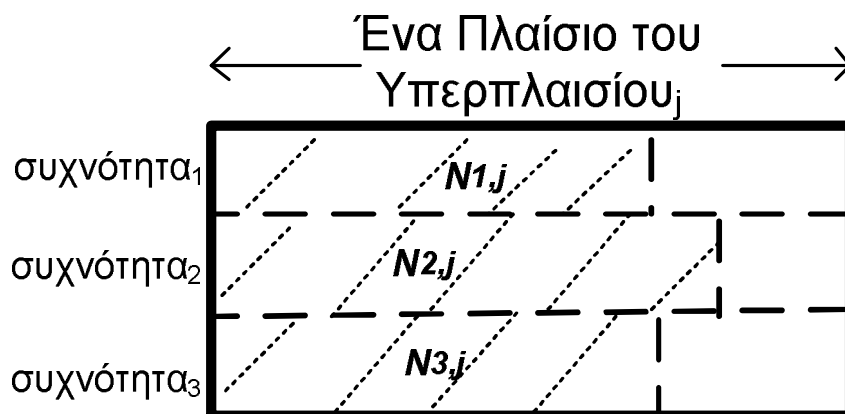
6.3 Προτεινόμενη βελτίωση του PartB

Στην ενότητα 4.4 παρουσιάζεται η λειτουργία του PartB του προτεινόμενου μηχανισμού. Ο PartB λειτουργεί στον NCC και ο ρόλος του είναι η δίκαιη και

αποδοτική κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος καθώς και η σύνταξη του TBTP και η αποστολή του στα δορυφορικά τερματικά. Ο NCC συγκεντρώνει όλα τα αιτήματα και τα κατατάσσει στις πέντε ουρές του που παρουσιάζονται σχηματικά στην Εικόνα 4-5, ανάλογα με το τι έχει συμφωνηθεί κατά τη φάση της εισαγωγής του τερματικού στο δίκτυο. Στην συνέχεια, ο PartB προχωρά στη μεγαλύτερη σε σπουδαιότητα λειτουργία του, που είναι η αποδοτική και όσο το δυνατόν πιο δίκαιη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος. Η λογική που ακολουθεί ο αλγόριθμος είναι η κατανομή των πόρων με βάση την προτεραιότητα της κάθε κατηγορίας υπηρεσιών ανάλογα με τους περιορισμούς που την ακολουθούν από τις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας.

Ολοκληρώνοντας την παραπάνω διαδικασία, ο NCC πλέον γνωρίζει τη συνολική ποσότητα των χρονοθυρίδων TS_i που αντιστοιχούν σε κάθε τερματικό σταθμό ($total_slots_i$). Συνεπώς, μπορεί να προχωρήσει στη σύνταξη του TBTP, δηλαδή στη δομή του επόμενου υπερπλασίου στο uplink κανάλι. Ο NCC καλείται να αποφασίσει ποιές χρονοθυρίδες θα εκχωρηθούν σε κάθε τερματικό. Στην ενότητα 4.4 ο NCC καταναίμει τις χρονοθυρίδες που αντιστοιχούν σε κάθε RCST σε όλα τα πλαίσια από τα οποία αποτελείται ένα υπερπλαίσιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μέγιστες καθυστερήσεις που θα προκύψουν, από το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο χρονοθυρίδων, να είναι της τάξης της διάρκειας του πλαισίου. Το παραπάνω παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 4-6(ii). Επομένως, σε κάθε υπερπλαίσιο εκχωρούμε $N_{j,i} = TS_i / N_{FR}$ χρονοθυρίδες για κάθε RCST, όπου N_{FR} είναι το πλήθος των πλαισίων ενός υπερπλασίου. Εκτός αυτού, ο NCC ακολουθεί, σε κάθε πλαίσιο αλλά και σε κάθε υπερπλαίσιο, την ίδια σειρά των τερματικών για την εκχώρηση των χρονοθυρίδων, έτσι ώστε να μειώσει όσο το δυνατό περισσότερο τις μέσες καθυστερήσεις των εφαρμογών.

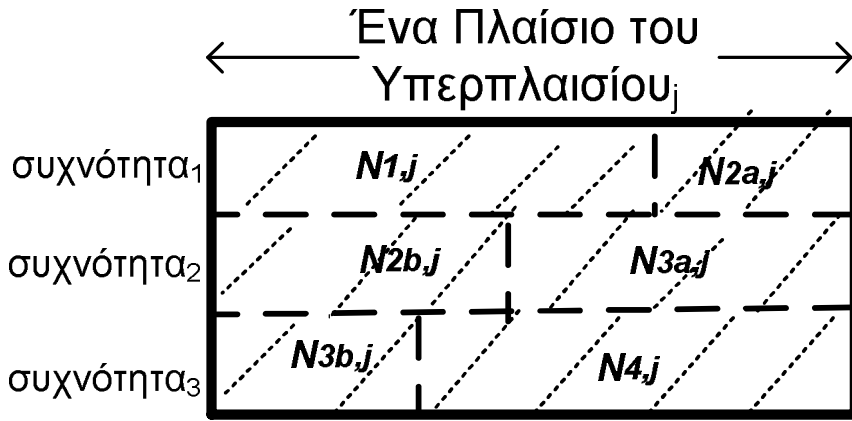
Στην ενότητα 4.4 η εκχώρηση των χρονοθυρίδων γίνεται σε μία συχνότητα για λόγους απλότητας. Για να επεκτείνουμε την λειτουργία του PartB, ώστε η εκχώρηση των χρονοθυρίδων να γίνεται σε MF-TDMA, κάνουμε σε αυτήν την ενότητα ένα συνδυασμό των προτάσεων που παρουσιάστηκαν στα [37] και [39].



Εικόνα 6-1. Τρόπος διανομής χρονοθυρίδων όταν ο αριθμός των RCST τερματικών είναι λιγότερα από τον αριθμό των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στο MF-TDMA

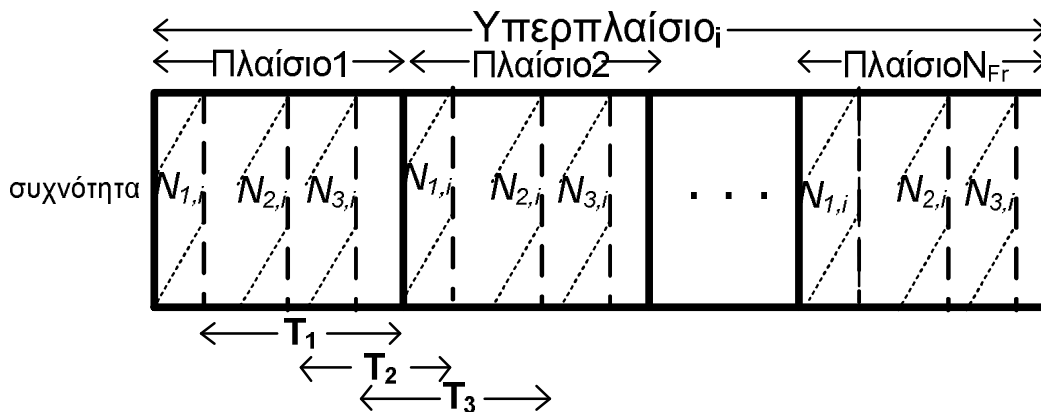
Η παρούσα βελτίωση παρουσιάστηκε στο [44].

Πιο συγκεκριμένα, αν ο αριθμός των RCST τερματικών είναι λιγότερα από τον αριθμό των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στο MF-TDMA, τότε χρησιμοποιείται η ιδέα του RCP-fit αλγορίθμου. Η κύρια ιδέα αυτού του



Εικόνα 6-2. Τρόπος διανομής χρονοθυρίδων όταν ο αριθμός των RCST τερματικών είναι λιγότερα από τον αριθμό των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στο MF-TDMA

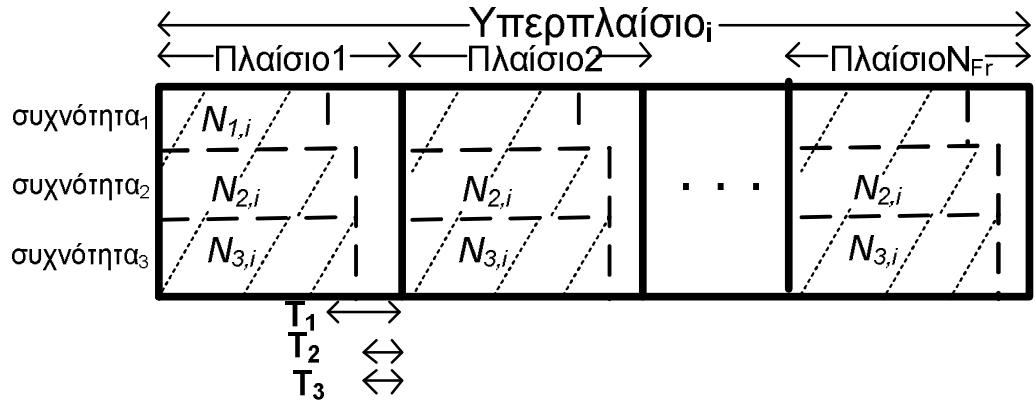
αλγορίθμου είναι ότι προκρατάει μία φέρουσα για κάθε ενεργό RCST ώστε να μπορεί να μεταδίδει όλες τις ριπές του. Στην περίπτωση που ο αριθμός των ενεργών RCSTs υπερβαίνει τον αριθμό των φερουσών, τα περίσσεια τερματικά μεταδίδουν χρησιμοποιώντας τις φέρουσες που είναι προκρατημένες για τερματικά με το μικρότερο φορτίο κίνησης. Επομένως, προκρατείται μία συχνότητα για κάθε RCST, για να μπορεί να μεταδίδει όλες τις ριπές του όπως φαίνεται στην Εικόνα 6-1. Αν στο παράδειγμα που παρουσιάζει αυτή η εικόνα ήθελε να μεταδώσει ένα τέταρτο τερματικό, θα έπρεπε να μεταδώσει στην πρώτη ή στην τρίτη συχνότητα που υπάρχει η λιγότερη κίνηση. Οι χρονοθυρίδες όμως που υπάρχουν σε αυτές τις συχνότητες μπορεί να μην επαρκούσαν για το σύνολο των χρονοθυρίδων που έχουν ανατεθεί στο τέταρτο τερματικό, αν και ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων χρονοθυρίδων επαρκεί. Αυτός είναι ο λόγος, δηλαδή του κατακερματισμού των χρονοθυρίδων, που στην περίπτωση που τα RCST τερματικά είναι περισσότερα από τον αριθμό των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στο MF-TDMA ακολουθείται διαφορετική προσέγγιση.



Εικόνα 6-3. Διανομή χρονοθυρίδων σε μία χρονοθυρίδα

Αν τα RCST τερματικά είναι περισσότερα από τον αριθμό των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στο MF-TDMA, τότε χρησιμοποιείται η μέθοδος που περιγράφεται στο [37], ώστε να υπάρχει καλύτερη διαχείριση των χρονοθυρίδων όπως φαίνεται στην Εικόνα 6-2. Η κατανομή των χρονοθυρίδων είναι συνεχής

στο χρόνο. Στο πρώτο τερματικό ανατίθεται ο αριθμός των χρονοθυρίδων που του είχαν δοθεί ξεκινώντας από τη Χρονοθυρίδα 1 της Συχνότητας 1, μετά τη Χρονοθυρίδα 2 της Συχνότητας 1, μέχρι το σύνολο των χρονοθυρίδων που του έχει δοθεί. Στη συνέχεια, συνεχίζει το δεύτερο τερματικό και αν χρειάζεται πηγαίνει στη δεύτερη συχνότητα.

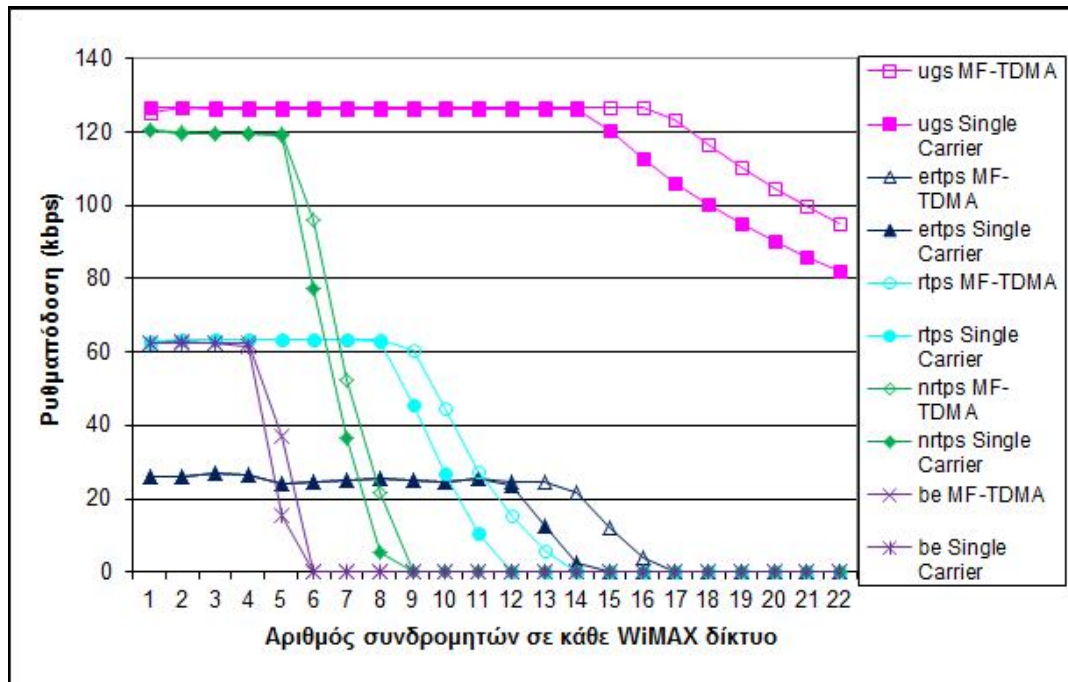


Εικόνα 6-4. Διανομή χρονοθυρίδων σε MF-TDMA

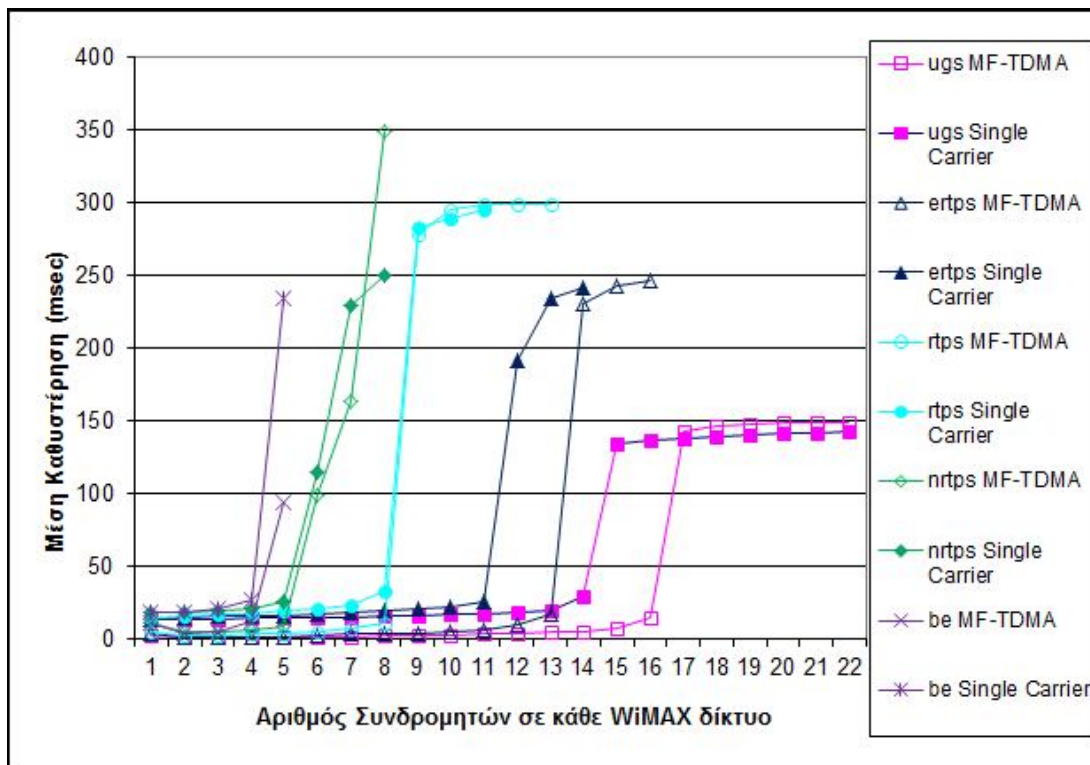
Η αναμενόμενη βελτίωση σε ρυθμαπόδοση και μέση καθυστέρηση με τη χρήση της διανομής χρονοθυρίδων σε MF-TDMA συγκριτικά με τη διανομή χρονοθυρίδων σε μία συχνότητα μπορεί να εξηγηθεί με την Εικόνα 6-3 και την Εικόνα 6-4. Αυτές οι εικόνες παρουσιάζουν τον τρόπο που γίνεται η διανομή των χρονοθυρίδων στους δύο μηχανισμούς. Με τη χρήση των πολλών συχνοτήτων, μειώνεται το χρονικό διάστημα που ένα RCST δεν έχει διαθέσιμες χρονοθυρίδες για μετάδοση, όπως είναι το T_1 για το πρώτο τερματικό. Οπότε, το PartC μπορεί να διαχειριστεί καλύτερα τις διαθέσιμες προς μετάδοση χρονοθυρίδες, με στόχο τη μείωση των πακέτων που απορρίπτονται λόγω λήξης που οφείλεται στην καθυστέρηση της μετάδοσης τους. Αυτό είναι ιδιαίτερα επιθυμητό στα δορυφορικά δίκτυα που δεν μπορεί να αποφευχθεί η καθυστέρηση διάδοσης.

6.4 Μελέτη απόδοσης

Με στόχο την μέτρηση της απόδοσης της προτεινόμενης βελτίωσης, χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα προσομοίωσης που περιγράφηκε στην ενότητα 4.6.1. Επιπλέον, για να παρουσιάσουμε τη διαφορά μεταξύ διανομής χρονοθυρίδων σε μία συχνότητας και στο MF-TDMA, χρησιμοποιούμε στο σενάριο της μία συχνότητας χρονοθυρίδες που μπορούν να περιέχουν ριπές μεγέθους 2×3 MPEG πακέτων, όπου κάθε ένα έχει μέγεθος 188 bytes, ενώ οι χρονοθυρίδες στο MF-TDMA μπορούν να περιέχουν ριπές μεγέθους 2×1 MPEG πακέτων. Στο σενάριο του MF-TDMA, για λόγους απλότητας χρησιμοποιούμε μόνο 3 συχνότητες, μία για κάθε ένα RCST. Δεν υπάρχει εξ' άλλου η ανάγκη για περισσότερες συχνότητες, αφού κάθε τερματικό μπορεί να πάρει το μέγιστο αριθμό χρονοθυρίδων που μπορούν να του εκχωρηθούν σε μία συχνότητα.



Εικόνα 6-5. Η ρυθμαπόδοση ανά τύπο υπηρεσίας



Εικόνα 6-6. Μέση καθυστέρηση ανά τύπο υπηρεσίας

Η Εικόνα 6-5 παρουσιάζει τη ρυθμαπόδοση των πέντε διαφορετικών τύπων υπηρεσίας για ένα αυξανόμενο αριθμό από συνδρομητές σε κάθε WiMAX δίκτυο. Μέχρι τέσσερα SSs, εξυπηρετείται όλη η κίνηση, καθώς οι χρονοθυρίδες που είναι δεσμευμένες από το CRA_level επαρκούν. Για περισσότερους από πέντε συνδρομητές σε κάθε WiMAX δίκτυο, και οι δύο μηχανισμοί διανομής χρονοθυρίδων δεν μπορούν να ικανοποιήσουν όλη την best effort κίνηση και μετά από έξι συνδρομητές δεν μπορούν να ικανοποιήσουν καθόλου από αυτή. Για

πέντε συνδρομητές ο μηχανισμός που λειτουργεί σε μία συχνότητα εξυπηρετεί λιγότερες best effort συνδέσεις από τον αντίστοιχο πολλών συχνοτήτων. Η ρυθμαπόδοση της nrPS κίνησης έχει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή της best effort, η οποία μειώνεται μετά από έξι συνδρομητές και μηδενίζεται μετά από εννιά συνδρομητές. Η αντίστοιχη μείωση για την rtPS κίνηση ξεκινά μετά από τέσσερις συνδρομητές. Σε αυτόν τον τύπο υπηρεσίας, ο μηχανισμός μίας συχνότητας σταματάει την εξυπηρέτηση της rtPS κίνησης μετά τους δώδεκα συνδρομητές, ενώ ο αντίστοιχος πολλών συχνοτήτων μετά από δεκατέσσερις συνδρομητές. Και οι δύο μηχανισμοί έχουν παρόμοια συμπεριφορά για την ertPS κίνηση και η ρυθμαπόδοση τους ξεκινάει να μειώνεται μετά τους δεκατρείς συνδρομητές. Η ρυθμαπόδοση του μηχανισμού μίας συχνότητας μηδενίζεται μετά τους δεκαπέντε συνδρομητές και αυτός των πολλών συχνοτήτων μετά τους δεκαεπτά συνδρομητές σε κάθε WiMAX δίκτυο. Τέλος, ο μηχανισμός μίας συχνότητας δεν μπορεί να εξυπηρετήσει όλη τη UGS κίνηση μετά τους δεκαπέντε συνδρομητές, ενώ αυτός των πολλών συχνοτήτων μετά τους δεκαεπτά συνδρομητές σε κάθε WiMAX δίκτυο.

Η Εικόνα 6-6 παρουσιάζει τη μέση καθυστέρηση των πέντε διαφορετικών τύπων υπηρεσίας ανά SS. Όπως απεικονίζεται καλύτερα για την ertPS και UGS κίνηση, ο μηχανισμός μίας συχνότητας σχεδόν φτάνει τη μέγιστη καθυστέρηση για την ertPS κίνηση στους δεκατρείς συνδρομητές και για την UGS κίνηση στους δεκαπέντε συνδρομητές, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για αυτόν των πολλών συχνοτήτων είναι δεκατέσσερις και δεκαεπτά συνδρομητές. Από τις δύο παραπάνω εικόνες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο δεύτερος μηχανισμός εξυπηρετεί περισσότερη κίνηση με βελτιωμένη μέση καθυστέρηση.

6.5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό επεκτείνουμε το PartB ώστε η κατανομή των χρονοθυρίδων από τον NCC να γίνεται σε MF-TDMA, καθώς στον αρχικό σχεδιασμό της διασύνδεσης του δορυφορικού και WiMAX δικτύου γινόταν για λόγους απλότητας σε μία συχνότητα. Μετά από μία βιβλιογραφική έρευνα για διανομή χρονοθυρίδων σε στατικά MF-TDMA δορυφορικά συστήματα, εφαρμόζουμε μία υβριδική λύση ανάλογα με τον αριθμό των τερματικών του δορυφορικού δικτύου σε σχέση με τον αριθμό των συχνοτήτων. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι με την προτεινόμενη βελτίωση του PartB εξυπηρετείται περισσότερη κίνηση με λιγότερη μέση καθυστέρηση.

7. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ PartC

7.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια αυτού του κεφαλαίου μελετάμε την βελτίωση του PartC του προτεινόμενου μηχανισμού διασύνδεσης μεταξύ ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου, που ακολουθεί το πρότυπο DVB-RCS, και WiMAX δικτύων. Ο χρονοπρογραμματιστής RTFS (Real Time FIFO Scheduler) που λειτουργεί στον PartC αντιμετωπίζει την μετάδοση των πακέτων των βίντεο συνδέσεων με την λογική μίας FIFO ουράς. Τα πακέτα όλων των rTPS συνδέσεων εισάγονται σε μία ουρά βάσει της σειράς άφιξης τους. Κατά τη διάρκεια του υπερπλαισίου, ο PartC μεταδίδει, όποτε έχει διαθέσιμη χωρητικότητα βάσει του TBTP, τα πακέτα από την ουρά του, ενώ ένα πακέτο απορρίπτεται όταν λήξει λόγω καθυστέρησης μετάδοσης του. Ο RTFS αλγόριθμος παρουσιάζεται αναλυτικά στην ενότητα 4.5. Στο κεφάλαιο αυτό, θέλουμε να βελτιώσουμε τον χρονοπρογραμματιστή που χρησιμοποιεί ο PartC, ώστε ο διαμοιρασμός της χωρητικότητας στις συνδέσεις πραγματικού χρόνου του WiMAX δικτύου να γίνεται βάσει μετρικών Αντίληψης Ποιότητας (QoE). Η αντίληψη ποιότητας (QoE) είναι η συνολική απόδοση ενός συστήματος από την πλευρά των χρηστών. Το κεφάλαιο αυτό οργανώνεται ως εξής: Αρχικά γίνεται μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις μετρικές αντίληψης ποιότητας (ενότητα 7.2) και επιλέγεται η πιο κατάλληλη μετρική για χρήση στον προτεινόμενο μηχανισμό. Προτείνουμε μία πρώτη έκδοση αλγορίθμου που βασίζεται στην χρήση της παραπάνω μετρικής (ενότητα 7.3), ο οποίος έχει βελτιωμένα αποτελέσματα συγκριτικά με τον RTFS αλγόριθμο, όπως παρουσιάζουν και τα αποτελέσματα πειραμάτων (ενότητα (iii)). Τέλος, προτείνεται μία καινούργια μετρική αντίληψης ποιότητας (ενότητα 7.4.1) και ένας βελτιωμένος αλγόριθμος (δεύτερη έκδοση) που βασίζεται σε αυτήν (ενότητα 7.4.2), καθώς και τα αποτελέσματα της βελτίωσης που έχουμε (ενότητα 7.4.4).

7.2 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας των μετρικών αντίληψης ποιότητας

Στην ενότητα αυτή κάνουμε μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις μετρικές αντίληψης ποιότητας και παρουσιάζουμε τις κύριες κατηγορίες αυτών. Στη συνέχεια, περιγράφουμε τη χρήση αυτών των μετρικών σε εργαλεία διαχείρισης παρόμοια με το δικό μας. Τέλος, κάνουμε μία κριτική στις ήδη υπάρχουσες μετρικές αντίληψης ποιότητας και επιλέγουμε την πιο κατάλληλη για χρήση στο δικό μας μηχανισμό.

7.2.1 Κατηγοριοποίηση των μετρικών αντίληψης ποιότητας

Η αντίληψη ποιότητας αντανακλά την συνολική απόδοση ενός συστήματος σε σχέση με το πώς την αντιλαμβάνονται οι χρήστες. Η αντίληψη ποιότητας σχετίζεται αλλά διαφοροποιείται από την ποιότητα υπηρεσίας, η οποία βασίζεται στο ότι τα χαρακτηριστικά του υλικού και λογισμικού μπορούν να μετρηθούν, να βελτιωθούν και ίσως να εγγραφούν. Αντίθετα, η αντίληψη ποιότητας εκφράζει την ικανοποίηση του χρήστη υποκειμενικά (subjective) κα αντικειμενικά (objective), που είναι και οι δύο κύριες κατηγορίες των μετρικών αντίληψης ποιότητας [45].

Οι υποκειμενικές μετρικές ποιότητας εκφράζουν την πιο ακριβή μέθοδο για την βαθμολόγηση της ποιότητας. Στα υποκειμενικά πειράματα, ζητείται από έναν αριθμό από «υποκείμενα», δηλαδή ανθρώπους, (συνήθως 15-30) να παρατηρήσουν μία σειρά από βίντεο και να βαθμολογήσουν την ποιότητα τους. Ο μέσος βαθμός όλων των παρατηρητών για ένα δεδομένο βίντεο είναι επίσης γνωστός ως ο Μέσος Βαθμός Γνώμης (Mean Opinion Score (MOS)), με τιμές από 1 που είναι το πιο φτωχό σε ποιότητα μέχρι 5 που είναι το βέλτιστο. Το MOS είναι η κύρια υποκειμενική μετρική. Υπάρχουν κάποια πρότυπα που περιέχουν

μεθόδους για την υποκειμενική αξιολόγηση της ποιότητας του βίντεο όπως το ITU-R BT.500-11 [46]. Κάποιες παραλλαγές που περιλαμβάνονται στο standard είναι οι εξής: Double Stimulus Impairment Scale (DSIS), Double Stimulus Continuous Quality Scale (DSCQS), Single Stimulus (SS), Single Stimulus Continuous Quality Evaluation (SSCQE), Stimulus Comparison Adjectival Categorical Judgement (SCACJ), Simultaneous Double Stimulus for Continuous Evaluation (SDSCE) και Absolute Category Rating (ACR). Οι διαφορές μεταξύ τους είναι ελάχιστες και κυρίως σχετίζονται με την συγκεκριμένη εφαρμογή που αφορούν.

Οι αντικειμενικές μετρικές ποιότητας είναι αλγόριθμοι και τύποι που μπορούν να μετρήσουν με έναν συγκεκριμένο τρόπο την ποιότητα μιας ροής. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες αντικειμενικές μετρικές είναι οι εξής: το Mean Squared Error (MSE) και το Peak signal to noise ratio (PSNR) (που είναι μία λογαριθμική αναπαράσταση του MSE), το ITS' Video Quality Metric (VQM) [47], το EPFL's Moving Picture Quality Metric (MPQM) [48], το Color Moving Picture Quality Metric (CMPQM) [48], το Normalization Video Fidelity Metric (NVFM) [48], και το Structural Similarity Index Metric (SSIM) [49]. Με μερικές εξαιρέσεις, οι αντικειμενικές μετρικές προτείνουν διαφορετικούς τρόπους για την σύγκριση του λαμβανόμενου σήματος με το αρχικό, υπολογίζοντας συνήθως ένα είδος απόστασης μεταξύ των δύο σημάτων.

Τέλος, μία υβριδική προσέγγιση μεταξύ των υποκειμενικών και αντικειμενικών μετρικών έχει προταθεί στο [50]. Είναι μία τεχνική που επιτρέπει την αυτόματη προσέγγιση μίας τιμής που αποκτήθηκε από ένα υποκειμενικό τεστ. Πιο λεπτομερώς, η Pseudo-Subjective Quality Assessment (PSQA) μετρική αρχικά επιλέγει τους παράγοντες που μπορεί να έχουν μία επιρροή στην ποιότητα όπως: η κωδικοποίηση, το εύρος ζώνης, η απώλεια, η καθυστέρηση και το jitter. Στη συνέχεια, αυτοί οι παράγοντες χρησιμοποιούνται για να γεννήσουν αρκετά παραμορφωμένα δείγματα από βίντεο. Αυτά τα δείγματα αξιολογούνται υποκειμενικά από μία ομάδα παρατηρητών. Τα αποτελέσματα αυτών των παρατηρήσεων χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την εκπαίδευση ενός τυχαίου νευρωνικού δικτύου (Random neural network (RNN)) με στόχο της σύλληψης της σχέσης μεταξύ των παραγόντων που προκαλούν την παραμόρφωση (αντικειμενική προσέγγιση) και της αντιλαμβανόμενης ποιότητας από τους ανθρώπους (υποκειμενική προσέγγιση).

7.2.2 Η χρήση των μετρικών αντίληψης ποιότητας σε εργαλεία διαχείρισης

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από δημοσιεύσεις που χρησιμοποιούν μετρικές αντίληψης ποιότητας για να μετρήσουν την ποιότητα του βίντεο, αλλά πολύ λίγες δημοσιεύσεις που χρησιμοποιούν μετρικές αντίληψης ποιότητας σε εργαλεία διαχείρισης. Το [51] είναι η μόνη δουλειά στο UMTS που διερευνά την πιθανότητα της χρήσης μετρικών αντίληψης ποιότητας ως μετρικής στην απόφαση του τρόπου χρονοπρογραμματισμού (scheduling). Με στόχο την ανάδραση (feedback) της αντίληψης ποιότητας σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιείται η PSQA τεχνική. Ο ρυθμός απώλειας (Loss rate (LR)) των πακέτων βίντεο και το μέσο μέγεθος ριπής απώλειας (mean loss burst size (MLBS)) θεωρούνται ως οι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα για την εκπαίδευση του RNN. Το MLBS είναι το μέσο μήκος της ακολουθίας των συνεχόμενων πακέτων που χάνονται σε μία χρονική περίοδο και συλλαμβάνει τον τρόπο που οι απώλειες κατανέμονται στην ροή καθώς αυτό επηρεάζει δραματικά την αντιλαμβανόμενη ποιότητα του βίντεο. Μετά τη μετάδοση του RNN, εκτιμάται το MOS σε πραγματικό χρόνο, ώστε ο χρονοπρογραμματιστής να μπορεί να πάρει τους MOS βαθμούς για να πάρει την απόφαση του

χρονοπρογραμματισμού. Προτείνονται δύο αλγόριθμοι, ο QoE-CI και ο QoE-PF. Ο πρώτος έχει ως στόχο την μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος παίρνοντας υπόψη την εκτίμηση της ποιότητας των ροών βίντεο. Ο δεύτερος έχει ως σκοπό την μεγιστοποίηση της δικαιοσύνης μεταξύ των χρηστών κρατώντας αποδεκτή την αντίληψη ποιότητας των χρηστών βίντεο. Το κύριο συμπέρασμα αυτής της δουλειάς είναι ότι ο QoE-PF είναι πιο δίκαιος από τον QoE-CI αφού παίρνει υπόψη τη μέση απόδοση κάθε σταθμού, ενώ ο QoE-CI δίνει υψηλότερο βαθμό ποιότητας από τον QoE-PF αφού παραχωρεί πλεονέκτημα στον σταθμό με το καλύτερο σήμα. Το [52] και το [53] προτείνει έναν καινούργιο μηχανισμό προσαρμογής ρυθμού βασισμένο στην αίσθηση της ποιότητας, χρησιμοποιώντας το PSQA εργαλείο για την απόκτηση του MOS σε πραγματικό χρόνο. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο PSQA είναι ο ρυθμός απώλειας των I πλαισίων (frames), των P πλαισίων, των B πλαισίων και το MLBS των I πλαισίων. Η ιδέα του προτεινόμενου σχήματος είναι να χρησιμοποιηθεί η ανάδραση του QoE από τους κινητούς σταθμούς για να υπάρχει η παροχή της παρούσας κατάστασης του δικτύου και στη συνέχεια να υιοθετηθεί ο αντίστοιχος ρυθμός. Στο [54], αναπτύσσεται ένας καινούργιος αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού πακέτων σε ασύρματα δίκτυα πολλαπλών βημάτων (multi-hop wireless networks) που βελτιστοποιεί την παράδοση πολλαπλών ροών βίντεο, ήχου και δεδομένων σύμφωνα με μετρικές αντίληψης ποιότητας. Χρησιμοποιείται ένα ήδη προτεινόμενο μοντέλο για τον προσδιορισμό της ικανοποίησης του χρήστη, όπου η ποιότητα δίνεται σε όρους PSNR, ενώ το MOS παράγεται μέσω μιας μη γραμμικής καμπύλης που αντιστοιχεί το PSNR με το MOS. Ο προτεινόμενος χρονοπρογραμματιστής τοποθετεί σύνολα από συνδυασμούς πακέτων σε όλες τις ενεργές ροές όλων των χρηστών που περνάνε έναν κόμβο που θα μπορούσε να δεχτεί μία δεδομένη μείωση. Για κάθε έναν από αυτούς τους συνδυασμούς, παράγεται μία εκτίμηση της μείωσης της ικανοποίησης του χρήστη εκφρασμένη σε MOS. Στη συνέχεια, ο χρονοπρογραμματιστής πετάει τα πακέτα των οποίων οι συνδυασμοί οδηγούν στην μικρότερη μείωση στην ικανοποίηση αντίληψης ποιότητας βάσει μίας προτεινόμενης συνάρτησης κόστους. Το [55] προτείνει τον ίδιο προγραμματιστή για τον χρονοπρογραμματισμό πολλαπλών υπηρεσιών, δίνοντας έμφαση στο περιεχόμενο του βίντεο, αλλά επίσης στην μεταφορά ήχου και δεδομένων. Υπάρχει επίσης διαφορά στο μοντέλο που καθορίζει την ικανοποίηση του χρήστη στο περιεχόμενο του βίντεο, που βασίζεται σε ένα παλιότερα προτεινόμενο μοντέλο παραμόρφωσης βίντεο. Η υπολογισμένη παραμόρφωση αντιστοιχίζεται σε SNR, και στην συνέχεια σε MOS χρησιμοποιώντας μία μη γραμμική σχέση.

7.2.3 Οι μετρικές αντίληψης ποιότητας στον δικό μας μηχανισμό

Ο στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να βελτιώσει το PartC του ήδη προτεινόμενου μηχανισμού, ώστε να γίνεται ο χρονοπρογραμματισμός των συνδέσεων πραγματικού χρόνου βάσει της χρήσης μετρικών αντίληψης ποιότητας. Οι μετρικές αντίληψης ποιότητας χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση της μετάδοσης του βίντεο σε διαφορετικές συνθήκες δικτύου, και σπανίως χρησιμοποιούνται σε λύσεις χρονοπρογραμματισμού, ενώ δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ποτέ μέχρι τώρα για τον χρονοπρογραμματισμό σε δορυφορικά δίκτυα. Οι υποκειμενικές μετρικές είναι οι πιο ακριβείς για τις μετρήσεις αντίληψης ποιότητας, καθώς παράγονται από πραγματικούς ανθρώπους. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι είναι χρονοβόρες και κοστίζουν στην χρήση ανθρώπινου δυναμικού. Οπότε, δεν μπορούν εύκολα να επαναληφθούν αρκετές φορές ούτε να χρησιμοποιηθούν σε πραγματικό χρόνο, να είναι δηλαδή μέρος μίας αυτοματοποιημένης διαδικασίας. Καθώς χρειαζόμαστε η προτεινόμενη

βελτίωση να είναι μέρος μίας αυτοματοποιημένης διαδικασίας, εξαιρούνται από την επιλογή μας οι υποκειμενικές και υβριδικές μετρικές αντίληψης ποιότητας. Από τις ήδη προτεινόμενες λύσεις σε άλλου είδους δίκτυα, οι λύσεις που προτείνονται στα [51], [52], [53] έχουν το μειονέκτημα της χρήσης της PSQA μετρικής για χρονοπρογραμματισμό και τη διαχείριση της αντίληψης ποιότητας. Από την άλλη, οι λύσεις που προτείνονται στα [54], [55] θεωρούνται πολύπλοκες, καθώς υπολογίζουν την αντίληψη ποιότητας που παράγεται από κάθε πιθανή απώλεια πακέτου. Η δικιά μας πρόταση θέλουμε να είναι πιο απλή αφού έχουμε ως στόχο να χρησιμοποιηθεί σε δορυφορικά δίκτυα, τα οποία έχουν το μειονέκτημα της καθυστέρησης.

Ο χρονοπρογραμματιστής που χρησιμοποιείται στον PartC επιλέγει ποια πακέτα θα μεταδοθούν και ποια θα απορριπτούν. Η αντίληψη ποιότητας που έχει ο χρήστης οφείλεται κυρίως στην απώλεια πακέτων και όχι στην κακή λήψη του σήματος του βίντεο δηλαδή στην κακή λήψη κάποιων rixel (στοιχείο που παίρνουν υπόψη οι περισσότερες αντικειμενικές μετρικές). Αυτός είναι ο κύριος λόγος που η μετρική αντίληψης ποιότητας που επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί στον ήδη υπάρχων μηχανισμό είναι η FC-MDI μετρική, που είναι μία αντικειμενική μετρική που δίνει διαφορετικό βάρος στην απώλεια διαφορετικών κατηγοριών από πλαίσια ήχου και βίντεο.

Η FC-MDI (Media Delivery Index based on Frame Classification) μετρική είναι μία επέκταση της MDI (Media Delivery Index) μετρικής [56], η οποία είναι μία αντικειμενική μετρική που περιέχει δύο νούμερα χωρισμένα από μία άνω-κάτω τελεία. Τα νούμερα αυτά είναι ο παράγοντας καθυστέρησης (delay factor DF) και ο ρυθμός απώλειας μέσου (media loss rate MLR). Το DF είναι μία χρονική τιμή που δείχνει πόσα milliseconds πρέπει να μπορεί να περιέχει η ενδιάμεση μνήμη ώστε να εξαλειφθεί το jitter, ενώ το MLR υπολογίζει τη διαφορά μεταξύ του αριθμού των πακέτων που λήφθηκαν σε ένα χρονικό διάστημα και του αριθμού των πακέτων που αναμένονταν σε αυτό το διάστημα. Επειδή το MLR είναι ένας ρυθμός, χάνεται κάποια σημαντική πληροφορία, όπως αν τα IP πακέτα που χάνονται είναι συνεχόμενα ή όχι. Δεν παίρνει υπόψη τη μείωση της ποιότητας που προκαλείται από την απώλεια προηγούμενων συσχετισμένων πλαισίων. Για αυτούς τους λόγους το [57] προτείνει την FC-MDI μετρική που παίρνει υπόψη την ταξινόμηση των πλαισίων για να βελτιώσει την απόδοση της MDI μέτρησης. Διαχωρίζει την απώλεια πακέτων βάσει της κατηγοριοποίησης των πλαισίων και δίνει ένα διαφορετικό βάρος σε κάθε διαφορετικό πλαίσιο. Μεταξύ όλων των ειδών των πλαισίων, το I-πλαίσιο παίζει το πιο σημαντικό ρόλο, καθώς το υπόλοιπο πλαίσιο ολόκληρης της ομάδας της εικόνας δεν μπορεί να αποκωδικοποιηθεί κανονικά αν το I-πλαίσιο χαθεί. Συγκριτικά με το B-frame, το P-frame βασίζεται λιγότερα στα προηγούμενα I-πλαίσια και P-πλαίσια. Η FC-MLR (Media Loss Rate based on Frame Classification) μετρική βελτιώνει τον ορισμό του MLR και παίρνει υπόψη της την κατηγοριοποίηση των πλαισίων ως εξής:

$$FC - MLR = \frac{\alpha * I_{P_{Loss}} + \beta * P_{P_{Loss}} + \gamma * B_{P_{Loss}}}{\text{χρονικό διάστημα}} \quad (7-1)$$

όπου α , β , γ είναι βάρη με $(3 \geq \alpha > \beta > \gamma \geq 0, \alpha + \beta + \gamma = 3)$ και $I_{P_{Loss}}$, $P_{P_{Loss}}$, και $B_{P_{Loss}}$ είναι αντίστοιχα ο αριθμός των χαμένων I, P και B frames. Αποτελέσματα πειραμάτων αποδεικνύουν ότι όταν δύο βίντεο διαφορετικής ποιότητας έχουν τον ίδιο αριθμό συνολικών πεταμένων πακέτων, η παραδοσιακή MDI μέτρηση δεν μπορεί να αποτυπώσει τη διαφορά μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει καθώς η MDI δεν μπορεί να πάρει υπόψη την υποβάθμιση της ποιότητας που προκαλείται από τη

διάδοση της απώλειας προηγούμενων συσχετισμένων frames, ενώ η FC-MDI μετρική έχει τη δυνατότητα αυτού του διαχωρισμού.

7.3 Χρήση μετρικών αντίληψης ποιότητας στον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού του PartC

Ο σκοπός αυτής της ενότητας αυτής είναι η περιγραφή του FC_MDI_S αλγορίθμου, που είναι μία πρώτη βελτίωση του RTFS αλγορίθμου (βλέπε 4.5), με στόχο τον χρονοπρογραμματισμό των rPS συνδέσεων χρησιμοποιώντας την FC_MDI μετρική αντίληψης ποιότητας. Ο προτεινόμενος FC_MDI_S αλγόριθμος παρουσιάστηκε στο [58].

7.3.1 Λειτουργία του προτεινόμενου FC_MDI_S αλγορίθμου

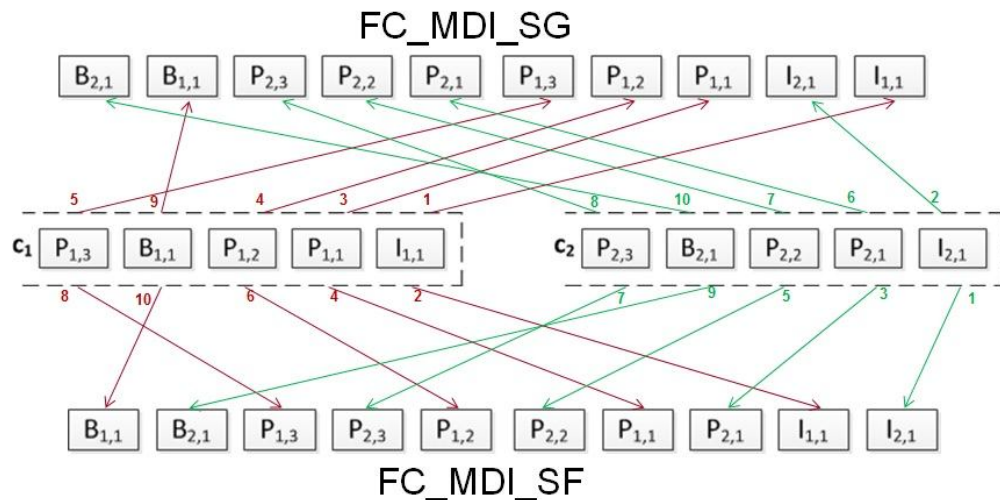
Ο FC_MDI_S αλγόριθμος κάνει τις παρακάτω διαδικασίες στην αρχή κάθε υπερπλαϊσίου:

- (i) Απόρριψη των πακέτων που έχουν λήξει λόγω καθυστέρησης μετάδοσης.
- (ii) Υπολογισμό της τιμής FC-MLR κάθε σύνδεσης βάσει της απώλειας των I, P, B πλαισίων στο προηγούμενο υπερπλαϊσίο. Η FC-MLR τιμή υπολογίζεται ως εξής:

$$FC - MLR = \frac{\alpha * I_{P_{Loss}} + \beta * P_{P_{Loss}} + \gamma * B_{P_{Loss}}}{\text{χρονικό διάστημα}},$$

όπου α, β, γ είναι βάρη με ($3 \geq \alpha > \beta > \gamma \geq 0, \alpha + \beta + \gamma = 3$) και $I_{P_{Loss}}, P_{P_{Loss}}$, και $B_{P_{Loss}}$ είναι αντίστοιχα ο αριθμός των χαμένων I, P και B πλαισίων.

- (iii) Ταξινόμηση των βίντεο συνδέσεων βάσει της FC-MLR τιμής των συνδέσεων που υπολογίστηκε στο βήμα (ii) κάτω από δύο εκδόσεις. Η πρώτη έκδοση ονομάζεται FC_MDI_SG και έχει μία λογική απληστίας. Με στόχο τη διατήρηση των συνδέσεων που έχουν καλή ποιότητα, οι συνδέσεις ταξινομούνται βάσει της FC-MLR τιμής με αύξουσα σειρά, από την καλύτερη ποιότητα προς την χειρότερη. Αυτό οδηγεί στη διατήρηση της ποιότητας κάποιων συνδέσεων και στο λιμό κάποιων άλλων συνδέσεων. Η δεύτερη έκδοση ονομάζεται FC_MDI_SF και έχει μία λογική δικαιοσύνης. Με στόχο να είναι δίκαιος και να διατηρήσει όλες τις συνδέσεις (ακόμα και σε χειρότερη ποιότητα), οι συνδέσεις ταξινομούνται με την αντίθετη σειρά σε σχέση με την



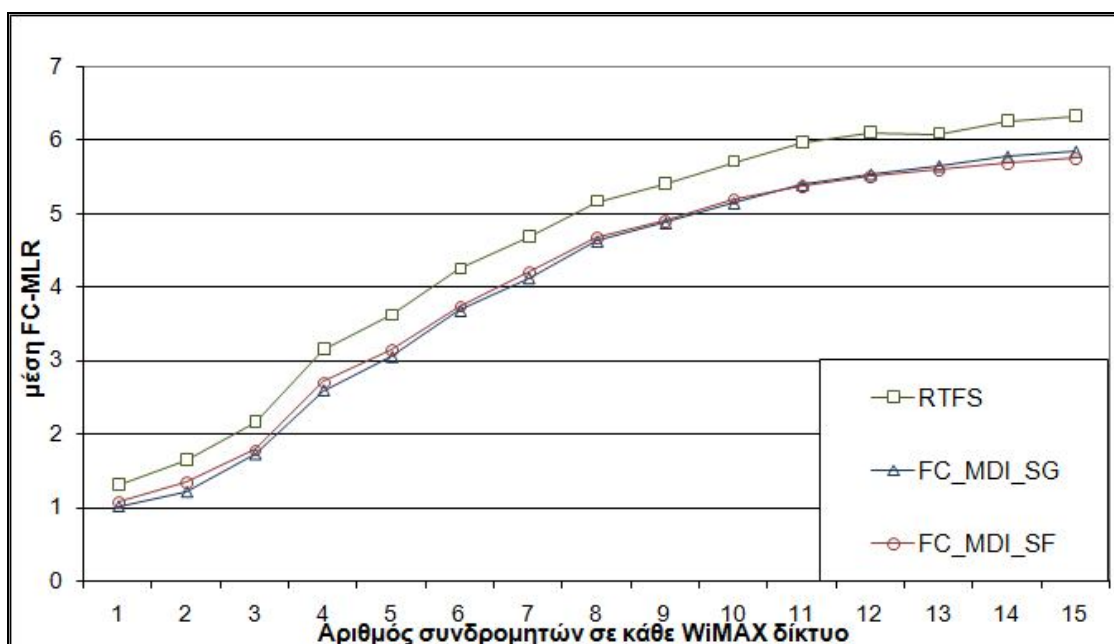
Εικόνα 7-1. Μετάδοση πακέτων με τον FC_MDI_SG αλγόριθμο και τον FC_MDI_SF αλγόριθμο

προηγούμενη έκδοση από την χειρότερη ποιότητα προς την καλύτερη.

Κατά τη διάρκεια του υπερπλαϊσίου, ο PartC μεταδίδει βάσει του TBTP όποτε έχει διαθέσιμη χωρητικότητα. Η FC_MDI_SG έκδοση του αλγορίθμου μεταδίδει όλα τα πακέτα μιας κατηγορίας, δίνοντας προτεραιότητα στα I πλαίσια, μετά στα P πλαίσια και τελευταία στα B πλαίσια, και στη συνέχεια προχωράει σε πακέτα της ίδιας κατηγορίας άλλης σύνδεσης. Η σειρά των συνδέσεων είναι αυτή που υπολογίστηκε στο βήμα c του αλγορίθμου. Αντίθετα, η FC_MDI_SF έκδοση μεταδίδει ένα πακέτο από μία κατηγορία από όλες τις συνδέσεις, και μετά το επόμενο πακέτο της ίδιας κατηγορίας από όλες τις συνδέσεις, μέχρι να εξαντληθούν όλα τα πακέτα αυτής της κατηγορίας. Μετά τη μετάδοση όλων των πακέτων της προηγούμενης κατηγορίας, προχωράει στην επόμενη κατηγορία δίνοντας προτεραιότητα στα I πλαίσια, στη συνέχεια στα P πλαίσια και τελευταία στα B πλαίσια. Η σειρά των συνδέσεων είναι αυτή που υπολογίστηκε στο βήμα c του αλγορίθμου. Η Εικόνα 7-1 παρουσιάζει ένα παράδειγμα της μετάδοσης των πακέτων δύο συνδέσεων c1 και c2, με την πρώτη σύνδεση να έχει καλύτερο FC_MLR από τη δεύτερη, στις προτεινόμενες εκδόσεις του αλγορίθμου. Ο δείκτης i στην Κατηγορία_Framei,j της Εικόνα 7-1 δείχνει την σύνδεση, ενώ ο δείκτης j δείχνει τη σειρά του πακέτου της συγκεκριμένης κατηγορίας πλαισίων της i σύνδεσης. Τέλος, η μετάδοση αυτών των πακέτων όπως και η απόρριψη των πακέτων που περιγράφηκε στο βήμα (i), προσμετρούνται στον υπολογισμό της FC-MLR τιμής των συνδέσεων για το επόμενο υπερπλαϊσίο.

7.3.2 Μελέτη απόδοσης

Με στόχο την μέτρηση της απόδοσης του προτεινόμενου αλγορίθμου, χρησιμοποιούμε το σενάριο προσομοίωσης που παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.6.1 με τρία DVB-RCS τερματικά με το καθένα από αυτά να συνδέεται με ένα WiMAX δίκτυο. Στο παραπάνω σενάριο προσομοίωσης, κάθε SS έχει πολλαπλά είδη κίνησης, όπως βίντεο, ftp και http εφαρμογές. Για να παρουσιάσουμε τη διαφορά του προτεινόμενου αλγορίθμου όσον αφορά την αντίληψη ποιότητας των βίντεο συνδέσεων, στο παρών σενάριο προσομοίωσης κάθε SS έχει μόνο μία βίντεο σύνδεση. Το ίδιο βίντεο trace χρησιμοποιείται για κάθε SS, ώστε να παρουσιάσουμε τη διαφορά μεταξύ της άπληστης και δίκαιας έκδοσης. Η πηγή



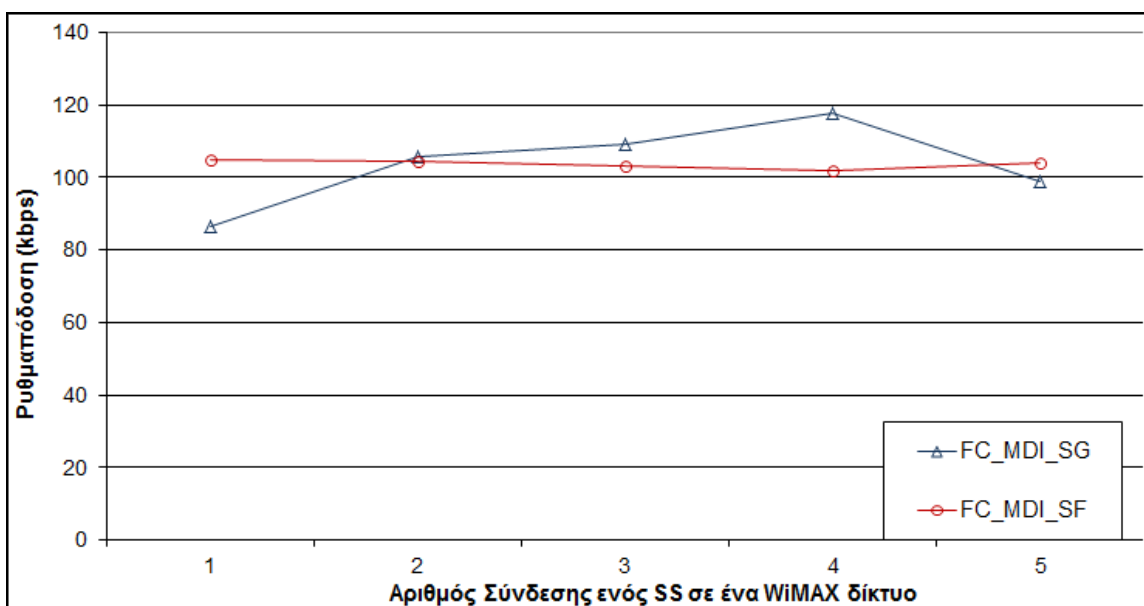
Εικόνα 7-2. Η μέση FC_MLR τιμή για κάθε προτεινόμενο αλγόριθμο

του βίντεο trace είναι η ταινία “Alladin” από το “http://trace.eas.asu.edu/TRACE/ltvt.html” σε υψηλή ποιότητα (το αρχείο “Verbose_Alladin.dat”).

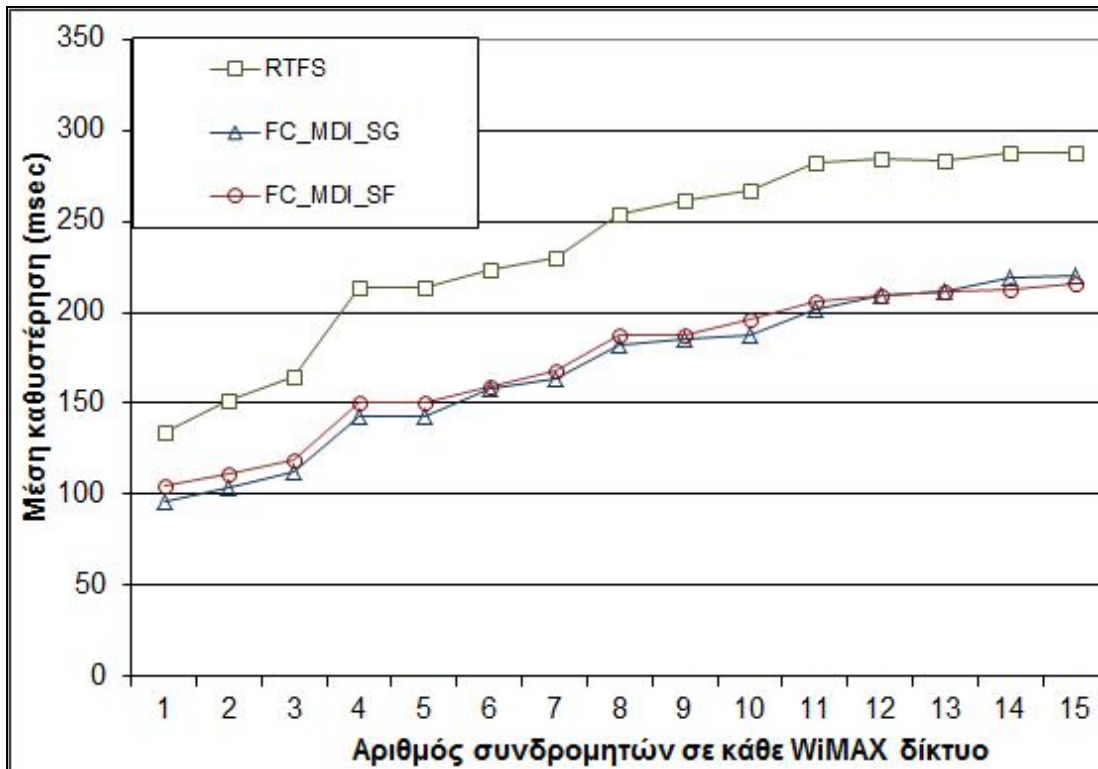
Η Εικόνα 7-2 παρουσιάζει την μέση FC-MLR τιμή για όλες τις συνδέσεις ενός SS για τους δύο διαφορετικούς αλγόριθμους. Στον RTFS αλγόριθμο, η μετάδοση καθώς και η απόρριψη των πακέτων προσμετρείται στον υπολογισμό της FC-MLR τιμής των συνδέσεων για λόγους σύγκρισης. Ο προτεινόμενος FC_MDI_S αλγόριθμος έχει χαμηλότερες τιμές στην FC-MLR μετρική από τον RTFS αλγόριθμο, το οποίο σημαίνει ότι οι συνδέσεις βίντεο υπό τον προτεινόμενο αλγόριθμο έχουν καλύτερο QoE.

Επιπλέον, η Εικόνα 7-4 παρουσιάζει την μέση καθυστέρηση του προτεινόμενου αλγορίθμου, η οποία δείχνει ότι και οι δύο εκδόσεις του FC_MDI_S αλγορίθμου μειώνουν σημαντικά τη μέση καθυστέρηση των συνδέσεων. Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς ο RTFS αλγόριθμος εξυπηρετεί πρώτα τα πακέτα με την μεγαλύτερη καθυστέρηση μέσα στο σύστημα, ενώ ο FC_MDI_S αλγόριθμος εξυπηρετεί πακέτα βάσει της κατηγορίας των πλαισίων τους. Η μείωση της μέσης καθυστέρησης είναι μία σημαντική βελτίωση, καθώς επιθυμούμε την μείωση της καθυστέρησης των βίντεο συνδέσεων.

Η άπληστη και η δίκαιη έκδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου έχουν την ίδια απόδοση όσο αφορά τη ρυθμαπόδοση και τη μέση καθυστέρηση, καθώς η λογική των εκδόσεων για τον διαμοιρασμό της χωρητικότητας είναι η ίδια. Διαφοροποιούνται στον τρόπο που διαχειρίζονται τις διάφορες συνδέσεις. Η Εικόνα 7-3 παρουσιάζει τη ρυθμαπόδοση ανά σύνδεση για πέντε συνδέσεις ανά SS. Αυτή η εικόνα δείχνει την διαφορετική απόδοση της άπληστης και δίκαιης έκδοσης, όπου οι συνδέσεις έχουν διαφοροποιημένη ρυθμαπόδοση υπό την άπληστη έκδοση και ίση ρυθμαπόδοση υπό την δίκαιη έκδοση. Στην δίκαιη έκδοση, η ρυθμαπόδοση είναι λιγότερη από τη ρυθμαπόδοση της καλύτερης σύνδεσης και περισσότερη από τη ρυθμαπόδοση της χειρότερης σύνδεσης της άπληστης σύνδεσης. Είναι θέμα του διαχειριστή του συστήματος να διαλέξει μεταξύ τους.



Εικόνα 7-3. Ρυθμαπόδοση ανά αναγνωριστικό σύνδεσης για πέντε συνδέσεις ανά SS



Εικόνα 7-4. Μέση καθυστέρηση για κάθε προτεινόμενο αλγόριθμο

Από τα παρουσιασμένα αποτελέσματα, συμπεραίνουμε ότι ο FC_MDI_S αλγόριθμος βελτιώνει την QoE απόδοση συγκριτικά με τον RTFS αλγόριθμο, και βελτιώνει σημαντικά τη μέση καθυστέρηση των συνδέσεων.

7.4 Βελτίωση του αλγορίθμου χρονοπρογραμματισμού με βάσει τις μετρικές αντίληψης

Στην ενότητα αυτή προτείνουμε μία βελτίωση της FC_MDI μετρικής αντίληψης ποιότητας που ονομάζεται LA_MDI μετρική. Η μετρική αυτή χρησιμοποιείται στον LAQoE αλγόριθμο που προτείνουμε για τον χρονοπρογραμματισμό των rPS συνδέσεων. Σε αυτήν την ενότητα, παρουσιάζουμε και μία δεύτερη έκδοση του LAQoE αλγορίθμου που ονομάζεται LAQoERA που επιπλέον κάνει προσαρμογή του ρυθμού δεδομένων. Αποτελέσματα πειραμάτων δείχνουν την βελτίωση των προτεινόμενων αλγορίθμων αυτής της ενότητας σε σχέση με τον FC_MDI_S αλγόριθμο που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η προτεινόμενη μετρική αντίληψης ποιότητας, καθώς και οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού αυτής της ενότητας παρουσιάστηκαν στο [59].

7.4.1 Η LA-MDI μετρική αντίληψης ποιότητας

Η FC-MDI μετρική παίρνει υπόψη την κατηγοριοποίηση των πλαισίων δίνοντας διαφορετικά βάρη στον αριθμό των χαμένων I- πλαισίων, των χαμένων P- πλαισίων και B- πλαισίων. Παρόλα αυτά, δεν παίρνει υπόψη αν τα πλαίσια που χάνονται από μία συγκεκριμένη κατηγορία είναι συνεχόμενα ή όχι, το οποίο έχει διαφορά. Σε αυτή την ενότητα, προτείνεται η LA-MDI μετρική (η οποία είναι μία βελτίωση της FC-MDI μετρικής) με στόχο να δώσει μία μεγαλύτερη σημασία στα συνεχόμενα χαμένα πλαίσια μίας κατηγορίας. Στην LA-MDI μετρική, ο ορισμός του DF είναι ίδιος με τον ορισμό στην απλή MDI, ενώ το LA-MLR βελτιώνει τον ορισμό του FC-MLR (7-1) με στόχο να παίρνει υπόψη τα συνεχόμενα χαμένα πλαίσια ως εξής:

$$LA - MLR = \frac{\alpha * \frac{I_{P_{Loss}}}{ngI} + \beta * \frac{P_{P_{Loss}}}{ngP} + \gamma * \frac{B_{P_{Loss}}}{ngB}}{\text{χρονικό διάστημα}} \quad (7-2)$$

όπου α, β, γ είναι βάρη με ($3 \geq \alpha > \beta > \gamma \geq 0, \alpha + \beta + \gamma = 3$), $I_{P_{Loss}}, P_{P_{Loss}}$, και $B_{P_{Loss}}$ είναι αντίστοιχα ο αριθμός των χαμένων I, P, B frames, και ngI, ngP , και ngB είναι αντίστοιχα των χαμένων ομάδων από χαμένα I, P, B πλαίσια. Για να εξηγήσουμε καλύτερα τον ρόλο του αριθμού των ομάδων χαμένων πλαισίων μίας συγκεκριμένης κατηγορίας, υποθέτουμε ότι σε μία ακολουθία από πλαίσια μίας συγκεκριμένης κατηγορίας, τα πλαίσια που στέλνονται στις θέσεις 2, 5, 7, 9, 10, ..., χάνονται, οπότε παίρνουμε το επόμενο διάνυσμα απώλειας 1011010100.... Σε αυτό το διάνυσμα απώλειας ο αριθμός των ομάδων των χαμένων frames είναι τέσσερα. Αντίθετα, ας υποθέσουμε ότι χάνονται τα πλαίσια που στέλνονται στις θέσεις 2, 3, 4, 5, 6, ... , τότε παίρνουμε το επόμενο διάνυσμα απώλειας 1000001111.... και ο αριθμός των ομάδων των χαμένων πλαισίων είναι ένα. Και οι δυο περιπτώσεις έχουν την ίδια FC-MLR μετρική, ενώ η τιμή της LA-MLR μετρικής είναι χαμηλότερη στην πρώτη περίπτωση από την δεύτερη. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ομάδων των χαμένων πλαισίων, τόσο πιο διάσπαρτα είναι τα χαμένα frames, οπότε τόσο καλύτερη είναι η QoE. Γενικά, καθώς η FC-MLR και η LA-MLR αυξάνονται, τόσο η QoE γίνεται χειρότερη καθώς ο αριθμός των χαμένων πλαισίων αυξάνεται.

7.4.2 Ο LAQoE αλγόριθμος βάσει της προτεινόμενης μετρικής αντίληψης ποιότητας

Ο σκοπός αυτής της ενότητας είναι να βελτιώσουμε τον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού που χρησιμοποιείται στον PartC, ώστε να γίνεται ο χρονοπρογραμματισμός των rtPS συνδέσεων με χρήση της προτεινόμενης LA-MDI μετρικής αντίληψης ποιότητας.

Στην αρχή κάθε υπερπλασίου, ο LAQoE αλγόριθμος απορρίπτει τα πακέτα που έχουν λήξει λόγω καθυστέρησης μετάδοσης. Στην συνέχεια, ταξινομεί τις συνδέσεις βίντεο με βάση την μέση LA-MLR τιμή τους. Η μέση LA-MLR τιμή

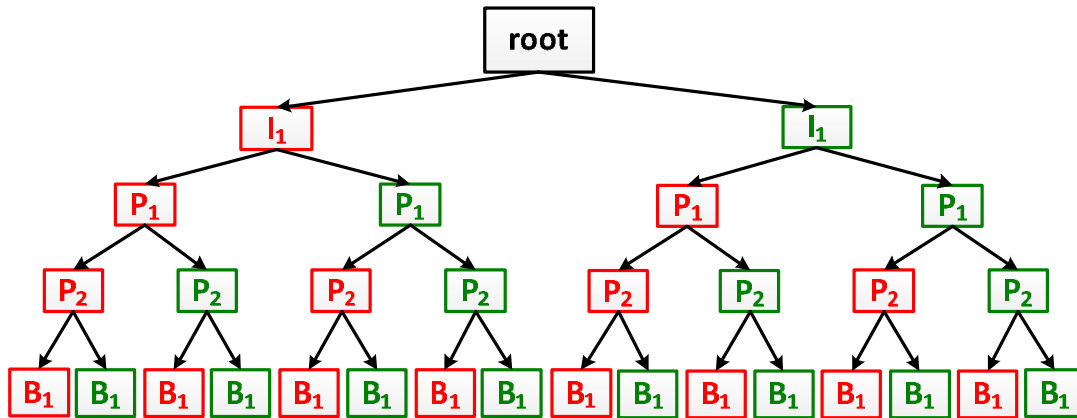
μίας σύνδεσης σε ένα υπερπλαίσιο t ορίζεται ως $\frac{\sum_{i=t-T}^{t-1} LA - MLR_i}{T}$ όπου το T

είναι ένας μικρός αριθμός από υπερπλαίσια, δηλαδή ένα χρονικό παράθυρο, ώστε να αντικατοπτρίζει καλύτερα την ποιότητα μίας σύνδεσης στο πρόσφατο παρελθόν. Για την ταξινόμηση των συνδέσεων με βάση την μέση LA-MLR τιμή μελετήθηκαν δύο εναλλακτικές. Η πρώτη εναλλακτική ονομάζεται LAQoEG και έχει μία άπληστη λογική. Με σκοπό την διατήρηση των συνδέσεων που έχουν καλή ποιότητα, οι συνδέσεις ταξινομούνται με αύξουσα σειρά ως προς την μέση LA-MLR τιμή τους, δηλαδή από την καλύτερη ποιότητα προς την χειρότερη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην διατήρηση της ποιότητας κάποιων συνδέσεων και στον λιμό κάποιων άλλων. Η δεύτερη εναλλακτική ονομάζεται LAQoEF και έχει μία λογική δικαιοσύνης. Με σκοπό να είναι δίκαιη και να διατηρήσει όλες τις συνδέσεις (ακόμα και σε χειρότερη ποιότητα), οι συνδέσεις ταξινομούνται ως προς την μέση LA-MLR τιμή τους με την αντίθετη σειρά από την προηγούμενη εναλλακτική του αλγορίθμου, από την χειρότερη ποιότητα προς την καλύτερη.

Στην αρχή κάθε υπερπλασίου, ο PartC έχει δεχτεί το TBTP που παράγεται από τον NCC, οπότε έχει γνώση της διαθέσιμης χωρητικότητας για μετάδοση που του αναλογεί. Για κάθε σύνδεση με τη σειρά της προηγούμενης ταξινόμησης, ο

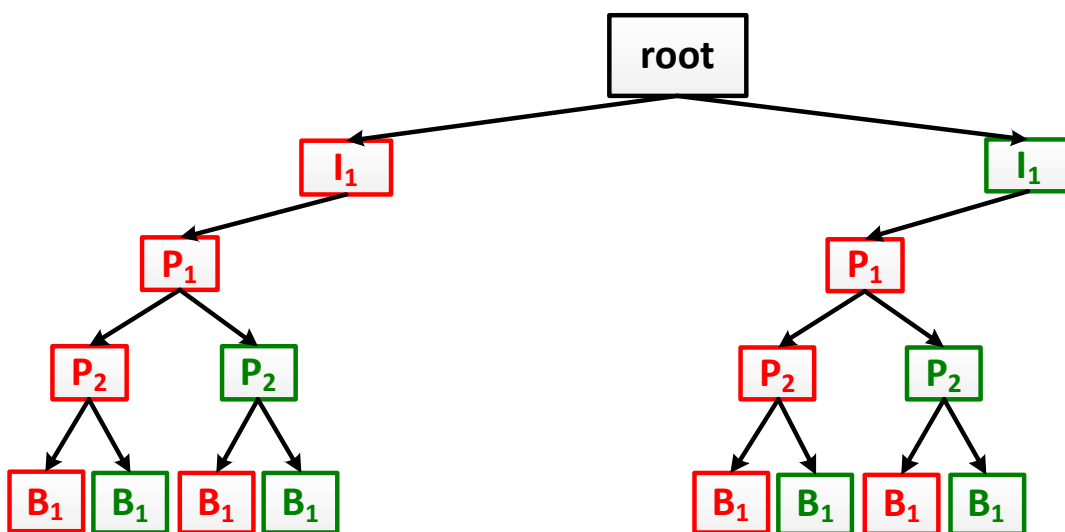
PartC δημιουργεί ένα δυαδικό δένδρο που ονομάζεται QoE Δένδρο (QoET) με βάσει την διαθέσιμη χωρητικότητα για αυτήν την σύνδεση.

Ο PartC γνωρίζει από τον PartA την ακολουθία των πακέτων που έχουν αφιχθεί κατά την διάρκεια του προηγούμενου υπερπλαισίου. Για κάθε rtPS σύνδεση, ο PartC κατασκευάζει ένα QoET που αναπαριστά τους πιθανούς συνδυασμούς μετάδοσης πακέτων σε αυτό το υπερπλαίσιο. Αν για παράδειγμα, ο PartC θέλει να μεταδώσει την ακολουθία των πακέτων I1P1P2B1, τότε το QoET που παράγεται φαίνεται στην Εικόνα 7-5.

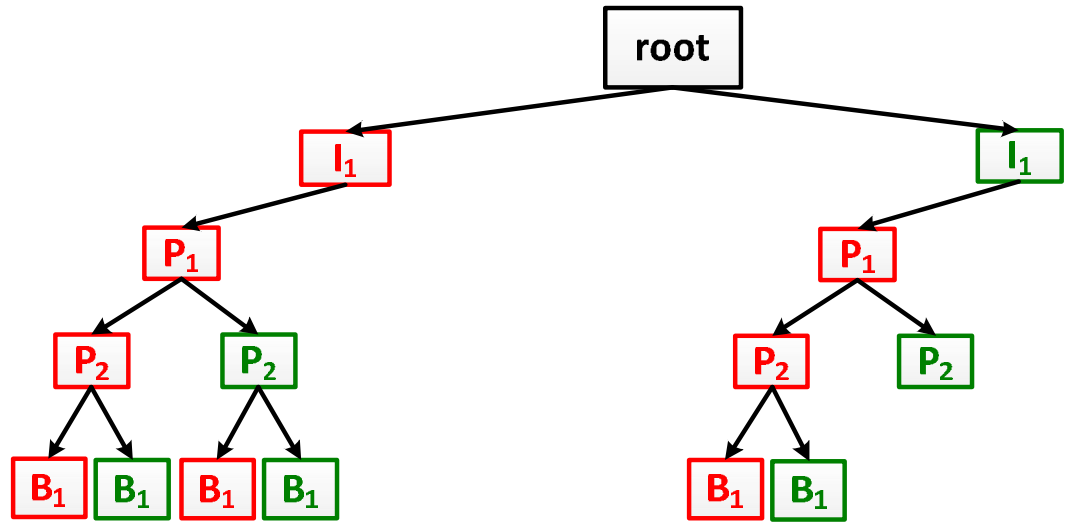


Εικόνα 7-5. Παράδειγμα ενός QoET δένδρου

Κάθε μονοπάτι του δένδρου αναπαριστά την μετάδοση ενός συνδυασμού πακέτων, όπου ένας κόκκινος κόμβος δείχνει ότι ένα πακέτο δεν μεταδίδεται και ένας πράσινος κόμβος ότι το πακέτο μεταδίδεται. Γνωρίζοντας το TBTP, ο PartC μπορεί να υπολογίσει αν ένα πακέτο θα έχει λήξει λόγω καθυστέρησης όταν θα έρθει στιγμή για να μεταδοθεί. Αν το πακέτο θα έχει λήξει, τότε φυσικά είναι σίγουρο ότι δεν θα μεταδοθεί. Ας υποθέσουμε ότι αυτό συμβαίνει για το πακέτο P1, τότε το QoET που παράγεται φαίνεται στην Εικόνα 7-6. Επιπλέον, η κατασκευή ενός μονοπατιού σταματάει, αν η χωρητικότητα του μονοπατιού φτάσει την διαθέσιμη για μετάδοση χωρητικότητα αυτής της σύνδεσης. Ας υποθέσουμε ότι αυτό συμβαίνει όταν έχουν μεταδοθεί τα πακέτα I1P2, τότε το QoET που παράγεται φαίνεται στην Εικόνα 7-7.



Εικόνα 7-6. Παράδειγμα ενός QoET δένδρου όπου το frame P1 έχει λήξει



Εικόνα 7-7. Παράδειγμα ενός QoET δένδρου όπου το frame P_1 έχει λήξει και η διαθέσιμη χωρητικότητα της σύνδεσης ξεπερνιέται με την μετάδοση των I_1 και P_2 frames

Τα φύλλα του δένδρου περιέχουν επιπλέον την LA-MLR μετρική του συγκεκριμένου μονοπατιού, η οποία είναι εύκολο να υπολογιστεί αφού γνωρίζουμε την ακολουθία των χαμένων πακέτων από κάθε διαφορετική κατηγορία, καθώς και το συνολικό αριθμό από bytes που θα μεταδοθούν.

Ο LAQoE αλγόριθμος επιλέγει το μονοπάτι (την ακολουθία των πακέτων) από το QoET αυτής της σύνδεσης που έχει την καλύτερη LA-MLR τιμή. Η διαθέσιμη χωρητικότητα για την επόμενη σύνδεση μειώνεται από το μέγεθος των μεταδιδόμενων bytes του επιλεγμένου μονοπατιού.

Κατά τη διάρκεια του υπερπλαισίου, ο PartC μεταδίδει όποτε έχει διαθέσιμη χωρητικότητα σύμφωνα με το TBTP, πακέτα από το επιλεγμένο μονοπάτι μίας σύνδεσης βάσει της σειράς ταξινόμησης των συνδέσεων. Αν ο PartC έχει ακόμα διαθέσιμη χωρητικότητα αφού μεταδοθούν τα πακέτα των επιλεγμένων μονοπατιών όλων των συνδέσεων, τότε μεταδίδει τα πακέτα που έχουν αφιχθεί σε αυτό το υπερπλαίσιο, χρησιμοποιώντας την λογική του FC_MDI_S αλγορίθμου. Η μετάδοση αυτών των πακέτων καθώς και η απόρριψη των πακέτων προσμετρούνται στον υπολογισμό της LA-MLR μετρικής των συνδέσεων του επόμενου υπερπλαισίου.

7.4.3 Βελτίωση του LAQoE αλγόριθμου με προσαρμογή ρυθμού μετάδοσης

Ο LAQoERA αλγόριθμος είναι μία βελτίωση του LAQoE αλγορίθμου που επιπλέον κάνει προσαρμογή του ρυθμού. Ο PartC έχει τη δυνατότητα μετάδοσης βίντεο σε τρεις ρυθμούς: υψηλό, μεσαίο και χαμηλό. Η χαμηλή ποιότητα αντιστοιχεί στον ρυθμό 1, η μεσαία ποιότητα στο ρυθμό 2 και η χαμηλή ποιότητα στον ρυθμό 3. Όσο μεγαλύτερη γίνεται η LA-MLR μετρική, τόσο χειρότερη γίνεται η ποιότητα του βίντεο. Στον LAQoERA αλγόριθμο, το αντίστοιχο μονοπάτι του QoET δεν είναι δυνατό να μεταδοθεί πάνω από ένα κατώφλι της LA-MLR μετρικής. Αντί αυτού, η σύνδεση μεταδίδει σε μία χαμηλότερη ποιότητα. Αν είναι ήδη στην χαμηλότερη ποιότητα, τότε η σύνδεση μεταδίδει το καλύτερο μονοπάτι που μπορεί.

Ο LAQoERA αλγόριθμος διαφοροποιεί την ταξινόμηση των συνδέσεων βίντεο, την δημιουργία του QoET και την επιλογή του μονοπατιού που θα

μεταδοθεί ώστε να λαμβάνεται υπόψη ο ρυθμός των συνδέσεων βίντεο. Η ταξινόμηση των συνδέσεων βίντεο βασίζεται στη μέση τιμή των τιμών της LA-MLR μετρικής των συνδέσεων και στο μέσο ρυθμό (mR) των συνδέσεων. Ο mR

μίας σύνδεσης σε ένα υπερπλάσιο t ορίζεται ως $\frac{\sum_{i=t-T}^{t-1} Rate_i}{T}$, όπου T είναι ένας

μικρός αριθμός από υπερπλάσια (ένα χρονικό παράθυρο), με στόχο να αντικατοπτρίσει τον ρυθμό μίας σύνδεσης στο πρόσφατο παρελθόν. Οι συνδέσεις ταξινομούνται σύμφωνα με τη μέση LA-MLR και mR κάτω από δύο εκδόσεις. Η πρώτη έκδοση ονομάζεται LAQoERAG και έχει μία λογική απληστίας. Με στόχο την διατήρηση των συνδέσεων που έχουν καλή ποιότητα, οι συνδέσεις ταξινομούνται βάσει το mR τους σε φθίνουσα σειρά, από το καλύτερο μέσο ρυθμό προς το χειρότερο, και στη συνέχεια βάσει του LA-MLR τους σε αύξουσα σειρά, από την καλύτερη ποιότητα προς τη χειρότερη. Η δεύτερη έκδοση ονομάζεται LAQoERAF και έχει μία λογική δικαιοσύνης. Με στόχο να είναι δίκαιος και να διατηρήσει όλες τις συνδέσεις (ακόμα και σε χειρότερη ποιότητα), οι συνδέσεις ταξινομούνται με τον αντίθετο τρόπο από την προηγούμενη έκδοση του αλγορίθμου. Δηλαδή η ταξινόμηση γίνεται βάσει του mR σε αύξουσα σειρά, από τον χειρότερο ρυθμό προς τον καλύτερο, και στη συνέχεια βάσει της μέσης τιμής της LA-MLR μετρικής σε φθίνουσα σειρά, από την χειρότερη ποιότητα προς την καλύτερη.

Η διαφοροποίηση στη δημιουργία του QoET από τον προηγούμενο αλγόριθμο είναι η ύπαρξη σημαίων σε κάθε μονοπάτι που δείχνουν αν υπάρχει η δυνατότητα αυτό το μονοπάτι να μεταδοθεί σε ρυθμό 3, ρυθμό 2 και ρυθμό 1. Η σημαία ενός ρυθμού γίνεται ψευδής μόνο όταν η χωρητικότητα ενός μονοπατιού ξεπερνά την διαθέσιμη χωρητικότητα αυτής της σύνδεσης. Αν οι σημαίες και των τριών ρυθμών είναι ψευδείς, τότε το μονοπάτι σταματάει. Επιπλέον, υπάρχουν σημαίες που δείχνουν την ύπαρξη ενός μονοπατιού σε ολόκληρο το δένδρο σε ρυθμό 3, ρυθμό 2 ή ρυθμό 1.

Τέλος, ο LAQoERA αλγόριθμος επιλέγει το μονοπάτι (ακολουθία πακέτων) με την καλύτερη LA-MLR τιμή στον καλύτερο ρυθμό που αυτή η σύνδεση έχει τη δυνατότητα να μεταδώσει. Αυτό φαίνεται από τις σημαίες του QoET. Αν η σημαία ολόκληρου του δένδρου για τον ρυθμό 3 είναι αληθής, τότε επιλέγεται από τα μονοπάτια που έχουν την αντίστοιχη σημαία στον ρυθμό 3 αληθής το μονοπάτι με την καλύτερη LA-MLR μετρική. Αν η τιμή της LA-MLR μετρικής του επιλεγμένου μονοπατιού είναι πάνω από ένα κατώφλι ($threshrate3$), τότε ο PartC προτιμάει να μεταδώσει σε χαμηλότερο ρυθμό αλλά σε καλύτερη ποιότητα. Αν το επιλεγμένο μονοπάτι στον ρυθμό 2 έχει την LA-MLR μετρική πάνω από ένα κατώφλι ($threshrate2$), τότε ο PartC θα επιλέξει το μονοπάτι με την καλύτερη LA-MLR μετρική στον ρυθμό 1.

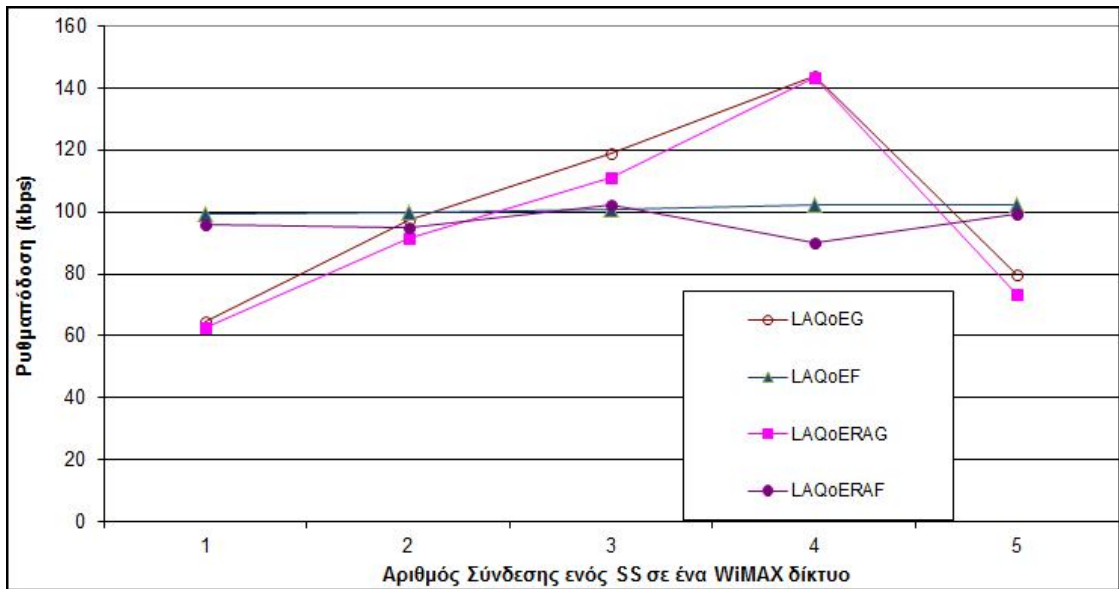
Η διαθέσιμη χωρητικότητα για την επόμενη σύνδεση μειώνεται κατά το μέγεθος των μεταδιδόμενων bytes του επιλεγμένου μονοπατιού στον αντίστοιχο ρυθμό.

7.4.4 Μελέτη απόδοσης

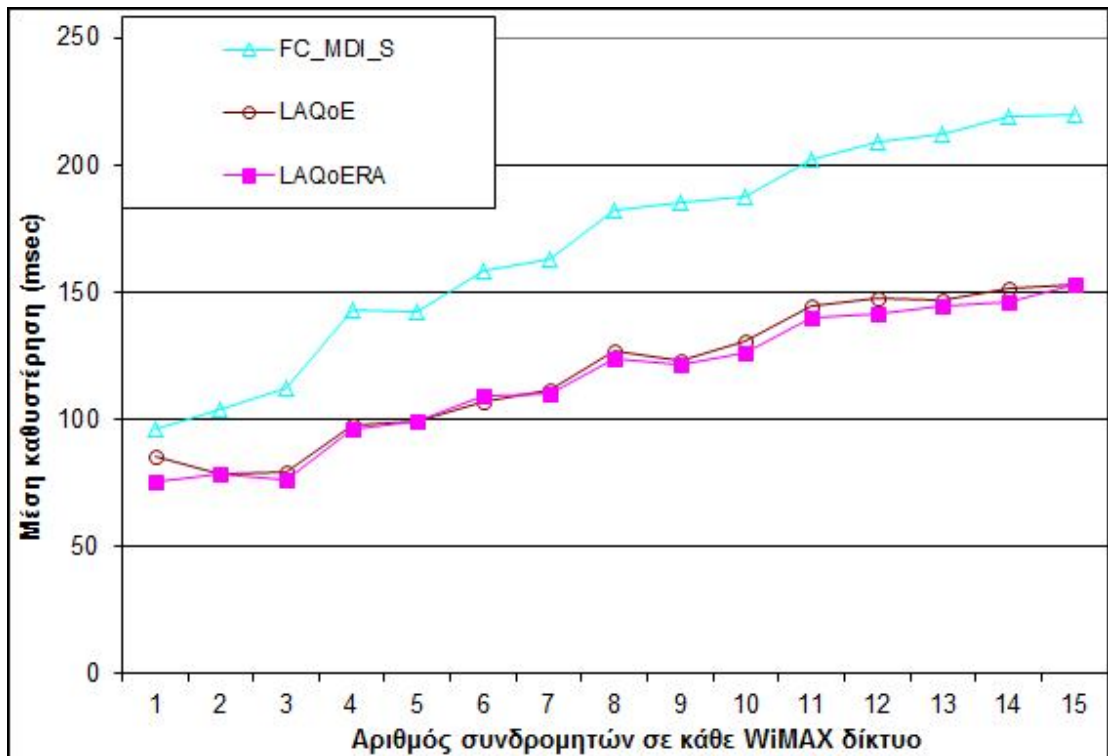
Με στόχο την μέτρηση της απόδοσης των προτεινόμενων αλγορίθμων αυτής της ενότητας, χρησιμοποιούμε το σενάριο προσομοίωσης που παρουσιάστηκε στην ενότητα (iii) με τρία DVB-RCS τερματικά με το καθένα από αυτά να συνδέεται με ένα WiMAX δίκτυο. Κάθε SS έχει μόνο μία βίντεο σύνδεση, ενώ το ίδιο βίντεο trace χρησιμοποιείται για κάθε SS, ώστε να παρουσιάσουμε τη διαφορά μεταξύ της απληστίας και δίκαιης έκδοσης. Η πηγή του βίντεο trace είναι

η ταινία “Alladin” από το “<http://trace.eas.asu.edu/TRACE/ltvt.html>” σε υψηλή ποιότητα (το αρχείο “Verbose_Alladin.dat”). Ειδικά, για τους LAQoERAG και LAQoERAF αλγόριθμους, χρησιμοποιούμε επίσης το ίδιο αρχείο σε μεσαία (το αρχείο “Verbose_Alladin_10.dat”) και χαμηλή ποιότητα (το αρχείο “Verbose_Alladin_10_14_18.dat”).

Οι τιμές για το threshrate3 και το threshrate2 τίθενται ίσες με 2.5, ενώ οι τιμές των βαρών ίσες με $\alpha=1.75$, $\beta=1$, $\gamma=0.25$. Η τιμή του χρονικού παραθύρου T που χρησιμοποιείται στη μέση LA-MLR και στο μέσο ρυθμό στον LAQoE αλγόριθμο τίθεται ίσο με 3.



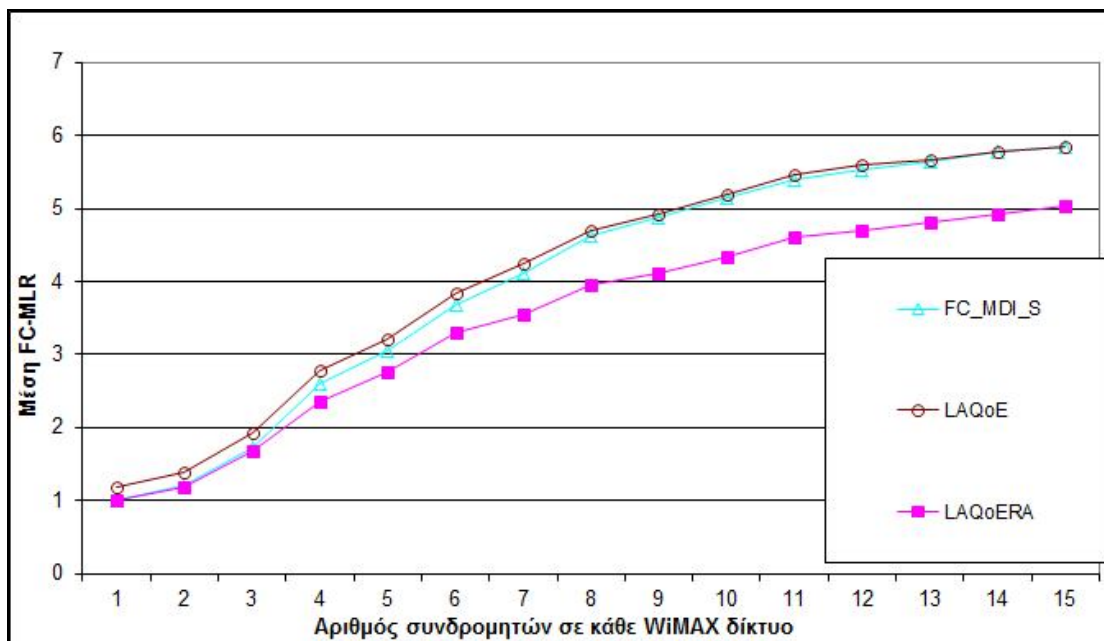
Εικόνα 7-9. Η ρυθμαπόδοση ανά αναγνωριστικό σύνδεσης για πέντε συνδέσεις ανά SS



Εικόνα 7-8. Μέση καθυστέρηση ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

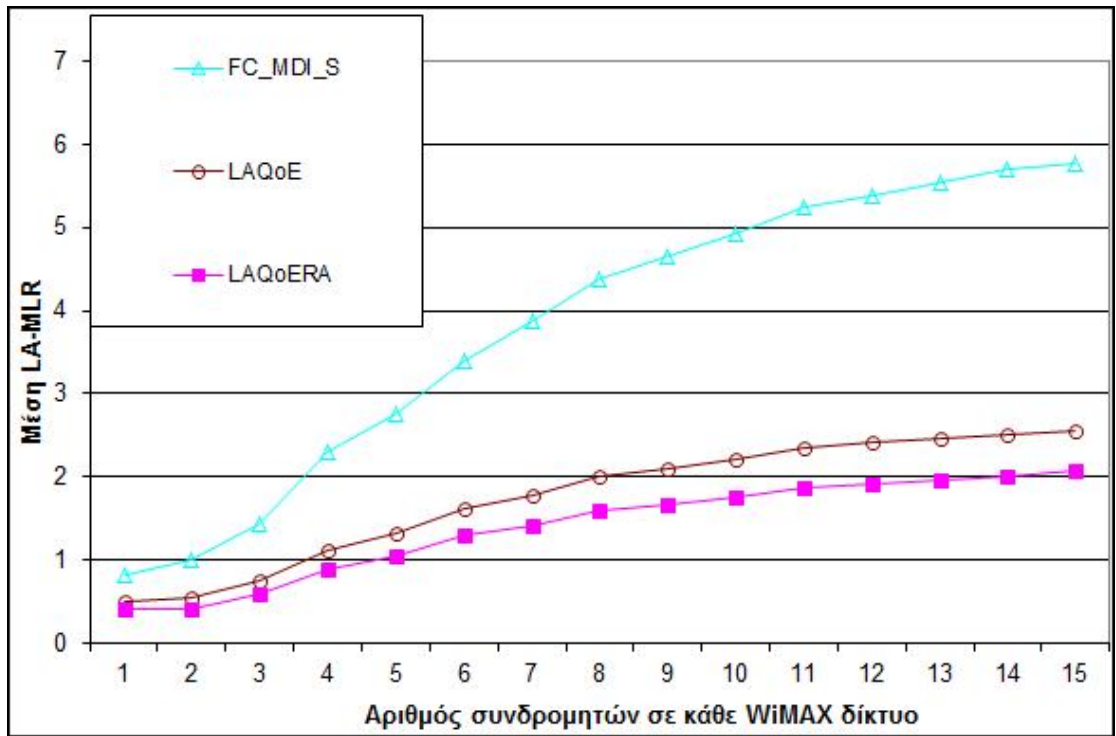
Η άπληστη και η δίκαιη έκδοση των προτεινόμενων αλγορίθμων έχουν την ίδια απόδοση όσο αφορά τη ρυθμαπόδοση, τη μέση καθυστέρηση και τον ρυθμό απώλειας πακέτων, καθώς η λογική για τον διαμοιρασμό της χωρητικότητας είναι η ίδια. Διαφοροποιούνται ως προς τον τρόπο που χειρίζονται τις διαφορετικές συνδέσεις. Η Εικόνα 7-9 παρουσιάζει την ρυθμαπόδοση ανά σύνδεση για πέντε συνδέσεις ανά SS. Αυτή η εικόνα δείχνει τη διαφορετική απόδοση της άπληστης και της δίκαιας έκδοσης των αλγορίθμων, όπου οι συνδέσεις έχουν διαφοροποιημένη ρυθμαπόδοση στις άπληστες εκδόσεις LAQoEG και LAQoERAG. Από την άλλη, οι δίκαιες εκδόσεις LAQoEF and LAQoERAF έχουν περίπου ίση ρυθμαπόδοση, η οποία είναι λιγότερη από τη ρυθμαπόδοση της καλύτερης σύνδεσης και καλύτερη από τη ρυθμαπόδοση της χειρότερης σύνδεσης των αντίστοιχων άπληστων εκδόσεων. Εξαρτάται από τον χειριστή του συστήματος να διαλέξει μεταξύ τους.

Η Εικόνα 7-8 παρουσιάζει ότι οι LAQoE και LAQoERA αλγόριθμοι μειώνουν τη μέση καθυστέρηση των βίντεο συνδέσεων. Αυτό οφείλεται στη λογική των αλγορίθμων που παίρνουν υπόψη το TBTP στην κατασκευή του QoET και την επιλογή των πακέτων για μετάδοση με την καλύτερη μετρική αντίληψης ποιότητας. Αυτή είναι μία σημαντική βελτίωση, καθώς είναι επιθυμητό οι συνδέσεις του βίντεο να έχουν μειωμένη καθυστέρηση.



Εικόνα 7-10. Μέση FC-MLR τιμή ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

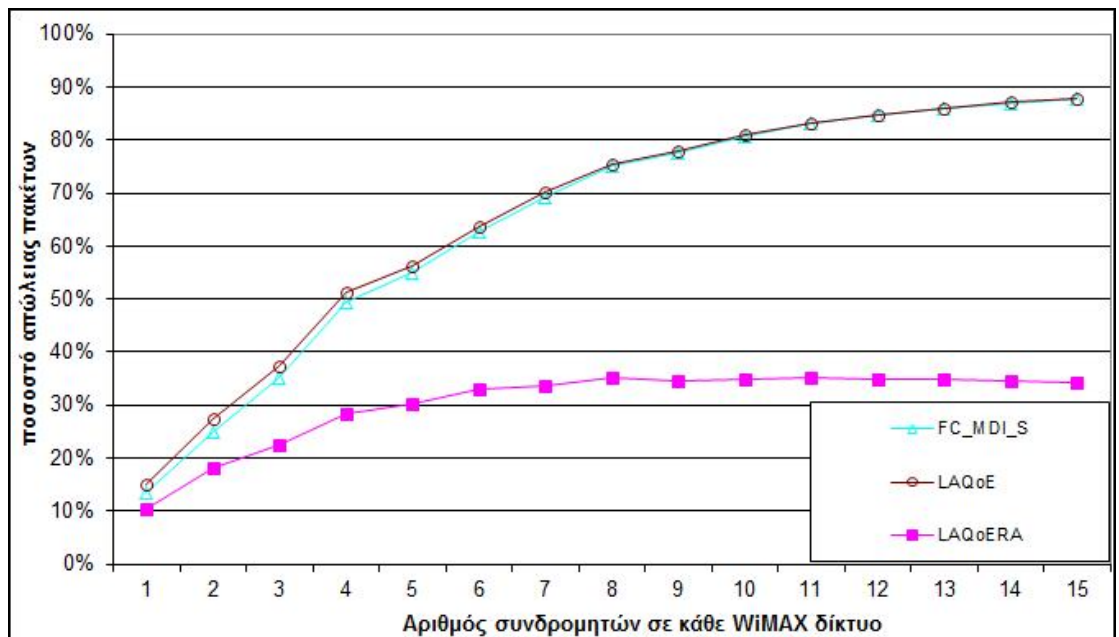
Οι δύο προτεινόμενοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν την LA-MLR μετρική για να κάνουν την QoE αξιολόγηση. Η Εικόνα 7-10 δείχνει ότι οι FC_MDI_S και LAQoE αλγόριθμοι έχουν την ίδια μέση FC-MLR τιμή, ενώ η Εικόνα 7-11 δείχνει ότι ο LAQoE αλγόριθμος βελτιώνει την LA-MLR τιμή σε σχέση με τον FC_MDI_S, καθώς παίρνει υπόψη τον αριθμό από τις ομάδες των χαμένων πλαισίων των διαφορετικών κατηγοριών. Αυτή είναι μία απόδειξη της διαφοροποίησης και βελτίωσης της LA-MLR μετρικής. Η Εικόνα 7-11 παρουσιάζει τη μέση LA-MLR τιμή για όλες τις συνδέσεις ενός SS. Αυτή η εικόνα δείχνει ότι οι δύο τελευταίοι προτεινόμενοι αλγόριθμοι βελτιώνουν σημαντικά την QoE απόδοση των βίντεο συνδέσεων. Ειδικά, ο LAQoERA αλγόριθμος έχει την καλύτερη QoE απόδοση. Αυτό οφείλεται στην προσαρμογή του ρυθμού που κάνει αυτός ο αλγόριθμος, με αποτέλεσμα να χάνει την λιγότερη από την πληροφορία που πρέπει να



Εικόνα 7-11. Μέση LA-MLR τιμή ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

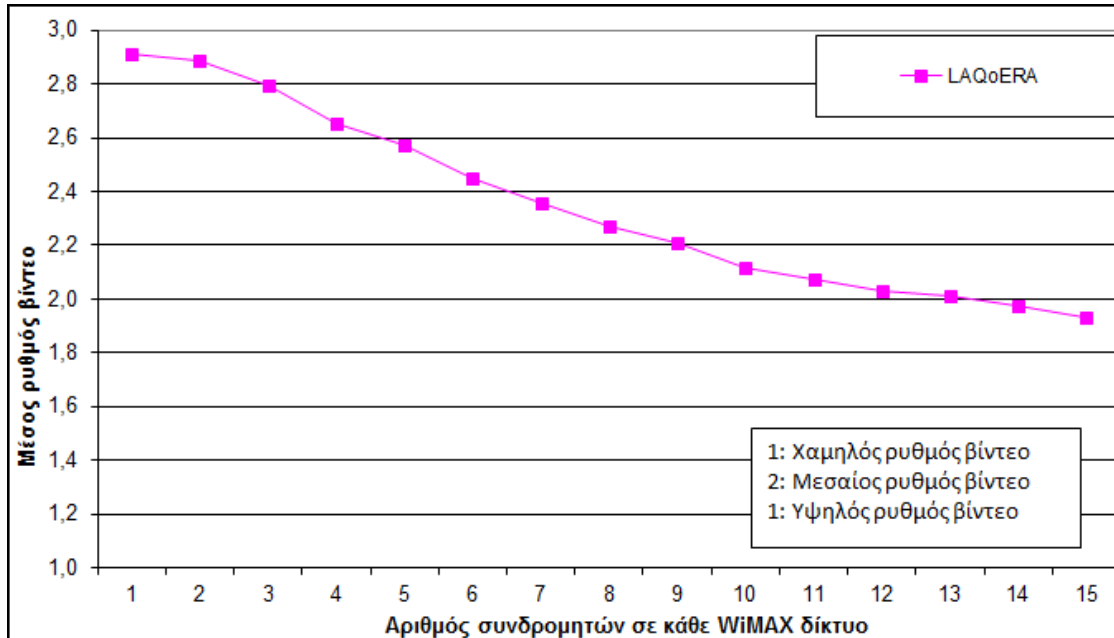
μεταδοθεί. Μπορεί να μεταδίδει σε χειρότερη ποιότητα αλλά μεταδίδει περισσότερη πληροφορία. Αυτό παρουσιάζεται ακόμα καλύτερα στην Εικόνα 7-12, που παρουσιάζει το ποσοστό των πακέτων που χάνονται σε σχέση με τον αριθμό των πακέτων που ήταν να μεταδοθούν. Η Εικόνα 7-13 παρουσιάζει τον μέσο ρυθμό των συνδέσεων ενός SS, όπου ο μέσος ρυθμός των συνδέσεων στον LAQoERA αλγόριθμο μειώνεται καθώς ο αριθμός των συνδέσεων ενός SS αυξάνεται.

Από τα παρουσιασμένα αποτελέσματα, συμπεραίνουμε ότι ο LAQoE



Εικόνα 7-12. Το ποσοστό απώλειας πακέτων σε σχέση με τα συνολικά προς μετάδοση πακέτα ανά προτεινόμενο αλγόριθμο

αλγόριθμος μειώνει επιπλέον τη μέση καθυστέρηση των συνδέσεων και βελτιώνει την QoE απόδοση των βίντεο συνδέσεων συγκριτικά με τον FC_MDI_S αλγόριθμο. Αυτό οφείλεται στην φιλοσοφία αυτού του αλγορίθμου, ο οποίος εξυπηρετεί την ακολουθία των πακέτων με την καλύτερη QoE μετρική. Τέλος, ο LAQoERA αλγόριθμος έχει την καλύτερη μέση καθυστέρηση και την QoE απόδοση στις βίντεο συνδέσεις, καθώς χάνει την λιγότερη από την πληροφορία που πρέπει να μεταδοθεί με την προσαρμογή του ρυθμού που κάνει.



Εικόνα 7-13. Μέσος ρυθμός βίντεο των συνδέσεων ενός SS

7.5 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, βελτιώνουμε τον χρονοπρογραμματιστή RTFS που λειτουργεί στον PartC και παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.5 με στόχο την ανάπτυξη ενός χρονοπρογραμματιστή για τις rtPS συνδέσεις ώστε ο διαμοιρασμός της χωρητικότητας στις συνδέσεις πραγματικού χρόνου του WiMAX δικτύου να γίνεται βάσει μετρικών αντίληψης ποιότητας. Μετά από την σχετική ανασκόπηση βιβλιογραφίας, επιλέγουμε την FC_MDI μετρική, πάνω στην οποία βασίζεται η πρώτη έκδοση αλγορίθμου που προτείνουμε που ονομάζεται FC_MDI_S. Στην συνέχεια, προτείνουμε μία καινούργια μετρική, την LA_MDI μετρική, η οποία είναι μία βελτίωση της FC_MDI μετρικής. Η δεύτερη έκδοση αλγορίθμου που προτείνουμε χρησιμοποιεί την LA_MDI μετρική και ονομάζεται LAQoE. Η τρίτη έκδοση αλγορίθμου που προτείνουμε είναι ο LAQoERA αλγόριθμος, που είναι μία εξέλιξη του LAQoE αλγορίθμου που επιπλέον κάνει προσαρμογή του ρυθμού δεδομένων. Η χρήση των μετρικών αντίληψης στον χρονοπρογραμματισμό είναι κάτι καινοτόμο, αφού αυτές οι μετρικές χρησιμοποιούνται κυρίως για την αξιολόγηση της ποιότητας του βίντεο. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι και ιδιαίτερα ο τελευταίος αλγόριθμος, βελτιώνει σημαντικά την αντίληψη ποιότητας των βίντεο συνδέσεων και μειώνει σημαντικά την μέση καθυστέρηση τους.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διδακτορικής διατριβής μελετήσαμε την διασύνδεση μεταξύ ενός Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου, που ακολουθεί το πρότυπο DVB-RCS, και ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων όπως αυτά που λειτουργούν σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.11e, το πρότυπο IEEE 802.16 και το πρότυπο LTE. Κατά τη διάρκεια της διδακτορικής διατριβής, μελετήσαμε κυρίως τη διασύνδεση μεταξύ του Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου και του ασύρματου δικτύου WiMAX για να είναι πιο εστιασμένη η μελέτη μας, παρόλο που όλα τα αποτελέσματα μας μπορούν να γενικευτούν για τη διασύνδεση οποιουδήποτε ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου.

Ο μηχανισμός χρονοπρογραμματισμού για τη διασύνδεση δορυφορικού και WiMAX δικτύου, που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 1, έπρεπε να καλύπτει τις λειτουργίες της αίτησης χωρητικότητας από τα δορυφορικά τερματικά, της εκχώρησης των διαθέσιμων πόρων από τον NCC και, τέλος, την ανακατανομή των πόρων στις αντίστοιχες συνδέσεις των συνδρομητών του ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου. Ο προτεινόμενος μηχανισμός αποτελείται λοιπόν από τρία τμήματα: το PartA που βρίσκεται στο RCST και είναι υπεύθυνο για τη διευθέτηση των αιτήσεων χωρητικότητας, το PartB που βρίσκεται στον NCC και είναι υπεύθυνο για την εκχώρηση χωρητικότητας ανά RCST και τη δημιουργία του TBTP, και το PartC που βρίσκεται στο RCST και είναι υπεύθυνο για τον διαμορισμό της δοσμένης χωρητικότητας στους WiMAX συνδρομητές. Η κύρια συνεισφορά του προτεινόμενου μηχανισμού είναι ότι πήρε υπόψη τα διαφορετικά χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας της κίνησης στο WiMAX και προτείνει έναν μηχανισμό πρόγνωσης που χρησιμοποιείται στο PartA για την πραγματοποίηση των αιτήσεων χωρητικότητας. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης έδειξαν ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός μπορεί να παρέχει μια διαφοροποιημένη αντιμετώπιση στις υπηρεσίες διαφορετικού τύπου, που μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένα αποτελέσματα, ειδικά σε όρους ρυθμαπόδοσης και μέσης καθυστέρησης, συγκριτικά με έναν απλούστερο μηχανισμό που δεν χρησιμοποιεί πρόγνωση. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο μηχανισμός της πρόβλεψης των αναγκών ενός σταθμού βάσης που περιγράψαμε έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος, της καλύτερη εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων καθώς και την βελτίωση της καθυστέρησης σε κάθε τύπο υπηρεσίας.

Στην συνέχεια της διατριβής μας, προσπαθήσαμε να βελτιώσουμε και τα τρία τμήματα του προτεινόμενου μηχανισμού διασύνδεσης με στόχο τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος. Στο Κεφάλαιο 5, βελτιώσαμε το μηχανισμό πρόβλεψης της κίνησης πραγματικού χρόνου (όπως rtPS κίνησης) που χρησιμοποιείται στο PartA. Μετά από μελέτη των μηχανισμών πρόβλεψης που χρησιμοποιούνται στα ευρυζωνικά και στα δορυφορικά δίκτυα, καταλήξαμε ότι ο πιο κατάλληλος αλγόριθμος πρόβλεψης για να χρησιμοποιηθεί στο δικό μας σύστημα είναι ο NLMS και μελετήσαμε τρεις εναλλακτικές εφαρμογές του. Η πρώτη εναλλακτική πρότεινε την εφαρμογή του NLMS αλγορίθμου στο WiMAX BS, η δεύτερη εναλλακτική πρότεινε την εφαρμογή του NLMS αλγορίθμου στο δορυφορικό τερματικό, ενώ η τρίτη εναλλακτική πρότεινε την εφαρμογή του NLMS αλγορίθμου και στο WiMAX BS και στο δορυφορικό τερματικό. Από τα αποτελέσματα που παρουσιάσαμε επιλέγουμε τη δεύτερη εναλλακτική, η οποία έχει τις μικρότερες υπολογιστικές απαιτήσεις, αφού ο μηχανισμός της πρόβλεψης εκτελείται μόνο στο τερματικό BS/RCST.

Στο κεφάλαιο 6, επεκτείναμε το PartB ώστε η κατανομή των χρονοθυρίδων από τον NCC να γίνεται σε MF-TDMA, καθώς στον αρχικό σχεδιασμό της διασύνδεσης του δορυφορικού και WiMAX δικτύου γινόταν για λόγους απλότητας σε μία συχνότητα. Μετά από μία βιβλιογραφική έρευνα για διανομή χρονοθυρίδων σε στατικά MF-TDMA δορυφορικά συστήματα, εφαρμόσαμε μία υβριδική λύση ανάλογα με τον αριθμό των τερματικών του δορυφορικού δικτύου σε σχέση με τον αριθμό των συχνοτήτων. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης έδειξαν ότι με την προτεινόμενη βελτίωση του PartB εξυπηρετείται περισσότερη κίνηση με λιγότερη μέση καθυστέρηση.

Στο κεφάλαιο 7, βελτιώσαμε τον χρονοπρογραμματιστή που λειτουργεί στον PartC και παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.5 με στόχο την ανάπτυξη ενός χρονοπρογραμματιστή για τις rtPS συνδέσεις ώστε ο διαμοιρασμός της χωρητικότητας στις συνδέσεις πραγματικού χρόνου του WiMAX δικτύου να γίνεται βάσει μετρικών αντίληψης ποιότητας. Μετά από την σχετική ανασκόπηση βιβλιογραφίας, επιλέξαμε την FC_MDI μετρική, πάνω στην οποία βασίζεται η πρώτη έκδοση αλγορίθμου που προτείναμε που ονομάζεται FC_MDI_S. Στην συνέχεια, προτείναμε μία καινούργια μετρική, την LA_MDI μετρική, η οποία είναι μία βελτίωση της FC_MDI μετρικής. Η δεύτερη έκδοση αλγορίθμου που προτείναμε χρησιμοποιεί την LA_MDI μετρική και ονομάζεται LAQoE. Η τρίτη έκδοση αλγορίθμου που προτείναμε είναι ο LAQoERA αλγόριθμος, που είναι μία εξέλιξη του LAQoE αλγορίθμου που επιπλέον κάνει προσαρμογή του ρυθμού δεδομένων. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι και ιδιαίτερα ο τελευταίος αλγόριθμος, βελτιώνει σημαντικά την αντίληψη ποιότητας των βίντεο συνδέσεων και μειώνει σημαντικά την μέση καθυστέρηση τους.

Συνοψίζοντας, η συνεισφορά αυτής της διατριβής είναι η πρόταση μιας ολοκληρωμένης λύσης διασύνδεσης μεταξύ ασύρματων ευρυζωνικών και δορυφορικών δικτύων, τόσο σε αρχιτεκτονικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο προσπέλασης μέσου, η οποία παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 1. Αυτή η διασύνδεση επιτρέπει τη χρήση του δορυφορικού συστήματος ως δίκτυο υποστήριξης και διασύνδεσης των σταθμών βάσεων του δικτύου WiMAX, αλλά έχει και άλλες εφαρμογές όπως περιγράφουμε αναλυτικά στην εισαγωγή αυτής της διατριβής. Μία από τις κυριότερες συνεισφορές της διατριβής είναι η χρήση πρόγνωσης στο μηχανισμό αίτησης χωρητικότητας στο δορυφορικό δίκτυο, ο οποίος εκμεταλλεύεται τα διαφορετικά χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας των διαφορετικών ροών του δικτύου WiMAX. Αυτό επίλυσε το πρόβλημα των καθυστερήσεων του δορυφορικού τμήματος. Η κυριότερη όμως συνεισφορά αυτής της διατριβής είναι η χρήση μετρικών Αντίληψης Ποιότητας στον χρονοπρογραμματιστή που λειτουργεί στο τρίτο τμήμα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής, για τη διαχείριση των συνδέσεων πραγματικού χρόνου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, αφού η χρήση των μετρικών αντίληψης στον χρονοπρογραμματισμό είναι κάτι καινοτόμο, καθώς οι μετρικές αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την αξιολόγηση της ποιότητας του βίντεο. Στο τμήμα αυτό της διατριβής, που περιγράφεται στο κεφάλαιο 7, προτείνουμε μία καινούργια μετρική αντίληψης ποιότητας που χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού που προτείναμε για τις ροές πραγματικού χρόνου. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποίησε μία δένδρική δομή για τον υπολογισμό της ακολουθίας των πακέτων που πρέπει να μεταδοθούν ώστε να επιτύχουμε τη καλύτερη αντίληψη ποιότητας. Μία από τις μελλοντικές μας εργασίες είναι η βελτίωση αυτής της δένδρικής δομής, με στόχο τη βελτίωση της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου χρονοπρογραμματισμού, καθώς και μία προσπάθεια

αντιστοίχισης της προτεινόμενης μετρικής αντίληψης ποιότητας σε κλίμακα MOS. Τέλος, μία από τις μελλοντικές μας εργασίες είναι η επέκταση της πλατφόρμας προσομοίωσης, ώστε να υλοποιεί και άλλα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα εκτός του WiMAX.

Κλείνοντας, αναφέρουμε ότι στα πλαίσια της συγκεκριμένης διδακτορικής διατριβής έγιναν τρεις (3) δημοσιεύσεις σε διεθνή περιοδικά ([9], [35] και [59]), επτά (7) δημοσιεύσεις σε συνέδρια ([1], [10], [11], [12], [34], [44] και [58]) και έγινε επίβλεψη τεσσάρων (4) προπτυχιακών και μεταπτυχιακών διπλωματικών εργασιών ([60], [61], [62] και [63]).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
frame	πλαίσιο
ACs	Κατηγορίες πρόσβασης
bursts	ριπές
Forward Link Signaling	Σηματοδοσία Ορθού Καναλιού
goodput	ρυθμαπόδοση
MAC	έλεγχος πρόσβασης μέσου
Mesh	πλέγμα
multipath	πολυδιόδευσης
Quality of Experience	αντίληψη Ποιότητας
Quality of Service	ποιότητα υπηρεσίας
scheduler	χρονοπρογραμματιστής
superframe	υπερπλαίσιο
traffic stream	ροή κίνησης
wireless broadband networks	ασύρμαρα ευρυζωνικά δίκτυα

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΕΚΠΑ	Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
ΣΒΠ	Σταθμός Βάσης Πλέγματος
ΣΣ	Σταθμός Συνδρομητή
3GPP	Third Generation Partnership Project
AAS	Advanced Antenna Systems
ACQ	ACQuisition
ACs	Access Categories
AP	Access Point
ARQ	Automatic Retransmission reQuests
ASN	access service network gateway
ASP	application service provider
AVBDC	Absolute Volume Based Dynamic Capacity
BE	Best effort
BSA	Basic Service Area
BSS	Basic Service Set
BTP	Burst Time Plan
CBR	constant bit rate
CID	Connection Id
CP	Control Plane
CRA	Continuous Rate Assignment
CSC	Common Signaling Channel
CSMA/CA	Carrier Sence Multiple Access with Collision Avoidance
CSN	Connectivity service network
CW	Contention Window
DCF	Distributed Coordinator Function
DIFS	DCF Interframe Space
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
ertPS	Extended real time polling Service
ESS	Extended Service Set
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCA	Free Capacity Assignment
FCT	Frame Composition Table

FDD	Frequency Division Duplexing
FIFO	First In First Out
FFT	Fast Fourier Transform
HC	Hybrid Coordinator
HCCA	HCF Controlled Channel Access
HSS	Home Subscription Server
HSS	Home Subscription Server
IBSS	Independent Basic Service Set
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LAN	Local Area Network
LOS	Line-Of-Sight
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MBMS	Multimedia Broadcast/Multicast Service
MBMS	Multimedia Broadcast/Multicast Service
MF-TDMA	Mutli-Frequency Time Division Multiple Access
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MME	Mobility Management Entity
NAP	network access provider
NAS	Non Access Stratum
NAV	Network Allocation Vector
NCC	Network Control Channel
nrtPS	non real time Polling Service
NSP	network services provider
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAR	Peak-to-Average Ratio
PCC	Policy Control and Charging
PCEF	Policy Control Enforcement Function
PCEF	Policy Control Enforcement Function
PCF	Point Coordinator Function
PCRF	Policy and Charging Resource Function
PDNs	Packet Data Networks
PDNs	Packet Data Networks
P-GW	Packet Data Network Gateway

P-GW	Packet Data Network Gateway
PIFS	PCF Interframe Space
QCI	QoS Class Identifier
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RBDC	Rate Based Dynamic Capacity
RCST	Return Channel Satellite Terminal
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RRM	Radio Resource Management
rtPS	Real time Polling Service
RTS/CTS	Request-To-Send/Clear-To-Send
SAE	System Architecture Evolution
SC-OFDM	Single Carrier OFDM
SCT	Superframe Composition Table
S-GW	Serving Gateway
S-GW	Serving Gateway
SIFS	Short Interframe Space
SNIR	Signal-to-Noise and Interference Ratio
SYNC	SYNChronization
TBTP	Terminal Burst Time Plan
TCT	Timeslot Composition Table
TDM	Time Division Multiplexing
TRF	TRaFfic
TXOPs	Transmission Opportunities
UE	User Equipment
UE	User Equipment
UGS	Unsolicited Grant Service
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UP	User Plane
USIM	Universal Subscriber Identity Module
USIM	Universal Subscriber Identity Module
VBDC	Volume Based Dynamic Capacity
VBR	Variable bit rate

VLAN	Virtual LAN
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : ΤΟ ΕΝΙΑΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΟΠΩΣ ΕΧΕΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΘΕΙ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ.

1. Εισαγωγή

Ενώ οποιαδήποτε ερευνητική προσπάθεια (τουλάχιστον στον τομέα των δικτύων), ανεξάρτητα της θεωρητικής της προσέγγισης, πρέπει να συνοδεύεται και από αριθμό προσομοιώσεων που επιβεβαιώνουν τη θεωρητική προσέγγιση, τα διαθέσιμα εργαλεία προσομοίωσης, εκτός του ότι είναι ελάχιστα, έχει το κάθε ένα τα δικά του σοβαρά μειονεκτήματα. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήσαμε για την ανάπτυξη του προγράμματος είναι η αντικειμενοστραφής C++. Ο λόγος που οδηγηθήκαμε στην επιλογή αυτής της γλώσσας, είναι οι τεράστιες δυνατότητες και τα πολλά πλεονεκτήματα που μας παρέχει. Η C++ μας δίνει τη δυνατότητα να επιλύσουμε οποιοδήποτε πρόβλημα δίνοντας μας τη δυνατότητα να ορίσουμε νέους τύπους και νέες πράξεις ή δομές δεδομένων. Επίσης, είναι διαθέσιμη και συμβατή σε όλους τους υπολογιστές και έχει το πλεονέκτημα της φορητότητας. Επιπροσθέτως, χαρακτηρίζεται για την ταχύτητα και την ευελιξία που μας παρέχει, ενώ η πολυπλοκότητα του κώδικα είναι πολύ χαμηλή. Τέλος, μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε την έτοιμη βιβλιοθήκη STL (Standard Template Library) που μας παρέχει επιπλέον δυνατότητες.

Στις επόμενες ενότητες θα αναλύσουμε τα σημαντικότερα στοιχεία που υλοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας καθώς και τις απαραίτητες παραδοχές που έγιναν. Στην περιγραφή και την ανάλυση των στοιχείων αυτών θα αποφύγουμε να εισέλθουμε σε προγραμματιστικές λεπτομέρειες και τεχνικές, αφού δεν αποτελούν το κεντρικό σημείο αυτής της εργασίας.

2. Βασικές οντότητες του προγράμματος προσομοίωσης

Στοχεύοντας στην μείωση της πολυπλοκότητας και στην βέλτιστη διαχείριση και έλεγχο του συνολικού συστήματος, διαιρέσαμε το σύστημα στα αντικείμενα τα οποία το αποτελούν. Η πρώτη έκδοση του προγράμματος που υλοποιεί την γενική αρχιτεκτονική που περιγράφεται στο κεφάλαιο 1 είναι η "Satellite_Uplink3-Final - a ekdosn NCC- not spreaded". Ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω την περιγραφή του, το πρώτο τμήμα αποτελείται από έναν χρονοπρογραμματιστή, που είναι το αντικείμενο scheduler802_16, που λειτουργεί στον WiMAX σταθμό βάσης, ο οποίος λαμβάνει και ελέγχει όλη την κίνηση του WiMAX συστήματος. Παράλληλα τροφοδοτεί τον scheduler A, που είναι το επόμενο αντικείμενο του προγράμματος (PartA), με την απαιτούμενη κίνηση του συγκεκριμένου σταθμού βάσης έτσι ώστε να στείλει το αντίστοιχο αίτημα στον NCC. Παράλληλα με τον scheduler A, σχεδιάσαμε για συγκριτικούς λόγους, και έναν ακόμη scheduler, που είναι το αντικείμενο PartA_Dummy, ο οποίος στέλνει αιτήματα για χωρητικότητα στον NCC χωρίς να κάνει κάποια πρόβλεψη για τις ανάγκες που θα έχει το σύστημα όταν του εκχωρηθούν οι αντίστοιχοι πόροι. Όλα τα αιτήματα αποστέλλονται στον NCC, ο οποίος υλοποιείται με την κλάση NCC, ο οποίος εκχωρεί τους διαθέσιμους πόρους και αποστέλλει στα τερματικά το TBTP. Τέλος, ο scheduler C, που εκχωρεί στα WiMAX τερματικά τις χωρητικότητες και διαγράφει τα πακέτα που έχει εκπνεύσει το χρονικό τους περιθώριο, υλοποιείται στο αντικείμενο RCST_Up. Στο ίδιο αντικείμενο διατηρούνται και τα απαραίτητα στατιστικά στοιχεία της απόδοσης του συστήματος.

Στα πλαίσια αυτής της έκδοσης αναπτύχθηκαν οι κλάσεις PartA, PartA_Dummy και NCC, τις οποίες θα μελετήσουμε στις επόμενες ενότητες. Η λειτουργία του όλου συστήματος και η αλληλουχία των ενεργειών που λαμβάνουν

χώρα ορίζεται από την `main()` συνάρτηση που βρίσκεται στο αρχείο `main.cpp`. Στην ίδια συνάρτηση ορίζονται επιπλέον και οι οντότητες των RCST – WiMAX σταθμού βάσης, καθεμία από τις οποίες είναι μια Δομή (`struct MyObject`) και το πλήθος τους είναι δυναμικό αφού ο ορισμός των αντικειμένων αυτών γίνεται με την βοήθεια του τύπου Διάνυσμα (`Vector Sat_80216_obj`). Κάθε RCST – WiMAX BS, δηλαδή κάθε αντικείμενο της `struct MyObject` περιέχει ένα scheduler του WiMAX συστήματος (`scheduler802_16`), έναν scheduler A (`PartA`) και έναν αντίστοιχο συγκριτικό χρονοπρογραμματιστή (`PartA_Dummy`), δύο αντικείμενα της κλάσης `RCST_Up` αντίστοιχα, καθώς και στοιχεία όπως η ταυτότητα του συγκεκριμένου σταθμού και οι μέγιστες τιμές των κατηγοριών χωρητικότητας που θα συμφωνήσει με τον NCC κατά την εισαγωγή του στο σύστημα. Αφού γίνουν οι αρχικοποιήσεις όλων των αντικειμένων του προγράμματος, αρχικά ο `scheduler802_16` γεμίζει τις ουρές των συνδέσεων με τα πακέτα που χρειάζεται για να ικανοποιήσει τις ανάγκες των συνδρομητών. Στην συνέχεια ο `PartA` και ο `PartA_Dummy` στέλνουν στον NCC τα αιτήματά τους για χωρητικότητα. Οφείλουμε να σημειώσουμε ότι σε κάθε περίπτωση ορίζεται ένας διαφορετικό αντικείμενο της κλάσης `NCC` που διαχειρίζεται τις αιτήσεις του `PartA` και του `PartA_Dummy` αντίστοιχα. Το TBTP που δημιουργείται σε κάθε περίπτωση διαχειρίζεται από τα αντίστοιχα αντικείμενα της κλάσης `RCST_Up`, τα οποία ικανοποιούν όσα το δυνατόν περισσότερα πακέτα και διαγράφουν όσα δεν έχουν άλλο χρονικό περιθώριο να παραμείνουν στην ουρά.

Στόχος του προγράμματος προσομοίωσης που υλοποιήθηκε είναι να δείξουμε την καλύτερη απόδοση και εκμετάλλευση των πόρων του συστήματος που επιτυγχάνεται με την πρόβλεψη των αναγκών των σταθμών βάσης μετά από το χρονικό διάστημα ίσο με την διάρκεια ενός υπερπλασίου. Αυτό μας επιτρέπει να γίνουν κάποιες αναπόφευκτες απλοποιήσεις και παραδοχές, οι οποίες δεν είναι κρίσιμες και φυσικά δεν επηρεάζουν στο ελάχιστο την λειτουργία του συστήματος. Καταρχήν θεωρούμε ότι έχουμε ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από τρεις σταθμούς όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-9. Αρχιτεκτονική του συστήματος στο πρόγραμμα προσομοίωσης. Θεωρούμε ότι και οι τρεις σταθμοί ανήκουν στην ίδια ομάδα τερματικών, δηλαδή έχουν το ίδιο `Group_ID`, και κατά συνέπεια αποστέλλεται σε όλους ένα TBTP. Επιπλέον, οι πόροι που εκχωρούνται στο σύνολο αυτό έχουν την ίδια ταυτότητα `Superframe_ID`. Χωρίς βλάβη της γενικότητας, θεωρούμε επιπλέον ότι η διάρκεια των υπερπλασίων, των περιεχόμενων πλασίων και των χρονοθυρίδων είναι σταθερά. Με βάση αυτήν την παραδοχή κατασκευάζεται το TBTP που υλοποιείται από τον `schedulerB` του NCC. Η υλοποίηση πλασίων και χρονοθυρίδων μεταβλητού μεγέθους θα προκαλούσε αύξηση της πολυπλοκότητας χωρίς ουσιαστικό όφελος στις πειραματικές μας μετρήσεις. Ολοκληρώνοντας, συμπληρώνουμε ότι ο NCC δεν εξυπηρετεί κανένα πακέτο που εισέρχεται στις `extra_queues` έτσι ώστε να διαφανεί η βελτίωση της αποδοτικότητας του αλγορίθμου στις περιορισμένες μέγιστες τιμές που επιβάλλει ο NCC στα τερματικά του συστήματος.

i. Οι κλάσεις `PartA` και `PartA_Dummy`

Όπως περιγράψαμε και στην προηγούμενη ενότητα, ο κύριος ρόλος των κλάσεων `PartA` και `PartA_Dummy` είναι η σύνταξη και αποστολή των αιτημάτων χωρητικότητας, του αντίστοιχου σταθμού όπου εκτελούνται, προς τον NCC. Η μόνη τους διαφορά έγκειται στο κριτήριο που επιλέγουν για να αιτηθούν την χωρητικότητα που θα χρειάζονται μετά από χρονικό διάστημα ίσο με την διάρκεια ενός υπερπλασίου. Και στις δύο περιπτώσεις γίνεται εκτενείς χρήση των τύπων δεδομένων δομή (`struct`) και διάνυσμα (`vector`) της γλώσσας C++.

Κάθε κλάση αποτελείται από κάποιες βασικές παραμέτρους που προσδιορίζουν τον σταθμό και τις συναρτήσεις που εκτελούν τις λειτουργίες του. Κάθε σύνδεση που εγκαθιδρύεται υπό την επίβλεψη ενός συγκεκριμένου σταθμού καταχωρείται σε μια θέση του διανύσματος συνδέσεων (vector `meanRatesCon`). Τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης αυτής, που είναι η ταυτότητά της `Cid`, ο μέσος ρυθμός μετάδοσης, το τελευταίο αίτημα χωρητικότητας για την σύνδεση αυτή και τα bytes που βρίσκονται στα πακέτα που περιμένουν στην ουρά να μεταδοθούν, ορίζονται στην δομή `struct forMeanRatesCon`. Τα χαρακτηριστικά αυτά θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της χωρητικότητας που έχει ανάγκη ο σταθμός για το επόμενο υπερπλαίσιο. Η αίτηση χωρητικότητας που αποστέλλεται στον NCC γίνεται και αυτή με την βοήθεια του τύπου διάνυσμα. Τα αιτήματα κάθε σταθμού αποθηκεύονται στο διάνυσμα `RequestValues`. Κάθε εγγραφή του διανύσματος είναι ένα τύπος δομή (`struct Request`), τα παιδιά της οποίας είναι η κατηγορία της χωρητικότητας που αιτείται ο σταθμός, η ποσότητα καθώς και ο παράγοντας κλιμάκωσης (`scaling factor`). Για την υλοποίηση αυτή επιλέχθηκε ο τύπος Διάνυσμα λόγω της δυναμικής του φύσης, αφού όπως έχουμε προαναφέρει ένας σταθμός δεν αιτείται την RBDC χωρητικότητα που χρειάζεται στην περίπτωση που ταυτίζεται με αυτή του προηγούμενου αιτήματός του.

Η βασική λειτουργία των κλάσεων αυτών, που είναι η σύνταξη των αιτημάτων χωρητικότητας, υλοποιείται μέσα από την συνάρτηση `ComputeofRequestValues()`. Αρχικά καλείται μια ιδιωτική (`private`) συνάρτηση, η `ComputeSumRequest()`, η οποία υπολογίζει το σύνολο των χρονοθυρίδων που χρειάζεται ο σταθμός αυτός για να ικανοποιήσει όλες του τις συνδέσεις. Στην περίπτωση του `scheduler A` που προτείνουμε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, ο υπολογισμός αυτός γίνεται με βάση τον αλγόριθμο που περιγράψαμε στην ενότητα 4.3, ενώ στην περίπτωση του συγκριτικού αλγορίθμου ο υπολογισμός προκύπτει από το άθροισμα των πακέτων που έχουν προστεθεί στην ουρά από τον αντίστοιχο `scheduler` του 802.16. Στην συνέχεια, συντάσσεται το αίτημα που θα λάβει ο NCC, το οποίο γίνεται και στις δύο περιπτώσεις με βάση τον αλγόριθμο που παραθέσαμε στην ενότητα 4.3.

ii. Η κλάση NCC

Ο NCC είναι η κεντρική μονάδα ελέγχου του δικτύου. Οι ευθύνες που έχει για την σωστή και ομαλή λειτουργία του δικτύου είναι πολλές. Πρέπει να διατηρεί στοιχεία για κάθε σταθμό που εισέρχεται στο δίκτυο, να διακανονίζει μαζί του τις μέγιστες χωρητικότητες που μπορεί να αιτηθεί καθώς και να διαχειρίζεται την διαθέσιμη χωρητικότητα του συστήματος με στόχο την μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα του δικτύου και εκμετάλλευση των πόρων του.

Σε κάθε σταθμός που εισέρχεται στο σύστημα δίνεται ένας αριθμός ταυτότητας (`logonID`), για να μπορεί να τον αναγνωρίζει ο NCC και διακανονίζει τις μέγιστες χωρητικότητες ανά κατηγορία που μπορεί να αιτηθεί. Τα χαρακτηριστικά αυτά αποθηκεύονται σε μια δομή (`logonCharacteristicsStruct`) και καταχωρούνται σε ένα διάνυσμα (`LogonCharacteristics`). Κατά την διάρκεια της εισαγωγής ενός σταθμού στο δίκτυο, παράλληλα με την εγγραφή στην παραπάνω δομή, το RCST καταχωρείται με βάση την ταυτότητά του `logonID` στο διάνυσμα, το οποίο ορίζει με ποια σειρά θα εκχωρούνται σε κάθε περίπτωση οι χρονοθυρίδες στο TBTP, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι καθυστερήσεις στις αντίστοιχες υπηρεσίες (`ServiceOrder`). Επιπροσθέτως, για κάθε σταθμό διατηρείται σε μια δομή (`RBDCStateStruct`) το τελευταίο αίτημα RBDC χωρητικότητας και το πλήθος των υπερπλαισίων που έχουν παρέλθει από τότε ώστε να χρησιμοποιηθούν οι τιμές αυτές σε περίπτωση που απουσιάζει το

αντίστοιχο αίτημα για RBDC χωρητικότητα. Τα αντικείμενα τις δομή αυτής αποθηκεύονται σε ένα διάνυσμα (RBDCState).

Ανά περιοδικά διαστήματα, που είναι ίσα με την διάρκεια ενός υπερπλαισίου, ο NCC λαμβάνει τα αιτήματα για χωρητικότητα που αποστέλλονται από τους τερματικούς σταθμούς και καταχωρεί κάθε αίτημα σε μία από τις πέντε διαθέσιμες ουρές που περιγράψαμε στην ενότητα 4.4. Κάθε καταχώρηση σε κάθε ουρά είναι τύπου δομή (SlotsRequestedStruct) και περιλαμβάνει την ταυτότητα του RCST που έστειλε το αίτημα καθώς και το πλήθος των χρονοθυρίδων που εισέρχονται στην ουρά με βάση την εγγραφή αυτή. Στο πρόγραμμα προσομοίωσης που υλοποιήσαμε, δημιουργούνται έξι τέτοιες ουρές οι οποίες είναι τύπου διάνυσμα. Τα διανύσματα που υλοποιούνται στην κλάση είναι τα εξής: η CRA_queue, η RBDC_valid_queue, η VBDC_valid_queue, η RBDC_extra_queue, η VBDC_extra_queue και η Total_queue. Η καταχώρηση των πόρων που αιτείται κάθε τερματικό καταχωρείται στην αντίστοιχη ουρά σύμφωνα με τους κανόνες που παραθέσαμε στην ενότητα 4.4. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, οι ουρές RBDC_extra_queue και VBDC_extra_queue δεν χρησιμοποιούνται στα πειράματα που θα ακολουθήσουν. Η ουρά Total_queue χρησιμοποιείται στην συνέχεια για τον διαμοιρασμό των πόρων του συστήματος.

Ο NCC λαμβάνει και επεξεργάζεται σειριακά τα αιτήματα από κάθε RCST και τα καταχωρεί στις αντίστοιχες ουρές. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η σειρά που ακολουθείται στην περίπτωση αυτή είναι τυχαία, ώστε να αποφύγουμε την εξυπηρέτηση των ίδιων τερματικών σταθμών σε κάθε υπερπλαίσιο. Η λειτουργία αυτή υλοποιείται με την συνάρτηση RequestCapacity() η οποία χρησιμοποιεί την τεχνική του πολυμορφισμού. Αυτό το προγραμματιστικό εργαλείο μας είναι απαραίτητο στην περίπτωση αυτή, διότι ένα τερματικό υπάρχει περίπτωση να έχει στείλει αίτημα μόνο για VBDC χωρητικότητα και την αντίστοιχη της RBDC κατηγορίας να πρέπει να την ανακτήσει ο NCC από τα αποθηκευμένα στοιχεία που έχει για τον συγκεκριμένο σταθμό στο διάνυσμα RBDCState. Έχοντας στη διάθεση του όλες τις απαραίτητες πληροφορίες ο NCC επεξεργάζεται τα αιτήματα και τα καταχωρεί στις αντίστοιχες ουρές.

Ακολούθως, ο NCC, γνωρίζοντας τα αιτήματα των τερματικών για το επόμενο υπερπλαίσιο, καλείται να εκχωρήσει τους διαθέσιμους πόρους και να συντάξει το TBTP. Το TBTP υλοποιείται με την βοήθεια του τύπου διάνυσμα. Κάθε εγγραφή του διανύσματος είναι τύπου δομή (SlotsAllocatedStruct) η οποία περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζονται για την σωστή ανάγνωσή του από τα τερματικά. Επομένως, κάθε εγγραφή περιλαμβάνει την ταυτότητα του τερματικού, το πλήθος των χρονοθυρίδων που του εκχωρείται σε αυτήν την εγγραφή, τον αύξοντα αριθμό της πρώτης στη σειρά χρονοθυρίδας και τον αύξοντα αριθμό του πλαισίου όπου γίνεται η συγκεκριμένη εκχώρηση. ο NCC χρησιμοποιεί την ουρά Total_queue για να αποθηκεύσει την συνολική χωρητικότητα που θα εκχωρήσει σε κάθε τερματικό. Αρχικά, λοιπόν, προσθέτει στην ουρά αυτή την CRA χωρητικότητα που εγγυάται σε κάθε υπερπλαίσιο σε όλα τα τερματικά. Στην συνέχεια, διαβάζει με την σειρά τις εγγραφές που βρίσκονται στις υπόλοιπες ουρές, πρώτα για την RBDC και μετά για την VBDC κατηγορία, και, αν οι χρονοθυρίδες της εγγραφής αυτής δεν ξεπερνούν την συνολική χωρητικότητα που μπορεί να διαθέσει ο NCC, τότε προστίθενται στην Total_queue στην εγγραφή που αφορά το συγκεκριμένο RCST που έχει αποστείλει το αίτημα. Στην συνέχεια ακολουθεί η σύνταξη του TBTP. Λόγω της παραδοχής των πλαισίων σταθερού μήκους σε κάθε υπερπλαίσιο που αναφέραμε σε προηγούμενη ενότητα, χρησιμοποιείται ένα προγραμματιστικό τέχνασμα ταξινόμησης των τερματικών με βάση τις υπολοιπόμενες χρονοθυρίδες

που πρέπει να εισαχθούν στον TBTP. Η εισαγωγή των RCST στο TBTP γίνεται σύμφωνα με την σειρά εξυπηρέτησης που ορίζεται στο διάνυσμα ServiceOrder. Η συνάρτηση που υλοποιεί την παραπάνω λειτουργία είναι η SlotsAllocation().

iii. Η κλάση RCST_UP

Η κλάση RCST_UP υλοποιεί τη λειτουργία του PartC. Ο βασικός ρόλος της κλάσης αυτής είναι ο διαμοιρασμός των πόρων που δέχτηκε από τον NCC, δηλαδή η επιλογή των πακέτων που θα εξυπηρετηθούν ανάλογα με τις χρονοθυρίδες που του έχουν εκχωρηθεί, καθώς και η διατήρηση των στατιστικών στοιχείων σχετικά με τα πακέτα που εξυπηρετήθηκαν, απορρίφθηκαν και τη μέση καθυστέρηση εξυπηρέτησης των πακέτων. Τα στατιστικά στοιχεία διατηρούνται με τη χρήση της δομής ConStatistics για κάθε ενεργή σύνδεση.

Η RCST_UP εισάγει τα πακέτα που βρίσκονται στον PartA σε πέντε ουρές (Oura1, Oura2, Oura3, Oura4, Oura5) ανάλογα με τον τύπο εξυπηρέτησης του πακέτου με τη συνάρτηση insert_packet. Κατά την εισαγωγή των πακέτων κρατούνται τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία για τον τύπο των πακέτων που έχουν εισέλθει στο σύστημα. Όποτε υπάρχουν χρονοθυρίδες εκχωρημένες από τον NCC, καλεί τη συνάρτηση frame_creation για να εξυπηρετήσει πακέτα από τις προηγούμενες ουρές σύμφωνα με τη διαθέσιμη χωρητικότητα. Η λογική εξυπηρέτησης είναι η εξής: αρχικά εξυπηρετεί από την ουρά με τα UGS πακέτα όσα περισσότερα μπορεί με τη συνάρτηση sweepTf0. Αν έχει διαθέσιμη χωρητικότητα, στη συνέχεια εξυπηρετεί από την ουρά με τα rtPS πακέτα, μετά τα rtPS, τα nrtPS και τέλος τα best effort. Κάθε φορά που εξυπηρετείται ένα πακέτο κρατείται η αντίστοιχη πληροφορία για τη σύνδεση στην οποία ανήκει στα στατιστικά στοιχεία. Τέλος, η κλάση RCST_UP απορρίπτει τα πακέτα που δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν και λήγουν λόγω καθυστέρησης με τη συνάρτηση dropPacket, ενώ τα πακέτα που δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν αλλά δεν λήγουν, κρατούνται στις αντίστοιχες ουρές για να εξεταστούν την επόμενη φορά που υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα.

3 Βελτίωση του PartB

Η βελτίωση του PartB, που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 6, υλοποιείται στην έκδοση “Satellite_Uplink3-Final - a ekdosn NCC- spreaded-MFTDMA”. Η μόνη διαφοροποίηση που γίνεται στην κλάση NCC, είναι στη συνάρτηση SlotsAllocation, η οποία πλέον κάνει τον διαμοιρασμό των χρονοθυρίδων σε όλες τις συχνότητες με τον τρόπο που περιγράφηκε στην ενότητα 6.3. Σε όλες τις επόμενες εκδόσεις χρησιμοποιείται αυτή η κλάση του NCC που λειτουργεί σε MF-TDMA.

4 Βελτίωση του PartA με χρήση του NLMS αλγορίθμου

Η βελτίωση του PartA, που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 5, υλοποιείται στην έκδοση “Satellite_Uplink3-a ekdosn NCC- spreaded-MFTDMA - VSSNLMS”.

Οι κλάσεις PartA_NLMS_a και PartA_NLMS_b είναι επεκτάσεις της κλάσης PartA, με στόχο την σύνταξη και αποστολή των αιτημάτων χωρητικότητας, του αντίστοιχου σταθμού όπου εκτελούνται, προς τον NCC χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο NLMS. Η μόνη τους διαφορά έγκειται στο που εφαρμόζουν τον αλγόριθμο NLMS, δηλαδή σε όλες τις συνδέσεις ή σε μια συνολική ουρά. Η εναλλακτική VPNLMSa που περιγράφηκε στην ενότητα 5.3.1 υλοποιείται με την κλάση PartA_NLMS_a, η εναλλακτική VPNLMSb που περιγράφηκε στην ενότητα 5.3.2 υλοποιείται με την κλάση PartA_NLMS_b, ενώ η εναλλακτική VPNLMSc που περιγράφηκε στην ενότητα 5.3.3 υλοποιείται με τον συνδυασμό των δύο παραπάνω κλάσεων.

i. Η κλάση PartA_NLMS_a

Στην κλάση PartA_NLMS_a προστίθενται οι παράμετροι F , F_0 , και M_0 . Το F δείχνει το μέγεθος του φίλτρου δηλαδή το πλήθος των προηγούμενων τιμών που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη, το F_0 δείχνει το πόσο μακριά είναι η πρόβλεψη που γίνεται και το M_0 είναι μία τιμή που χρησιμοποιείται στον τύπο του μ . Κάθε rtPS σύνδεση καταχωρείται σε μια θέση του διανύσματος NLMSQueue. Το διάνυσμα αυτό περιέχει στοιχεία της δομής struct forNLMSQueue, η οποία περιέχει τα στοιχεία της σύνδεσης που χρειάζονται για την εφαρμογή του NLMS αλγορίθμου. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- το διάνυσμα queue: το διάνυσμα αυτό είναι μεγέθους $F+1$ και περιλαμβάνει τις πραγματικές τιμές των bytes των F προηγούμενων καθώς και του παρόντος υπερπλαισίου αυτής της σύνδεσης.
- το διάνυσμα qEst: το διάνυσμα αυτό είναι μεγέθους F_0 και περιλαμβάνει τις προβλέψεις που γίνονται.
- το διάνυσμα weight: το διάνυσμα αυτό είναι μεγέθους F και περιλαμβάνει τα βάρη που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του αλγορίθμου.
- το διάνυσμα error: το διάνυσμα αυτό περιλαμβάνει τα λάθη που υπολογίζονται.

Στην κλάση PartA_NLMS_a προστίθενται οι παρακάτω συναρτήσεις :

- InsertBytesQueueInNLMSQueue(int pos, int queue): προσθέτει τα bytes του παρόντος υπερπλαισίου στη θέση pos του NLMSQueue.
- InitializeFilterInCid(int pos): αρχικοποιεί τις παραμέτρους και τα διανύσματα του φίλτρου της σύνδεσης που βρίσκονται στην θέση pos του NLMSQueue.
- ComputeEstimation(int pos): υπολογίζει τη πρόβλεψη της σύνδεσης που βρίσκεται στη θέση pos του NLMSQueue
- UpdateQueue(int pos): καλείται από την ComputeEstimation και κάνει μία μετακίνηση (shift) στο διάνυσμα queue ώστε να ανανεώσει τις τιμές που κρατάει αποθηκευμένες η σύνδεση που βρίσκεται στη θέση pos του NLMSQueue.
- UpdateWeights(int pos, double e): καλείται από την ComputeEstimation και ανανεώνει τις τιμές του διανύσματος weights της σύνδεσης που βρίσκεται στη θέση pos του NLMSQueue.
- UpdateError(int pos, double e): καλείται από την ComputeEstimation και ανανεώνει τις τιμές του διανύσματος error της σύνδεσης που βρίσκεται στη θέση pos του NLMSQueue.
- UpdateEstimations(int pos, double est) : καλείται από την ComputeEstimation και κάνει μία μετακίνηση (shift) στο διάνυσμα qEst ώστε να ανανεώσει τις τιμές που κρατάει αποθηκευμένες η σύνδεση που βρίσκεται στη θέση pos του NLMSQueue.

ii. Η κλάση PartA_NLMS_b

Η κλάση PartA_NLMS_b έχει την ίδια λογική με την κλάση PartA_NLMS_a, με την διαφορά ότι το NLMSQueue δεν είναι διάνυσμα εφόσον ο αλγόριθμος NLMS εφαρμόζεται σε μία συνολική ουρά και όχι ξεχωριστά σε κάθε σύνδεση. Οπότε, ουσιαστικά στην κλάση αυτή διαφοροποιούνται οι παραπάνω συναρτήσεις ώστε να εφαρμόζονται σωστά στο παραπάνω αντικείμενο. Τέλος, η

εναλλακτική VPNLMS_c υλοποιείται ουσιαστικά σαν ένας συνδυασμός των κλάσεων PartA_NLMS_a και PartA_NLMS_b. Δηλαδή, η έξοδος του PartA_NLMS_a αποτελεί την είσοδο του PartA_NLMS_b.

iii. Η κλάση PartA_VSSNLMS_b

Στην ενότητα 5.2.3, συγκρίνουμε την εναλλακτική VPNLMS_b, που έχει τα καλύτερα αποτελέσματα από τις τρεις εναλλακτικές, με την VSSNLMS_b εναλλακτική. Η VSSNLMS_b εναλλακτική έχει την ίδια αρχιτεκτονική με την VPNLMS_b εναλλακτική, με την μόνη διαφορά ότι χρησιμοποιεί τον VSSNLMS αλγόριθμο για την πρόβλεψη αντί του NLMS αλγορίθμου που χρησιμοποιεί η VPNLMS_b εναλλακτική. Η VPNLMS_b εναλλακτική υλοποιείται με την κλάση PartA_VSSNLMS_b, που έχει την ίδια λογική με την κλάση PartA_NLMS_b, με την διαφορά ότι χρησιμοποιεί τον VSSNLMS αλγόριθμο για την πρόβλεψη αντί του NLMS αλγορίθμου.

5 Βελτίωση του PartC με τη χρήση μετρικών αντίληψης ποιότητας

Η βελτίωση του PartC με τη χρήση μετρικών αντίληψης ποιότητας, που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 7, υλοποιείται στην έκδοση “Satellite_Uplink3-a ekdosn NCC- spreaded-MFTDMA - NLMS-PartCQoE”.

i. Ο αλγόριθμος FC_MDI_S

Ο αλγόριθμος FC_MDI_S που περιγράφηκε στην ενότητα 6.3 υλοποιείται από την κλάση “RCST_Up_QoE_Simple”.

Στην αρχή κάθε υπερπλασίου καλείται η συνάρτηση ThingsToDoAtTheBeginningOfMultiframe, όπου καθορίζεται κατά το κάλεσμα της αν η ταξινόμηση των συνδέσεων θα γίνει με άπληστη λογική ή με λογική δικαιοσύνης. Η συνάρτηση αυτή:

- καλεί αρχικά την συνάρτηση ComputeQoEinMultiframe, η οποία υπολογίζει την FC-MLR τιμή κάθε σύνδεσης βάσει της απώλειας των I, P, B πλαισίων στο προηγούμενο υπερπλαίσιο. Τα πλαίσια των διαφορετικών κατηγοριών που χάθηκαν στο προηγούμενο υπερπλαίσιο κρατούνται με τη βοήθεια της δομής LostVectorMultiframePakets στην οποία εισάγονται τα πλαίσια που χάνονται με την συνάρτηση insert_packetInLostVectorMultiframe.
- ταξινομεί τις συνδέσεις με την κλήση της συνάρτησης SortingGreedyAlgorithm ή της συνάρτησης SortingFairAlgorithm (ανάλογα με το τι λογική έχει οριστεί να ακολουθηθεί στις παραμέτρους της συνάρτησης).

Όποτε υπάρχουν χρονοθυρίδες εκχωρημένες από τον NCC, καλείται η συνάρτηση frame_creationGreedy που υλοποιεί την FC_MDI_SG έκδοση του αλγορίθμου ή η frame_creationFair που υλοποιεί την FC_MDI_SF έκδοση του αλγορίθμου. Η λογική εξυπηρέτησης αυτών των αλγορίθμων περιγράφεται στην ενότητα 7.3.1(iii).

ii. Ο αλγόριθμος LAQoE

Ο αλγόριθμος LAQoE που περιγράφηκε στην ενότητα 7.4.2 υλοποιείται από την κλάση “RCST_Up_QoE”.

Ομοίως με την κλάση “RCST_Up_QoE_Simple”, στην αρχή κάθε υπερπλασίου καλείται η συνάρτηση ThingsToDoAtTheBeginningOfMultiframe, όπου καθορίζεται κατά το κάλεσμα της αν η ταξινόμηση των συνδέσεων θα γίνει με άπληστη λογική ή με λογική δικαιοσύνης. Η συνάρτηση αυτή:

- πετάει τα πακέτα που έχουν λήξει από το προηγούμενο υπερπλαίσιο,
- ταξινομεί τις συνδέσεις με την συνάρτηση `SortingGreedyAlgorithm` ή την συνάρτηση `SortingFairAlgorithm` (ανάλογα με ποια λογική εξυπηρέτησης έχει επιλεγεί) και
- για κάθε μία από τις ταξινομημένες συνδέσεις καλεί τη συνάρτηση `insert_packet_inQoET`, η οποία φτιάχνει το QoET δένδρο με τη διαθέσιμη χωρητικότητα για αυτή τη σύνδεση όπως περιγράφεται στην ενότητα 7.4.2. Στη συνέχεια, καλεί τη συνάρτηση `findPath`, για να βρεθεί το μονοπάτι με την καλύτερη LA-MLR μετρική, που υπολογίζεται με τη συνάρτηση `ComputeQoEMetric`, και το μονοπάτι που επιλέγεται, εισάγεται στη δομή `pathsToTransmit` που περιέχει τα μονοπάτια που θα μεταδοθούν από όλες τις συνδέσεις.

Όποτε υπάρχουν χρονοθυρίδες εκχωρημένες από τον NCC, καλείται η συνάρτηση `frame_creation`, η οποία ουσιαστικά εξυπηρετεί τα μονοπάτια που είναι αποθηκευμένα στη δομή `pathsToTransmit`.

Ο αλγόριθμος LAQoERA που περιγράφηκε στην ενότητα 7.4.3 υλοποιείται από την ίδια κλάση, με τη διαφορά ότι καλεί την συνάρτηση `insert_packet_inQoET_inRate1` για την κατασκευή του QoET δένδρου και ότι η επιλογή του μονοπατιού που θα μεταδοθεί γίνεται με τη συνάρτηση `FindPathToTransmitInRate1`.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] IEEE 802.11-1999, «Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications», 1999
- [2] IEEE 802.11e-2005, «Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Amendment 8: Medium Access Control (MAC) QoS Enhancements.
- [3] 3GPP TS 36.321 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification.
- [4] IEEE Std 802.16-2004, “IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Access Systems”, October 2004.
- [5] IEEE Std 802.16e-2005, “Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems- Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands”, February 2006.
- [6] ETSI EN 301 790 V1.3.1 (2003-03): “Interaction channel for satellite distribution systems”
- [7] ETSI TR 101 790 V1.2.1 (2003-01): “Interaction channel for Satellite Distribution Systems; Guidelines for the use of EN 301 790”
- [8] A. Lygizou, S. Xergias, N. Passas, L. Merakos, “A prediction-based scheduling mechanism for interconnection between WiMAX and satellite networks”, International Wireless Communications and Mobile Computing Conference 2008 (IWCMC 2008), August 2008.
- [9] A. Lygizou, S. Xergias, N. Passas, L. Merakos, “A prediction-based scheduling mechanism for interconnection between WiMAX and satellite networks”, International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems, 2009, Vol. 2, No.2, pp. 107-127.
- [10] S. Xergias, N. Passas, and L. Merakos, “Flexible Resource Allocation in IEEE 802.16 Wireless Metropolitan Area Networks”, Proc. 14th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN), Chania, Greece, September 2005.
- [11] S. Xergias, A. Lygizou, N. Passas, and L. Merakos, “QoS Sensitive Traffic Scheduling in Broadband Wireless Mesh Networks”, Proc. 15th IST Summit on Mobile and Wireless Communications, Mykonos, Greece, June 2006.
- [12] S. Xergias, N. Passas, and L. Merakos, “Efficient Multimedia Transmission in WiMax Mesh Networks”, Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC) 2006, Workshop on IP over Broadcasting Networks, Istanbul, Turkey, June 2006.
- [13] E. Puşchiță, T. Palade, and A. Căruntu, “Design of a resource reservation model for a hybrid wireless network architecture based on the use of intelligent mobile agents”, Eighteenth International Conference on Systems Engineering (ICSE2006), September 2006.
- [14] A. Centonza and S. McCann, “Architectural and Protocol Structure for Composite DVB-RCS/IEEE 802.16 Platforms”, IET Seminar on Digital Video Broadcasting over Satellite: Present and Future, London, UK, November 2006.
- [15] L. Chisci, R. Fantacci and T. Pecorella, “Dynamic Bandwidth Allocation via Distributed Predictive Control in Satellite Networks”, First International Symposium on Control, Communications and Signal Processing, Hammamet, Tunisia, March 2004.
- [16] L. Chisci, R. Fantacci and T. Pecorella, “Predictive Bandwidth Control for GEO Satellite Networks”, IEEE International Conference on Communications, Paris, France, June 2004.
- [17] P. Pace and G. Aloï, “Effective Admission Policy for Multimedia Traffic Connections over Satellite DVB-RCS Network”, ETRI Journal – Electronic and Telecommunications Research Institute, 2006, Vol. 28, No. 5, pp. 593-606.
- [18] F. Prisolì, D. Pompili and G. Santoro, “A QoS-aware Bandwidth on Demand Assignment Mechanism in a GEO Satellite System”, EU Information Society Technology Mobile and Wireless Communications Summit (IST Summit), Lyon, France, June 2004.
- [19] K.-D. Lee, H.-J. Lee, Y.-H. Cho and D. Oh, “Throughput-Maximizing Timeslot Scheduling for Interactive Satellite Multiclass Services”, IEEE Communications Letters, 2003, Vol. 7, No. 6, pp. 263-265.

- [20] M. Costabile, C. Follino, A. Iera, and A. Molinaro, "QoS Differentiation in DVB-RCS multimedia platforms", 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications", Barcelona, Spain, September 2004.
- [21] A. Antonopoulos and C. Verikoukis, "Traffic-Aware Connection Admission Control Scheme for Broadband Mobile Systems", IEEE Communications Letters, 2010, Vol. 14, No. 8, pp. 719-721.
- [22] B.N. Bhandari, R.V. Kumar and S.L. Maskara, "Performance of IEEE 802.16 MAC layer protocol under conditions of self-similar traffic", TENCON 2008- 2008 IEEE Region 10 Conference, Hyderabad, India, November 2008.
- [23] R. Mukul, P. Singh, D. Jayaram, D. Das, N. Sreenivasulu, K. Vinay, and A. Ramamoorthy, "An Adaptive Bandwidth Request Mechanism for QoS Enhancement in WiMAX Real Time Communication", IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks, Singapore, July 2007.
- [24] Z. Peng, Z. Guangxi, L. Hongzhi and S. Haibin, "Adaptive Scheduling Strategy for WiMAX Real-time Communication", International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Xiamen, China, Nov 2007.
- [25] W.-K. Kuo, "Efficient Traffic Scheduling for Real Time VBR MPEG Video Transmission Over DOCSIS-Based HFC Networks", Journal of Lightwave Technology, 2009, Vol. 27, No. 6, pp. 639-654.
- [26] Cable Television Laboratories, Inc., "Data-over-cable service interface specifications", in Radio Frequency Interface Specification [Online]. Available: <http://www.cablemodem.com/specifications/>
- [27] G. Boudour, "MPEG-4 Traffic Prediction Using Density Estimation for Dynamic Bandwidth Allocation in IEEE 802.16 Networks", Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), December 2011.
- [28] P. Koutsakis, "Satellite Bandwidth Allocation Based on MPEG-4 Videoconference Traffic Prediction", Third International Conference on Networking and Services, Athens, June 2007.
- [29] J.K. Ord, "Families of Frequency Distributions". Griffin, London, 1972.
- [30] F. Chiti, R. Fantacci and F. Marangoni, "Advanced Dynamic Resource Allocation Schemes for Satellite Systems", IEEE International Conference on Communications, Seoul, May 2005.
- [31] G. Moayeripour, A. Aghakhani, M. N. Moghadam and H. Taheri, "Reducing Bandwidth Allocation Delay in a DVB-RCS Network Using Bayesian Neural Network", 11th International Conference on Advanced Communication Technology, February 2009.
- [32] P. Pace and G. Aloï, "Effective Prediction Scheme for Bandwidth Allocation in Interactive Satellite Terminals", Wireless Communication Systems. 2008. ISWCS '08. IEEE International Symposium on, October 2008.
- [33] C. Raffaele and C. Debono, "A Comparison of the Performance of Prediction Techniques in Curtailing Uplink Transmission and Energy Requirements in Mobile Free-Viewpoint Video Applications", International Journal on Advances in Telecommunications, 2011, Vol 4, No 1 & 2, pp.1-11
- [34] A. Lygizou, S. Xergias and N. Passas, "Video traffic prediction for improved Scheduling in Joint WiMAX / Satellite Networks", 8th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference 2012 (IWCMC 2012), Cyprus, August 2012.
- [35] A. Lygizou, N. Passas, S. Xergias and L. Merakos, "Effective Prediction for Video traffic in Joint WiMAX / Satellite Networks", in Springer Wireless Personal Communications, 2012, pp.21-39.
- [36] N. Yazdani, "Multi-Frequency Time Division Multiple Access (MF-TDMA) Resource Packing", Military Communications Conference, November 2008.
- [37] W.M. Shvodian, "Multiple Priority Distributed Round Robin Mac Protocol for Satellite ATM", Military Communications Conference, 1998. MILCOM 98, October 1998.
- [38] K.D. Lee; Y.-H. Cho, H.-J. Lee and H. Jeong, "Optimal Scheduling for Timeslot Assignment in MF-TDMA Broadband Satellite Communications", Vehicular Technology Conference, 2002.

- [39] U. Jung-Min Park, U. Savagaonkar, E.K.P. Chong, H.J. Siegel and S.D. Jones, "Efficient Resource Allocation for QoS channels in MF-TDMA Satellite Systems", MILCOM 2000.
- [40] U. Jung-Min Park, U. Savagaonkar, E.K.P. Chong, H.J. Siegel and S.D. Jones, "Allocation of QoS Connections in MF-TDMA Satellite Systems: A Two-Phase Approach", Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2005, Vol. 54, No. 1, p.p 177–190.
- [41] D.K. Petraki, M.P. Anastasopoulos and P.G. Cottis, "Dynamic resource allocation for DVB-RCS networks", International Journal of Satellite Communications and Networking, 2008, Vol. 26, No. 3, p.p. 189-210.
- [42] D.K. Petraki, M.P. Anastasopoulos, A.D. Panagopoulos and P.G. Cottis, "Dynamic Resource Calculation Algorithm in MF-TDMA Satellite Networks", Mobile and Wireless Communications Summit, July 2007.
- [43] Q.Dong, J. Zhang and T. Zhang, "Optimal Timeslot Allocation Algorithm in MF-TDMA", Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM 4th International Conference on, October. 2008 .
- [44] A. Lygizou, and N. Passas, "MF-TDMA slot allocation in Joint WiMAX / Satellite Networks", 6th ACM International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC 2010), Caen, France, June 2010.
- [45] S. Winkler and P. Mohandas, "The Evolution of Video Quality Measurement: From PSNR to Hybrid Metrics", Broadcasting, IEEE Transactions on, 2008, Vol. 54, No. 3, p.p.: 660-668.
- [46] ITU-R Recommendation BT.500-11: Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures (2002).
- [47] S. Voran, "The Development of Objective Video Quality Measures that Emulate Human Perception" in IEEE GLOBECOM., December 1991.
- [48] C. Lambrecht, "Perceptual Models and Architectures for Video Coding Applications" PhD thesis, 1996, EPFL, Lausanne, Swiss.
- [49] Z. Wang, L. Lu and A. C. Bovik; "Video quality assessment based on structural distortion measurement" Signal Processing: Image Communication, 2004, Vol. 19, No. 2, p.p. 121–132.
- [50] S. Mohamed and G. Rubino, "A Study of Real-time Packet Video Quality Using Random Neural Networks", IEEE Transactions On Circuits and Systems for Video Technology, 2002, Vol. 12, No. 12, p.p. 1071–1083.
- [51] K. Piamrat, K.D. Singh, A. Ksentini, C. Viho and J.M. Bonnin, "QoE-aware scheduling for video-streaming in High Speed Downlink Packet Access", Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2010 IEEE, April 2010.
- [52] K. Piamrat, A. Ksentini, J.-M. Bonnin, and C. Viho, "Rate Adaptation Mechanism for Multimedia Multicasting in Wireless Networks", Broadband Communications, Networks, and Systems, 2009. BROADNETS 2009. Sixth International Conference on, September 2009.
- [53] K. Piamrat, A. Ksentini, J.-M. Bonnin, and C. Viho, "Q-DRAM: QoE-based Dynamic Rate Adaptation Mechanism for Multicast in Wireless Networks" Global Telecommunications Conference, GLOBECOM 2009. IEEE, November 2009.
- [54] A.B. Reis, J. Chakareski, A. Kassler and S. Sargento, "Quality of experience optimized scheduling in multi-service wireless mesh networks", Image Processing (ICIP), 2010 17th IEEE International Conference on, Sept. 2010.
- [55] A.B.Reis, J. Chakareski, A. Kassler and S. Sargento, "Distortion Optimized Multi-Service Scheduling for Next-Generation Wireless Mesh Networks", INFOCOM IEEE Conference on Computer Communications Workshops, March 2010.
- [56] J Krejci, "MDI measurement in the IPTV", Systems, Signals and Image Processing, 2008. IWSSIP 2008. 15th International Conference on, June 2008.
- [57] F. Shaofen and H. Liang; "A Refined MDI Approach Based on Frame Classification for IPTV Video Quality Evaluation", Education Technology and Computer Science (ETCS), 2010 Second International Workshop on, March 2011.
- [58] A. Lygizou, S. Xergias and N. Passas, "rtPS Scheduling with QoE metrics in Joint WiMAX / Satellite Networks", in 4th International Conference on Personal Satellite Services (PSATS), March 2012.

- [59] A. Lygizou, S. Xergias and N. Passas, "Improved rtPS Scheduling with QoE metrics in Joint WiMAX / Satellite Networks", in the International Journal of P2P Network Trends and Technology, 2012, Vol. 2, No. 1, pp 4-12.
- [60] Γ. Μόκα, "Δέσμευση πόρων σε δορυφορικά δίκτυα διασυνδεδεμένα με WiMAX", Διπλωματική Εργασία, ΕΚΠΑ - Τμ. Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Ιούνιος 20078.
- [61] Κ. Μπερέτης και Γ. Νταρζάνος, "Αποδοτική μετάδοση video σε δορυφορικά δίκτυα διασυνδεδεμένα με WiMAX", Προπτυχιακή Εργασία, ΕΚΠΑ - Τμ. Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Οκτώβριος 2010.
- [62] Ε. Τραπεζανλίδου, "Χρήση QoE μετρικών για μετάδοση video σε δορυφορικά δίκτυα διασυνδεδεμένα με WiMAX", Προπτυχιακή Εργασία, ΕΚΠΑ - Τμ. Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Ιούλιος 2011.
- [63] Χ. Μπαλαμπάνου και Κ. Ασημακόπουλος, "Αποδοτική μετάδοση rtPS εφαρμογών (VoIP) σε δορυφορικά δίκτυα διασυνδεδεμένα με WiMAX", Προπτυχιακή Εργασία, ΕΚΠΑ - Τμ. Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Νοέμβριος 2011.