



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Αποδοτικό Πρωτόκολλο MAC για Δίκτυα Κινητών
Επικοινωνιών 4^{ης} Γενιάς**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ε. ΒΕΛΕΓΡΑΚΗΣ

Επιβλέπων : Μιχαήλ Ε. Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2004



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Αποδοτικό Πρωτόκολλο MAC για Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών 4^{ης} Γενιάς

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ε. ΒΕΛΕΓΡΑΚΗΣ

Επιβλέπων : Μιχαήλ Ε. Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12^η Ιουλίου 2004.
Αθήνα, Ιούλιος 2004

.....
Μιχαήλ Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ευστάθιος Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Στασινόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2004

.....
ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ε. ΒΕΛΕΓΡΑΚΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ε. ΒΕΛΕΓΡΑΚΗΣ 2004

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς (4G) αναμένεται να προκαλέσουν νέο ενδιαφέρον στο χώρο των κινητών επικοινωνιών. Προσδοκείται ότι θα παρέχουν οποιαδήποτε υπηρεσία, σε οποιοδήποτε χρήστη, οποιαδήποτε χρονική στιγμή, με ικανοποιητική ποιότητα. Η μεγάλη διαφορά τους από τα υπάρχοντα δίκτυα είναι ότι θα αποτελούνται από ασύρματα συστήματα διαφόρων τεχνολογιών μετάδοσης και επιπρόσθετα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Πρόκειται δηλαδή για ετερογενή συστήματα. Η αποδοτική τους λειτουργία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πρωτόκολλο MAC που χρησιμοποιούν. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας υλοποιήθηκε για τις ανάγκες πλατφόρμας προσομοίωσης, αποδοτικό πρωτόκολλο MAC για δίκτυα 4^{ης} γενιάς και συγκεκριμένα για δίκτυα TDD/TDMA. Το πρωτόκολλο αυτό συνδυάζει κατά την ταξινόμηση των προς μετάδοση πακέτων τόσο το σηματοθορυβικό λόγο όσο και το χρόνο ζωής καθενός από αυτά. Επιπλέον εκμεταλλεύεται τη συνύπαρξη διαφορετικών τεχνολογιών δικτύων στέλνοντας χρήστες από το ένα στο άλλο σε περίπτωση υπερφόρτωσης. Τα ιδιαίτερα αυτά χαρακτηριστικά του έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των απορριφθέντων πακέτων και την αύξηση των ικανοποιημένων χρηστών. Η πλατφόρμα προσομοίωσης την οποία χρησιμοποιήσαμε θεωρεί την συνύπαρξη δύο δικτύων, ενός κυψελωτού UMTS συστήματος που βασίζεται στην τεχνολογία HSDPA και ενός ασυρμάτου τοπικού δικτύου που βασίζεται στην τεχνολογία Hiperlan 2.

Λέξεις Κλειδιά:

Hiperlan 2, HSDPA, πρωτόκολλο MAC, δίκτυα 4^{ης} γενιάς, κυψελωτά συστήματα, ασύρματα τοπικά δίκτυα, ταξινόμηση μετάδοσης, απόρριψη πακέτων, handover, χρόνος ζωής πακέτου.

Abstract

4th Generation (4G) networks are estimated to increase the interest in mobile networks world. It is expected that they will provide any service to any user at any time anywhere with a satisfying quality of service (QoS) and with respect to its profile, mobility, environment and its terminal capabilities. The difference from the current networks is that they will consist of multi-radio technologies and overlapping wireless networks creating in that way heterogeneous networks. Their efficiency depends on the MAC protocol algorithm that they use. In this Diploma Thesis an efficient MAC protocol algorithm for 4G TDD/TDMA networks was implemented. In order to estimate its efficiency the algorithm was used in a simulation platform. Priority for packet transmission is given based on a combination between packets time out value and their signal to noise ratio. Moreover the scheduler incorporates interoperability between the radio networks by provoking at the right time instance a specific number of users to start a handover procedure to a coexisting network in order to minimize the number of dropped packets and to maximize the number of satisfied users in the network. The simulation platform that was used, simulates two kinds of networks; a UMTS network which is based on HSDPA technology and a wireless local area network (WLAN) which is based on Hiperlan 2 technology.

Key Words

Hiperlan 2, HSDPA, MAC protocol, 4G networks, cellular systems, WLAN, scheduling, packet dropped, handover, packet time out value, interoperability.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή, κύριο Μιχαήλ Ε. Θεολόγου για τη βοήθεια, καθώς επίσης και για τις γνώσεις που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Ευχαριστώ επίσης για την πολύτιμη βοήθειά του, τον υποψήφιο διδάκτορα Al-Gizawi Tareq. Οι γνώσεις και η πείρα του σε συνδυασμό με το καλό κλίμα συνεργασίας που υπήρξε μεταξύ μας, συνετέλεσαν στην άμεση αντιμετώπιση των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν. Θα ήταν όμως μεγάλη παράλειψη αν δεν ευχαριστούσα τους γονείς μου. Τους ανθρώπους που με στήριξαν και με στηρίζουν με όλες τους τις δυνάμεις. Χωρίς αυτούς η πορεία μου θα ήταν δυσκολότερη και ίσως διαφορετική. Τους ευχαριστώ για την υλική αλλά πάνω από όλα για την απεριόριστη ηθική συμπαράσταση όπως επίσης ευχαριστώ για την ηθική συμπαράσταση άλλα και κάθε άλλη βοήθεια τον αδερφό μου Γιάννη.

*Αφιερώνεται στους γονείς μου
και στον αδερφό μου Γιάννη*

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

1	Εισαγωγή.....	17
1.1	Γενικά	17
1.2	Αντικείμενο διπλωματικής.....	18
1.3	Οργάνωση τόμου	19
2	HSDPA	21
2.1	Εισαγωγή	21
2.2	Κύρια χαρακτηριστικά του HSDPA	22
2.3	Διαδικασία προσαρμογής.....	23
2.4	Φάσεις εξέλιξης του HSDPA.....	25
2.5	Κανάλια	27
2.6	Στοιχεία συμπεριφοράς του HSDPA	28
3	HIPERLAN/2.....	33
3.1	Εισαγωγή	33
3.2	Χαρακτηριστικά του Hiperlan 2	34
3.3	Hiperlan 2 – layers.....	35
	3.3.1 <i>Convergence layer</i>	35
	3.3.2 <i>DLC layer</i>	36
	3.3.3 <i>Physical layer</i>	38
3.4	HIPERLAN/2 και UMTS	41
4	HSDPA ΚΑΙ HIPERLAN/2.....	43
4.1	Εισαγωγή	43
4.2	Συστήματα 4 ^{ης} Γενιάς.....	45
4.3	Πλεονεκτήματα και προβλήματα των ετερογενών δικτύων	48
4.4	Handover μεταξύ διαφορετικών δικτύων (Inter-System handover)	49
	4.4.1 <i>Απαιτήσεις στο στρώμα IP</i>	49
	4.4.2 <i>Απαιτήσεις στο στρώμα ζεύξης δεδομένων</i>	50
4.5	Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS): Αρχιτεκτονική & μηχανισμοί προσαρμογής	52

4.5.1	Αρχές αρχιτεκτονικής.....	52
4.5.2	Μηχανισμοί προσαρμογής	53
5	Το Πρωτόκολλο MAC που Υλοποιήθηκε	55
5.1	Εισαγωγή	55
5.2	Μοντέλο συστήματος.....	56
5.3	Πρωτόκολλο MAC	57
5.4	Ταξινόμηση με επιλεκτική απόρριψη πακέτων (SPL scheduler).....	60
5.5	Κριτήρια απόρριψης PDUs.....	62
5.6	Κριτήριο έναρξης διαδικασίας handover	62
5.7	Περιγραφή αλγορίθμου υλοποίησης.....	64
6	Σενάρια και υποθέσεις της πλατφόρμας προσομοίωσης	71
6.1	Εισαγωγή	71
6.2	Υποθέσεις κατά την προσομοίωση	72
6.2.1	Τοπολογία δικτύου.....	72
6.2.2	Μετάδοση.....	74
6.2.3	Μοντελοποίηση καναλιού και παρεμβολής.....	75
6.2.4	Κινητικότητα χρηστών.....	75
6.2.5	Είδη υπηρεσιών	76
6.2.6	Μέθοδος ταξινόμησης μετάδοσης.....	76
6.2.7	Είδος κινητών τερματικών.....	77
6.3	Διαδικασία προσομοίωσης.....	77
7	Αρχιτεκτονική της Πλατφόρμας Προσομοίωσης.....	79
7.1	Εισαγωγή	79
7.2	Κλάσεις.....	79
7.2.1	Κλάση HSDPA	80
7.2.2	Κλάση HIPERLAN/2.....	80
7.2.3	Κλάση Combined HSDPA-HIPERLAN/2.....	81
7.2.4	Κλάση Sector.....	82
7.2.5	Κλάση Access Point.....	82
7.2.6	Κλάση User	83
7.3	Αρχιτεκτονική Διαλειτουργικότητας	84

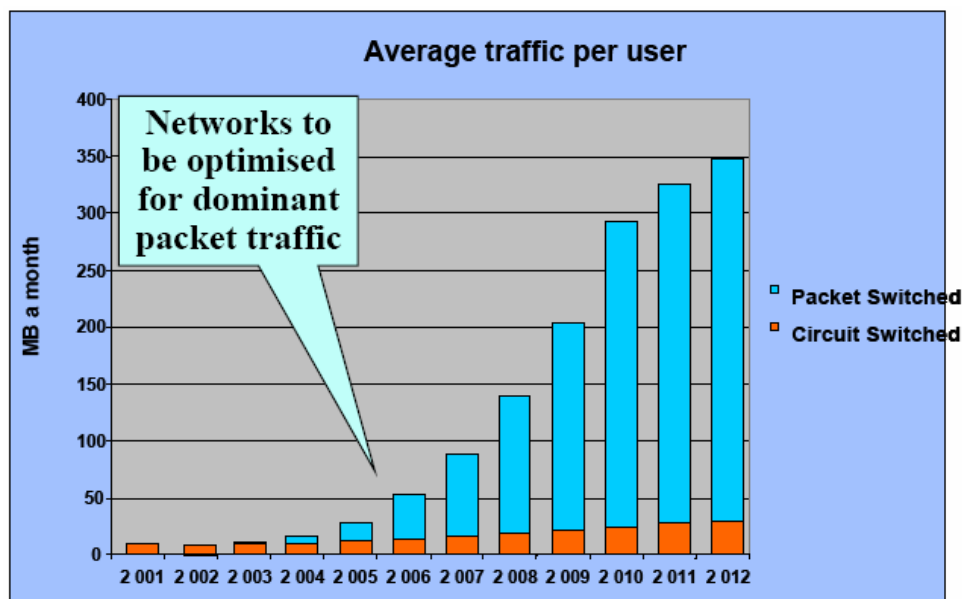
7.3.1	<i>Interoperability Test Cases</i>	85
7.3.2	<i>User Behaviour Model – UBM</i>	85
7.3.3	<i>Joint Environment Modeling</i>	87
7.3.4	<i>HSDPA & HIPERLAN/2 Transparent Modeling</i>	88
7.3.5	<i>Interoperability triggers entity</i>	88
7.3.6	<i>Monitoring and Tuning Unit</i>	90
7.3.7	<i>Interoperability Execution Unit</i>	90
8	Αποτελέσματα Προσομοίωσης	93
8.1	Εισαγωγή	93
8.2	RRACH.....	93
8.3	Απόρριψη PDUs	96
8.4	Ικανοποιημένοι Χρήστες	97
8.5	Provoked Handovers.....	98
8.6	Handovers	100
8.7	Throughput.....	102
	Βιβλιογραφία	105

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

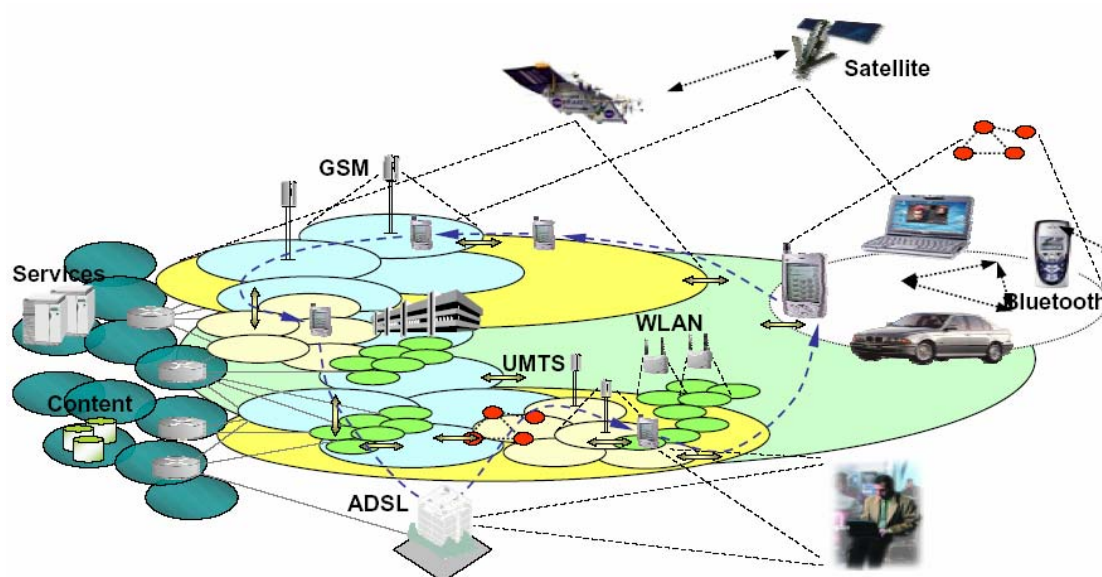
Τα παραδοσιακά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (2G cellular networks) όπως το GSM, χρησιμοποιήθηκαν κατά κόρον για υπηρεσίες φωνής και επομένως είναι δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος. Τα δίκτυα 2.5G, όπως το GPRS, αποτελούν βελτίωση των δικτύων 2^{ης} γενιάς και χρησιμοποιούν μεταγωγή κυκλώματος για μετάδοση φωνής και μεταγωγή πακέτου για μετάδοση υπηρεσιών δεδομένων. Η τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος απαιτεί να χρεώνεται ο χρήστης με βάση το χρόνο που καταλαμβάνει το κανάλι, αφού το διαθέσιμο εύρος ζώνης διατίθεται αποκλειστικά σε αυτόν. Αντιθέτως



Σχήμα 1.1. Σύγκριση χρήσης δικτύων μεταγωγής κυκλώματος και μεταγωγής πακέτου

η τεχνολογία μεταγωγής πακέτου βελτιστοποιεί τη χρήση του διαθέσιμου εύρους συχνοτήτων επιτρέποντας στους χρήστες να ανταγωνίζονται για αυτό, και χρεώνοντάς τους τελικά με βάση τον όγκο πληροφορίας που έστειλαν. Επομένως, η στροφή προς την τεχνολογία αυτή ήταν αναμενόμενη εξέλιξη. Στο διάγραμμα του σχήματος 1.1 φαίνεται η μέχρι σήμερα χρησιμοποίηση των δύο παραπάνω τεχνολογιών αλλά και η πρόβλεψη για τα επόμενα χρόνια.

Τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς προτάθηκαν με σκοπό να εξαλείψουν ορισμένα προβλήματα των δύο προηγούμενων γενεών, όπως χαμηλές ταχύτητες και ασύμβατες τεχνολογίες (TDMA/CDMA) σε διαφορετικές χώρες. Η σημαντικότερη όμως προσδοκία από τα δίκτυα αυτά ήταν η αύξηση του εύρους ζώνης, 128 Kbps για χρήση μέσα σε αυτοκίνητο και 2 Mbps σε περίπτωση σταθερού χρήστη. Ωστόσο η ανάπτυξη των ασυρμάτων τοπικών δικτύων (WLAN) και η μεγάλη επιτυχία που γνώρισαν, δημιούργησε την απαίτηση για συνδυασμό των δικτύων αυτών με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα 3^{ης} γενιάς (GSM/GPRS, UMTS) και τη δημιουργία ετερογενών δικτύων τα οποία θα έχουν την ικανότητα να στηρίζουν ευρέως διαδεδομένες υπηρεσίες προσφέροντας υψηλές ταχύτητες. Τα ετερογενή αυτά δίκτυα ονομάστηκαν δίκτυα 4^{ης} γενιάς (4G). Το εγχείρημα των 4G δικτύων υπόσχεται πρόσβαση των χρηστών σε ποικιλία υπηρεσιών, αυξημένη γεωγραφική κάλυψη, δυνατότητα χρησιμοποίησης μίας μόνο συσκευής, ένα μόνο λογαριασμό χρέωσης ανά χρήστη και μάλιστα με μειωμένο συνολικό κόστος καθώς και μεγαλύτερη αξιοπιστία σύνδεσης ακόμα και σε περίπτωση κατάρρευσης κάποιου από τα συνεργαζόμενα δίκτυα. Το σχήμα 2.2 απεικονίζει το όραμα των δικτύων 4^{ης} γενιάς.



Σχήμα 1.2. Δίκτυα 4^{ης} γενιάς

1.2 Αντικείμενο διπλωματικής

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας υλοποιήθηκε για τις ανάγκες πλατφόρμας προσομοίωσης, αποδοτικό πρωτόκολλο MAC για δίκτυα 4^{ης} γενιάς και συγκεκριμένα για δίκτυα TDD/TDMA. Το πρωτόκολλο αυτό μπορεί να υποστηρίξει ποικιλία υπηρεσιών φωνής, δεδομένων και πολυμέσων. Ένα σημαντικό ζήτημα κατά

την ανάπτυξη MAC πρωτοκόλλων είναι η ταξινόμηση των προς αποστολή πακέτων η οποία στην ουσία καθορίζει τη σειρά με την οποία θα μεταδώσουν οι χρήστες του δικτύου (περίπτωση άνω ζεύξης) ή τη σειρά με την οποία θα μεταδοθούν τα δεδομένα από το σταθμό βάσης προς τους χρήστες (περίπτωση κάτω ζεύξης). Στην περίπτωση μας η ταξινόμηση συνδυάζει για κάθε προς αποστολή πακέτο το χρόνο ζωής του καθώς και το σηματοθορυβικό λόγο του χρήστη στον οποίο ανήκει το πακέτο. Με τον όρο χρόνος ζωής ορίζεται το χρονικό διάστημα σε frames μέσα στο οποίο αν δεν σταλεί το πακέτο θα πρέπει να απορριφθεί. Συγκεκριμένα κατά την ταξινόμηση δίνεται μεγαλύτερη προτεραιότητα στα πακέτα με το μικρότερο χρόνο ζωής. Ανάμεσα σε πακέτα με ίσο χρόνο ζωής υψηλότερη προτεραιότητα έχει το πακέτο του χρήστη με τον μεγαλύτερο σηματοθορυβικό λόγο, δηλαδή εκείνου με τις καλύτερες συνθήκες διάδοσης.

Όταν ο χρόνος στο MAC frame δεν επαρκεί για να μεταδοθούν όλα τα πακέτα που έχουν εξαντλήσει τα χρονικά περιθώρια αναμονής, τότε απορρίπτονται πακέτα που αφορούν υπηρεσίες πολυμέσων και φωνής (υπηρεσίες που δείχνουν ως ένα βαθμό ανοχή στην απόρριψη). Τα πακέτα αυτά επιλέγονται από χρήστες με χαμηλό σηματοθορυβικό λόγο.

Το πρωτόκολλο εκμεταλλεύεται τη συνύπαρξη διαφορετικών δικτύων ως εξής: Όταν κάποιο δίκτυο αδυνατεί να ικανοποιήσει όλους τους χρήστες του διατηρώντας ταυτόχρονα την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών εξαναγκάζει την κατάλληλη στιγμή ένα αριθμό χρηστών να μεταβούν στο συνυπάρχον δίκτυο. Οι χρήστες αυτοί επιλέγονται από το σύνολο εκείνων που εξυπηρετούν υπηρεσίες δεδομένων (υπηρεσίες με ανοχή στην καθυστέρηση) και φροντίζεται να είναι αυτοί με το χαμηλότερο σηματοθορυβικό λόγο. Επιτυγχάνεται με τον τρόπο αυτό μείωση του αριθμού των απορριφθέντων πακέτων.

1.3 Οργάνωση τόμου

Θεωρώντας τα δίκτυα TDD/TDMA ως τους πιο ισχυρούς υποψηφίους για τη στελέχωση των δικτύων 4^{ης} γενιάς, η πλατφόρμα προσομοίωσης την οποία χρησιμοποιήσαμε θεωρεί ότι το κυψελωτό σύστημα που προσομοιώνει βασίζεται στην τεχνολογία HSDPA ενώ το ασύρματο τοπικό δίκτυο στην τεχνολογία Hiperlan 2.

Έτσι, στο **κεφάλαιο δύο** γίνεται μία σύντομη περιγραφή της τεχνολογίας HSDPA ενώ το **κεφάλαιο τρία** αφιερώνεται στην τεχνολογία Hiperlan 2.

Μια προσέγγιση της ταυτόχρονης χρησιμοποίησης των δικτύων Hiperlan 2 και HSDPA, καθώς επίσης και τα πλεονεκτήματα από μια τέτοια συνεργασία είναι το θέμα του **τετάρτου κεφαλαίου**.

Στο **κεφάλαιο πέντε** περιγράφεται αναλυτικά το πρωτόκολλο MAC που υλοποιήθηκε καθώς επίσης και ο τρόπος υλοποίησης του.

Τα σενάρια και οι υποθέσεις που αποτέλεσαν τη βάση για τη σχεδίαση και υλοποίηση της πλατφόρμας προσομοίωσης είναι το αντικείμενο του **έκτου κεφαλαίου** ενώ στο **κεφάλαιο επτά** περιγράφεται η αρχιτεκτονική της.

Τέλος το **όγδοο κεφάλαιο** είναι αποκλειστικά αφιερωμένο στα αποτελέσματα της προσομοίωσης του πρωτοκόλλου MAC που υλοποιήθηκε, στη σύγκριση του με άλλα προϋπάρχοντα πρωτόκολλα καθώς και στα συμπεράσματα που προέκυψαν.

2

HSDPA

2.1 Εισαγωγή

Η αυξημένες ανάγκες χωρητικότητας με σκοπό την παροχή υπηρεσιών υψηλών ταχυτήτων σε ασύρματο περιβάλλον επιβάλλει προηγμένες τεχνικές ασύρματης μετάδοσης οι οποίες πρέπει να προστεθούν στο ήδη υπάρχον κυψελωτό δίκτυο. Για την εκπλήρωση αυτού του στόχου καθώς και τη βελτίωση της αποδοτικότητας του φασματικού εύρους στα UMTS δίκτυα 3^{ης} γενιάς που στηρίζονται στην τεχνολογία WCDMA, προτάθηκε το HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). Το HSDPA στηρίζεται στην τεχνική της προσαρμογής του χρησιμοποιούμενου σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι, επιτυγχάνοντας έτσι διάφορους ρυθμούς μετάδοσης. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή ως Link Adaptation. Επιπλέον εισαγάγει τεχνικές για γρήγορη ταξινόμηση (fast scheduling) που θα επιτρέψουν τον αποδοτικό διαμοιρασμό των πόρων του καναλιού ανάμεσα σε διαφορετικούς χρήστες και διαφορετικές υπηρεσίες.

Η επιτυχία των κυψελωτών ασυρμάτων δικτύων 3^{ης} γενιάς βασίστηκε κυρίως στο γεγονός ότι παρείχαν το απαιτούμενο πλήθος υπηρεσιών διαφορετικής ποιότητας (QoS) χωρίς να επηρεάσουν σημαντικά το ρυθμό μετάδοσης, το ρυθμό λαθών και την καθυστέρηση. Η ανάγκη για υποστήριξη υπηρεσιών μεταγωγής πακέτων υψηλών ταχυτήτων, οδήγησε τον 3GPP στην ανάπτυξη μιας εξελιγμένης μορφής του UMTS βασισμένη στην τεχνολογία WCDMA την οποία ονόμασε HSDPA και η οποία αναφέρεται στην 5^η έκδοση προδιαγραφών. Σκοπός του HSDPA είναι να παρέχει ένα φασματικά αποδοτικό μέσο που θα μπορεί να υποστηρίξει υπηρεσίες οι οποίες απαιτούν υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων κατά την κάτω ζεύξη (downlink), όπως για παράδειγμα η πρόσβαση στο INTERNET και το file download. Προσαρμόζεται άριστα σε αστικό περιβάλλον καθώς και σε εφαρμογές εσωτερικών χώρων.

Για την επίτευξη των στόχων του, το HSDPA εισαγάγει το High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH). Υποθέτοντας κυψέλες ισοδύναμου μεγέθους και χρησιμοποιώντας μετάδοση πολλαπλής διαίρεσης κώδικα, είναι πολύ πιθανόν να

πετύχουμε μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων 10Mbps ενώ η μέγιστη θεωρητική τιμή είναι 14Mbps. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του throughput κατά έξι με επτά φορές σε σύγκριση με το Downlink Shared Channel (DSCH) που βρίσκεται στα standards του 3GPP έκδοση '99. Μάλιστα με τη χρησιμοποίηση διαφόρων ειδών κεραιών (όπως για παράδειγμα κεραιές MIMO) προσδοκείται η επίτευξη ακόμα μεγαλύτερων ταχυτήτων της τάξης των 20 με 30 Mbps.

2.2 Κύρια χαρακτηριστικά του HSDPA

Η περίπτωση των καναλιών που αφιερώνονται αποκλειστικά σε ένα μόνο χρήστη (Dedicated Channels, DCH) σχεδιάστηκε για να εξυπηρετήσει υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (circuit-switched services) οι οποίες απαιτούν συγκεκριμένη ποιότητα (QoS) δηλαδή σταθερό ρυθμό μετάδοσης και αυστηρές απαιτήσεις πραγματικού χρόνου. Τα διαμοιραζόμενα σε διάφορους χρήστες κανάλια εισήχθησαν για να εξυπηρετήσουν υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων οι οποίες είναι προορισμένες για downlink και δεν έχουν σταθερό συνεχόμενο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, αλλά η κίνηση δεδομένων παρουσιάζει εξάρσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι υπηρεσίες αυτές είναι επίσης λιγότερο ευαίσθητες σε καθυστερήσεις από τις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος. Επιπλέον η χρήση καναλιών καθένα από τα οποία μοιράζεται σε διάφορους χρήστες, εγγυάται ότι οι πόροι των καναλιών χρησιμοποιούνται αποδοτικότερα και είναι φθηνότεροι για τους χρήστες σε σύγκριση με την περίπτωση που ένα κανάλι αφιερώνεται αποκλειστικά σε ένα μόνο χρήστη. Άλλωστε ένα οικονομικά αποδοτικό σύστημα είναι απαραίτητο ώστε οι χρήστες να είναι πρόθυμοι να πληρώσουν για τις υψηλών ταχυτήτων παρεχόμενες υπηρεσίες. Τα διαμοιραζόμενα και τα αφοσιωμένα σε ένα μόνο χρήστη κάθε φορά κανάλια, μπορούν να μοιραστούν το ίδιο φάσμα συχνοτήτων χρησιμοποιώντας πολυπλεξία κώδικα.

Το HSDPA βασίζεται σε διαμοιραζόμενα κανάλια τα οποία έχουν την ικανότητα να υποστηρίξουν υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν την πολυπλεξία χρόνου και κώδικα ανάμεσα στους διάφορους χρήστες. Κατά συνέπεια ταιριάζουν απόλυτα σε κίνηση δεδομένων η οποία από τη φύση της παρουσιάζει εξάρσεις μέσα σε ένα περιβάλλον πολλαπλών χρηστών.

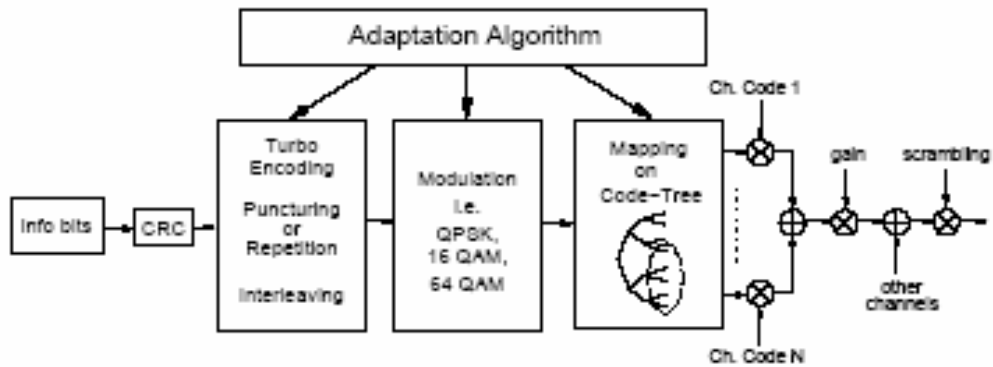
Επιπλέον προβλέπονται τρεις βασικές τεχνολογίες οι οποίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την αστραπιαία προσαρμογή των παραμέτρων μετάδοσης στις στιγμιαίες συνθήκες του ραδιοδιαύλου.

- Οι τεχνικές γρήγορης προσαρμογής (Link Adaptation) επιτρέπουν τη χρησιμοποίηση φασματικά αποδοτικών σχημάτων διαμόρφωσης όταν οι συνθήκες του καναλιού το επιτρέπουν, και την επαναφορά στην ισχυρή QPSK όταν οι συνθήκες γίνονται λιγότερο ευνοϊκές. Το πρωτόκολλο MAC στο σταθμό βάσης επιλέγει το κατάλληλο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης ανάλογα με την παρούσα κατάσταση του ραδιοδιαύλου λαμβάνοντας βέβαια υπόψη και τη διάρκεια της χρονοσχισμής μετάδοσης (TTI). Η επιλογή βασίζεται σε διάφορα κριτήρια σύμφωνα με το συνδυασμό των στοιχείων που δίνονται από το τερματικό του χρήστη, τη διαθέσιμη ισχύς του καναλιού HS-DPCCH (High Speed Dedicated Physical Control Channel), την απαιτούμενη ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών αλλά και την κίνηση στην κυψέλη.

- Οι αλγόριθμοι HARQ (Hybrid Automatic Repeat request) ζητούν αστραπιαία την επανεκπομπή δεδομένων που αλλοιώθηκαν κατά τη μετάδοση. Η αρχική πληροφορία αποθηκεύεται και συνδυάζεται με αυτή που επανεκπέμπεται προτού γίνει προσπάθεια αποκωδικοποίησης της. Με τον τρόπο αυτό αντισταθμίζονται τυχόν λάθη του μηχανισμού Link Adaptation. Αν όλα τα δεδομένα πληροφορίας αποκωδικοποιηθούν σωστά τότε στέλνεται επιβεβαίωση προς το σταθμό βάσης. Σε αντίθετη περίπτωση ζητείται η άμεση επανεκπομπή τους. Στη συνέχεια το τερματικό του χρήστη συνδυάζει την πληροφορία που επανεκπέμφθηκε με την αρχική (διαδικασία Soft-Combining) αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα σωστής αποκωδικοποίησης της πληροφορίας. Οι αιτήσεις επανεκπομπής επαναλαμβάνονται έως ότου γίνει σωστή αποκωδικοποίηση ή μέχρι να ξεπεραστεί κάποιο προκαθορισμένο κατώφλι.
- Το fast scheduling ελέγχει την κατάληψη του καναλιού από τους χρήστες και κατ' επέκταση καθορίζει τη συμπεριφορά όλου του συστήματος. Αυτή η τεχνική εκμεταλλεύεται την ποικιλία χρηστών και προσπαθεί να εξυπηρετήσει τους χρήστες που παρουσιάζουν ευνοϊκότερες συνθήκες ραδιοδιαύλου οπότε μπορούν να επιτύχουν και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Παρ' όλα αυτά διατηρεί ταυτόχρονα κάποιο συγκεκριμένο βαθμό δικαιοσύνης. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης δεν είναι ανάγκη να καθοριστούν πλήρως. Διαφορετικοί αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικά σενάρια. Έτσι ένας αλγόριθμος μπορεί να σχεδιαστεί ανάλογα με τις απαιτήσεις διαφορετικών παρόχων υπηρεσιών ή διαφορετικών συνθηκών περιβάλλοντος. Τα κριτήρια με βάση τα οποία ένας αλγόριθμος κάνει την ταξινόμηση χωρίς βέβαια να περιορίζεται μόνο σε αυτά είναι : 1) η προβλεπόμενη κατάσταση του διαύλου, 2) το υπάρχον φορτίο στην κυψέλη, 3) ο βαθμός προτεραιότητας κάποιων υπηρεσιών (για παράδειγμα υπηρεσίες πραγματικού χρόνου – real time services), 4) η τρέχουσα ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών (throughput, delay etc) σε σύγκριση με αυτή που ζητήθηκε ή αυτή που είναι απαραίτητη για μία συγκεκριμένη υπηρεσία. Το fast scheduling ελέγχεται σε κάθε σταθμό βάσης από το πρωτόκολλο Medium Access Control – high speed (MAC-hs) .

2.3 Διαδικασία προσαρμογής

Όπως αναφέρθηκε προωτέρα ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του HSDPA είναι η δυνατότητα επιλογής των κατάλληλων σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (Adaptive Modulation and Coding - AMC) ανάλογα με τις συνθήκες του καναλιού. Για να επιτευχθεί αυτό τα χαρακτηριστικά της ζεύξης πρέπει να προσδιοριστούν από το σταθμό βάσης ο οποίος βασίζεται στις πληροφορίες που του στέλνει το κινητό τερματικό. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας είναι : 1) η ικανότητα επίτευξης μεγαλύτερου throughput σε ολόκληρη την κυψέλη, 2) μείωση της παρεμβολής που επηρεάζει το μεταδιδόμενο σήμα και 3) ενισχυμένη αποτελεσματικότητα σε συνδυασμό με τις τεχνικές ταξινόμησης που αναφέρθηκαν. Παρακάτω φαίνεται ένα διάγραμμα που δείχνει σχηματικά τη διαδικασία στο σταθμό βάσης.



Σχήμα 2.1. Διαδικασία προσαρμογής στο σταθμό βάσης

Για την επιλογή των κατάλληλων σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης ο σταθμός βάσης πρέπει να είναι ανά πάσα στιγμή ενήμερος για τα χαρακτηριστικά του καναλιού. Λόγω της συνεχής μεταβολής του διαύλου τυχόν καθυστέρηση στην ενημέρωση του σταθμού βάσης μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες επιλογές σχημάτων. Αυτό θα έχει ως συνέπεια είτε την εκπομπή υψηλής ισχύος οπότε καταναλώνεται άσκοπα η χωρητικότητα του δικτύου, είτε την επιλογή ενός ευαίσθητου σχήματος και κατά συνέπεια την αύξηση της πιθανότητας λάθους. Οι μέθοδοι σύμφωνα με τις οποίες επιλέγεται το καταλληλότερο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης διακρίνονται στις εξής τρεις :

1. Το τερματικό του χρήστη εκτιμά τα χαρακτηριστικά του καναλιού, βρίσκει το καταλληλότερο σχήμα μετάδοσης και το εκπέμπει προς το σταθμό βάσης.
2. Το τερματικό του χρήστη εκτιμά τα χαρακτηριστικά του καναλιού, τα εκπέμπει προς το σταθμό βάσης και αυτός αναλαμβάνει να βρει το κατάλληλο σχήμα μετάδοσης.
3. Ο σταθμός βάσης εκτιμά τα χαρακτηριστικά του καναλιού και βρίσκει το καταλληλότερο σχήμα μετάδοσης με βάση το λαμβανόμενο σήμα από το κανάλι DPCH (Dedicated Physical Channel), χωρίς δηλαδή τη συμμετοχή του κινητού τερματικού.

Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι ο σταθμός βάσης λαμβάνει υπόψη του στοιχεία όπως η τοπολογία και η κατάσταση του δικτύου, η κίνηση και οι διαθέσιμοι πόροι ανά πάσα στιγμή. Είναι λοιπόν πιθανόν το σχήμα που τελικά θα χρησιμοποιηθεί να είναι διαφορετικό από αυτό που πρότεινε το κινητό τερματικό.

Τα είδη διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν δύο είδη ψηφιακής διαμόρφωσης φάσης (4PSK και 8PSK) και δύο τετραδικής διαμόρφωσης πλάτους (16QAM και 64QAM). Όσον αφορά τα σχήματα κωδικοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί Turbo Coding με ρυθμό κωδικοποίησης που κυμαίνεται από $\frac{1}{4}$ έως $\frac{3}{4}$ ή να μη χρησιμοποιηθεί κωδικοποίηση. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι επιτρεπτοί συνδυασμοί των σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.

MCS	Modulation	R_c	A	B	C	D
1	QPSK	1/4	◇			
2	QPSK	1/2	◇	◇	◇	◇
3	QPSK	3/4	◇	◇	◇	
4	8 PSK	3/4	◇			
5	16 QAM	1/2	◇	◇	◇	◇
6	16 QAM	3/4	◇	◇	◇	◇
7	64 QAM	3/4	◇	◇		

2.4 Φάσεις εξέλιξης του HSDPA

Ο οργανισμός 3GPP αναγνωρίζει τρεις φάσεις στην εξέλιξη του HSDPA με την τρίτη να μελετάται ακόμα και να μην είναι πλήρως καθορισμένη. Στην πρώτη φάση έχουμε την εισαγωγή νέων βασικών λειτουργιών με αντικειμενικό σκοπό την επίτευξη μέγιστου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων 10.8 Mbps. Στη δεύτερη φάση προβλέπεται η εισαγωγή νέων τεχνολογιών κεραιών που θα ανεβάσουν τη μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων κοντά στην τιμή των 30 Mbps ενώ η τρίτη φάση προβλέπει την εισαγωγή OFDM air-interface και επίτευξη μέγιστου ρυθμού μετάδοσης κοντά στα 50 Mbps.

Οι βασικές αρχές των δύο πρώτων φάσεων αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω.

➤ Φάση 1

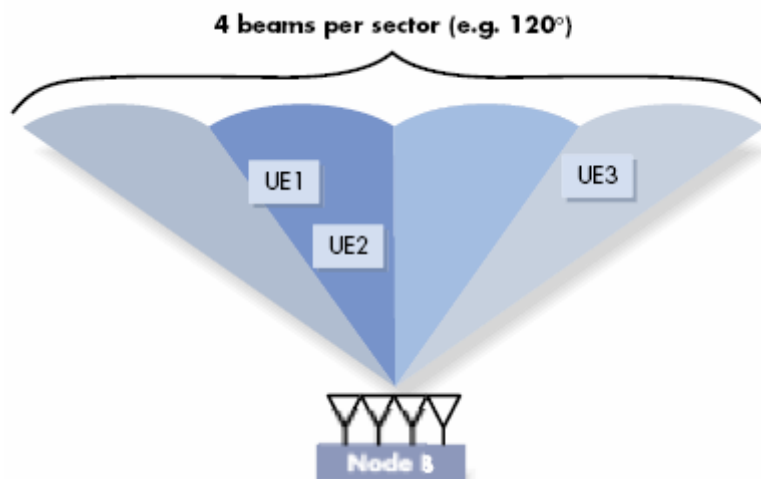
- Το HSDPA χρησιμοποιεί τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων με τα κανάλια της έκδοσης '99 του 3GPP χρησιμοποιώντας πολυπλεξία κώδικα.
- Χρησιμοποιεί τρία καινοτόμα φυσικά κανάλια: 1) Το High Speed Physical Downlink Shared Channel (HS-PDSCH) το οποίο μεταφέρει κυρίως τα πακέτα με τα δεδομένα. 2) Το High Speed Shared Control CHannel (HS-SCCH) το οποίο είναι κανάλι κάτω ζεύξης και μεταφέρει κυρίως πληροφορίες σήματος, όπως το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, την ταυτότητα του κινητού τερματικού κ.α. 3) Το High Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH) το οποίο μεταφέρει και αυτό πληροφορίες σήματος αλλά πρόκειται για κανάλι άνω ζεύξης.
- Χρησιμοποιεί προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση η οποία ρυθμίζεται από το σταθμό βάσης ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες του καναλιού όπως αυτές αναφέρονται από το χρήστη.
- Εισαγάγει το πρωτόκολλο MAC-hs το οποίο λειτουργεί στο σταθμό βάσης και αποθηκεύει τα πακέτα που περιέχουν την πληροφορία ταξινομώντας τα σε σειρές προτεραιότητας ανάλογα με την συνθήκες του καναλιού που αναφέρει ο κάθε χρήστης. Αποφεύγεται έτσι η ταξινόμηση πακέτων χρηστών οι οποίοι την παρούσα στιγμή έχουν χειριστές συνθήκες μετάδοσης. Επίσης παραλαμβάνει και διαχειρίζεται τις αιτήσεις για επαναμετάδοση πακέτων τα οποία χάθηκαν. Οι αλγόριθμοι επαναμετάδοσης (HARQ) που χρησιμοποιούνται προσφέρουν χαμηλότερο ρυθμό λαθών από τους συνηθισμένους αλγόριθμους τέτοιου είδους. Η πληροφορία που επανεκπέμπεται μπορεί να διαφέρει από την αρχική όσον αφορά το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησής της.

- Ο 3GPP δεν περιορίζει τον αριθμό των χρηστών που μπορούν να συνυπάρξουν στο HSDPA, ωστόσο αυτός περιορίζεται πρακτικά από τον αριθμό των καναλιών άνω ζεύξης και/ή τον αριθμό των ουρών προτεραιότητας που μπορεί να διαχειριστεί ο σταθμός βάσης.
- Τα κανάλια HS-PDSCH και HS-SCCH δεν υποστηρίζουν υπηρεσία Soft Handover η οποία όμως είναι εφικτή στο κανάλι HS-DPCCH.
- Η μέγιστη ισχύς των καναλιών HS-PDSCH και HS-SCCH ανά κυψέλη καθορίζεται από τον RNC (Radio Network Controller). Είναι δε εφικτό να χρησιμοποιήσουν επιπλέον τη διαθέσιμη ισχύς ανά κυψέλη που δεν χρησιμοποιείται από τα κανάλια που δεν ανήκουν στο HSDPA.
- Όταν χρησιμοποιείται διαμόρφωση 16QAM οι απαιτήσεις για γραμμική λειτουργία του πομπού του σταθμού βάσης είναι αυξημένες σε σχέση με αυτές της έκδοσης '99.

➤ Φάση 2

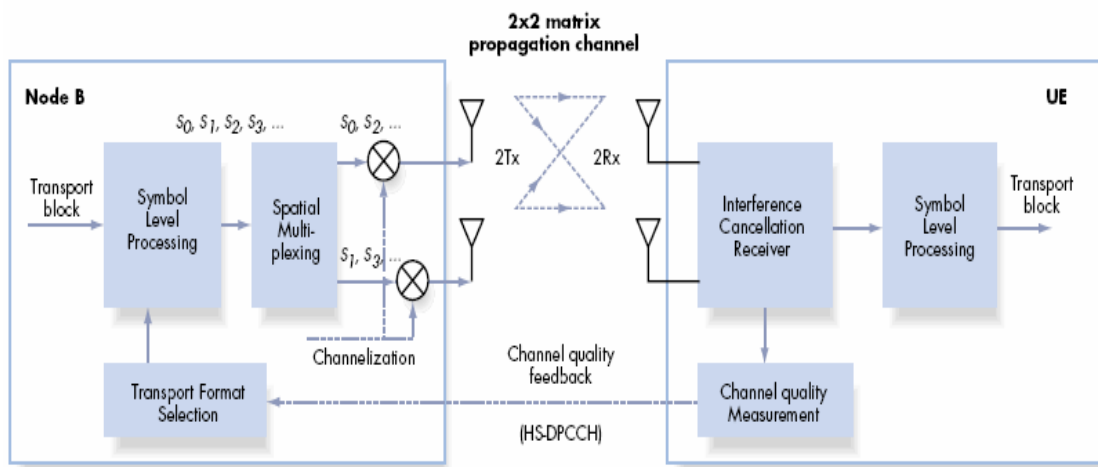
- *Κεραίες πολλαπλής μετάδοσης.*

Κύριος σκοπός της χρήσης κεραιών πολλαπλής μετάδοσης σε περιβάλλοντα μακροκυψελών είναι η βελτίωση της ραδιοκάλυψης σε ρυθμούς μεγαλύτερους των 384Kbps. Σε ένα τυπικό δίκτυο χρησιμοποιούνται δύο με τέσσερις κεραίες εκπομπής σε κάθε sector. Οι τεχνικές πολλαπλής μετάδοσης που προτείνονται για το HSDPA είναι η διαμόρφωση του εύρους δέσμης και η διαφορική μετάδοση. Σύμφωνα με την πρώτη η επιθυμητή τιμή κέρδους επιτυγχάνεται εστιάζοντας το εύρος δέσμης προς συγκεκριμένη κατεύθυνση (προς την κατεύθυνση του χρήστη) ενώ παράλληλα διπλασιάζουμε τον αριθμό των κεραιών. Ένα τέτοιο σενάριο φαίνεται στο *σχήμα 2.3* όπου χρησιμοποιείται επίσης πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου (SDMA). Οι χρήστες 1 και 3 παραλαμβάνουν ένα πακέτο πληροφορίας ταυτόχρονα. Η διαφορική μετάδοση είναι δυνατόν να επιτευχθεί εκπέμποντας όμοια σήματα μέσω καναλιών με ασυσχέτιστη εξασθένηση. Για να γίνει αυτό τοποθετούμε τις κεραίες εκπομπής, οι οποίες είναι το πολύ δύο, σε απόσταση δέκα έως είκοσι μήκη κύματος μεταξύ τους ή τις ρυθμίζουμε να εκπέμπουν σε διαφορετικές πολώσεις. Ο 3GPP στην 5^η έκδοση προτείνει δύο σχήματα για την παραπάνω περίπτωση. Το σχήμα ανοιχτού βρόχου (open loop Space Time Transmit Diversity) και αυτό του κλειστού βρόχου (close loop Space Time Transmit Diversity).



Σχήμα 2.3. Κεραία πολλαπλής μετάδοσης

- *Τεχνολογία πολλαπλής εισόδου πολλαπλής εξόδου (MIMO).*
Τα συστήματα που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη μέθοδο έχουν πολλαπλές κεραιές τόσο στην πλευρά της εκπομπής όσο και σε αυτή της λήψης και εφαρμόζουν συνήθως πολυπλεξία χώρου. Η ροή των προς μετάδοση δεδομένων χωρίζεται σε δύο για παράδειγμα ροές, καθεμία από τις οποίες θα έχει τη μισή ταχύτητα μετάδοσης της αρχικής, και θα μεταδοθούν από δύο διαφορετικές κεραιές χρησιμοποιώντας την ίδια κωδικοποίηση καναλιού. Για την ανίχνευση του χωρικά πολυπλεγμένου σήματος είναι απαραίτητη η χρήση ασυσχέτιστων καναλιών διάδοσης, πολλαπλών κεραιών λήψης και κατάλληλων μεθόδων για την απαλοιφή της παρεμβολής. Η πολυπλεξία χώρου έχει τη δυνατότητα αυξάνοντας τον αριθμό των κεραιών να αυξήσει τη μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων. Μια πρώτη προσέγγιση δείχνει ότι η αύξηση αυτή είναι γραμμική. Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας δύο κεραιές εκπομπής και δύο κεραιές λήψης η αναμενόμενη ταχύτητα μετάδοσης είναι πάνω από 20Mbps ενώ με μία κεραιά όπως προαναφέρθηκε ήταν 10.8 Mbps. Για τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας MIMO σε συστήματα HSDPA είναι απαραίτητο να προσαρμοστεί ο μηχανισμός του fast link adaptation ώστε να διαχειρίζεται πολλαπλές ροές δεδομένων. Για παράδειγμα είναι δυνατή η μετάδοση των δεδομένων που περιέχονται σε μία χρονοσχιμή (TTI) μέσω πολλών ροών δεδομένων άρα και διαφορετικών κεραιών, ή η μετάδοσή τους μέσω μίας μόνο ροής. Μία εφαρμογή της τεχνολογίας MIMO σε σύστημα HSDPA φαίνεται στο *σχήμα 2.4* όπου τα δεδομένα ενός TTI μεταδίδονται μέσω μίας μόνο ροής.

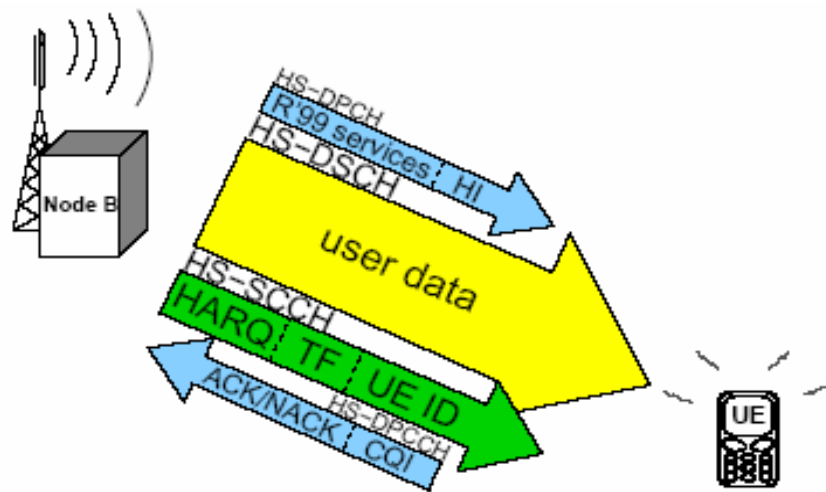


Σχήμα 2.4. Παράδειγμα εφαρμογής MIMO

2.5 Κανάλια

Αναφερθήκαμε παραπάνω περιληπτικά στα κανάλια που χρησιμοποιεί το HSDPA και τονίστηκε ότι είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του. Θα αναλύσουμε τη λειτουργία αυτών των καναλιών κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας των τερματικών των χρηστών με το σταθμό βάσης. Οποιαδήποτε χρονική στιγμή υπάρξουν στο σταθμό βάσης δεδομένα με παραλήπτη ένα συγκεκριμένο χρήστη, τότε αυτός ειδοποιείται μέσω του μηχανισμού High Speed Indicator (HI). Αμέσως ο χρήστης μπορεί να ξεκινήσει την παραλαβή της πληροφορίας μέσω του καναλιού

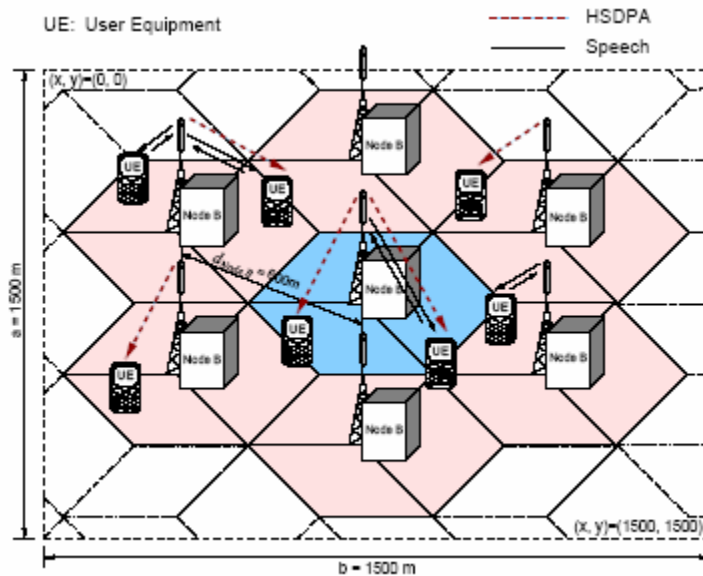
HS-PDSCH. Το κανάλι περιλαμβάνει μια ουρά καταχώρησης και ένα διακομιστή (server). Τα δεδομένα φτάνουν στην ουρά του καναλιού και ο server τα διασπά σε κομμάτια ίσα με το μέγεθος του TTI. Τα κομμάτια αυτά μεταδίδονται προς το χρήστη μέσω του καναλιού και στη συνέχεια ο server παραλαμβάνει από την ουρά το επόμενο πακέτο δεδομένων το οποίο μπορεί να ανήκει στον ίδιο ή σε διαφορετικό χρήστη. Τα είδη διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί το HS-PDSCH είναι QPSK, 8PSK, 16QAM και 64QAM και η ισχύς του ελέγχεται από το σταθμό βάσης. Σε κάθε κυψέλη υπάρχουν πάνω από δεκαπέντε τέτοια κανάλια και η αθροιστική ταχύτητα μετάδοσης ξεπερνά τα 14.4 Mbps ανά κυψέλη. Η σηματοδότηση στην κάτω ζεύξη γίνεται μέσω του καναλιού HS-SCCH. Ένα τέτοιο κανάλι εκχωρείται σε κάποιο χρήστη μόνο όταν ο χρήστης έχει ταξινομηθεί ώστε να παραλάβει δεδομένα. Μέσω του HS-SCCH ο χρήστης ενημερώνεται για το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί αλλά και για την περίπτωση που πρόκειται να επανεκπεμφθούν δεδομένα που αλλοιώθηκαν κατά την αρχική μετάδοση. Συγκεκριμένα ο χρήστης αποκωδικοποιεί το πεδίο που αναφέρει την ταυτότητα χρήστη και αν ταυτίζεται με τη δικιά του προχωράει στην αποκωδικοποίηση και των υπολοίπων πεδίων. Η σηματοδότηση στην άνω ζεύξη γίνεται μέσω του καναλιού HS-DPCCH. Εκπέμπονται οι επιβεβαιώσεις για την παραλαβή ή μη των απεσταλμένων πληροφοριών αλλά και τα χαρακτηριστικά του καναλιού όπως αυτά έχουν εκτιμηθεί από το χρήστη. Και τα τρία κανάλια χρησιμοποιούν χρονοσχισμή μετάδοσης (TTI) μεγέθους 2 ms. Για καλύτερη κατανόηση των όσων αναφέρθηκαν παρατίθεται το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.5. Απεικόνιση των καναλιών του HSDPA

2.6 Στοιχεία συμπεριφοράς του HSDPA

Παρακάτω παραθέτουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από προσομοίωση του δικτύου HSDPA ώστε να δούμε ορισμένα στοιχεία της συμπεριφοράς του. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή δικτύου που φαίνεται στο σχήμα 2.6 και αποτιμήθηκε η συμπεριφορά της κεντρικής κυψέλης.



Σχήμα 2.6. Τοπολογία δικτύου προσομοίωσης

Η κατεύθυνση κίνησης των χρηστών ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή ενώ η ταχύτητά τους ορίστηκε στα 30km/h. Η διάδοση του σήματος θεωρήθηκε ότι γίνεται με βάση το μοντέλο Okumura –Hata και ότι σε κάθε τομέα έχουμε αφίξεις Poisson. Στον πίνακα φαίνεται ο αριθμός των χρηστών που είχε κάθε μία από τις τρεις υπηρεσίες, για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις φορτίου στο δίκτυο. Οι υπηρεσίες φωνής παρέχονται με παράγοντα διασποράς (spreading factor – SF) 128 code στην κάτω ζεύξη, και βαθμό χρησιμοποίησης καναλιού $\alpha=50\%$. Για τις web browsing (www) υπηρεσίες έχουμε $\alpha=6\%$ εξαιτίας των μεγάλων διαστημάτων που ο χρήστης διαβάζει. Οι FTP υπηρεσίες αντιστοιχούν σε file download μεγέθους 1Mbyte με μέγεθος πακέτου 1460 byte και service activity $\alpha=100\%$. Τόσο για τις web browsing όσο και για τις FTP υπηρεσίες προβλέπονται SF 16 και αποκλειστικά αφιερωμένα κανάλια για κάθε σύνδεση με ταχύτητα 144Kbps ή χρησιμοποίηση των διαμοιραζόμενων καναλιών (HS-DSCH). Στην πρώτη περίπτωση η υπηρεσία υπόκειται σε έλεγχο της ισχύος εκπομπής και υπάρχει δυνατότητα για soft handover ενώ στη δεύτερη ούτε σε έλεγχο ισχύος υπόκειται ούτε η δυνατότητα του soft handover παρέχεται. Λοιπά χαρακτηριστικά της προσομοίωσης φαίνονται στον πίνακα δίπλα.

Service	Setup (Load)	1 (50%)	2 (75%)	3 (100%)
12.2 kbps speech		20	30	40
Internet		10	15	20
File download (FTP)		2	3	4

Physical Channel Settings	
UL frequency	1920–1925 MHz
DL frequency	2110–2115 MHz
Bandwidth	5 MHz
Radio frame duration	10 ms
Max. spreading factor UL	256
Max. spreading factor DL	512
Modulation (w/o LA)	QPSK
Max. Tx power at Node B	43 dBm
CPICH power	32 dBm
Max. Tx power at UE	27 dBm
HS-DSCH power	25 dBm

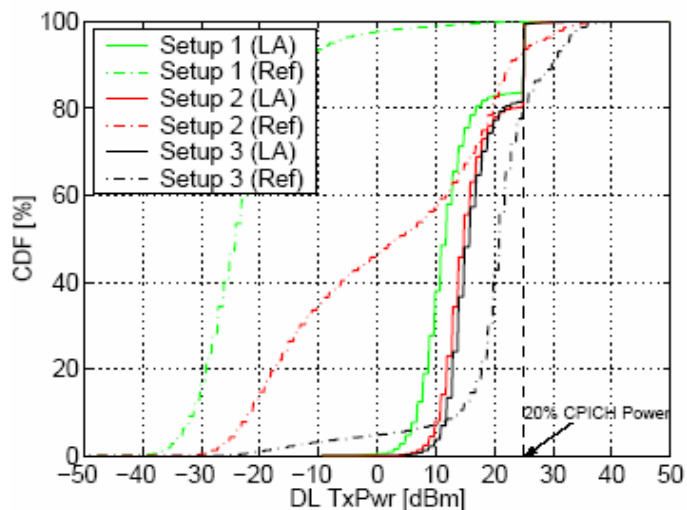
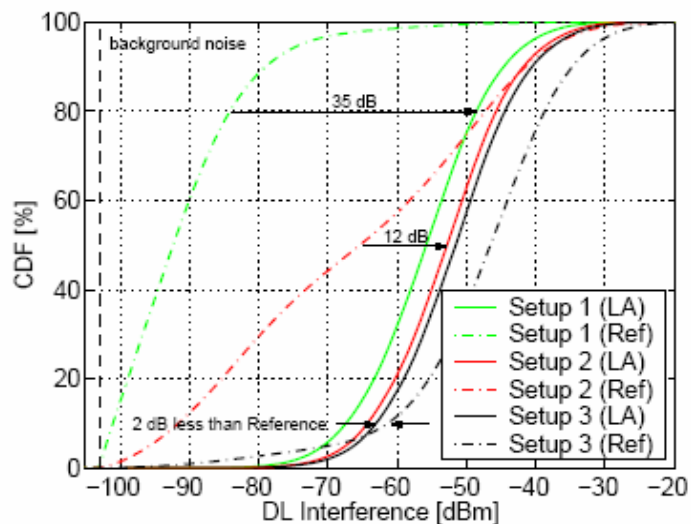
Όταν η απόσταση του τερματικού από το σταθμό βάσης είναι αρκετά μικρή, η ισχύς που εκπέμπεται είναι αρκετά μεγάλη για τη συγκεκριμένη ζεύξη. Όμως όταν ο

χρήστης κινείται στα όρια της κυψέλης ή όταν η παρεμβολή είναι σημαντικά μεγάλη χρησιμοποιείται αναγκαστικά το πιο ισχυρό σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης και μάλιστα στη χειρότερη περίπτωση ούτε αυτό μπορεί να προσφέρει τον επιθυμητό ρυθμό λαθών. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης ελέγχεται ο ρυθμός λαθών και ανάλογα με την τιμή του γίνεται η επιλογή του κατάλληλου σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Με αυτό τον τρόπο κρατείται χαμηλά ο ρυθμός λανθασμένων μεταδόσεων και αποφεύγεται μεγάλος αριθμός επανεκπομπών. Επίσης ανά τακτά χρονικά διαστήματα το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης αλλάζει για να ελεγχθεί αν είναι δυνατή η μετάβαση σε μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης χωρίς ο ρυθμός λαθών να ξεπεράσει το προκαθορισμένο κατώφλι.

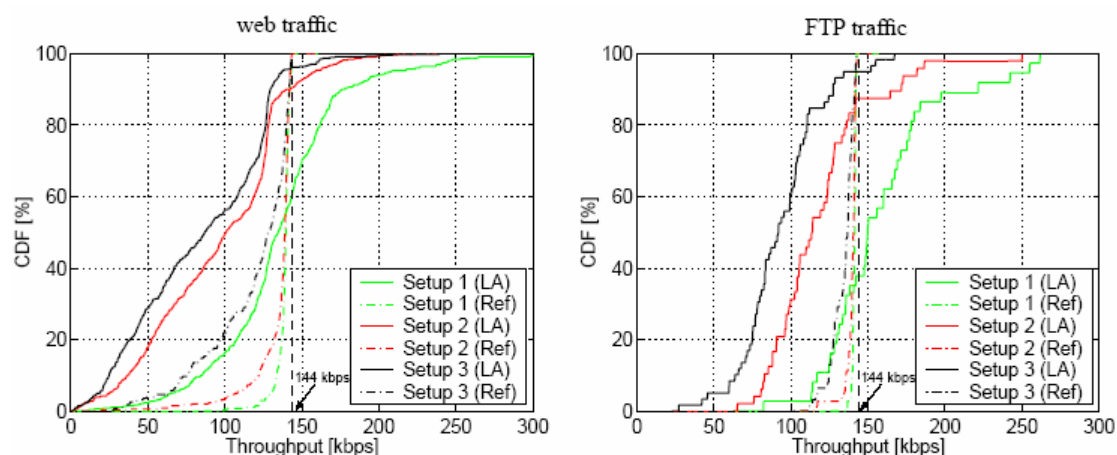
Πραγματοποιήθηκαν δύο σενάρια προσομοίωσης. Στο πρώτο οι υπηρεσίες δεδομένων (web browsing και ftp) εξυπηρετούνται από αφιερωμένα αποκλειστικά κανάλια (Dedicated Physical Channels - DPCH) με ταχύτητα 144Kbps. Κατά το χρονικό διάστημα που η υπηρεσία είναι ανενεργή (π.χ περίοδοι διαβάσματος σε web browsing υπηρεσίες) το κανάλια απελευθερώνεται. Στο δεύτερο σενάριο χρησιμοποιήθηκε η περίπτωση του HSDPA δηλαδή οι προαναφερθείσες υπηρεσίες χρησιμοποιούν πάνω από δέκα HS-DSCH κανάλια.

Από τα αποτελέσματα που απεικονίζονται στην πρώτη γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι στην περίπτωση του HSDPA τα επίπεδα παρεμβολής είναι σχεδόν ίδια και για τις τρεις περιπτώσεις φορτίου στο δίκτυο. Αυτό γιατί όταν έχουμε χαμηλό φορτίο επιλέγεται λιγότερο αυστηρό σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (για την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η παρεμβολή.

Φαίνεται επίσης από το γράφημα ότι για περιπτώσεις μεγάλου φορτίου το HSDPA παρουσιάζει μικρότερα επίπεδα παρεμβολής. Από την επόμενη γραφική παράσταση φαίνεται ότι για το HSDPA, η εκπεμπόμενη από τη βάση ισχύς για φορτίο 75% (Setup 2) είναι σχεδόν ίδια με αυτή για φορτίο 100% (Setup 3). Επίσης, για φορτίο 100% η χρήση αποκλειστικά αφιερωμένων καναλιών αυξάνει την εκπεμπόμενη ισχύς σε σύγκριση με το HSDPA. Αυτό γιατί λόγω του ελέγχου της ισχύος σε κάθε ζεύξη καθένα από τα κανάλια αναγκάζεται σε αύξηση της εκπεμπόμενης ισχύος προσπαθώντας να αντισταθμίσει τα αυξημένα επίπεδα παρεμβολής.



Η ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων μπορεί να αυξηθεί πάνω από 144Kbps με τη χρησιμοποίηση του μηχανισμού Link Adaptation που προσφέρει το HSDPA. Το γεγονός αυτό είναι φανερό στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις. Μάλιστα είναι εντονότερο στην περίπτωση των υπηρεσιών FTP αφού στις web browsing υπηρεσίες



η μεταφορά δεδομένων σταματάει ανά τακτά χρονικά διαστήματα και όταν επανέρχεται ξεκινάει με το πιο ισχυρό σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης γεγονός που ελαττώνει την ταχύτητα μεταφοράς. Η αύξηση της κίνησης ανά κυψέλη προκαλεί όπως είναι φανερό μείωση του throughput αφού η ποιότητα της ζεύξης χειροτερεύει και αυξάνεται ο αριθμός των επανεκπομπών. Αυτό είναι φυσικό επακόλουθο της έλλειψης ελέγχου της ισχύος στα διαμοιραζόμενα κανάλια. Όσο ο χρήστης απομακρύνεται από το σταθμό βάσης η προκαθορισμένη εκπεμπόμενη ισχύς αδυνατεί να αντισταθμίσει τις απώλειες, οπότε χρησιμοποιείται πιο ισχυρό σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης ελαττώνοντας έτσι και την ταχύτητα μετάδοσης. Η κατάσταση γίνεται ακόμα χειρότερη όταν αυξάνεται η κίνηση στο δίκτυο οπότε αυξάνεται και η παρεμβολή.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι το HSDPA δεν επιτυγχάνει αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Κατορθώνει όμως να αυξήσει το throughput και να μειώσει την καθυστέρηση κυρίως όταν στο δίκτυο επικρατεί χαμηλή κίνηση. Όταν τα επίπεδα παρεμβολής είναι χαμηλά, το HSDPA κερδίζει με την εκχώρηση όλης της διαθέσιμης ισχύος στις ενεργές συνδέσεις. Όταν όμως το δίκτυο φτάσει στα όρια της ισχύος και της παρεμβολής μόνο η συνήθης μετάδοση, χωρίς δηλαδή το HSDPA, είναι εφικτή. Όμως η εισαγωγή του fast scheduling και των αλγορίθμων HARQ επιτυγχάνουν αποδοτικό μοίρασμα των πόρων το δίκτυο και υψηλότερο throughput. Γενικά το HSDPA προσφέρει τις απαραίτητες ταχύτητες για την υποστήριξη υπηρεσιών πολυμέσων σε κυνελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών. Για την προώθηση των υπηρεσιών αυτών δύο είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που πρέπει να ικανοποιηθούν. Η αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος και το χαμηλό κόστος χρήσης ώστε να ενθαρρυνθούν οι συνδρομητές για τη χρησιμοποίησή τους.

3

HIPERLAN / 2

3.1 Εισαγωγή

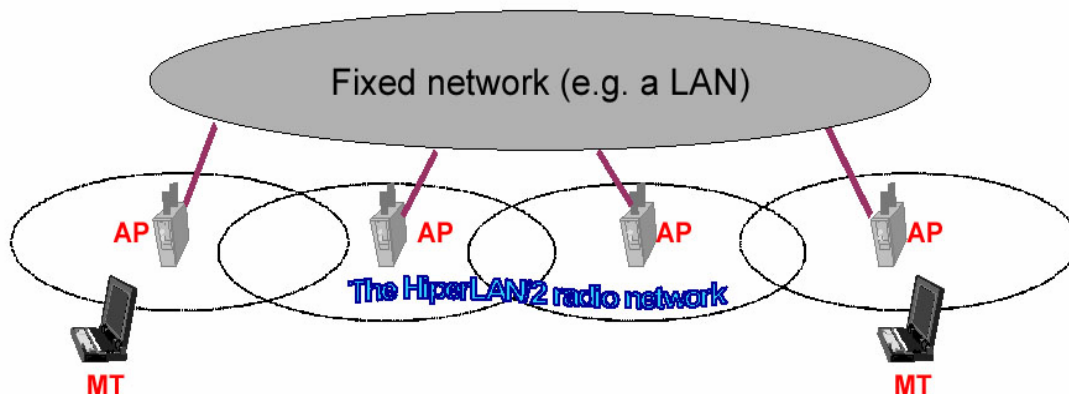
Η ανάγκη για κινητές επικοινωνίες ευρείας ζώνης έχει αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια δημιουργώντας νέες απαιτήσεις από τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLANs). Οι απαιτήσεις αυτές περιλαμβάνουν καλή ποιότητα υπηρεσιών, ασφάλεια και αυξημένο throughput. Για να ανταποκριθεί σε αυτές τις ανάγκες ο ETSI (European Telecommunications Standards Institute) πρότεινε την τεχνολογία HIPERLAN (HIgh PERformance LAN).

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, λειτουργώντας είτε μόνα τους είτε ως προέκταση ενσύρματων τοπικών δικτύων, προσφέρουν εύκολο τρόπο επικοινωνίας μέσα σε περιορισμένους γεωγραφικά χώρους. Μερικά από τα σημερινά WLANs συνδυάζουν υπηρεσίες φωνής και δεδομένων μέσα από το ίδιο δίκτυο κορμού, επιτυγχάνοντας χαμηλότερο κόστος, αποτελεσματικότητα και αμεσότητα στην παροχή υπηρεσιών. Οι χρήστες μπορούν να μεταφέρονται από κυψέλη σε κυψέλη ενώ ταυτόχρονα λαμβάνουν ή αποστέλλουν πληροφορίες.

Το Hiperlan 2 είναι ένα υψηλής ταχύτητας πρότυπο ασυρμάτου τοπικού δικτύου το οποίο λειτουργεί στην περιοχή των 5.2GHz με φασματικό εύρος 100 MHz. Στο *σχήμα 3.1* φαίνεται μια τυπική τοπολογία ενός δικτύου Hiperlan 2. Κάθε κινητό τερματικό επικοινωνεί με ένα μόνο Access Point (AP) κάθε φορά ενώ όταν φύγει από τα όρια της κυψέλης του τότε έχουμε διαδικασία handover προς το κοντινότερο AP.

Τα δίκτυα που χρησιμοποιούν τεχνολογία Hiperlan 2 μπορούν να συνεργαστούν με ποικίλα δίκτυα κορμού εξαιτίας της αρχιτεκτονικής τους που θεωρεί ως ανεξάρτητα το φυσικό στρώμα και το στρώμα ζεύξης δεδομένων των δικτύων κορμού, και ορίζει ένα σύνολο κατάλληλων στρωμάτων που διευκολύνουν την πρόσβαση στα δίκτυα αυτά. Τα στρώματα αυτά ονομάζονται στρώματα σύγκλισης και έχουν σχεδιαστεί ή σχεδιάζονται για τη συνεργασία της τεχνολογίας Hiperlan 2 με δίκτυα πρωτοκόλλου IP (Ethernet, point-to-point protocol – PPP), ATM (asynchronous transfer mode) δίκτυα, δίκτυα 3^{ης} γενιάς καθώς και δίκτυα που χρησιμοποιούν πρωτόκολλα IEEE 1394. Τα πακέτα δεδομένων που μεταδίδονται

μέσα από αυτά τα δίκτυα μπορεί να διαφέρουν σε μήκος, τύπο και περιεχόμενο. Ωστόσο το στρώμα σύγκλισης του Hiperlan 2, αναλαμβάνει να τεμαχίσει την πληροφορία σε πακέτα κατάλληλου μήκους.



Σχήμα 3.1. Τοπολογία δικτύου Hiperlan 2

Επιπλέον το Hiperlan 2 μπορεί να διαχειρισθεί διαφορετικά περιβάλλοντα διάδοσης με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρήσει το λόγο σήματος προς παρεμβολή χαμηλό και να προσφέρει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών.

3.2 Χαρακτηριστικά του Hiperlan 2

Αναφέρουμε παρακάτω τα κυριότερα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας Hiperlan 2.

- *Μετάδοση υψηλής ταχύτητας:* Η ταχύτητα μετάδοσης στο Hiperlan 2 φτάνει μέχρι και τα 54Mbps. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μέθοδο OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) που χρησιμοποιεί. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε περιβάλλοντα όπου το σήμα αντανακλάται σε πολλά σημεία, όπως για παράδειγμα εντός γραφείων.
- *Χρησιμοποιεί TDD/TDMA:* Η διάδοση άνω και κάτω ζεύξης γίνεται με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (time division duplex – TDD) ενώ χρησιμοποιείται πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (time division multiple access – TDMA) για την κατάληψη του καναλιού από τους χρήστες.
- *Καλή ποιότητα υπηρεσιών:* Στα τοπικά δίκτυα η κίνηση χαρακτηρίζεται από διαστήματα διακοπών και εξάρσεων. Αυτό μπορεί να επηρεάσει το throughput του συστήματος. Κάθε σύνδεση του Hiperlan 2 έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές. Είτε κάποιο επίπεδο προτεραιότητας, είτε συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσιών όσον αφορά το εύρος ζώνης, την καθυστέρηση, το ρυθμό λαθών.
- *Αυτόματη επιλογή συχνοτήτων:* Σε κάθε AP υπάρχει μηχανισμός αυτόματης κατάληψης συχνοτήτων μέσα στην περιοχή κάλυψής του. Το κατάλληλο κανάλι επιλέγεται ανάλογα με ποια κανάλια είναι ήδη κατειλημμένα και με σκοπό να μειωθούν τα επίπεδα παρεμβολής.
- *Παροχή ασφάλειας:* Το Hiperlan 2 προσφέρει πιστοποίηση και κρυπτογράφηση. Τόσο το AP όσο και τα κινητά τερματικά πιστοποιούν το

ένα το άλλο ώστε να διασφαλιστεί ότι η πρόσβαση στο δίκτυο είναι εξουσιοδοτημένη. Η κρυπτογράφηση χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης για να υπάρχει προστασία από επιδρομές και υποκλοπές.

- *Παροχή κινητικότητας*: Η δυνατότητα διαδικασίας handover που παρέχεται επιτρέπει κινητικότητα στους χρήστες. Κάθε χρήστης επιλέγει το καλύτερο AP με βάση κάποιο κριτήριο, για παράδειγμα το σηματοθορυβικό λόγο. Καθώς κινείται είναι δυνατόν να μεταφερθεί σε άλλο AP αν αυτό θεωρηθεί καλύτερο από το υπάρχον.
- *Ανεξαρτησία εφαρμογών*: Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η αρχιτεκτονική του Hiperlan 2 είναι τέτοια ώστε να μπορεί να συνεργαστεί με διάφορα σταθερά δίκτυα. Όλες οι εφαρμογές που εκτελούνται σε σταθερά δίκτυα μπορούν να εκτελεστούν και στο Hiperlan 2.
- *Δύο βασικές μέθοδοι λειτουργίας*: Δύο είναι οι μέθοδοι λειτουργίας που υποστηρίζονται:
 1. Συγκεντρωτική μέθοδος (centralized mode – CM): Βασίζεται στην τοπολογία των κυψελωτών δικτύων όπου κάθε κυψέλη ελέγχεται από ένα AP και καλύπτει μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Τα κινητά τερματικά επικοινωνούν μεταξύ τους και με το δίκτυο κορμού μέσω του AP. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές εσωτερικών ή εξωτερικών χώρων όπου η περιοχή στην οποία απαιτείται κάλυψη είναι μεγαλύτερη από τα όρια μιας κυψέλης.
 2. Απ' ευθείας μέθοδος (direct mode – DM): Βασίζεται στην τοπολογία *ad hoc* και η περιοχή κάλυψης δεν ξεπερνάει το μέγεθος μίας κυψέλης. Στη μέθοδο αυτή τα κινητά τερματικά ανταλλάσσουν πληροφορίες επικοινωνώντας απ' ευθείας το ένα με το άλλο. Το AP απλώς ελέγχει τη διανομή πόρων στα κινητά τερματικά.

3.3 Hiperlan 2 – layers

Τα στρώματα του Hiperlan 2 αναπαριστώνται στο *σχήμα 3.2*. Διακρίνουμε το φυσικό στρώμα (physical layer), το στρώμα ζεύξης δεδομένων (data link control layer – DLC) καθώς και το στρώμα σύγκλισης (convergence layer). Καθένα από αυτά περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

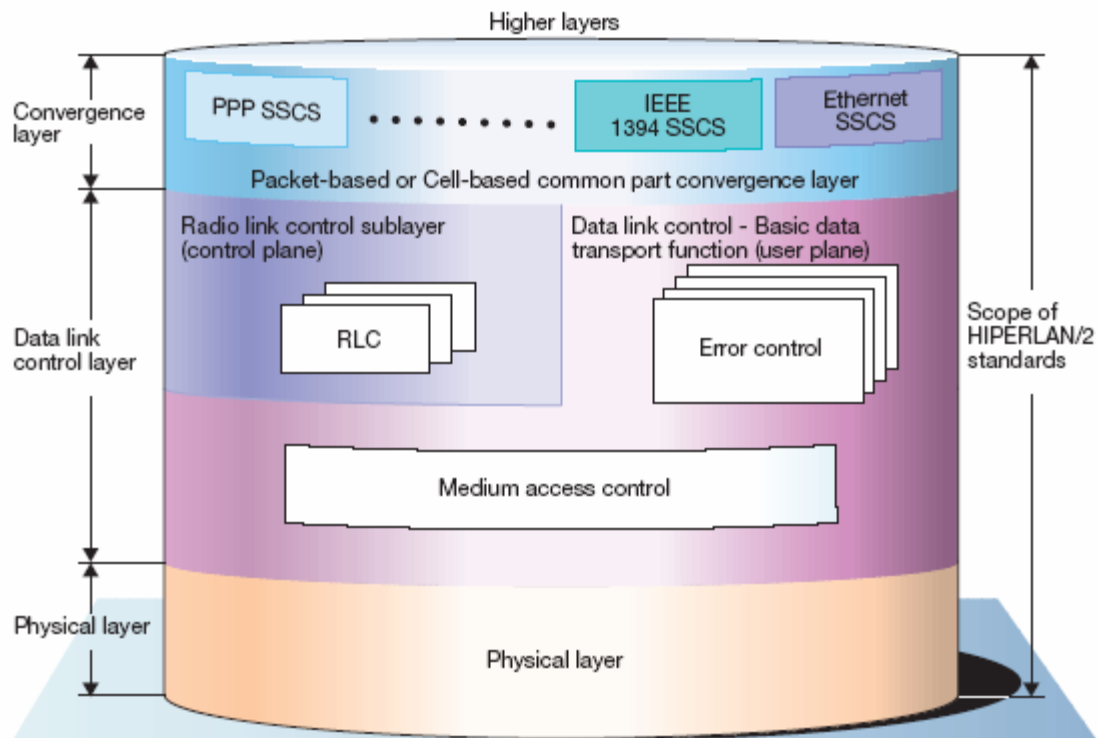
3.3.1 Convergence layer

Δύο είναι οι κύριες λειτουργίες του στρώματος αυτού: Προσαρμόζει τις υπηρεσίες που ζητούν τα ανώτερα στρώματα στις υπηρεσίες που προσφέρει το στρώμα ζεύξης δεδομένων και μετατρέπει τα διάφορου μεγέθους πακέτα πληροφορίας των ανωτέρων στρωμάτων σε πακέτα προκαθορισμένου και σταθερού μεγέθους που χρησιμοποιούνται από το στρώμα ζεύξης δεδομένων.

Υπάρχουν δύο τύποι στρωμάτων σύγκλισης:

1. *Cell-based convergence layer*: Χειρίζεται ανώτερα στρώματα των οποίων τα πακέτα πληροφορίας έχουν σταθερό μήκος, όπως για παράδειγμα τα δίκτυα ATM.
2. *Packet-based convergence layer*: Χειρίζεται ανώτερα στρώματα με μεταβλητό μήκος πακέτων πληροφορίας όπως το Ethernet.

Χωριστά υποστρώματα έχουν οριστεί μέσα στο στρώμα σύγκλισης με στόχο τη συνεργασία του Hiperlan 2 με δίκτυα όπως Ethernet, IEEE 1394, PPP, UMTS. Τα υποστρώματα αυτά διακρίνονται στο *σχήμα 3.2*.



Σχήμα 3.2. Hiperlan 2 layers

3.3.2 DLC layer

Το στρώμα αυτό αποτελείται από το υπόστρωμα *radio link control (RLC)*, από το *πρωτόκολλο ελέγχου λαθών (error control protocol – EC)* και από το *πρωτόκολλο MAC*.

Radio link control (RLC)

Το υπόστρωμα RLC χειρίζεται τρεις βασικές λειτουργίες

1. *Association control function*: Χρησιμοποιείται για πιστοποίηση αυθεντικότητας, διαχείριση κλειδιών και για λειτουργίες κρυπτογράφησης.
2. *Radio resource control (RRC) function*: Διαχειρίζεται τις διαδικασίες handover, την επιλογή συχνοτήτων μετάδοσης και τον έλεγχο της ισχύος.
3. *DLC user-connection control function*: Εγκαθιστά και απελευθερώνει τις συνδέσεις μεταξύ των χρηστών.

Σε γενικές γραμμές το υπόστρωμα RLC χρησιμοποιείται για ανταλλαγή δεδομένων σε επίπεδο ελέγχου ανάμεσα σε ένα AP και ένα κινητό τερματικό. Για παράδειγμα το κινητό τερματικό αρχικά διευθετεί τη σύνδεση με το AP μέσω σημάτων του υποστρώματος RLC. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή το κινητό τερματικό ζητάει την εγκατάσταση μίας ή περισσότερων DLC συνδέσεων, όπως λέγονται στην ορολογία του Hiperlan 2. Η εγκατάσταση μιας τέτοιας σύνδεσης δε

σημαίνει απαραίτητα και την κατάληψη των αναγκαίων πόρων για τη μετάδοση. Ωστόσο το κινητό τερματικό παραλαμβάνει μία μοναδική διεύθυνση η οποία αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη DLC σύνδεση.

Πρωτόκολλο ελέγχου λαθών

Στο Hiperlan 2 έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για τον έλεγχο των λαθών που μπορεί να συμβούν κατά τη μετάδοση. Μία από τις πιο ασφαλείς μεθόδους είναι αυτή των επιβεβαιώσεων σύμφωνα με την οποία επανεκπέμπονται τα αλλοιωμένα ή χαμένα δεδομένα. Συγκεκριμένα όταν γίνεται χρήση της μεθόδου επιλεκτικής επανάληψης (SR ARQ), για κάθε PDU (Protocol Data Unit) που αποστέλλεται υπάρχει ένας μοναδικός αριθμός ο οποίος το ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα. Για κάθε PDU που λαμβάνει ο δέκτης στέλνει στον πομπό μία επιβεβαίωση. Όταν ο δέκτης αντιληφθεί την έλλειψη ενός αριθμού από την προκαθορισμένη σειρά που πρέπει να λάβει, καταλαβαίνει ότι κάποιο PDU που απεστάλη δεν έφτασε σε αυτόν οπότε στέλνει αίτηση επανεκπομπής του συγκεκριμένου PDU. Τόσο οι επιβεβαιώσεις όσο και οι αιτήσεις επανεκπομπής στέλνονται μέσω του short channel (SCH). Ο πομπός μπορεί να στείλει μέχρι ένα ορισμένο αριθμό N PDUs χωρίς να λάβει από το δέκτη επιβεβαίωση λήψης. Αν η επιβεβαίωση δεν έρθει μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα ο πομπός επαναλαμβάνει τη μετάδοση. Ωστόσο ο δέκτης δέχεται μόνο τα PDUs που έχουν τους αριθμούς που περιμένει να λάβει.

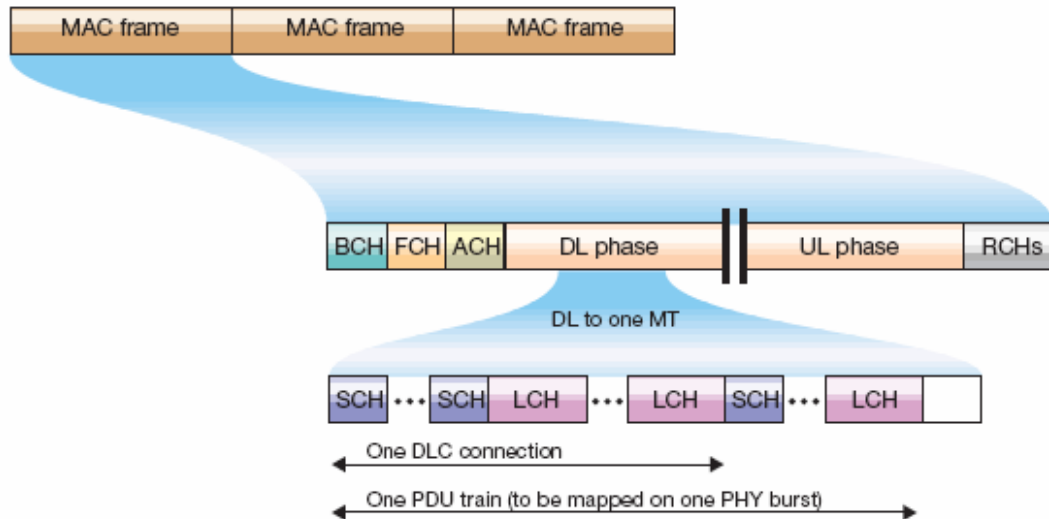
Πρωτόκολλο MAC

Το Hiperlan 2 στηρίζεται όπως αναφέραμε σε λειτουργία TDD/TDMA. Το MAC frame έχει διάρκεια 2ms και αποτελείται από τα εξής πέντε πεδία :

- Broadcast Channel (BCH): Περιέχει πληροφορίες ελέγχου οι οποίες στέλνονται σε κάθε MAC frame με σκοπό να ενεργοποιήσουν κάποιες λειτουργίες ελέγχου πόρων του ραδιοδιαύλου.
- Frame Channel (FCH): Περιέχει ακριβή περιγραφή των πόρων που έχουν καταληφθεί στο παρόν MAC frame.
- Access feedback Channel (ACH): Μεταφέρει το αποτέλεσμα της τυχαίας προσπέλασης που έλαβε χώρα στο προηγούμενο MAC frame και υποδεικνύει ποιων χρηστών οι αιτήσεις για κατάληψη του διαύλου έφτασαν στο σταθμό βάσης χωρίς να συγκρουστούν.
- DownLink Phase (DL phase), Uplink Phase (UL phase): Μεταφέρει προς το χρήστη (αντίστοιχα προς το σταθμό βάσης) τα δεδομένα της πληροφορίας μέσω του long channel (LCH) καθώς και ορισμένα μηνύματα ελέγχου μέσω του short channel (SCH).
- Random access Channel (RCH): Μεταφέρει τις αιτήσεις των χρηστών προς το σταθμό βάσης για κατάληψη πόρων του δικτύου και αποστολή δεδομένων.

Σχηματικά τα ανωτέρω πεδία φαίνονται στο σχήμα 3.3. Όπως φαίνεται το πεδίο κάτω ζεύξης ενός MAC frame αποτελείται από μια σειρά DLC συνδέσεων. Κάθε μία από αυτές τις συνδέσεις αποτελείται από πολλαπλά πεδία LCH που μεταφέρουν την εκπεμπόμενη πληροφορία και πολλαπλά πεδία SCH που μεταφέρουν μηνύματα ελέγχου. Τα δεδομένα που αναφέρονται σε συγκεκριμένο χρήστη μπορεί να καταλαμβάνουν περισσότερες από μία DLC συνδέσεις. Κάθε DLC σύνδεση χρησιμοποιεί το καταλληλότερο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Έτσι για ένα χρήστη που παραλαμβάνει δεδομένα από περισσότερες από μία DLC συνδέσεις είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται διαφορετικό σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σε κάθε σύνδεση. Το Link Adaptation εφαρμόζεται τόσο στα

δεδομένα πληροφορίας (πεδία LCH) όσο και στα δεδομένα ελέγχου (πεδία SCH). Τα ίδια ακριβώς ισχύουν και για το πεδίο άνω ζεύξης με τη διαφορά ότι οι χρήστες αποστέλλουν και ο σταθμός βάσης λαμβάνει.



Σχήμα 3.3. Hiperlan 2 – MAC frame

Οποτεδήποτε ένας χρήστης έχει δεδομένα προς μετάδοση στέλνει μία αίτηση προς το σταθμό βάσης μέσω του RCH. Αν η αίτηση αυτή συγκρουστεί με την αίτηση ενός ή περισσότερων χρηστών ο χρήστης ενημερώνεται στο επόμενο MAC frame από το πεδίο ACH. Αν έχει γίνει σύγκρουση ο χρήστης παράγει ένα ψευδοτυχαίο αριθμό και ξαναστέλνει αίτηση μόλις περάσει αριθμός frames ίσος με τον ψευδοτυχαίο αριθμό. Το διάστημα μέσα στο οποίο κυμαίνεται ο ψευδοτυχαίος αριθμός εξαρτάται από την κίνηση που παρουσιάζει το δίκτυο. Όσο μεγαλύτερη είναι η κίνηση τόσο μεγαλύτερο είναι και το διάστημα. Όταν η αίτηση φτάσει με επιτυχία στο σταθμό βάσης, ο τελευταίος είναι υπεύθυνος να επιλέξει το κατάλληλο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που θα χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία με το κινητό τερματικό με βάση μετρήσεις που πραγματοποιεί στο κανάλι άνω ζεύξης. Για επικοινωνία κάτω ζεύξης το κινητό τερματικό λαμβάνοντας υπόψη κάποια χαρακτηριστικά του καναλιού επιλέγει ένα σχήμα και το προτείνει στο σταθμό βάσης ο οποίος κρίνει ποιο είναι το καταλληλότερο σχήμα συνδυάζοντας την πρόταση του χρήστη με κάποια άλλα κριτήρια. Η τελική επιλογή γνωστοποιείται στο τερματικό μέσω του Frame Channel (FCH). Ο σταθμός βάσης εκτελεί επίσης την ταξινόμηση των χρηστών δηλαδή τη σειρά με την οποία θα εκπέμψουν (άνω ζεύξη) ή θα τους αποσταλούν δεδομένα (κάτω ζεύξη) και ενημερώνει το χρήστη σε ποια ακριβώς χρονική στιγμή πρέπει να στείλει ή αντίστοιχα να λάβει δεδομένα. Έτσι στη φάση αυτή αποκλείεται η πιθανότητα σύγκρουσης.

3.3.3 *Physical layer*

Οι μονάδες πληροφορίας που είναι προς μετάδοση μέσω του φυσικού στρώματος αποτελούνται από εξάρσεις ποικίλου μήκους. Κάθε μία από αυτές

αποτελείται από ένα αριθμό πεδίων SCH και LCH που πρέπει να μεταδοθούν από ή προς το κινητό τερματικό. Ως σχήμα διαμόρφωσης το Hiperlan 2 χρησιμοποιεί OFDM λόγω της καλής απόδοσής του σε περιβάλλοντα πολλαπλών ανακλάσεων. Σε σύγκριση με διαμόρφωση απλού φέροντος η OFDM για ταχύτητα μετάδοσης 25 Mbps υπερτερεί κατά 2 έως 3 dB όταν υπάρχει παρεμβολή μεταξύ των καναλιών. Η διαμόρφωση απλού φέροντος αδυνατεί να υποστηρίξει αποδοτικά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και αυτό αποτελεί σημαντικό παράγοντα αφού το Hiperlan 2 προορίζεται όπως έχει ειπωθεί, να προσφέρει υψηλές ταχύτητες. Ένα μειονέκτημα της OFDM είναι η μειωμένη ισχύ εκπομπής που επηρεάζει την ακτίνα κάλυψης. Συγκεκριμένα για τη φασματική μάσκα που έχει καθοριστεί για το Hiperlan 2 η μείωση της ισχύος ανέρχεται στα 2 με 3dB. Πάντως το μειονέκτημα αυτό αντισταθμίζεται από τη μεγαλύτερη ευαισθησία που προσφέρει η OFDM δηλαδή την καλύτερη απόδοση παρουσία παρεμβολών.

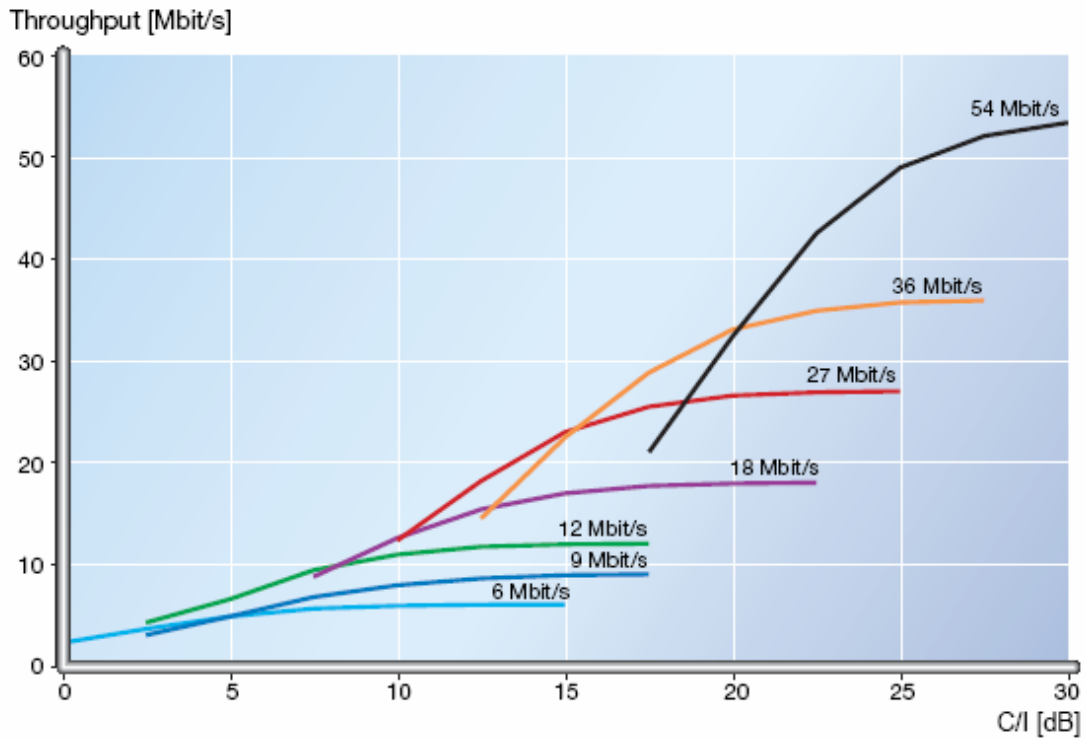
Ένα βασικό χαρακτηριστικό του φυσικού στρώματος του Hiperlan 2 είναι το Link Adaptation, η δυναμική επιλογή δηλαδή ενός σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι. Επιτυγχάνονται με αυτόν τον τρόπο διάφοροι ρυθμοί μετάδοσης εξασφαλίζοντας έτσι την όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοση του δικτύου στις εκάστοτε συνθήκες. Κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου

σχήματος αποτελούν η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος, ο λόγος ισχύος σήματος προς παρεμβολή κ.α. Οι χρησιμοποιούμενοι από το Hiperlan 2 συνδυασμοί σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης και οι αντίστοιχοι επιτυγχάνοντες ρυθμοί μετάδοσης φαίνονται στο διπλα-

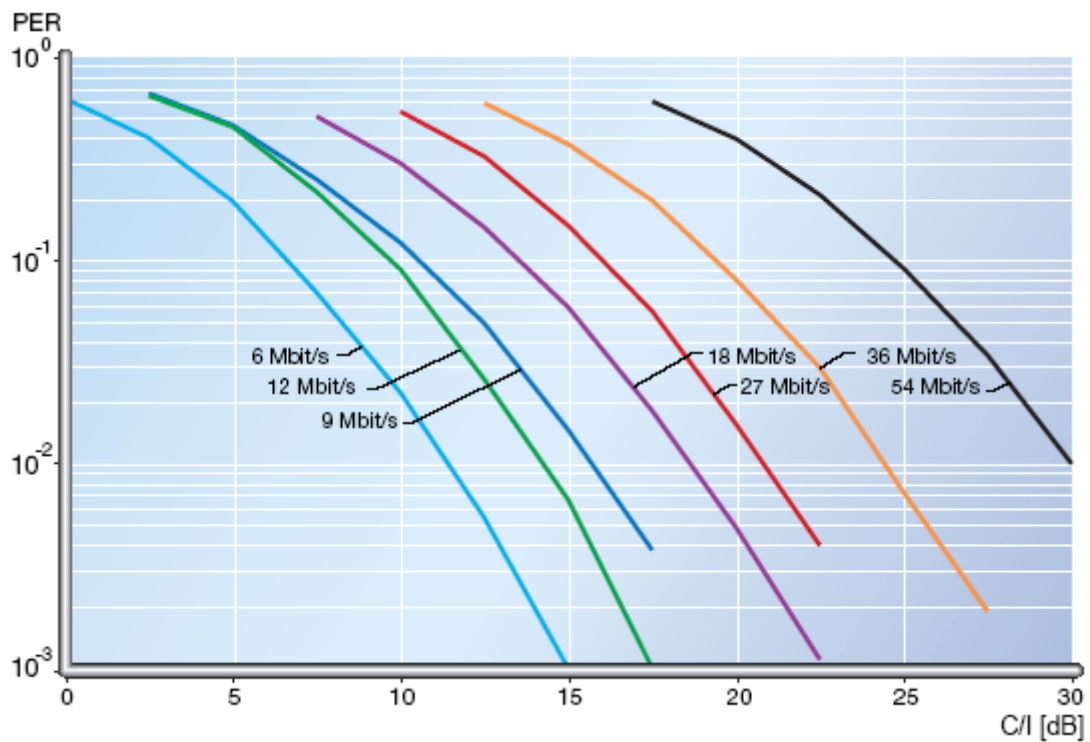
Mode	Modulation	Coding Rate R	Bit rate [Mbit/s]
1	BPSK	1/2	6
2	BPSK	3/4	9
3	QPSK	1/2	12
4	QPSK	3/4	18
5	16QAM	9/16	27
6	16QAM	3/4	36
7	64QAM	3/4	54

νό πίνακα ενώ η γραφική παράσταση του σχήματος 3.4 δείχνει πως μεταβάλλεται το throughput σε συνδυασμό με το λόγο σήματος προς παρεμβολή. Επίσης στη γραφική παράσταση του σχήματος 3.5 φαίνεται ότι για συγκεκριμένο λόγο σήματος προς παρεμβολή, μπορούμε να αυξομειώσουμε το ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με την επιθυμητή τιμή του Packet Error Rate, δηλαδή ανάλογα με την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα και τις γραφικές παραστάσεις οι ρυθμοί μετάδοσης στο Hiperlan 2 κυμαίνονται από 6 Mbps έως 54Mbps δίνοντάς του τη δυνατότητα να παρέχει επικοινωνία υψηλής ταχύτητας. Συγκεντρώνει λοιπόν μεγάλες πιθανότητες να χρησιμοποιηθεί ως συμπληρωματικό δίκτυο στα κυψελωτά συστήματα 3^{ης} γενιάς κυρίως για την κάλυψη περιοχών με μεγάλη συγκέντρωση χρηστών όπως αεροδρόμια και κέντρα πόλεων. Επίσης δίνει τη δυνατότητα για ασύρματη πραγματοποίηση πολυμεσικών εφαρμογών πραγματικού χρόνου, όπως είναι η διανομή ήχου και video υψηλής ευκρίνειας και η γρήγορη πρόσβαση στο internet.



Σχήμα 3.4. Γραφική παράσταση throughput ως προς C/I για διάφορους ρυθμούς μετάδοσης



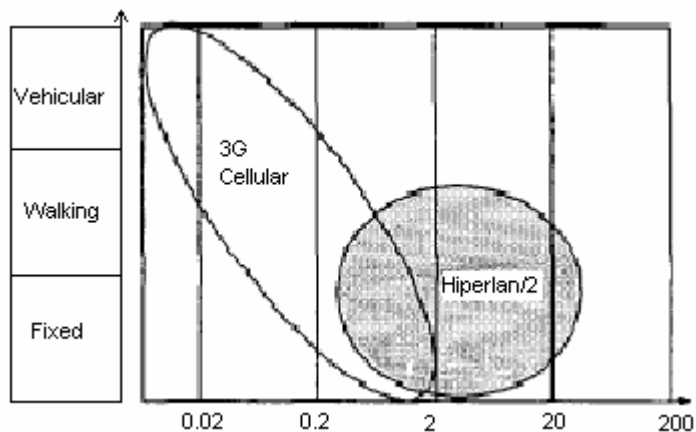
Σχήμα 3.5. Γραφική παράσταση PER ως προς C/I για διάφορους ρυθμούς μετάδοσης

3.4 HIPERLAN/2 και UMTS

Όπως είπαμε είναι δυνατή η συνεργασία κυβελωτών συστημάτων 3^{ης} γενιάς με ασύρματα τοπικά δίκτυα Hiperlan 2. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα υπάρχει η δυνατότητα του handover από το ένα δίκτυο στο άλλο. Το Hiperlan 2 περιορίζεται σε μικρούς εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους και η ταχύτητα των χρηστών του δεν πρέπει να ξεπερνάει την ταχύτητα των πεζών. Ωστόσο η αυξημένη χωρητικότητα που μπορεί να προσφέρει είναι ουσιαστική.

Στο διπλανό σχήμα γίνεται σύγκριση των συστημάτων 3G και Hiperlan 2 όσον αφορά την ταχύτητα μετάδοσης και την ταχύτητα των χρηστών. Στον τομέα των υπηρεσιών παρά το γεγονός ότι το UMTS έχει τη δυνατότητα να προσφέρει επικοινωνίες φωνής, δεδομένων και μέτριας ποιότητας video ή videoconferencing,

το Hiperlan 2, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, λόγω του υψηλού ρυθμού μετάδοσης προσφέρει τη δυνατότητα για εφαρμογές πολυμέσων πραγματικού χρόνου.



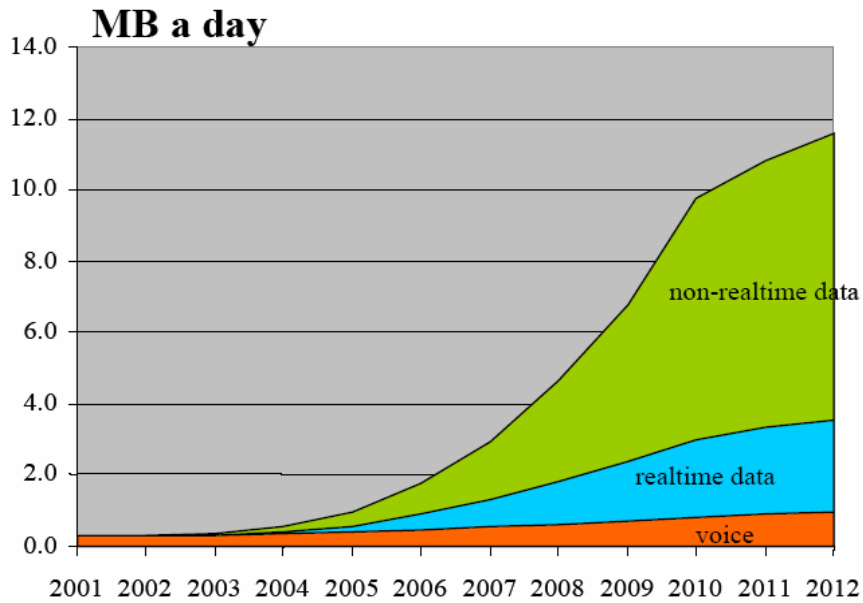
4

HSDPA ΚΑΙ HIPERLAN / 2

4.1 Εισαγωγή

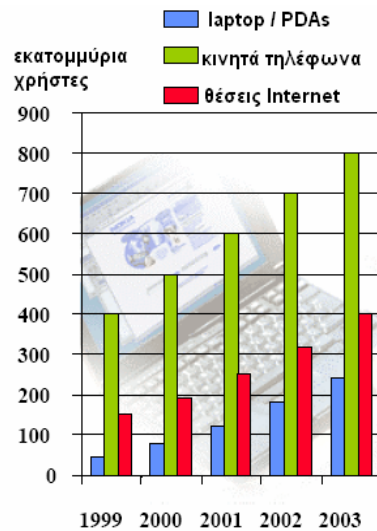
Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει μια προσέγγιση της ταυτόχρονης χρησιμοποίησης των δικτύων Hiperlan 2 και HSDPA που μελετήσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, συνιστώντας έτσι ένα ετερογενές δίκτυο. Τονίζονται επίσης τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η συνεργασία των δύο δικτύων. Η ικανότητα ενός ετερογενούς δικτύου να υποστηρίξει την κινητικότητα των χρηστών του μεταξύ περιοχών που καλύπτονται από συστήματα διαφορετικής τεχνολογίας ονομάζεται *interoperability*.

Καθώς οι απαιτήσεις των χρηστών ασυρμάτων δικτύων ολοένα και μεγαλώνουν, η εξέλιξη των δικτύων αυτών είναι αναγκαία. Έως τώρα το ενδιαφέρον των χρηστών ήταν σχεδόν αποκλειστικά στραμμένο στις υπηρεσίες φωνής. Όμως τελευταία οι υπηρεσίες δεδομένων πραγματικού χρόνου ή μη, δείχνουν να προσελκύουν συνεχώς περισσότερους χρήστες. Στο *σχήμα 4.1* απεικονίζεται η χρήση των υπηρεσιών φωνής και δεδομένων τα τελευταία τρία χρόνια αλλά και η πρόβλεψη για το επόμενο οκτώ. Παρατηρούμε ότι αναμένεται ραγδαία αύξηση της χρήσης υπηρεσιών δεδομένων, ένα σημαντικό κομμάτι της οποίας θα αφορά υπηρεσίες πραγματικού χρόνου.



Σχήμα 4.1. Χρήση υπηρεσιών φωνής και δεδομένων σε Mbyte/day/user

Στο σχήμα 2 φαίνεται η χρήση κινητών τηλεφώνων σε σύγκριση με αυτή των laptop ή PDA (Personal Digital Assistant) και των θέσεων internet. Εύκολα παρατηρούμε ότι η χρήστες laptop/PDA παρουσιάζουν σημαντική αυξητική τάση. Αν μάλιστα οι χρήστες αυτοί είχαν δυνατότητα πρόσβασης στο ασύρματο δίκτυο ο αριθμός τους θα αυξανόταν κατά πολύ περισσότερο.



Σχήμα 4.2. Χρήστες κινητών τηλεφώνων, laptop/PDA και θέσεων Internet

Οι παραπάνω ανάγκες δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν από τα υπάρχοντα κυψελωτά συστήματα. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα αποτελούν καλή λύση, όμως όπως φανερώνει και το όνομά τους, η γεωγραφική κάλυψη που προσφέρουν είναι περιορισμένη. Ο πρώτος από τους πίνακες που ακολουθούν συγκρίνει τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων UMTS και WLAN. Ο δεύτερος, παρουσιάζει το χρόνο διεκπεραίωσης ορισμένων τυπικών υπηρεσιών από τα δίκτυα GPRS, 3G, WLAN.

UMTS	WLAN
Mobile Terminal	Laptop/ Bigger mobile terminal
Instant and spontaneous use	Planned use
No limits on user speed	Limited user speed
Always available	Location dependent availability
Dependable	Complementary
Voice and narrowband data	Broadband data
Content reduced due to screen size (WAP)	Full presentation of content
Limited access to internet	Broadband access to office network
Medium/High cost per byte	Low cost per byte

Πίνακας 1

Application	Mbytes transferred	Download time with 100kb/s (GPRS)	Download time with 300kb/s (3G)	Download time with 3000 kb/s (WLAN)
GSM SMS	0.00014	0.01 s	0.005 s	0.0005 s
Calendar synchronization	0.001	0.1 s	0.03 s	0.003 s
E-mail	0.002	0.2 s	0.067 s	0.007 s
Electronic Postcard	0.05	5 s	2 s	0.2 s
Download of single MP3 file	3	5 min	1.6 min	10 s
Download of small size video clip	10	16 min	5.2 min	33 s
Download of MP3 player	30	50 min	16 min	1.6 min
Download full screen movie	4000	110 h	37 h	3.7 h

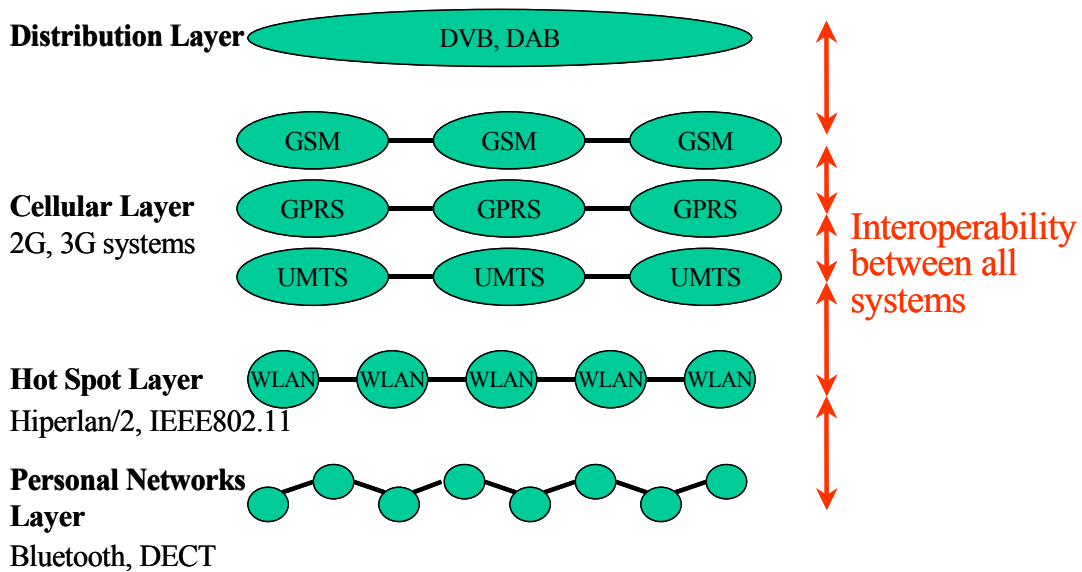
Πίνακας 2

Οι απαιτήσεις των χρηστών που αναφέρθηκαν έως τώρα κάνουν φανερή την ανάγκη ανάπτυξης δικτύων που θα ανταποκρίνονται σε αυτές.

4.2 Συστήματα 4^{ης} Γενιάς

Οι προσδοκίες για τα κινητά συστήματα 4^{ης} γενιάς (4G) είναι να παρέχουν οποιαδήποτε υπηρεσία, σε οποιοδήποτε χρήστη, οποιαδήποτε χρονική στιγμή, με ικανοποιητική ποιότητα. Όλα αυτά φυσικά λαμβάνοντας υπόψη την κινητικότητα του χρήστη, το περιβάλλον στο οποίο κινείται αλλά και τις δυνατότητες του κινητού τερματικού του. Στα υπάρχοντα δίκτυα το εύρος των υπηρεσιών που παρέχονται είναι περιορισμένο, όπως επίσης και η ικανότητα του χρήστη να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες διαμέσου άλλων δικτύων.

Τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς θα αποτελούνται από ασύρματα συστήματα διαφόρων τεχνολογιών μετάδοσης και επιπρόσθετα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να οργανωθούν σε στρώματα διαδοχικών επιπέδων όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 4.3. Στρωματική παράσταση ασυρμάτων δικτύων

Η κυψέλη καθενός από τα συστήματα που φαίνονται στο σχήμα μειώνεται όσο προχωράμε από υψηλότερο σε χαμηλότερο στρώμα. Καθένα από τα στρώματα χαρακτηρίζεται από το εύρος υπηρεσιών που προσφέρει, το περιβάλλον διάδοσης και την κινητικότητα χρήστη που μπορεί να υποστηρίξει.

Τα χαρακτηριστικά καθενός από τα στρώματα είναι τα εξής:

- *Distribution layer*: προσφέρει καθολική κάλυψη και πλήρη κινητικότητα.
- *Cellular layer*: προσφέρει πλήρη κάλυψη και κινητικότητα.
- *Hot spot layer*: προσφέρει περιορισμένη κάλυψη και κινητικότητα.
- *Personal network*: προσφέρει περιορισμένη κάλυψη ενώ δεν παρέχει κινητικότητα.

Τα ετερογενή δίκτυα προσδοκείται ότι θα παρέχουν στους χρήστες ένα μεγάλο εύρος υπηρεσιών με ποικιλία απαιτήσεων όσον αφορά το εύρος ζώνης και την ποιότητα. Οι απαιτήσεις αυτές θα μπορούν να ικανοποιηθούν χρησιμοποιώντας ένα απλό κινητό τερματικό και έχοντας σημαντικές δυνατότητες κινητικότητας. Τέλος θα παρέχεται ευρεία γεωγραφική κάλυψη.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχολούμαστε με τη συνεργασία των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN), και συγκεκριμένα αυτών που βασίζονται στην τεχνολογία Hiperlan 2 και των UMTS συστημάτων που βασίζονται στο HSDPA. Τα πλεονεκτήματα του UMTS, όπως είναι για παράδειγμα η κινητικότητα, και τα πλεονεκτήματα των WLANs, όπως είναι το υψηλό throughput, μπορούν να συνδυαστούν έτσι ώστε οι δύο διαφορετικές τεχνολογίες να λειτουργήσουν η μία ως συμπληρωματική της άλλης.

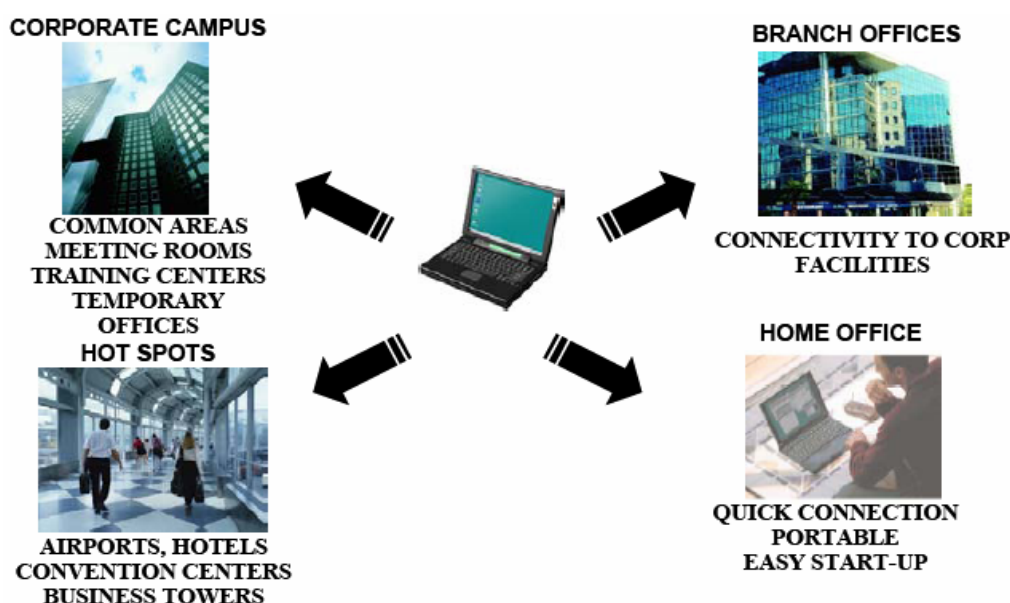
Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την κάλυψη ιδιωτικών χώρων, όπως γραφεία και σπίτια, όσο και για την κάλυψη σημείων όπου παρουσιάζεται μεγάλη πυκνότητα χρηστών (hotspot) όπως είναι κέντρα πόλεων,

κέντρα συνεδριάσεων, αεροδρόμια, ξενοδοχεία κ.α. Γενικά ως hotspots χαρακτηρίζονται περιοχές με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Μεγάλη κίνηση χρηστών.
- Οι χρήστες παραμένουν αρκετή ώρα στην περιοχή περιμένοντας για κάτι ή απλά χασομερώντας.
- Οι χρήστες που μεταφέρουν laptop αποτελούν σημαντική αναλογία επί του συνόλου.
- Οι χρήστες χρειάζονται πρόσβαση σε πληροφορίες του Internet.

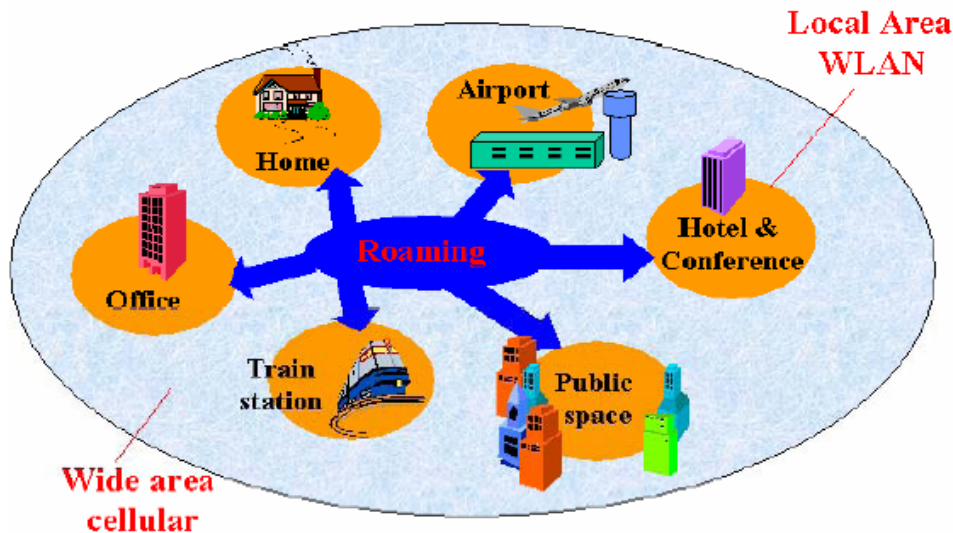
Όλες αυτές οι περιοχές θα καλύπτονται ταυτόχρονα και από δίκτυο UMTS.

Οι απαιτήσεις ενός τυπικού χρήστη είναι: όχι όρια στο εύρος ζώνης, πρόσβαση στο δίκτυο από οπουδήποτε, χρήση ενός μόνο κινητού τερματικού για όλες τις υπηρεσίες και ελευθερία κινήσεων. Τα WLANs και συγκεκριμένα η τεχνολογία Hiperlan 2 μπορεί να υποστηρίξει τόσο τις υπάρχουσες εφαρμογές όσο και αυτές που προβλέπονται για το μέλλον, προσφέροντας επαρκή εύρος ζώνης και ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσίας. Ένα τυπικό παράδειγμα τοπολογίας WLAN φαίνεται στο *σχήμα 4.4*.



Σχήμα 4.4. Παράδειγμα τοπολογίας WLAN

Αφού τα ασύρματα τοπικά δίκτυα θα δρουν συμπληρωματικά στα δίκτυα UMTS, οι χρήστες των δευτέρων θα μπορούν να εκμεταλλευτούν τις αυξημένες δυνατότητες των WLAN όταν εισέρχονται στην περιοχή κάλυψής τους. Στο *σχήμα 4.5* απεικονίζεται μία αστική περιοχή όπου αρκετά hotspots καλύπτονται από την τεχνολογία Hiperlan 2 ενώ ολόκληρη η περιοχή καλύπτεται από κυψελωτό σύστημα. Φυσικά παρέχεται η δυνατότητα εναλλαγής ανάμεσα στα δίκτυα (roaming).



Σχήμα 4.5. Συνεργασία UMTS και WLAN σε αστική περιοχή

4.3 Πλεονεκτήματα και προβλήματα των ετερογενών δικτύων

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της συνεργασίας διαφορετικών τεχνολογιών δικτύων είναι :

- Από την πλευρά του παρόχου υπηρεσιών
 - Προσφέρει μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Ο σκοπός της ITU-R για 100Mbps στην κάτω ζεύξη και 50Mbps στην άνω ζεύξη θα αυξήσει σημαντικά τη χωρητικότητα της κυψέλης.
 - Μικρότερο κόστος δικτύου και εξοπλισμού. Λόγω του καταμερισμού του κόστους υποδομής και της χρησιμοποίησης φτηνών σταθμών βάσης στα WLAN το ολικό κόστος του δικτύου μειώνεται αισθητά. Επιπλέον η χρήση απλών κινητών τερματικών εξαλείφει την ανάγκη για χρησιμοποίηση δικτύων μεταγωγής κυκλώματος. Έτσι τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς θα είναι μόνο δίκτυα μεταγωγής πακέτου και αυτό λόγω της μαζικής παραγωγής που θα προκαλέσει θα μειώσει το κατασκευαστικό κόστος.
 - Οι άδειες για χρησιμοποίηση συχνοτήτων γύρω από τα 5GHz όπου λειτουργούν τα WLAN, είναι αρκετά φθηνότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες γύρω από τις συχνότητες λειτουργίας των δικτύων 3^{ης} γενιάς.
 - Αυξημένα έσοδα. Το κοινό που χρησιμοποιεί την κάθε υπηρεσία είναι κατά βάση διαφορετικό. Έτσι επειδή ορισμένες υπηρεσίες προσδοκείται ότι θα είναι συμπληρωματικές μεταξύ τους, τα έσοδα κάθε παρόχου πολλαπλών υπηρεσιών αναμένεται να αυξηθούν.
- Από την πλευρά του χρήστη.
 - Ο χρήστης έχει την ελευθερία και την ευκαμψία να επιλέξει οποιαδήποτε υπηρεσία σε ανεκτή τιμή και ικανοποιητική ποιότητα οποτεδήποτε και οπουδήποτε το θελήσει.
 - Roaming. Διαφορετικές κατηγορίες χρηστών έχουν τη δυνατότητα γρήγορης πρόσβασης σε διαφορετικά συνεργαζόμενα δίκτυα, σε σημεία που

επισκέπτονται συχνά (αεροδρόμια, κέντρα πόλεων) με ικανοποιητική ταχύτητα και ποιότητα.

- Θετική επιρροή στην ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών. Ο χρήστης ανάλογα με την υπηρεσία που χρησιμοποιεί εξυπηρετείται από το καταλληλότερο δίκτυο απολαμβάνοντας έτσι την καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσίας.

Τα κυριότερα προβλήματα που ανακύπτουν από τη συνεργασία διαφορετικών τύπων δικτύων στα συστήματα 4^{ης} γενιάς είναι:

- Εκχώρηση του χρήστη στο καλύτερο δίκτυο. Δεδομένου ότι ο χρήστης μπορεί να έχει δυνατότητα πρόσβασης σε περισσότερα από ένα δίκτυα, πρέπει να βρεθεί ο κατάλληλος μηχανισμός που θα οδηγεί το τερματικό στην επιλογή του καταλληλότερου δικτύου. Η απόφαση αυτή πρέπει να παρθεί βασισμένη σε ένα συνδυασμό κριτηρίων, όπως η ζητούμενη από το χρήστη υπηρεσία, η ποιότητα που παρέχει κάθε δίκτυο για τη συγκεκριμένη υπηρεσία, ο τύπος του κινητού τερματικού κ.α.
- Κινητικότητα. Η κινητικότητα είναι ένα κρίσιμο ζήτημα για το εγχείρημα της συνεργασίας διαφορετικών τύπων δικτύων. Συγκεκριμένα, στο στρώμα IP απαιτείται αναπροσαρμογή των πρωτοκόλλων (Mobile IPv4, Mobile IPv6, cellular IP), με σκοπό να υποστηρίξουν γρήγορο και αποδοτικό (χωρίς δηλαδή να το αντιλαμβάνεται ο χρήστης) handover, διατήρηση της ποιότητας των υπηρεσιών και του επιπέδου ασφάλειας.
- Προσαρμογή. Οι αλγόριθμοι του επιπέδου ζεύξης δεδομένων θα πρέπει να μπορούν να προσαρμοστούν σε πιθανές αλλαγές του περιβάλλοντος διάδοσης, των επιπέδων παρεμβολής, της ταχύτητας των χρηστών κ.α.

4.4 Handover μεταξύ διαφορετικών δικτύων (Inter-System handover)

Στα συστήματα 4^{ης} γενιάς όπου όπως προαναφέραμε θα συνυπάρχουν διαφορετικής τεχνολογίας δίκτυα, υπάρχουν δύο τύποι handover που μπορούν να συμβούν :

- Οριζόντιο handover : Αναφέρεται σε περιπτώσεις όπου ένας χρήστης παύει να εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης ενός δικτύου και μεταφέρεται σε άλλο σταθμό βάσης του ίδιου δικτύου. Για παράδειγμα από ένα base station του HSDPA σε ένα άλλο ή από ένα AP του Hiperlan 2 σε ένα άλλο.
- Κατακόρυφο handover : Αναφέρεται στην περίπτωση όπου κάποιος χρήστης παύει να εξυπηρετείται από ένα δίκτυο και εξυπηρετείται πλέον από κάποιο άλλο. Μεταφέρεται δηλαδή από το HSDPA στο Hiperlan 2 ή το αντίστροφο. Για παράδειγμα αν κάποιος χρήστης βρίσκεται σε ένα αεροδρόμιο και εξυπηρετείται από το Hiperlan 2, τη στιγμή που εγκαταλείπει το αεροδρόμιο θα πρέπει να μεταφερθεί στο HSDPA χωρίς ο ίδιος να κάνει κάποια ενέργεια.

4.4.1 Απαιτήσεις στο στρώμα IP

Η επιτυχία του εγχειρήματος συνύπαρξης διαφορετικών τύπων δικτύων σε ένα ετερογενές, εξαρτάται από το βαθμό συνεργασίας που θα επιτευχθεί ανάμεσα στα διαφορετικά δίκτυα. Εμείς ενδιαφερόμαστε όπως προαναφέρθηκε για δίκτυα UMTS και WLAN. Ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η αλληλεπίδραση ανάμεσα στα

δύο δίκτυα παίζει καθοριστικό ρόλο στην καθυστέρηση κατά τη διάρκεια του inter-system handover. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις για το πώς μπορεί να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητα των δύο δικτύων.

- *No coupling*: Το WLAN θεωρείται ως συμπληρωματικό του UMTS αλλά χρησιμοποιείται εντελώς ανεξάρτητα μεταφέροντας τα δεδομένα χωρίς να κάνει χρήση του πυρήνα του δικτύου UMTS. Η επίδοση της λύσης αυτής στο inter-system handover είναι περιορισμένη. Η κινητικότητα του χρήστη ανάμεσα στα δίκτυα μπορεί να επιτευχθεί από μηχανισμούς εξωτερικούς των δύο δικτύων. Το κύριο πλεονέκτημα της λύσης αυτής είναι η γρήγορη εισαγωγή της στη αγορά αφού οι διαφορετικού τύπου κόμβοι δεν αλληλοεπηρεάζονται.
- *Loose coupling*: Το WLAN χρησιμοποιείται και εδώ ως συμπληρωματικό του UMTS αλλά υπάρχει μία κεντρική βάση δεδομένων τόσο για τους χρήστες του WLAN όσο και για αυτούς του UMTS. Αυτή είναι και η κυριότερη διαφορά από την προηγούμενη μέθοδο. Χρησιμοποιώντας μία μόνο βάση δεδομένων απλουστεύεται σημαντικά η διαδικασία της ασφάλειας, της κοστολόγησης και γενικότερα της όλης διαχείρισης των πελατών.
- *Tight coupling*: Το WLAN συνδέεται με το κυψελωτό σύστημα. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιήσει τους μηχανισμούς ασφάλειας, κινητικότητας και όποιους άλλους επιθυμεί του πυρήνα του δικτύου UMTS. Η διαδικασία του inter-system handover βελτιώνεται σημαντικά σε σύγκριση με τις δύο προηγούμενες μεθόδους καθώς οι πληροφορίες που απαιτούνται για τη μεταφορά του χρήστη από το ένα σύστημα στο άλλο είναι διαθέσιμες στον πυρήνα του δικτύου UMTS όπου έχουν άμεση πρόσβαση και τα δύο δίκτυα.

Οι απαιτήσεις για τη διαλειτουργικότητα των δικτύων WLAN και UMTS είναι οι ακόλουθες:

- Συμφωνία ανάμεσα στο διαχειριστή του UMTS και στο διαχειριστή του WLAN που θα έχει ως αποτέλεσμα ο χρήστης να απολαμβάνει τα ίδια πλεονεκτήματα και στα δύο δίκτυα όπως θα συνέβαινε αν τα χειριζόταν και τα δύο ο ίδιος διαχειριστής.
- Χαρακτηριστικά που αφορούν τη χρέωση του συνδρομητή πρέπει να ανταλλάσσονται ανάμεσα στα δύο δίκτυα.
- Τα στοιχεία αναγνώρισης του συνδρομητή πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο από ομογενή δίκτυα UMTS ή WLAN όσο και από ετερογενή δίκτυα που συνδυάζουν τα δύο προηγούμενα είδη.
- Η βάση δεδομένων με τους συνδρομητές πρέπει να είναι είτε κοινή για τα δύο δίκτυα, είτε διαφορετική αλλά στην περίπτωση αυτή θα μοιράζονται τα χαρακτηριστικά ασφάλειας των χρηστών.

4.4.2 Απαιτήσεις στο στρώμα ζεύξης δεδομένων

Η απόδοση του inter-system handover εξαρτάται από τους παράγοντες που έγιναν αιτία να ξεκινήσει η διαδικασία του handover αλλά και από τους αλγορίθμους που είναι υπεύθυνοι για την πραγματοποίησή του.

Οι παράγοντες που προκαλούν την έναρξη της διαδικασίας του handover είναι οι ακόλουθοι:

1. Αλλαγή της θέσης του χρήστη.

Η μετακίνηση του χρήστη από την περιοχή κάλυψης κάποιου δικτύου σε περιοχή η οποία καλύπτεται από κάποιο άλλο, αποτελεί κύριο λόγο εκκίνησης της διαδικασίας handover. Ένα πρωτόκολλο διαχείρισης του inter-system handover στα δίκτυα 4^{ης} γενιάς πρέπει να λάβει υπόψη του το φαινόμενο του “ping-pong” το οποίο μπορεί να προκαλέσει διαδοχικά handover. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να συμβεί όταν ο χρήστης κινείται κατά μήκος των ορίων μιας περιοχής η οποία καλύπτεται παραδείγματος χάρη από ένα WLAN δίκτυο. Στο σημείο εκείνο το λαμβανόμενο σήμα μεταβάλλεται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα τη μία χρονική στιγμή να είναι ισχυρότερο το σήμα από το WLAN και την αμέσως επόμενη το σήμα από το UMTS. Για να μην προκληθούν λοιπόν διαδοχικά handover από το ένα δίκτυο στο άλλο (φαινόμενο “ping-pong”) ο αλγόριθμος που διαχειρίζεται το handover πρέπει να λάβει υπόψη του την κατεύθυνση κίνησης του χρήστη ώστε να διαπιστώσει αν ο χρήστης πρόκειται αν εισέλθει στην περιοχή κάλυψης του WLAN (οπότε και απαιτείται handover) ή απλώς κινείται πάνω στα όριά της.

2. Φορτίο του δικτύου.

Το φορτίο που έχει ένα δίκτυο μπορεί να αποτελέσει παράγοντα εκκίνησης handover μόνο φυσικά στην περιοχή που καλύπτεται και από τα δύο δίκτυα. Συγκεκριμένοι χρήστες της κυψέλης που βρίσκεται μέσα στην περιοχή συνύπαρξης των δύο δικτύων είναι δυνατόν να αναγκαστούν σε κατακόρυφο handover αν ισχύουν οι παρακάτω συνθήκες.

- A. Το φορτίο της κυψέλης έχει ξεπεράσει κάποιο προκαθορισμένο όριο.
- B. Απαιτείται περισσότερη χωρητικότητα από αυτή που μπορεί να προσφέρει η κυψέλη με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εξυπηρέτηση όλων των χρηστών.

Οι χρήστες επιλέγονται σύμφωνα με τα εξής κριτήρια.

- A. Χρήστες με τα περισσότερα πακέτα σε αναμονή για εκπομπή.
- B. Χρήστες με χαμηλή ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών (λόγω πιθανόν χαμηλού σηματοθορυβικού λόγου, υψηλών επιπέδων παρεμβολής κ.α).
- C. Χρήστες με υπηρεσίες κοινές για το HSDPA και το Hiperlan 2.

3. Ποιότητα υπηρεσιών.

Η ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών είναι άλλος ένας σημαντικό λόγος για την έναρξη διαδικασίας handover. Ένα δίκτυο πρέπει να παρέχει στους χρήστες του τουλάχιστον την ελάχιστη ποιότητα υπηρεσιών, όπως είναι το throughput, η καθυστέρηση, το PER ή το FER. Αν αυτά δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από το δίκτυο τότε ο χρήστης προτρέπει σε inter-system handover με την προϋπόθεση βέβαια ότι βρίσκεται σε περιοχή που καλύπτεται και από άλλο δίκτυο.

4. Ταχύτητα του χρήστη.

Τα δίκτυα Hiperlan 2 μπορούν να εξυπηρετήσουν χρήστες των οποίων οι ταχύτητες δεν ξεπερνούν τα 3km/h, χρήστες δηλαδή που κινούνται με ταχύτητα πεζού ανθρώπου. Αντιθέτως το HSDPA μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες χρηστών έως και 120km/h. Ένας χρήστης HSDPA λοιπόν που εισέρχεται με μεγάλη ταχύτητα σε μία περιοχή που καλύπτεται από Hiperlan 2, δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί από το δίκτυο αυτό. Όμως λόγω της ταχύτητάς του θα εξέλθει γρήγορα. Τέτοιου είδους χρήστες σπάνια προτρέπονται σε διαδικασία handover. Από την άλλη, για ένα χρήστη Hiperlan 2 η ταχύτητα δεν αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα για να γίνει handover

αφού το HSDPA μπορεί να υποστηρίξει τις μικρές ταχύτητες των χρηστών του Hiperlan 2.

Ο κύριος σκοπός ενός αλγορίθμου που διαχειρίζεται διαδικασία handover πρέπει να είναι η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας να διακοπεί η επικοινωνία του χρήστη κατά τη διάρκεια του handover. Υψηλός βαθμός αποτυχίας των handovers μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή σχεδιασμό της εκχώρησης πόρων στα δύο δίκτυα. Εάν κατά τη διάρκεια του handover δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι η επικοινωνία του χρήστη θα τερματιστεί. Για να μειωθεί ο ρυθμός αποτυχίας η διαδικασία του handover πρέπει να εμπλουτιστεί με μηχανισμό αναζήτησης των κυψελών στις οποίες ο ρυθμός επιτυχίας είναι χαμηλός και να γίνει βελτιστοποίηση της εκχώρησης πόρων σε αυτές τις κυψέλες. Μία τεχνική για να επιτευχθεί αυτό είναι να γίνει χρήση του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών για δίκτυα κινητών επικοινωνιών (Mobile network Geographic Information System) ώστε να επιλέγεται το σωστότερο access point ή base station για handover. Επίσης αν υπάρχουν περισσότερες από μία γειτονικές κυψέλες στις οποίες μπορεί να μεταπηδήσει ο χρήστης, οι πληροφορίες για τη θέση των κυψελών και του χρήστη θα βοηθήσουν ώστε να γίνει η σωστότερη επιλογή. Τα κύρια πλεονεκτήματα από τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι η μείωση της κίνησης των σημάτων ελέγχου, η αποφυγή διακοπής κάποιας επικοινωνίας και η αύξηση του αριθμού των χρηστών που εξυπηρετούνται πλήρως. Η αποδοτική πρόβλεψη ώστε να επιτευχθεί σωστό handover θα αποτρέψει τη λανθασμένη διανομή των πόρων του δικτύου. Η ανταλλαγή πόρων ανάμεσα σε χρήστες που βρίσκονται σε διαδικασία handover προς αντίθετες κατευθύνσεις, έχει ως αποτέλεσμα την προστασία των πόρων κάθε κυψέλης με αποτέλεσμα να είναι περισσότεροι πόροι διαθέσιμοι για έναρξη νέων επικοινωνιών.

4.5 Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS) : Αρχιτεκτονική & μηχανισμοί προσαρμογής

Στα ετερογενή ασύρματα δίκτυα η παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσιών είναι απρόβλεπτη λόγω των διαφορετικών τεχνολογιών μετάδοσης που χρησιμοποιούνται από τα συνεργαζόμενα δίκτυα. Έτσι χρειάζεται ένας κατάλληλος μηχανισμός που θα εξασφαλίζει για κάθε υπηρεσία την παροχή της απαιτούμενης ποιότητας η οποία δεν θα επηρεάζεται όταν ο χρήστης αλλάζει δίκτυο. Συγκεκριμένα θα υπάρχουν διάφορες βαθμίδες ποιότητας και για κάθε εφαρμογή θα χρησιμοποιείται η καταλληλότερη.

4.5.1 Αρχές αρχιτεκτονικής

Η αρχιτεκτονική του δικτύου θα πρέπει να σεβαστεί ορισμένες αρχές ώστε να παρέχεται στους χρήστες η επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας. Συγκεκριμένα :

- Η ποιότητα υπηρεσίας θα πρέπει να είναι ενιαία και σταθερή σε όλα τα επίπεδα αρχιτεκτονικής του δικτύου ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της απαιτούμενης από άκρο σε άκρο ποιότητας υπηρεσίας.
- Η μεταφορά, ο έλεγχος, και η διαχείριση είναι αρχιτεκτονικά διακριτές λειτουργίες και θα πρέπει να αντιμετωπίζονται σαν χωριστά πλαίσια εργασίας.
- Οι εφαρμογές που εξυπηρετούνται θα πρέπει να προστατεύονται από την πολυπλοκότητα των λεπτομερειών της ποιότητας υπηρεσίας και του τρόπου διαχείρισής τους.

- Η αρχιτεκτονική για την ποιότητα της υπηρεσίας θα πρέπει να είναι απλή ακόμα και αν συμβαίνουν πολύ συχνά επαναλαμβανόμενα handover μεταξύ των δύο δικτύων γεγονός που κάνει πολύπλοκη την όλη διαδικασία.
- Θα πρέπει να είναι ικανή να υποστηρίξει διάφορα είδη κινητών τερματικών, όπως επίσης και δίκτυα διαφορετικών τεχνολογιών.

4.5.2 Μηχανισμοί προσαρμογής

Αν τα επιθυμητά από την κάθε εφαρμογή, επίπεδα ποιότητας δεν μπορούν να εξασφαλιστούν από το δίκτυο, η υπηρεσία θα πρέπει να προσαρμοστεί ώστε να αντιμετωπιστούν επιτυχώς οι αλλαγές στην ποιότητα υπηρεσίας του συστήματος. Αυτό γίνεται είτε με την εμπλοκή του ίδιου του χρήστη είτε με την επίκληση κάποιων προκαθορισμένων προτιμήσεων του χρήστη. Παραδείγματα προσαρμογής της υπηρεσίας είναι η απαίτηση χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης ή μικρότερου μεγέθους frame.

Η ποιότητα υπηρεσίας εκφράζεται μέσα από παραμέτρους όπως είναι η καθυστέρηση, το εύρος ζώνης συχνοτήτων και ο ρυθμός λαθών. Οι απαιτήσεις διαφορετικών υπηρεσιών μπορεί να περιγράφονται από διαφορετικές παραμέτρους κάποιες από τις οποίες ίσως είναι αμοιβαία εξαρτώμενες, όπως για παράδειγμα το φορτίο μετάδοσης με το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Οι παράμετροι της ποιότητας των υπηρεσιών αποτελούν πάντα αντικείμενο διαπραγματεύσεων ανάμεσα στα συστατικά του συστήματος ή μεταξύ των στρωμάτων του.

Η έναρξη της διαδικασίας προσαρμογής της ποιότητας υπηρεσίας προκαλείται πάντα από τον πάροχο πόρων του δικτύου και είναι δυνατόν να συμβεί στις εξής δύο περιπτώσεις:

- *Κατάσταση υπερφόρτωσης του δικτύου:* Η παρούσα ποιότητα υπηρεσίας δεν μπορεί να διατηρηθεί για όλους τους χρήστες που εξυπηρετούνται από το δίκτυο. Ο πάροχος των πόρων καλεί τους χρήστες να αρχίσουν τη διαδικασία επαναδιαπραγμάτευσης και προσαρμογής των απαιτήσεων τους σε ποιότητα. Έτσι ένας χρήστης μπορεί να περάσει κάτω από τον έλεγχο κάποιου άλλου Access Point το οποίο προσφέρει λιγότερο εύρος ζώνης από αυτό που έως τώρα ο χρήστης απαιτούσε. Στην περίπτωση αυτή η διαδικασία προσαρμογής προκαλεί την υποβάθμιση της ποιότητας.
- *Περισσότεροι πόροι είναι διαθέσιμοι:* Αυτή η περίπτωση συμβαίνει όταν κάποιος χρήστης ζητήσει συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας, η οποία όμως είναι αδύνατον να προσφερθεί από το δίκτυο την παρούσα χρονική στιγμή. Τότε ο χρήστης ζητάει να ενημερωθεί όταν περισσότεροι πόροι γίνουν διαθέσιμοι με αποτέλεσμα το επίπεδο υπηρεσίας που ζήτησε να είναι εφικτό. Η διαδικασία προσαρμογής εδώ, έχει ως στόχο την αναβάθμιση της ποιότητας.

5

Το πρωτόκολλο MAC που υλοποιήθηκε

5.1 Εισαγωγή

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, πρωταρχικός στόχος των δικτύων 4^{ης} γενιάς είναι να επιτύχουν τη συνύπαρξη διαφορετικών τεχνολογιών μέσα σε ένα ετερογενές δίκτυο και να προσφέρουν στους χρήστες τους ένα μεγάλο εύρος υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και ποιότητα. Τα χαρακτηριστικά αυτά απαιτούν τη βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

Οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται από τα δίκτυα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες κάθε μία από τις οποίες έχει τα δικά της χαρακτηριστικά όσον αφορά την απαιτούμενη ποιότητα και το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Η μία κατηγορία αφορά υπηρεσίες δεδομένων (data) και η άλλη υπηρεσίες πολυμέσων (multimedia). Αφού οι δύο αυτές κατηγορίες θεωρούνται ετερογενείς, το υπάρχον πρωτόκολλο MAC δεν είναι κατάλληλο για τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς. Επομένως πρέπει να γίνει χρήση ενός άλλου πρωτοκόλλου το οποίο και υλοποιήσαμε στην παρούσα διπλωματική.

Σημαντικό ζήτημα στην υλοποίηση ενός MAC πρωτοκόλλου είναι η ταξινόμηση η οποία καθορίζει τη σειρά με την οποία θα μεταδοθούν μέσα στο MAC frame τα πακέτα των διαφόρων χρηστών. Προηγούμενες μέθοδοι ταξινόμησης όπως η κυκλική εναλλαγή (round robin) και GPS (Generalized Processor Sharing) φτιάχτηκαν για καλωδιακά δίκτυα. Μία πιο πρόσφατη μέθοδος με δίκαιη επιλογή απόρριψης πακέτων (fair packet loss scheduler - FPLS) που προτάθηκε από [12] διαφέρει από εκείνη που υλοποιήσαμε στα εξής σημεία :

- Αναφέρεται σε συστήματα TDD/CDMA ενώ η δική μας αφορά TDD/TDMA συστήματα.
- Το MAC frame αποτελείται από σχισμές σταθερής διάρκειας, μέσα στις οποίες μεταδίδονται τα επίσης σταθερής διάρκειας πακέτα, τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη. Αντιθέτως στην πρόταση που υλοποιείται εδώ, το

πεδίο της άνω και κάτω ζεύξης του MAC frame χωρίζεται δυναμικά σε χρονοσχιστές διαφορετικής διάρκειας ώστε οι χρήστες να μεταδώσουν τα διαφορετικής διάρκειας PDUs (Packet Data Units).

- Δεν κάνει αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης στην περίπτωση εξυπηρέτησης διαφορετικών τύπων υπηρεσιών.
- Χρησιμοποιεί διαφορετική στρατηγική στην απόρριψη πακέτων. Συγκεκριμένα απορρίπτει πακέτα από όλους τους χρήστες οι οποίοι μπορούν να ανεχτούν απόρριψη.
- Δεν λαμβάνει υπόψη την πιθανή συνύπαρξη διαφορετικών δικτύων. Ως συνέπεια δεν έχει την ικανότητα να εκτρέψει ένα χρήστη από το ένα δίκτυο στο άλλο ώστε να ελευθερώσει πόρους σε περίπτωση υπερφόρτωσης κάποιου δικτύου και να αυξήσει τον αριθμό των ικανοποιημένων χρηστών.

Τα παραπάνω αποδεικνύουν ότι το MAC frame που υλοποιήσαμε είναι το πρώτο που υποστηρίζει τη συνύπαρξη διαφορετικών τύπων δικτύων.

Ένας χρήστης ορίζεται ως ικανοποιημένος αν έχει εκπληρώσει τις εξής προϋποθέσεις:

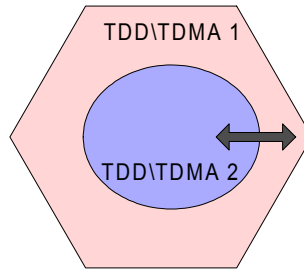
- Ο χρήστης δεν μπλοκάρεται όταν εισέρχεται στο σύστημα.
- Το throughput μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το επίσης προκαθορισμένο όριο.
- Ο χρήστης δεν απορρίπτεται από το σύστημα.

Το πρωτόκολλο MAC που υλοποιήσαμε λαμβάνει υπόψη του το φορτίο του συστήματος και τις απαιτήσεις των χρηστών σε ποιότητα, επιτυγχάνοντας έτσι υψηλή εκμετάλλευση των πόρων του συστήματος και καλή απόδοση σε περιβάλλοντα όπου πολλές υπηρεσίες απαιτούν εξυπηρέτηση. Επίσης ο μηχανισμός απόρριψης πακέτων αναπτύχθηκε ώστε να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Το εύρος ζώνης κατανέμεται δυναμικά στις υπηρεσίες σε κάθε frame.
- Η προτεραιότητα δίνεται στους χρήστες με τέτοιο τρόπο ώστε να αυξάνεται το throughput του συστήματος και να διατηρείται η δίκαιη κατανομή του διαθέσιμου εύρους ζώνης μεταξύ των χρηστών.
- Όταν οι απαιτούμενοι πόροι υπερβαίνουν αυτούς που διαθέτει το σύστημα τότε απορρίπτονται οι χρήστες με τα εξής χαρακτηριστικά: (1) εξυπηρετούν υπηρεσίες που παρουσιάζουν ανοχή στην απόρριψη (multimedia and voice services) και (2) έχουν χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο.
- Υποστηρίζει δυνατότητα συνύπαρξης και συνεργασίας διαφορετικών δικτύων με σκοπό να αυξήσει τον αριθμό των ικανοποιημένων χρηστών.

5.2 Μοντέλο συστήματος

Το σύστημά μας θεωρούμε ότι αποτελείται από δύο ασύρματα δίκτυα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο Time Division Duplex (TDD). Η TDD μέθοδος εξυπηρετεί καλύτερα στην περίπτωση ασύμμετρης κίνησης ανάμεσα στην κάτω και την άνω ζεύξη. Επίσης η κατάληψη του καναλιού από τους χρήστες γίνεται με πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA). Το σενάριο που μόλις περιγράψαμε απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί :



Σχήμα 5.1. Δύο συνυπάρχοντα και συνεργαζόμενα TDD/TDMA ασύρματα δίκτυα

Ο χρόνος διαιρείται σε σταθερής χρονικής διάρκειας frames, ενώ τα πεδία στα οποία χωρίζεται κάθε frame έχουν μεταβλητή διάρκεια. Η πληροφορία που θέλει να μεταδώσει κάθε κινητό τερματικό διαμελίζεται σε PDUs. Το μέγεθος και η διάρκεια κάθε PDU εξαρτάται από την ταχύτητα μετάδοσης πληροφορίας και από την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας. Κάθε PDU έχει ένα χαρακτηριστικό μέγεθος που ονομάζεται χρόνος ζωής (timeout value). Τη στιγμή που γεννιέται το μέγεθος αυτό παίρνει μία προκαθορισμένη τιμή η οποία εκφράζει το χρονικό διάστημα σε frames μέσα στο οποίο το PDU πρέπει να αποσταλεί γιατί διαφορετικά θα απορριφθεί. Για κάθε frame που αποστέλλεται και δεν συμπεριλαμβάνει το PDU, ο χρόνος ζωής του PDU μειώνεται κατά ένα. Έτσι ανά πάσα στιγμή η timeout value ενός μη απεσταλμένου PDU έχει τιμή ίση με τη διαφορά της τιμής που παίρνει μόλις γεννηθεί μείον τον αριθμό των frames που πέρασαν από τη στιγμή της γέννησής του. Ο χρόνος ζωής σε συνδυασμό με το σηματοθορυβικό λόγο αποτελούν κριτήρια που καθορίζουν την προτεραιότητα αποστολής κάθε PDU.

Για να γίνει κατανοητή η χρήση του PDU ως μονάδας πληροφορίας δίνεται το ακόλουθο παράδειγμα: Ας υποθεθεί ένα δίκτυο TDMA τεχνολογίας hiperlan 2 και ένας χρήστης με υπηρεσία multimedia (π.χ videophone) με ρυθμό 384Kbps που ζητάει να εξυπηρετηθεί. Αν η ποιότητα της ζεύξης επιτρέπει ταχύτητα μετάδοσης 9Mbps και το PDU αποτελείται από 96 bytes τότε ο χρόνος αποστολής του είναι ίσος με:

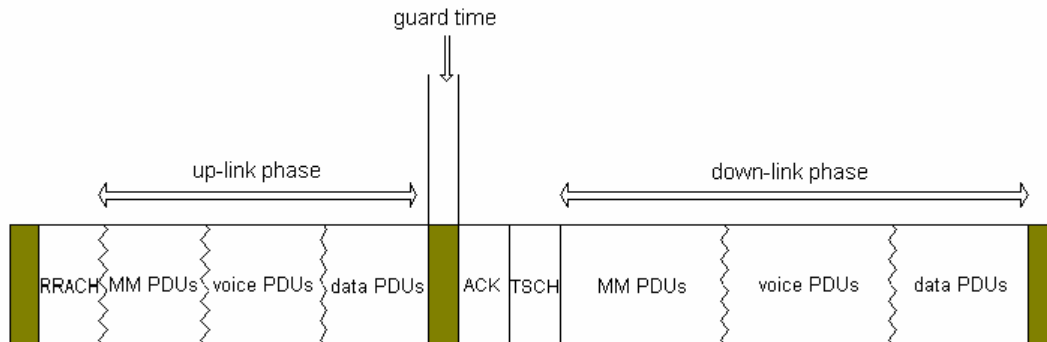
$$\text{με: } \frac{96 * 8 \text{bits}}{9 \text{Mbps}} = 85.3 \mu \text{sec} .$$

Επιπλέον, όταν σε ένα δίκτυο υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός χρηστών με αποτέλεσμα να εξαντλούνται οι πόροι του συστήματος ενώ παράλληλα δεν υπάρχει δυνατότητα απόρριψης κάποιων PDUs (που αφορούν υπηρεσίες multimedia και voice) διατηρώντας ταυτόχρονα την πιθανότητα λάθους (PER) στα επιθυμητά επίπεδα, τότε ένας αριθμός χρηστών που εξυπηρετούν υπηρεσίες δεδομένων (υπηρεσίες με ανοχή στην καθυστέρηση) εξαναγκάζονται να αρχίσουν διαδικασία handover προς ένα άλλο δίκτυο που συνυπάρχει και έχει τους απαραίτητους πόρους για να τους εξυπηρετήσει. Οι χρήστες που εξαναγκάζονται είναι αυτοί με το χαμηλότερο σηματοθορυβικό λόγο. Η χρονική στιγμή που ξεκινάει η διαδικασία του handover βασίζεται με κριτήρια που αναπτύσσονται παρακάτω.

5.3 Πρωτόκολλο MAC

Στα δίκτυα 4^{ης} γενιάς το MAC frame μεταφέρει δεδομένα διαφόρων ειδών υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις σε ποιότητα. Επίσης η λειτουργία του πρέπει

να είναι τέτοια ώστε να εκμεταλλεύεται τη συνύπαρξη διαφορετικών ειδών δικτύων με σκοπό τη μείωση των απορριφθέντων πακέτων. Στο *σχήμα 5.2* απεικονίζεται το πρωτόκολλο MAC που υλοποιήσαμε και το οποίο αφορά όπως αναφέρθηκε νωρίτερα TDD/TDMA δίκτυα.



Σχήμα 5.2. Τα διαφορετικά πεδία του MAC frame που υλοποιήθηκε

Η μετάδοση άνω ζεύξης ξεκινάει με το κανάλι τυχαίας προσπέλασης (random request access channel – RRACH) και ακολουθεί η φάση άνω ζεύξης. Η τελευταία αποτελείται από τρεις χρονικές περιόδους. Την περίοδο που αφορά υπηρεσίες multimedia και τις αντίστοιχες για υπηρεσίες φωνής (voice) και δεδομένων (data). Η διάρκεια καθενιάς από τις περιόδους αυτές προσδιορίζεται δυναμικά μέσα στο MAC frame. Η μετάδοση κάτω ζεύξης αποτελείται από το κανάλι επιβεβαίωσης (ACK), το κανάλι ταξινόμησης της μετάδοσης (TSCH) και από τη φάση κάτω ζεύξης η οποία περιέχει τις ίδιες χρονικές περιόδους με την αντίστοιχη άνω ζεύξης που περιγράφηκε προηγουμένως.

Ο ρόλος καθενός από τα παραπάνω τμήματα του MAC frame εξηγείται ευθύς αμέσως.

- *Κανάλι RRACH:* Κάθε χρήστης που έχει δεδομένα προς μετάδοση στέλνει μέσω του καναλιού RRACH μία αίτηση προς το σταθμό βάσης και ζητάει να του εκχωρηθεί το κατάλληλο χρονικό διάστημα στο επόμενο MAC frame ώστε να τα μεταδώσει. Η αίτηση αυτή περιέχει το ID του χρήστη, την υπηρεσία που εξυπηρετεί (multimedia, data, voice), τον αριθμό των PDUs με το μικρότερο χρόνο ζωής τις οποίες και θέλει να μεταδώσει, την timeout value των συγκεκριμένων PDUs, καθώς και το σηματοθορυβικό λόγο της ζεύξης του χρήστη με το σταθμό βάσης. Για να στείλει την αίτηση αυτή επιλέγει τυχαία μία χρονική στιγμή μέσα στο διάστημα $[T_0, T_1]$, όπου $T_1 - T_0$ η χρονική διάρκεια του καναλιού RRACH, και αρχίζει τη μετάδοση της αίτησής του. Είναι πιθανόν δύο ή περισσότεροι σταθμοί να προσπαθήσουν να εκπέμψουν την ίδια χρονική στιγμή οπότε συντελείται σύγκρουση και οι αιτήσεις δεν φτάνουν στο σταθμό βάσης.
- *Φάση άνω ζεύξης:* Στη φάση αυτή μεταδίδονται τα δεδομένα πληροφορίας από τα κινητά τερματικά προς το σταθμό βάσης.
- *Κανάλι επιβεβαίωσης (ACK):* Στο κανάλι αυτό ο σταθμός βάσης εκπέμπει τα ID των χρηστών των οποίων οι αιτήσεις για μετάδοση δεν συγκρούστηκαν.
- *Κανάλι TSCH:* Περιέχει την ταξινόμηση της μετάδοσης για το επόμενο MAC frame. Αναφέρει δηλαδή σε ποια χρονική στιγμή της φάσης άνω ζεύξης του

επομένου MAC frame θα εκπέμψει καθένας από τους χρήστες των οποίων οι αιτήσεις δεν συγκρούστηκαν και οι οποίοι προγραμματίστηκαν από το σταθμό βάσης να εκπέμψουν.

- *Φάση κάτω ζεύξης*: Μεταδίδονται τα δεδομένα πληροφορίας από το σταθμό βάσης προς το κινητό τερματικό.

Κατά τη διάρκεια της φάσης άνω ζεύξης δεν υπάρχει περίπτωση συγκρούσεων αφού κάθε κινητό τερματικό μεταδίδει το χρονικό διάστημα εκείνο που έχει καθορίσει ο σταθμός βάσης και έχει αποσταλεί προς το κινητό τερματικό στο πεδίο TSCH του προηγούμενου MAC frame.

Όπως αναφέραμε κατά τη διάρκεια αποστολής αιτήσεων από τους χρήστες στο κανάλι RRACH συμβαίνουν συγκρούσεις ανάμεσα σε χρήστες που τυγχάνει να επιχειρούν μετάδοση την ίδια χρονική στιγμή. Αν το φορτίο της κυψέλης είναι μεγάλο οι συγκρούσεις μπορεί να ελαττώσουν σημαντικά την απόδοση του δικτύου. Για να μειωθεί το ποσοστό των συγκρούσεων το πρωτόκολλο MAC που υλοποιήθηκε χρησιμοποιεί την εξής τεχνική: Στο κανάλι RRACH δεσμεύεται χρόνος για κάθε χρήστη υπηρεσίας multimedia με αποτέλεσμα αυτού του είδους οι χρήστες να μην συναγωνίζονται το κανάλι και να μην υπάρχει πιθανότητα σύγκρουσής τους. Οι υπόλοιποι χρήστες συναγωνίζονται τη χρονική διάρκεια του καναλιού που απομένει. Όταν κατά τη διάρκεια της φάσης άνω ζεύξης κάποιος multimedia χρήστης στέλνει δεδομένα, ενημερώνει ταυτόχρονα το σταθμό βάσης αν έχουν γεννηθεί καινούρια PDUs ώστε να γνωρίζει ο τελευταίος για ποιους χρήστες πρέπει να κρατήσει χρόνο στο κανάλι RRACH του επόμενου MAC frame. Ο χρόνος αυτός κρατείται ώστε να ενημερωθεί ο σταθμός βάσης για τυχόν αλλαγές στον αριθμό των PDUs στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε.

Οι υπηρεσίες φωνής μπορούν να περιγραφούν με το μοντέλο on-off. Το τερματικό του χρήστη συγκεντρώνει την πληροφορία που δημιουργείται, την ομαδοποιεί σε PDUs και την αποστέλλει. Ο αριθμός των πακέτων πληροφορίας που συγκροτούν ένα PDU εξαρτάται από την ποιότητα της ζεύξης ανάμεσα στο σταθμό βάσης και το χρήστη, δηλαδή από το σηματοθορυβικό λόγο και κατά συνέπεια από την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Μόνο όταν έχει συγκροτηθεί ένα PDU συναγωνίζεται ο χρήστης το κανάλι RRACH ώστε να μην υπάρχουν περιττές αιτήσεις οι οποίες αυξάνουν το ποσοστό των συγκρούσεων και μειώνουν την απόδοση του συστήματος.

Για κίνηση δεδομένων (data), όπως για παράδειγμα υπηρεσίες *web browsing*, η οποία παρουσιάζει μεγάλα διαστήματα σιγής και εξάρσεις σε διάφορες χρονικές στιγμές, ο χρήστης στέλνει αίτηση στο κανάλι RRACH μόλις φτάσει σε αυτόν μία έξαρση. Εκτός των άλλων, ενημερώνει τη βάση για το χρόνο που πρέπει να του δώσει μέσα στο MAC frame ώστε να πετύχει τον επιθυμητό για την υπηρεσία ρυθμό μετάδοσης.

Τα κριτήρια ποιότητας (ρυθμός μετάδοσης, ρυθμός λαθών και καθυστέρηση) που θεωρούμε για τις τρεις υπηρεσίες με τις οποίες ασχολούμαστε παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

Service	Tx rate	QoS
MM	12.2 Kbps	=1% PER <400 ms one way delay
Voice	384 Kbps-1.5 Mbps	<1% PER <400 ms one way delay
Data	32 Kbps -1Mbps	0% PER <4sec delay

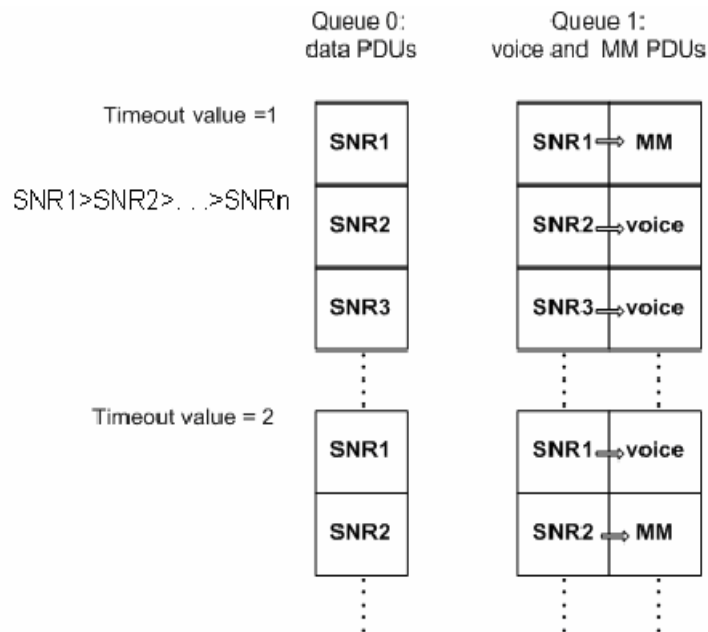
Πίνακας 1. Κριτήρια ποιότητας υπηρεσίας

5.4 Ταξινόμηση με επιλεκτική απόρριψη πακέτων (SPL scheduler)

Όταν σχεδιάζεται μία τεχνική ταξινόμησης πακέτων πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη παράγοντες όπως το διαθέσιμο εύρος ζώνης, η χωρητικότητα του συστήματος, τα απαιτούμενα κριτήρια ποιότητας κάθε υπηρεσίας (QoS), καθώς και τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει η κίνηση μέσα στο δίκτυο. Ο λόγος είναι για να μπορέσει να σχεδιαστεί η βέλτιστη τεχνική η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα την αποδοτική εκμετάλλευση των πόρων του δικτύου. Ο αλγόριθμος που υλοποιήσαμε για την ταξινόμηση έχει δώσει ιδιαίτερη βαρύτητα στους προαναφερθέντες παράγοντες και παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά :

- Αρχικά κατασκευάζονται δύο σειρές προτεραιότητας, μία για PDUs που αφορούν υπηρεσίες δεδομένων και μία για αυτές που αφορούν υπηρεσίες πολυμέσων και φωνής, όπως απεικονίζει το *σχήμα 5.3*.
- Για PDUs ίδιας υπηρεσίας δίνεται προτεραιότητα καταρχήν σε αυτές που έχουν το μικρότερο χρόνο ζωής (το μικρότερο timeout value).
- PDUs ίδιας υπηρεσίας με ίδιο χρόνο ζωής ταξινομούνται με βάση το σηματοθορυβικό λόγο του χρήστη. Προτεραιότητα δίνεται σε PDUs χρηστών με μεγαλύτερο SNR.
- Αρχικά για κάθε μία από τις ουρές προτεραιότητας ταξινομούνται τα PDUs με *timeout value = 1* (αν υπάρχουν), κατόπιν αυτά με *timeout value = 2* κ.ο.κ έως ότου δεν υπάρχει άλλος διαθέσιμος χρόνος στο MAC frame ή έως ότου ταξινομηθούν όλα τα PDUs όλων των χρηστών.
- Ο χρόνος που απαιτείται σε κάθε MAC frame για καθένα από τα τρία είδη υπηρεσιών προσδιορίζεται δυναμικά από το μηχανισμό ταξινόμησης.
- Όταν ο χρόνος του MAC frame δεν επαρκεί για να μεταδοθούν όλα τα PDUs που έχουν *timeout value = 1* (αυτά τα PDUs έχουν εξαντλήσει τα χρονικά περιθώρια αναμονής), τότε απορρίπτονται PDUs που αφορούν υπηρεσίες πολυμέσων και φωνής, υπηρεσίες που όπως είπαμε ανέχονται ένα ποσοστό λανθασμένων μεταδόσεων.
- Όταν το σύστημα αντιληφθεί ότι δε μπορεί να εξυπηρετήσει όλους τους χρήστες του διατηρώντας ταυτόχρονα την απαιτούμενη ποιότητα για κάθε υπηρεσία, εξαναγκάζει σε handover προς το συνυπάρχον δίκτυο ορισμένους

χρήστες που εξυπηρετούν υπηρεσίες δεδομένων (υπηρεσίες που μπορούν να ανεχτούν την καθυστέρηση της διαδικασίας handover). Και εδώ ξεκινάμε την επιλογή από τους χρήστες με το χαμηλότερο σηματοθορυβικό λόγο. Ο αριθμός των χρηστών που εξαναγκάζονται σε handover είναι τέτοιος ώστε να ελευθερωθεί στο MAC frame ο απαραίτητος χρόνος για να μπορούν όλοι οι εναπομείναντες χρήστες να εξυπηρετούνται διατηρώντας την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας. Ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνεται το σύστημα ότι πρέπει να ξεκινήσει τη διαδικασία handover θα αναφερθεί παρακάτω.



Σχήμα 5.3. Η σειρά ταξινόμησης των PDUs στις δύο ουρές προτεραιότητας

Αναλυτικότερα, όταν οι αιτήσεις για μετάδοση φτάνουν από τους χρήστες στο σταθμό βάσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας που εξυπηρετούν. Η πρώτη κατηγορία αφορά χρήστες με υπηρεσίες δεδομένων και η δεύτερη χρήστες με υπηρεσίες πολυμέσων και φωνής. Για κάθε κατηγορία κατασκευάζεται η ουρά προτεραιότητας με κυρίαρχο κριτήριο όπως προαναφέρθηκε, το χρόνο ζωής καθενός από τα PDUs. Τα PDUs με *timeout value* = 1 έχουν το μεγαλύτερο βαθμό προτεραιότητας αφού αν δεν εξυπηρετηθούν θα πρέπει να απορριφθούν. Επίσης μεταξύ PDUs με ίσο χρόνο ζωής επιλέγεται αυτό που ο χρήστης του έχει μεγαλύτερο SNR, άρα ευνοϊκότερες συνθήκες μετάδοσης και ως εκ τούτου καταναλώνει λιγότερους πόρους από το σύστημα και καταλαμβάνει μικρότερη χρονική διάρκεια μέσα στο MAC frame. Στα PDUs που δεν κατάφεραν τελικά να μεταδοθούν στο παρόν frame, μειώνεται η *timeout value* κατά ένα. Επομένως όσο περνάνε τα frames και ένα PDU δεν μεταδίδεται αποκτά ολοένα και μεγαλύτερο βαθμό προτεραιότητας.

5.5 Κριτήρια απόρριψης PDUs

Αναφέρθηκε νωρίτερα ότι αν ο χρόνος μέσα στο MAC frame δεν επαρκεί για να εξυπηρετηθούν όλα τα PDUs με $timeout\ value = 1$ τότε αναγκαστικά ορισμένα πρέπει να απορριφθούν. Τα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέγονται αυτά που θα απορριφθούν είναι τα εξής :

- Επιλέγονται μόνο PDUs που αφορούν υπηρεσίες multimedia και voice. Οι υπηρεσίες αυτές όπως έχει τονιστεί ξανά, δείχνουν ως ένα βαθμό ανοχή στην απόρριψη πακέτων. Η διαδικασία απόρριψης ξεκινάει από εκείνα τα PDUs με το χαμηλότερο SNR γιατί λόγω των μη ευνοϊκών συνθηκών που επικρατούν κατά τη μετάδοσή τους καταλαμβάνουν μακρύ χρονικό διάστημα στο MAC frame. Η απόρριψή τους λοιπόν θα ελευθερώσει περισσότερο εύρος ζώνης σε σύγκριση με αυτό που θα ελευθερωνόταν αν απορρίπταμε PDUs με μεγαλύτερο SNR.
- Φροντίζεται να μην παραβιαστεί το PER (PDU error rate) που έχει τεθεί ως όριο για κάθε μία υπηρεσία, ώστε να μην διαταράσσεται η ποιότητά της. Προτού δηλαδή απορριφθεί ένα PDU κάποιου χρήστη ελέγχεται αν για τα προηγούμενα εκατό frames ο χρήστης είχε υποστεί ξανά απόρριψη. Μόνο αν το αποτέλεσμα του ελέγχου είναι αρνητικό προχωράει η διαδικασία απόρριψης. Έτσι διατηρείται το όριο του 1% που έχει οριστεί ως PER για τις υπηρεσίες πολυμέσων και φωνής.

5.6 Κριτήριο έναρξης διαδικασίας handover

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου MAC που υλοποιήθηκε είναι ότι εκμεταλλεύεται τη συνύπαρξη δικτύων διαφορετικών τεχνολογιών για να μειώσει τις απορρίψεις πακέτων και να παρέχει την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσιών. Αυτό επιτυγχάνεται αναγκάζοντας κάποιους χρήστες να αλλάξουν δίκτυο όταν δεν υπάρχει δυνατότητα να εξυπηρετηθούν όλοι.

Για να αντιληφθεί το δίκτυο τη χρονική στιγμή στην οποία πρέπει να εκκινήσει η διαδικασία handover εισήχθη η παράμετρος “HoS” η οποία ορίζεται ως εξής:

$$HoS = \left\lfloor \frac{N_Serv}{N_drop * (PER_B * 100)} \right\rfloor - Ho_del + 1$$

Όπου:

- N_Serv : Ο αριθμός των multimedia και voice PDUs που εξυπηρετήθηκαν στο τρέχον MAC frame.
- N_drop : Ο αριθμός των multimedia και voice PDUs που απορρίφθηκαν στο τρέχον MAC frame
- PER_B : Ο μέγιστος επιτρεπτός ρυθμός λαθών (PDU error rate). Στην περίπτωση μας είναι ίσος με 0.01.
- Ho_del : Το χρονικό διάστημα σε frames που απαιτείται από τη στιγμή που θα αρχίσει η διαδικασία του handover μέχρι να ολοκληρωθεί. Κατά την προσομοίωση που πραγματοποιήσαμε θεωρήθηκε ίσο με δύο.

Η παραπάνω αριθμητική παράσταση υπολογίζεται σε κάθε frame όπου μία ή περισσότερες PDUs απορρίφθηκαν. Ανάλογα με την τιμή που θα προκύψει θα γίνει μία από τις παρακάτω ενέργειες.

- Εάν η τιμή είναι διαφορετική από την αυτήν που προέκυψε στο προηγούμενο frame τότε η παράμετρος HoS παίρνει την τιμή που μόλις υπολογίστηκε.
- Εάν η τιμή είναι ίδια με αυτήν του προηγούμενου frame τότε η HoS μειώνεται κατά ένα. Ίδια τιμή σημαίνει ότι η κατάσταση στο δίκτυο όσον αφορά την κίνηση παρέμεινε σταθερή.
- Εάν η τιμή είναι ίση με μηδέν τότε η παράμετρος HoS γίνεται μηδέν ανεξάρτητα με την προηγούμενη τιμή.

Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζεται ένα παράδειγμα για πληρέστερη κατανόηση.

αύξων αριθμός frame	αποτέλεσμα παράστασης	HoS
t	5	5
t+1	7	7
t+2	3	3
t+3	3	2
t+4	3	1

Πίνακας 2. Παράδειγμα τιμών παραμέτρου HoS

Αν η παράμετρος HoS πάρει την τιμή μηδέν τότε :

1. Υπολογίζεται η χρονική διάρκεια των multimedia και voice PDUs που απορρίφθηκαν.
2. Επιλέγεται ένας αριθμός από data PDUs των οποίων η συνολική χρονική διάρκεια πρέπει να είναι ίση με τη διάρκεια που υπολογίστηκε στο βήμα 1. Η επιλογή γίνεται ξεκινώντας από το PDU με το μικρότερο σηματοθορυβικό λόγο. Κατόπιν αναγκάζονται οι χρήστες στους οποίους ανήκουν τα PDUs που επιλέχθηκαν να ξεκινήσουν διαδικασία handover στο συνυπάρχον δίκτυο.

Ο λόγος που επιλέγουμε PDUs με μικρό SNR είναι ο ίδιος με αυτόν που περιγράφηκε παραπάνω στην περίπτωση επιλογής multimedia και voice PDUs για απόρριψη. Λόγω δηλαδή των μη ευνοϊκών συνθηκών που επικρατούν κατά τη μετάδοσή τους καταλαμβάνουν μακρύ χρονικό διάστημα στο MAC frame οπότε αν οι χρήστες στους οποίους ανήκουν μεταφερθούν σε άλλο δίκτυο θα ελευθερωθούν πόροι του δικτύου και θα αδειάσει σημαντικός χώρος στο MAC frame. Έτσι θα εξυπηρετηθούν χρήστες οι οποίοι σε διαφορετική περίπτωση κινδύνευαν να μην ικανοποιηθούν από το σύστημα. Τονίζεται ότι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η διαδικασία και ο οποίος μόλις περιγράφηκε, έχει το πλεονέκτημα ότι ελευθερώνονται από το δίκτυο τόσοι πόροι όσοι ακριβώς χρειάζονται. Μειώνεται έτσι η πιθανότητα να υπερφορτώσουμε το άλλο δίκτυο στην προσπάθεια μας να αποσυμφορήσουμε το πρώτο.

Η μεγάλη σημασία του αλγορίθμου που περιγράφηκε σε αυτήν την ενότητα και τον οποίο υλοποιήσαμε, είναι ότι ενσωματώνει τη συνύπαρξη και τη συνεργασία δύο διαφορετικής τεχνολογίας TDD/TDMA δικτύων με αποτέλεσμα να βελτιστοποιεί τον αριθμό των ικανοποιημένων χρηστών.

5.7 Περιγραφή αλγορίθμου υλοποίησης

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται σε γενικές γραμμές και σε μορφή ψευδοκώδικα η υλοποίηση όσων αναφέρθηκαν έως τώρα. Σημειώνουμε ότι ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε προστέθηκε σε ήδη υπάρχον πρόγραμμα προσομοίωσης του οποίου η αρχιτεκτονική περιγράφεται σε παρακάτω κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής. Αλλάξαμε δηλαδή τη φιλοσοφία του πρωτοκόλλου MAC που χρησιμοποιούσε και το “αναγκάσαμε” να χρησιμοποιήσει αυτή που περιγράφηκε παραπάνω.

Ακολουθεί η περιγραφή του αλγορίθμου σε μορφή ψευδοκώδικα.

Για κάθε ένα Access Point του δικτύου H2

```
{
  /*αρχικοποιήσεις*/
  number of multimedia pdus dropped = 0
  duration of multimedia pdus dropped = 0
  time remaining= 82% MAC DURATION //mac duration- overhead
```

Για tm από 1 έως το μέγιστο χρόνο ζωής ενός pdu

```
{
  αν time remaining <= 0 τότε
    break
```

users queue = ταξινομημένη κατά SNR ουρά χρηστών του AP

Για καθένα από τους χρήστες που βρίσκονται μέσα στην users queue και με σειρά από τον πρώτο (υψηλότερο SNR) προς τον τελευταίο

```
{
  αν έχει pdu με timeout value = tm & εξυπηρετεί υπηρεσίες δεδομένων τότε
  {
    βάλε το χρήστη στην data users queue
    time remaining = time remaining – pdu duration
  }
```

αν έχει pdu με timeout value = tm & εξυπηρετεί υπηρεσίες πολυμέσων τότε

```
{
  βάλε το χρήστη στην multimedia users queue
  time remaining = time remaining – pdu duration
}
```

αν time remaining <= 0 τότε

```
  break
}
```

Αν tm = 1 /*σημαίνει ότι εξαντλήθηκε ο χώρος στο MAC frame χωρίς να έχουν εξυπηρετηθεί όλοι οι χρήστες που έχουν pdu με timeout value = 1 */

```
{
  unsatisfied pdu duration = 0
```

Για κάθε χρήστη που έχει pdu με timeout value = 1 και δεν ικανοποιήθηκε

```
{
```



```

αν εξυπηρετεί υπηρεσίες δεδομένων τότε
{
  βάλε το χρήστη στην data users queue
  unsatisfied pdu duration = unsatisfied pdu duration + pdu duration
}

αν εξυπηρετεί υπηρεσίες πολυμέσων & στα 100 προηγούμενα frames έχει υποστεί drop τότε
{
  βάλε το χρήστη στην multimedia users queue
  unsatisfied pdu duration = unsatisfied pdu duration + pdu duration
}

αν εξυπηρετεί υπηρεσίες πολυμέσων & στα 100 προηγούμενα frames δεν έχει υποστεί drop τότε
{
  η pdu του χρήστη γίνεται drop
  number of multimedia pdus dropped = number of multimedia pdus dropped + 1
  duration of multimedia pdus dropped = duration of multimedia pdus dropped + pdu duration
}
}

```

```

Όσο unsatisfied pdu duration > 0
{
  Πάρε τον τελευταίο χρήστη της multimedia users queue (χρήστης με το χαμηλότερο SNR)
  Αν ο χρήστης στα 100 προηγούμενα frames δεν έχει υποστεί drop τότε
  {
    η pdu του χρήστη γίνεται drop
    unsatisfied pdu duration = unsatisfied pdu duration - pdu duration
    number of multimedia pdus dropped = number of multimedia pdus dropped + 1
    duration of multimedia pdus dropped = duration of multimedia pdus dropped + pdu duration
    ο χρήστης βγαίνει από την multimedia users queue
  }
}

```

```

Αν number of multimedia pdus dropped ≠ 0
{
  multimedia pdus served = size of multimedia users queue

```

$$\text{current HoS} = \left\lfloor \frac{\text{multimedia_pdus_served}}{\text{multimedia_pdus_dropped} * (\text{PER_B} * 100)} \right\rfloor - \text{Ho_del} + 1$$

```

Αν current HoS = 0 ή current HoS < 0
  HoS = 0

```

```

Αλλιώς αν current HoS ≠ previous HoS

```

```

{
  HoS = current HoS
  previous HoS = current HoS
}

```

```

Αλλιώς αν current HoS = previous HoS

```

```

  HoS = HoS - 1

```

```

Αν HoS = 0

```

```

{
  Όσο duration of multimedia pdus dropped > 0
  {

```

```

    πάρε τον τελευταίο χρήστη της data users queue (χρήστης με το χαμηλότερο SNR)
    ανάγκασέ τον να εκκινήσει διαδικασία handover
  }
}

```

```

        duration of multimedia pdus dropped = duration of multimedia pdus dropped - pdu duration
    }
}
}
}
Αποστολή της πρώτης PDU κάθε χρήστη που βρίσκεται στις ουρές data users queue και multimedia
users queue
}

```

Για καθένα από τους χρήστες

```

{
    μείωσε κατά ένα την timeout value όλων των PDUs που υπάρχουν στο buffer του
}

```

Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθεται το διάγραμμα ροής του παραπάνω κώδικα.

Όπως φαίνεται τόσο από το διάγραμμα ροής όσο και από τον ψευδοκώδικα, η διαδικασία ταξινόμησης των χρηστών των οποίων οι αιτήσεις για μετάδοση έφτασαν στο σταθμό βάσης, γίνεται ως εξής :

Ο σταθμός βάσης ταξινομεί τους χρήστες του με κριτήριο το σηματοθορυβικό λόγο καθενός ξεκινώντας από αυτόν με την υψηλότερη τιμή και καταλήγοντας σε αυτόν με τη χαμηλότερη. Με βάση αυτή την ταξινόμηση ελέγχει το timeout value των PDUs καθενός από τους χρήστες ξεκινώντας τον έλεγχο από την τιμή '1' η οποία είναι η χαμηλότερη που μπορεί να έχει ένα PDU. Όσα PDUs βρεθούν με τέτοια τιμή οι χρήστες τους μπαίνουν στην ουρά *data users queue*, αν πρόκειται για χρήστες δεδομένων ή στην *multimedia users queue*, αν πρόκειται για χρήστες multimedia ή voice. Όταν ολοκληρωθεί ο έλεγχος για την τιμή '1' συνεχίζεται για την τιμή '2', '3' κ.ο.κ. Όταν σταματήσει ο έλεγχος οι ουρές θα παρουσιάζουν τη μορφή που φαίνεται στο *σχήμα 5.3*. Ο έλεγχος σταματάει σε δύο περιπτώσεις

1. Φτάσαμε στην τιμή που εκφράζει το μέγιστο χρόνο ζωής ενός PDU, γεγονός που πρακτικά σημαίνει ότι θα εξυπηρετηθούν όλες οι PDUs όλων των χρηστών. Η περίπτωση αυτή είναι εξαιρετικά σπάνιο να συμβεί. Απαιτεί την ύπαρξη πάρα πολύ μικρής κίνησης στο δίκτυο.
2. Ο χρόνος μέσα στο MAC frame τελείωσε.

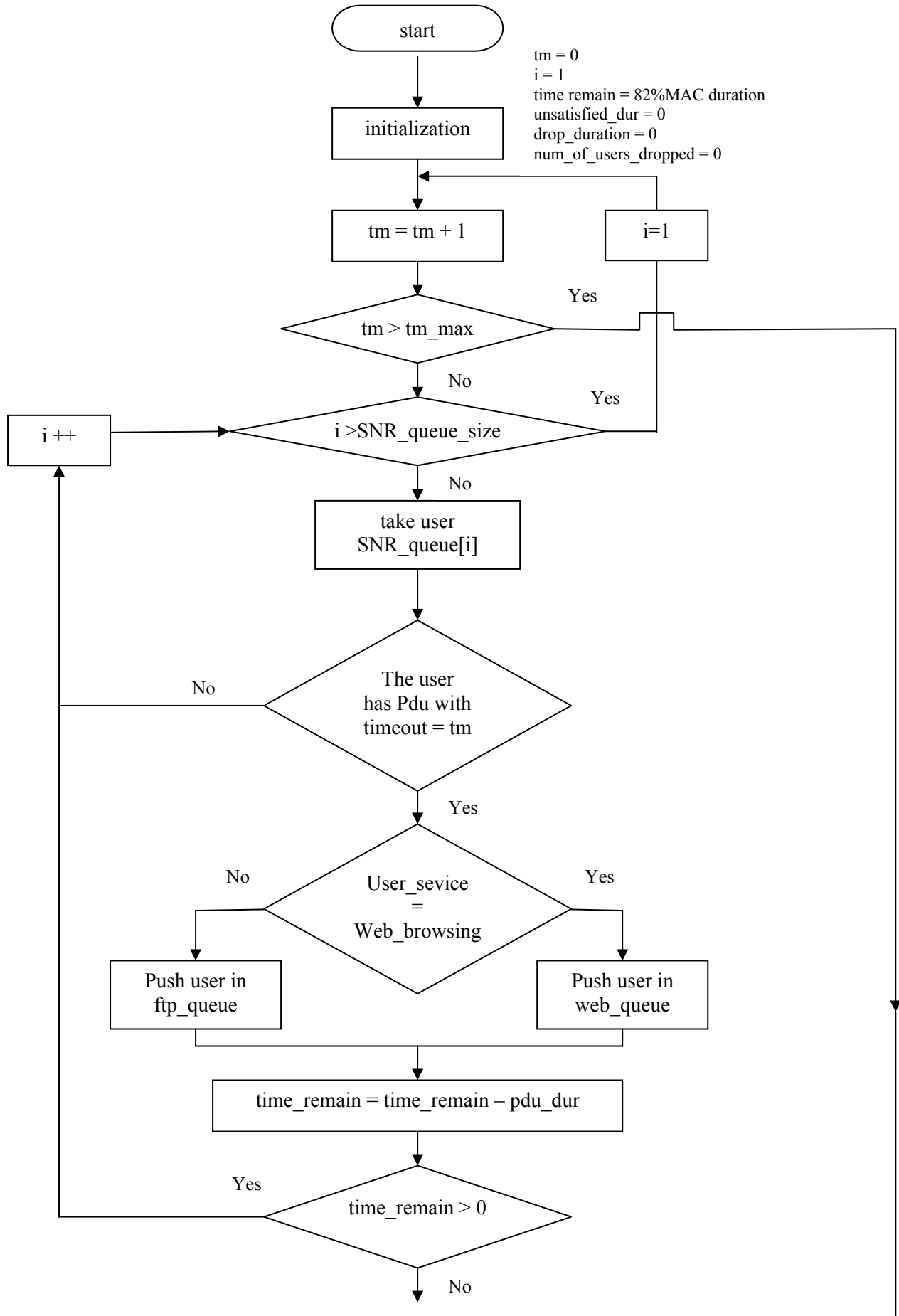
Αν συμβεί η πρώτη περίπτωση τότε απλά προχωράμε στη μετάδοση των PDUs. Αν συμβεί η δεύτερη τότε ελέγχουμε μήπως δεν έχουν ληφθεί υπόψη όλα τα PDUs με *timeout value = 1*. Αν δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο προχωράμε στη μετάδοση των PDUs με βάση τις ουρές *data users queue* και *multimedia users queue* που έχουν φτιαχτεί. Αν όμως δεν έχουν ληφθεί υπόψη όλα τα PDUs με *timeout value = 1* τότε όσα από αυτά ανήκουν σε multimedia users που έχουν υποστεί drop στα προηγούμενα 100 frames ή ανήκουν σε data users, οι χρήστες τους μπαίνουν στις *multimedia users queue* και *data users queue* αντίστοιχα, ενώ ταυτόχρονα υπολογίζουμε τη συνολική διάρκεια αυτών των PDUs. Τα υπόλοιπα PDUs (όσα δηλαδή ανήκουν σε multimedia users που δεν έχουν υποστεί drop στα προηγούμενα 100 frames) απορρίπτονται. Στη συνέχεια αφαιρούμε από την ουρά *multimedia users queue* τόσους χρήστες ώστε η συνολική διάρκεια των PDUs που θα μετέδιδαν να είναι ίση με τη διάρκεια που υπολογίστηκε προηγουμένως. Η επιλογή των χρηστών που θα αφαιρεθούν ξεκινάει από τον τελευταίο (χρήστης με το χαμηλότερο SNR) και επιλέγουμε μόνο εκείνους

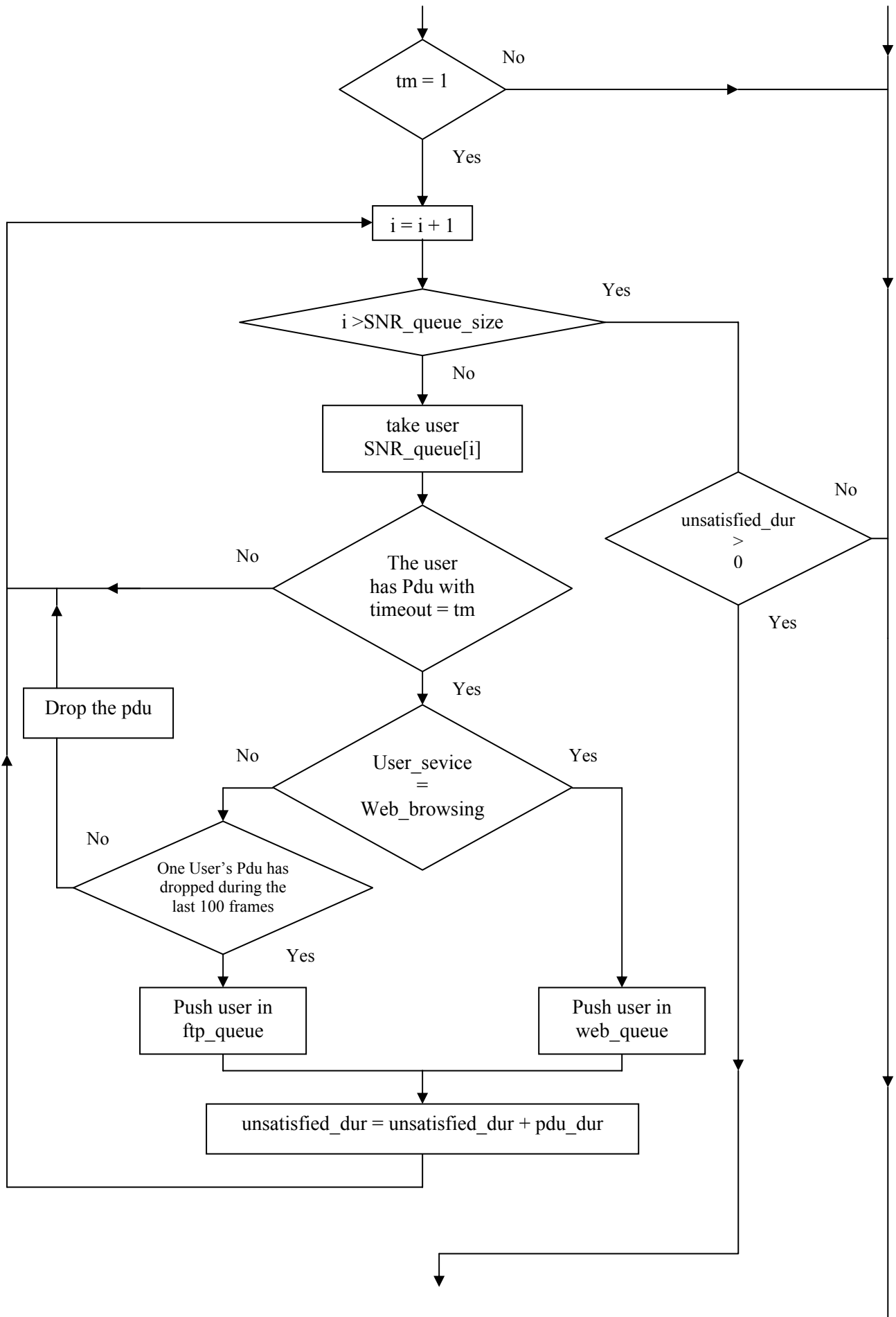
που δεν έχουν υποστεί drop στα προηγούμενα 100 frames. Τα PDUs που θα μετέδιδαν οι χρήστες αυτοί απορρίπτονται.

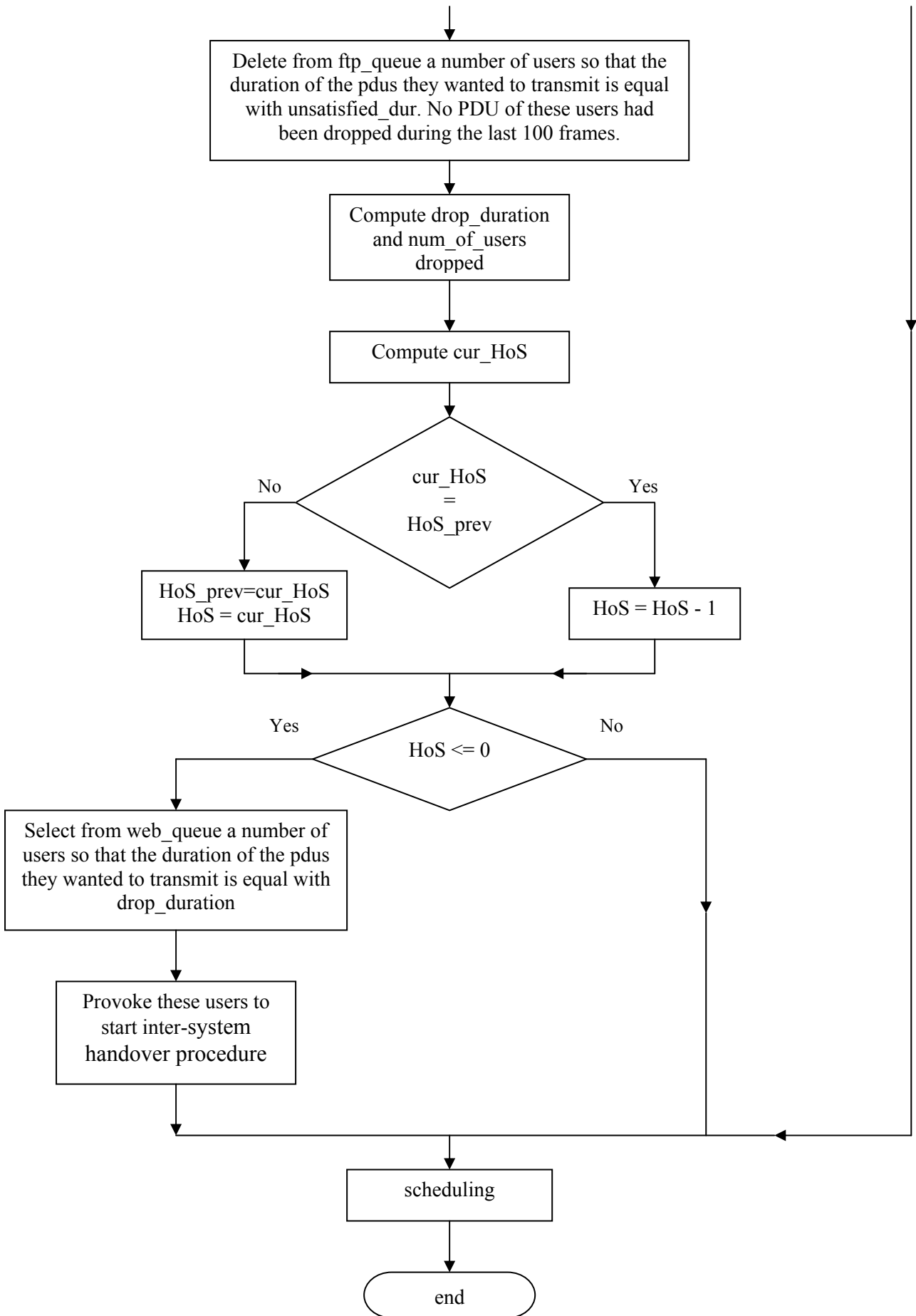
Κατόπιν, και μόνο αν έχουν απορριφθεί ένα ή περισσότερα PDUs, υπολογίζουμε την παράμετρο HoS με βάση τον τύπο που δόθηκε στον ορισμό της. Αν ο τύπος δώσει μηδέν το HoS γίνεται μηδέν. Αν ο τύπος δώσει αποτέλεσμα διαφορετικό από αυτό που έδωσε στο προηγούμενο frame τότε ανανεώνεται η τιμή του HoS και γίνεται ίση με αυτή έδωσε ο τύπος στο παρόν frame. Αν όμως το αποτέλεσμα είναι ίδιο τότε η τιμή του HoS μειώνεται κατά ένα. Αν το HoS πάρει την τιμή μηδέν (είτε γιατί ο τύπος έδωσε μηδέν είτε γιατί μειωνόταν συνεχώς κατά ένα έως ότου μηδενίστηκε) τότε εξαναγκάζονται σε handover τόσοι data users ώστε η συνολική διάρκεια των PDUs που θα μετέδιδαν να είναι ίση με τη διάρκεια των PDUs που απορρίφθηκαν. Η επιλογή των χρηστών ξεκινάει από τον τελευταίο της *data users queue* (χρήστης με το χαμηλότερο SNR).

Σημειώνουμε ότι ο έλεγχος που γίνεται για κάποιον multimedia χρήστη αν έχει υποστεί drop στα προηγούμενα 100 frames, προτού απορριφθεί μία PDU η οποία ανήκει σε αυτόν, εξασφαλίζει ότι το PDU error rate δε θα ξεπεράσει το όριο του 1%. Αν το όριο αυτό γίνει 2% θα πρέπει να ελέγχουμε αν ο χρήστης έχει υποστεί drop στα προηγούμενα 50 frames.

Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι στην περίπτωση που το δίκτυο είναι υπερβολικά φορτωμένο τότε ακόμα και με τον αλγόριθμο που περιγράψαμε δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν όλοι οι χρήστες διατηρώντας ταυτόχρονα και την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας. Έτσι υπάρχει η περίπτωση να απορριφθούν PDUs από χρήστες υπηρεσιών δεδομένων ή το PDU error rate των multimedia χρηστών να ξεπεράσει το προκαθορισμένο όριο (για την περίπτωση που περιγράψαμε το όριο είναι 1%). Οι χρήστες αυτοί χαρακτηρίζονται ως ανικανοποίητοι. Όμως όπως θα φανεί και από την ανάλυση των αποτελεσμάτων η οποία παρατίθεται σε επόμενο κεφάλαιο η βελτίωση της απόδοσης του δικτύου είναι σημαντική συγκρινόμενη με την απόδοση στην περίπτωση που χρησιμοποιείται κάποιος άλλος αλγόριθμός ταξινόμησης. Ο αριθμός των ανικανοποίητων χρηστών μειώνεται δραστικά.







6

Σενάρια και Υποθέσεις της Πλατφόρμας Προσομοίωσης

6.1 Εισαγωγή

Το πρωτόκολλο MAC που υλοποιήθηκε και περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ενσωματώθηκε σε μια πλατφόρμα προσομοίωσης με τη βοήθεια της οποίας έγινε η σύγκρισή του με άλλα που προϋπήρχαν και αποτιμήθηκαν τα πλεονεκτήματά του. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τα σενάρια και τις υποθέσεις της πλατφόρμας αυτής.

Αφού αναφερόμαστε σε δίκτυα 4^{ης} γενιάς είναι αυτονόητο, όπως έχει τονιστεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, ότι θα συνυπάρχουν δύο διαφορετικής τεχνολογίας δίκτυα. Οι δύο διαφορετικές τεχνολογίες της πλατφόρμας που περιγράφεται εδώ είναι το HSDPA από την πλευρά των δικτύων UMTS και το Hiperlan 2 από την πλευρά των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN). Το HSDPA χρησιμοποιείται για την κάλυψη μεγάλων περιοχών όπως άλλωστε κάθε τεχνολογία UMTS ενώ το Hiperlan 2 καλύπτει μικρές περιοχές (εσωτερικών ή εξωτερικών χώρων) στις οποίες συνυπάρχει και το HSDPA. Τονίζουμε ότι ο αλγόριθμος του πρωτοκόλλου που υλοποιήσαμε ενσωματώθηκε μόνο στο δίκτυο Hiperlan 2 και όχι στο HSDPA.

Η ανάγκη εξυπηρέτησης των χρηστών κατά μήκος διαφορετικών τεχνολογιών μετάδοσης και διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών, καθώς επίσης και η παροχή ποικιλίας υπηρεσιών, κάνει τα σενάρια και τους μηχανισμούς διαλειτουργικότητας να απαιτούν λεπτομερή εξέταση. Σε γενικές γραμμές το σύστημα προσομοίωσης περιλαμβάνει την τοποθέτηση σταθμών βάσης στις περιοχές κάλυψης των ασυρμάτων δικτύων, τη διανομή των χρηστών στις κυψέλες και την αποτίμηση των απωλειών μετάδοσης και σκίασης από κάθε σταθμό βάσης προς κάθε κινητό

τερματικό. Για τη μετάδοση χρησιμοποιούνται τεχνικές πολλαπλής μετάδοσης και πολλαπλής λήψης (Multiple Transmit Multiple Receive - MTMR). Κύριος σκοπός της προσομοίωσης είναι η αποτίμηση της απόδοσης του δικτύου όταν χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο ταξινόμησης του πρωτοκόλλου MAC που υλοποιήθηκε.

6.2 Υποθέσεις κατά την προσομοίωση

Παρακάτω αναφέρονται οι βασικές θεωρήσεις της πλατφόρμας προσομοίωσης για την υλοποίηση του ετερογενούς δικτύου.

Όπως τονίστηκε στο κεφάλαιο 4 τα ασύρματα τοπικά δίκτυα θα συμμετέχουν στα δίκτυα 4^{ης} γενιάς με σκοπό την κάλυψη σημείων με μεγάλη πυκνότητα χρηστών δηλαδή των λεγομένων hotspot. Οι χώροι αυτοί μπορεί να είναι εσωτερικοί, όπως αεροδρόμια, ξενοδοχεία, χώροι συνεδριάσεων αλλά και εξωτερικοί όπως για παράδειγμα το κέντρο μιας πόλης. Με σκοπό λοιπόν την απόδοση όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικών στην πραγματικότητα αποτελεσμάτων η πλατφόρμα προσομοίωσης λαμβάνει υπόψη της και προσομοιώνει δύο σενάρια :

1. Στο πρώτο σενάριο προβλέπεται η συνύπαρξη του δικτύου HSDPA με ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο που καλύπτει εσωτερικό χώρο και συγκεκριμένα αεροδρόμιο.
2. Στο δεύτερο προβλέπεται η συνύπαρξη του δικτύου HSDPA με ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο που καλύπτει το κέντρο μιας πόλης, δηλαδή εξωτερικό χώρο.

Έτσι τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι αντιπροσωπευτικά και για τα δύο περιβάλλοντα μετάδοσης.

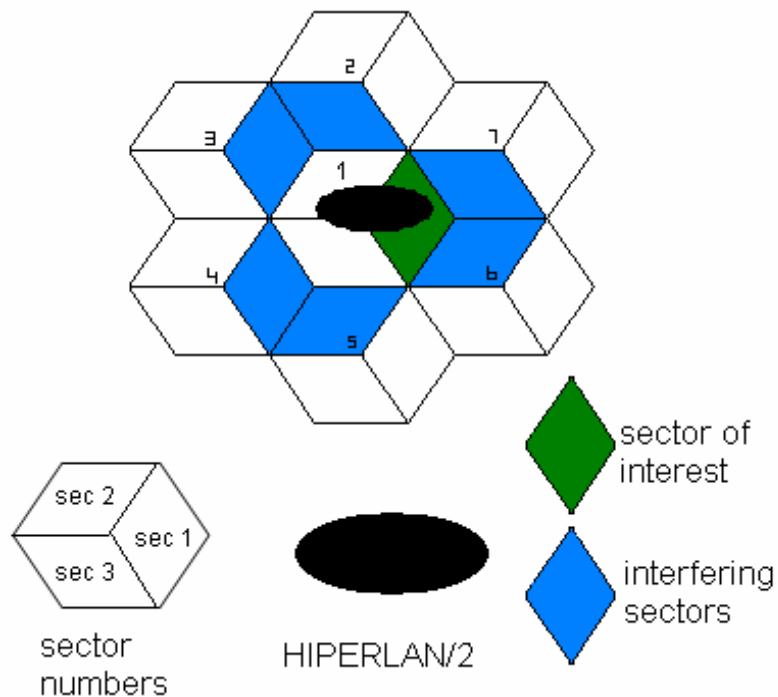
6.2.1 Τοπολογία δικτύου

Επειδή ο κύριος στόχος της προσομοίωσης είναι να αποτιμηθούν τα κριτήρια και οι μηχανισμοί της συνύπαρξης των δύο δικτύων, είναι αρκετό να θεωρήσουμε την ύπαρξη μόλις επτά κυψελών του δικτύου HSDPA και το Hiperlan 2 να βρίσκεται μέσα στην κεντρική κυψέλη όπως φαίνεται στο *σχήμα 6.1*.

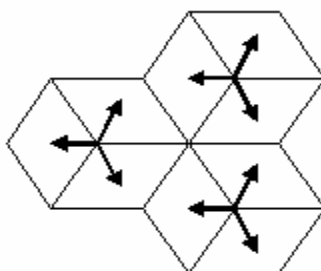
Κάθε κυψέλη του HSDPA είναι εξαγωνική χωρίζεται σε τρεις τομείς και το κέρδος της κεραίας εκπομπής κάθε τομέα δίνεται από τον τύπο :

$$A(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right] \quad \text{όπου } -180 \leq \theta \leq 180$$

όπου θ είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση στην οποία θέλουμε να υπολογίσουμε το κέρδος και την κατεύθυνση του μετώπου της κεραίας, ενώ θ_{3dB} είναι το εύρος δέσμης 3dB το οποίο στην περίπτωσή μας είναι $\theta_{3dB} = 70^\circ$. A_m είναι η μέγιστη τιμή του κέρδους (κέρδος στην κατεύθυνση του μετώπου) και εδώ ισούται με 20 dB. Το *σχήμα 6.2* απεικονίζει κυψέλες 3 τομέων ενώ φαίνεται ταυτόχρονα και η κατεύθυνση του μετώπου σε κάθε τομέα.



Σχήμα 6.1. Τοπολογία δικτύου



Σχήμα 6.2. Κυψέλες τριών τομέων και κατεύθυνση μετώπου

Η τοπολογία του ασυρμάτου τοπικού δικτύου (Hiperlan 2) έχει ως εξής: Αποτελείται από 16 τετραγωνικές κυψέλες με μήκος πλευράς 70m. Κάθε Access Point είναι τοποθετημένο στο κέντρο της κυψέλης και έχει εξοπλιστεί με ομοιοκατευθυντική κεραία ισχύος εκπομπής 24dB. Η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων γίνεται κάθε τέσσερις κυψέλες και επομένως τα ίδια κανάλια χρησιμοποιούνται σε 4 διαφορετικές κυψέλες μέσα στην τοπολογία. Για παράδειγμα η κυψέλη 1 χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες με τις κυψέλες 3,9,και 11. Επίσης κάθε κυψέλη δέχεται παρεμβολή από τις γειτονικές της δηλαδή από εκείνες με τις οποίες έχει κοινές πλευρές. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο *σχήμα 6.3*.



Σχήμα 6.3. Τοπολογία του Hiperlan/2

6.2.2 Μετάδοση

Για να είναι τα αποτελέσματα αξιόπιστα θα πρέπει η πλατφόρμα να υιοθετεί τα κατάλληλα μοντέλα διάδοσης ανάλογα με τον τύπο του δικτύου και το σενάριο της προσομοίωσης.

Για το δίκτυο HSDPA θεωρούμε ότι οι απώλειες διάδοσης δίνονται από την παρακάτω εξίσωση:

$$PL[dB] = (44.9 - 6.55 \log_{10} h_{bs}) \log_{10} \left(\frac{d}{1000} \right) + 45.5 + (35.46 - 1.1 h_{ms}) \log_{10} (f_c) - 13.82 \log_{10} (h_{bs}) + 0.7 h_{ms} + C$$

όπου h_{bs} είναι το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης σε μέτρα, h_{ms} είναι το ύψος της κεραίας του κινητού τερματικού σε μέτρα, f_c η συχνότητα του φέροντας σε MHz, d η απόσταση ανάμεσα στο σταθμό βάσης και το κινητό τερματικό σε μέτρα, και C είναι ένας σταθερός παράγοντας ίσος με 3dB. Αν τα παραπάνω μεγέθη πάρουν τις ακόλουθες τιμές $h_{bs} = 32\text{m}$, $h_{ms} = 1.5\text{m}$, και $f_c = 1900\text{MHz}$, τότε η προηγούμενη εξίσωση μεταπίπτει στην ακόλουθη:

$$PL = 34.5 + 35 \log_{10} (d)$$

Τέλος προστίθεται παράγοντας Slow Fading με τυπική απόκλιση 8dB.

Για το Hiperlan 2 υλοποιούνται δύο μοντέλα διάδοσης, ένα για κάθε σενάριο.

1. Τοπολογία εσωτερικού χώρου (αεροδρόμιο):

Ο υπολογισμός της εξασθένησης βασίστηκε στην υπόθεση ότι η διάδοση γίνεται σε κλειστούς μεγάλους χώρους με οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη και με τον συντελεστή εξασθένησης να έχει τιμή $n=2.4$. Στους υπολογισμούς κρατάμε μόνο τους παράγοντες πρώτης τάξης. Lognormal Fading (S) με τυπική απόκλιση 8dB προστίθεται ώστε να ληφθούν υπόψη παράγοντες εξασθένησης όπως οι άνθρωποι που κινούνται στο κτίριο. Έτσι προκύπτει η εξίσωση:

$$P_L = 46.7 + 24 \log_{10} d + S$$

όπου η απόσταση (d) μετριέται σε μέτρα και η εξασθένηση εκφράζεται σε dB.

2. Τοπολογία εξωτερικού χώρου (κέντρο πόλης):

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται το μοντέλο γραμμικής εξασθένησης, όπου εκτός από τις απώλειες ελευθέρου χώρου προστίθενται επιπλέον απώλειες εξαιτίας εμποδίων όπως κτίρια, αυτοκίνητα, δένδρα κ.α. Αυτές οι απώλειες εκφράζονται στον παρακάτω τύπο μέσω του παράγοντα $a \cdot d$. Επιπλέον προστίθεται Lognormal Fading (S) με τυπική απόκλιση 10dB, λόγω φαινομένων σκίασης (shadowing).

$$P_L = 46.7 + 20 \log_{10} d + a \cdot d + S$$

όπου η απόσταση (d) μετριέται σε μέτρα και a είναι παράγοντας εξασθένησης ο οποίος για πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές έχει βρεθεί ίσος με 0.3dB/m. Οι απώλειες διάδοσης εκφράζονται σε dB.

6.2.3 Μοντελοποίηση καναλιού και παρεμβολής

Σε αντιδιαστολή με τα συστήματα που χρησιμοποιούν τεχνικές μίας μόνο κεραίας εκπομπής και λήψης, τα συστήματα πολλαπλής εισόδου πολλαπλής εξόδου (MIMO) παρουσιάζουν αξιοσημείωτη σπουδαιότητα. Έτσι η πλατφόρμα προσομοίωσης θα πρέπει να υιοθετήσει ένα κατάλληλο μοντέλο καναλιού το οποίο να δείχνει εμφανώς τα κέρδη που έχουμε χρησιμοποιώντας τέτοιες τεχνικές. Το μοντέλο που τελικά υιοθετείται είναι για την περίπτωση του HSDPA στοχαστικό μοντέλο βασισμένο στη γεωμετρία, ενώ για το Hiperlan 2 στοχαστικό μοντέλο βασισμένο στην αυτοσυσχέτιση. Στο HSDPA η χρησιμοποιούμενη MTMR τεχνική είναι η Alamouti 2x2 ενώ η συσχέτιση της κεραίας έχει θεωρηθεί ίση με 0.6. Και στις δύο τεχνολογίες δικτύων (HSDPA & Hiperlan 2) η παρεμβολή δεν έχει μοντελοποιηθεί αλλά αντιμετωπίζεται ως λευκός θόρυβος (AWGN).

6.2.4 Κινητικότητα χρηστών

1. Σενάριο Αεροδρομίου:

Στην αρχή της προσομοίωσης ανατίθεται στο χρήστη μια αρχική θέση, κατεύθυνση κίνησης και ταχύτητα. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης η ταχύτητα είναι δυνατόν να μεταβληθεί ώστε να καταδειχθεί ο τρόπος με τον οποίο ο παράγοντας αυτός επηρεάζει το σύστημα. Η εκάστοτε τιμή της ταχύτητας περιορίζεται από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται ο χρήστης και κβαντοποιείται σε διακριτά επίπεδα. Η κατεύθυνση του χρήστη εξαρτάται από τα σημεία αρχής και τέλους που του έχουν ανατεθεί. Η ανάθεση φροντίζει ώστε ένας αριθμός χρηστών να εισέρχεται στο αεροδρόμιο και ένας άλλος να

εξέρχεται από αυτό. Η είσοδος και η έξοδος γίνεται από συγκεκριμένη πλευρά του αεροδρομίου. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι για να αντικατοπτρίζει η προσομοίωση όσο γίνεται καλύτερα την πραγματικότητα. Είναι γεγονός ότι σε πραγματικές συνθήκες η είσοδος του αεροδρομίου βρίσκεται από τη μία πλευρά του, ενώ οι επιβάτες που το εγκαταλείπουν κινούνται προς μία κατεύθυνση και συγκεκριμένα προς το κέντρο της πόλεως. Τα στοιχεία που αφορούν την κίνηση των χρηστών ανανεώνονται κάθε 500 frames προσομοίωσης που αντιστοιχούν σε ένα δευτερόλεπτο πραγματικού χρόνου.

2. Σενάριο κέντρου πόλεως:

Ισχύουν και εδώ όσα είπαμε στην προηγούμενη περίπτωση με τη διαφορά ότι οι χρήστες κινούνται από και προς το κέντρο της πόλεως ακολουθώντας οποιαδήποτε κατεύθυνση θέλουν. Και αυτή η υπόθεση έχει ως στόχο να προσομοιώσει πραγματικές συνθήκες.

6.2.5 Είδη υπηρεσιών

Το πρόγραμμα προσομοίωσης θεωρεί την ύπαρξη δύο μόνο ειδών υπηρεσιών.

- Υπηρεσίες *web browsing* που ανήκουν στην κατηγορία των υπηρεσιών δεδομένων (data services) και για τις οποίες θεωρούμε ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης 64Kbps.
- Υπηρεσίες *ftp*, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία των υπηρεσιών πολυμέσων (multimedia service) και απαιτούν ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης 384Kbps.

Οι παραπάνω ρυθμοί μετάδοσης μεταφράζονται σε γέννηση καινούριων PDUs από τους χρήστες ως εξής:

Ένας χρήστης που εξυπηρετεί υπηρεσίες *web browsing* πρέπει να αποστέλλει 64000 bits ή αντίστοιχα 8000 bytes σε ένα sec. Αφού όπως έχουμε πει η διάρκεια ενός frame είναι 2ms, σε ένα sec στέλνονται πεντακόσια frames. Κάθε PDU αποτελείται από 54 bytes εκ των οποίων τα 48 είναι πληροφορία και τα 6 επικεφαλίδα. Άρα στη διάρκεια των 500 frames ο χρήστης πρέπει να στείλει $\frac{8000}{48} \approx 166$ PDUs. Δηλαδή περίπου κάθε 3 frames ($\frac{500}{166}$) θεωρούμε ότι γεννιέται ένα καινούριο PDU.

Βασίζομενοι στην ίδια ακριβώς λογική βρίσκουμε ότι οι χρήστες *ftp* πρέπει σε ένα δευτερόλεπτο να στείλουν $\frac{\left(\frac{384000}{8}\right)}{48} = \frac{48000}{48} = 1000$ PDUs, δηλαδή σε κάθε frame γεννιούνται 2 PDUs.

6.2.6 Μέθοδος ταξινόμησης μετάδοσης

Εκτός από τη μέθοδο ταξινόμησης που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5 και αποτελεί το κύριο θέμα αυτής της διπλωματικής εργασίας η πλατφόρμα μπορεί να προσομοιώσει δύο ακόμα μεθόδους ταξινόμησης.

- Ταξινόμηση με βάση το C/I. Ο χρήστης με τη μεγαλύτερη τιμή του λόγου σήματος προς παρεμβολή εκπέμπει πρώτος όλα τα PDUs που βρίσκονται στην

ουρά του, μετά εκπέμπει ο χρήστης με την αμέσως μικρότερη τιμή λόγου σήματος προς παρεμβολή κ.ο.κ. Η μέθοδος αυτή προσφέρει αυξημένο throughput, στερείται όμως δικαιοσύνης γιατί οι χρήστες με καλές συνθήκες μετάδοσης μονοπωλούν το κανάλι.

- Ταξινόμηση κυκλικής εναλλαγής (Round Robin - RR). Η μέθοδος αυτή προσφέρει πλήρη δικαιοσύνη, αφού μεταδίδουν όλοι οι χρήστες, αλλά ελαττώνει το throughput του συστήματος.

Τονίζουμε ότι η μέθοδος ταξινόμησης που υλοποιήθηκε εφαρμόζεται μόνο στο δίκτυο Hiperlan 2, όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου. Το HSDPA χρησιμοποιεί την πρώτη από τις δύο παραπάνω μεθόδους με την οποία άλλωστε συγκρίνεται και αυτή που υλοποιήθηκε.

6.2.7 Είδος κινητών τερματικών

Δύο είδη κινητών τερματικών θεωρεί η πλατφόρμα ότι χρησιμοποιούν οι χρήστες:

- PDAs
- Laptops

Και τα δύο υποτίθεται ότι έχουν δύο κεραίες.

6.3 Διαδικασία προσομοίωσης

Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό αναφέρουμε πολύ σύντομα τη διαδικασία που ακολουθεί η προσομοίωση.

- Ανάλογα με το φορτίο που επιλέγεται για τα δύο δίκτυα, ο αντίστοιχος αριθμός χρηστών ρίχνεται ομοιόμορφα σε καθένα από αυτά.
- Υπολογίζονται οι απώλειες διάδοσης και το φαινόμενο σκίασης από κάθε σταθμό βάσης προς κάθε χρήστη ώστε αυτός να αντιστοιχηθεί στον καλύτερο σταθμό βάσης.
- Σε κάθε frame γίνεται ταξινόμηση των χρηστών και μετάδοση της πληροφορίας.
- Για κάθε ένα δευτερόλεπτο προσομοίωσης (500 frames) και για κάθε κινητό τερματικό υπολογίζονται ο σηματοθορυβικός λόγος που φτάνει σε αυτό, ενημερώνονται οι παράμετροι που αφορούν την κινητικότητα του και ελέγχεται αν στο δευτερόλεπτο που πέρασε έστειλε ο χρήστης τον απαιτούμενο από την υπηρεσία που εξυπηρετεί, αριθμό bits. Για τους χρήστες που κρίνεται απαραίτητο εκτελείται η διαδικασία intra-system ή inter-system handover.
- Συλλέγονται τα αποτελέσματα.

Το φορτίο που μπορεί να επιλεγεί για καθένα από τα δύο δίκτυα είναι 3,6,9,12,18,27,36 και 54 Mbps ενώ ο πραγματικός χρόνος προσομοίωσης στην περίπτωση μας ήταν 3 λεπτά (90000 frames).

7

Αρχιτεκτονική της Πλατφόρμας Προσομοίωσης

7.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο μελετήθηκαν οι υποθέσεις και τα σενάρια της πλατφόρμας προσομοίωσης στην οποία ενσωματώθηκε το πρωτόκολλο MAC που υλοποιήθηκε. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη περιγραφή της αρχιτεκτονικής της πλατφόρμας. Υπενθυμίζουμε ότι και στα δύο δίκτυα χρησιμοποιούνται κεραιές MIMO (Multiple Input Multiple Output) ενώ τα κινητά τερματικά είναι PDAs ή laptops. Τέλος οι υπηρεσίες που εξυπηρετούνται είναι *web browsing* (data service) και *ftp* (multimedia service).

7.2 Κλάσεις

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν με συντομία οι κυριότερες κλάσεις του προγράμματος προσομοίωσης οι οποίες αντιστοιχούν είτε σε βασικά συστατικά ενός δικτύου, όπως για παράδειγμα σταθμοί βάσης, access points, χρήστες, είτε σε ένα ολόκληρο δίκτυο (π.χ hiperlan/2). Η περιγραφή κάθε κλάσης θα ακολουθήσει το πρότυπο που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Class name
Class attributes
Class operations

Σχήμα 7.1. Πρότυπο κλάσης

7.2.1 Κλάση HSDPA

Η κλάση αυτή αντιπροσωπεύει την αρχιτεκτονική του δικτύου HSDPA, υλοποιεί τα απαραίτητα μοντέλα κυψελών, και καθορίζει το περιβάλλον μετάδοσης. Είναι εμπλουτισμένη με τις απαραίτητες διαδικασίες ώστε να υπολογίζει και να καθορίζει την κινητικότητα των χρηστών, να διεκπεραιώνει handover μεταξύ κυψελών του δικτύου HSDPA, να αποτιμά το fast fading στα κανάλια, να εκτελεί την ταξινόμηση των πακέτων και να υπολογίζει την παρεμβολή μεταξύ των κυψελών.

Τα πεδία της κλάσης περιέχουν σημαντικές πληροφορίες που αφορούν τον αριθμό των κεραιών εκπομπής και λήψης, την τοπολογία του δικτύου καθώς και τον αριθμό των χρηστών που εξυπηρετούνται από το δίκτυο ανά πάσα στιγμή. Φυσικά η κλάση περιέχει πολλές άλλες μεταβλητές αλλά εδώ αναφέρθηκαν οι σημαντικότερες.

Στην αρχή κάθε προσομοίωσης, όπως είναι φυσικό, απαιτείται η αρχικοποίηση του περιβάλλοντος του δικτύου καθώς και των μοντέλων που θα ακολουθεί η κίνηση μέσα σε αυτό. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης χρειάζονται οι απαραίτητοι μηχανισμοί ώστε να γίνεται αποτίμηση των εκάστοτε συνθηκών μετάδοσης. Είναι αναγκαίο δηλαδή να γνωρίζουμε την ισχύ του σήματος καθώς και την ισχύ της παρεμβολής. Επίσης η λειτουργία του handover πρέπει να είναι διαθέσιμη οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί. Όλες αυτές οι λειτουργίες καθώς και άλλες δευτερεύουσας σημασίας εκτελούνται από κατάλληλες συναρτήσεις της κλάσης αυτής.

Τα χαρακτηριστικά της κλάσης HSDPA απεικονίζονται περιληπτικά στο σχήμα 7.2.

Class HSDPA
Integer number of transmit antennas integer number of receive antennas Sector list list of sectors User list list of users
<ul style="list-style-type: none">• Initialize Environment Deployment()• Initialize Traffic Model()• Simulate Stand-Alone SISO Case()• Simulate Stand-Alone MIMO Case()• Calculate average wanted and Interference Signals()• Perform Intra-System Handover()• Calculate MIMO Channel Matrices for wanted signals()• Interface with Link Level()

Σχήμα 7.2. Κλάση HSDPA

7.2.2 Κλάση HIPERLAN/2

Η κλάση αυτή αντιπροσωπεύει την αρχιτεκτονική του δικτύου Hiperlan 2 και παρέχει τις αντίστοιχες για το Hiperlan 2 λειτουργίες που παρέχει η κλάση HSDPA για το δίκτυο HSDPA. Τα χαρακτηριστικά της απεικονίζονται περιληπτικά στο

σχήμα 7.3. Κάθε συνάρτηση περιέχει τις απαραίτητες αλλαγές σε σύγκριση με την αντίστοιχη της κλάσης HSDPA ώστε να προσαρμοστεί στα χαρακτηριστικά του δικτύου Hiperlan 2.

Class HIPERLAN/2
Integer number of transmit antennas integer number of receive antennas Access Point list list of access points User list list of users
<ul style="list-style-type: none"> • Initialize Environment Deployment() • Initialize Traffic Model() • Simulate() • Calculate average wanted and Interference Signals() • Perform Intra-System Handover() • Calculate MIMO Channel Matrices for wanted signals() • Interface with Link Level()

Σχήμα 7.3. Κλάση Hiperlan/2

7.2.3 Κλάση Combined HSDPA-HIPERLAN/2

Η κλάση αυτή παρέχει τους απαραίτητους μηχανισμούς ώστε να διεκπεραιώσει την ταυτόχρονη λειτουργία των δικτύων HSDPA και Hiperlan 2.

Τα πεδία της κλάσης περιέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την αρχιτεκτονική των δύο συνεργαζόμενων δικτύων καθώς επίσης και τον αριθμό των χρηστών που εξυπηρετούνται από το ετερογενές δίκτυο που δημιουργεί η συνεργασία των δύο προαναφερθέντων ομογενών δικτύων. Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται στις μεταβλητές που φαίνονται στο σχήμα 7.4. Επειδή οι μεταβλητές *pHSDPA*, *pHiperlan2* απεικονίζουν τις κλάσεις *HSDPA* και *HIPERLAN/2* αντίστοιχα,

Class Combined HSDPA-HIPERLAN/2
HSDPA pHSDPA HIPERLAN2 pHiperlan2 User-list list of users.
<ul style="list-style-type: none"> • Initialize Environment Deployment() • Initialize Traffic Model() • Simulate() • Perform Initial Network Assignment() • Calculate Cost functions() • Perform_Traffic_balancing() • Perform Inter-System Handover()

Σχήμα 7.4. Κλάση Combined HSDPA-Hiperlan/2

είναι φυσικό επακόλουθο όλα τα *public* πεδία και οι *public* λειτουργίες των κλάσεων αυτών να είναι διαθέσιμα και στην παρούσα κλάση. Όπως και στις δύο προηγούμενες κλάσεις, έτσι και σε αυτή υπάρχουν πολλές άλλες μεταβλητές πέρα από τις βασικές που αναφέρθηκαν.

Οι συναρτήσεις *Perform Initial Network Assignment*, *Calculate Cost functions()* και *Perform Inter System Handover* προσφέρουν την υλοποίηση των πιο βασικών μηχανισμών που είναι απαραίτητοι για να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητα των δύο διαφορετικών δικτύων.

7.2.4 Κλάση Sector

Μοντελοποιεί τους τομείς (sectors) για το δίκτυο HSDPA. Οι κυψέλες του δικτύου αυτού θεωρούνται εξαγωνικές με ακτίνα 1400m και χωρισμένες σε τρεις τομείς η κάθε μία όπως φαίνεται στο *σχήμα 6.2* του προηγούμενου κεφαλαίου.

Το πιο σημαντικά πεδία της κλάσης αυτής περιέχουν πληροφορίες όπως :

- Το χαρακτηριστικό αριθμό του τομέα που είναι μοναδικός για καθένα από αυτούς.
- Τις συντεταγμένες της κεραίας εκπομπής του τομέα.
- Την ισχύ εκπομπής.
- Τους γειτονικούς τομείς.
- Τους τομείς από τους οποίους δέχεται παρεμβολές.
- Την ουρά προτεραιότητας, η οποία περιέχει τους χρήστες με τη σειρά που πρόκειται να εξυπηρετηθούν από το σταθμό βάσης. Η ταξινόμηση γίνεται με βάση προκαθορισμένα κριτήρια.
- Το φορτίο που έχει ο τομέας ανά πάσα στιγμή.

Οι κυριότερες λειτουργίες της κλάσης είναι η προσθήκη και η αφαίρεση χρηστών στον τομέα καθώς και η ταξινόμησή τους στη σειρά προτεραιότητας. Η σχηματική απεικόνιση της κλάσης φαίνεται παρακάτω.

Class Sector
Integer sector identifier Double x, y Double power List of Sectors adjacent sectors List of Sectors interfering sectors. Priority queue user queue Integer load
<ul style="list-style-type: none"> • Add user to Sector() • Remove user from sector() • Perform packet scheduling()

Σχήμα 7.5. Κλάση Sector

7.2.5 Κλάση Access Point

Σε αντιστοιχία με τους τομείς που αφορούν το HSDPA υπάρχει η κλάση *Access Point* για το Hiperlan 2. Η περιοχή κάλυψης ενός *Access Point* είναι τετραγωνική με μέγεθος πλευράς 70m. Τα κυριότερα πεδία και οι συναρτήσεις της κλάσης είναι ίδια

με αυτά ενός τομέα έχοντας βέβαια υποστεί τις απαραίτητες αλλαγές ώστε να προσαρμοστούν στα χαρακτηριστικά του δικτύου Hiperlan 2 και του Access Point.

Class Access Point
Integer Access Point identifier Double x, y Double power List of Access Points adjacent access points List of Sectors interfering access points. Priority queue user queue Integer load
<ul style="list-style-type: none"> • Add user to AP() • Remove user from AP() • Perform packet scheduling()

Σχήμα 7.6. Κλάση Access Point

7.2.6 Κλάση User

Η κλάση αυτή μοντελοποιεί τους χρήστες του δικτύου, όπως άλλωστε υποδηλώνει και το όνομά της.

Κάθε χρήστης ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους με βάση τον προσωπικό αριθμό του ο οποίος είναι μοναδικός (*user id*). Η κλάση επίσης περιέχει πληροφορίες όσον αφορά το base station ή το access point από το οποίο εξυπηρετείται ο χρήστης καθώς και τύπο της υπηρεσίας του (data ή multimedia). Η θέση ενός χρήστη μέσα στο δίκτυο αντιπροσωπεύεται από τις συντεταγμένες του (x,y). Αυτές είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό των απωλειών του σήματος από το σταθμό βάσης μέχρι να φτάσει στο χρήστη. Η ταχύτητα (*velocity*) και η διεύθυνσης κίνησης (*direction of velocity*) είναι επίσης απαραίτητες για να υπολογιστούν φαινόμενα όπως το fast fading. Άλλα σημαντικά πεδία της κλάσης είναι ο τύπος του κινητού τερματικού (laptop ή PDA) όπως και το είδος του δικτύου από το οποίο εξυπηρετείται ο χρήστης (HSDPA ή Hiperlan 2).

Από τις πιο σημαντικές λειτουργίες της κλάσης είναι αυτή που αρχικοποιεί ένα χρήστη.

Class User
Integer User id Integer Base Station/AP id Integer Type of service Double x Double y Double velocity Double direction of velocity Integer Type of terminal Integer Type of network
Initial user assignment()

Σχήμα 7.7. Κλάση User

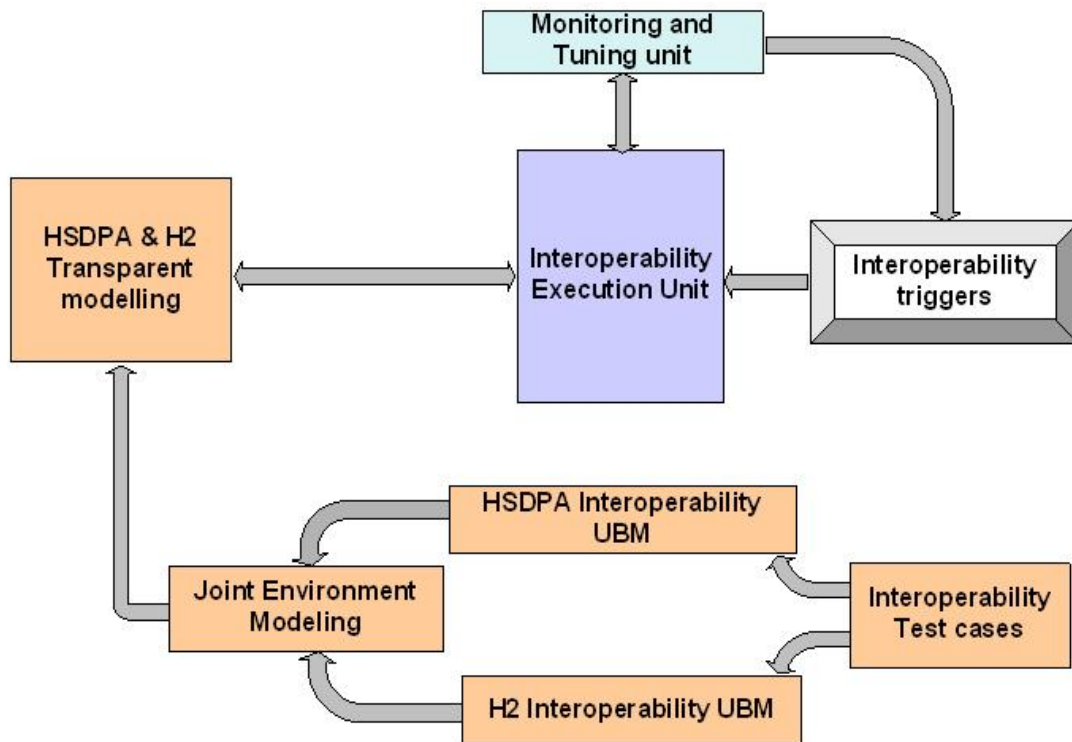
7.3 Αρχιτεκτονική Διαλειτουργικότητας

Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους της πλατφόρμας προσομοίωσης είναι να μπορούν οι χρήστες να μεταβαίνουν από το ένα δίκτυο στο άλλο, χωρίς οι παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα της υπηρεσίας να υπερβαίνουν τα προκαθορισμένα όρια. Η τοπολογία του δικτύου που χρησιμοποιείται περιγράφηκε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο και απεικονίστηκε στα *σχήματα 6.1, 6.2, 6.3*.

Δύο είναι τα κύρια προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στα ετερογενή δίκτυα :

1. Η αρχική επιλογή δικτύου από το χρήστη, δεδομένου ότι ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται ενδέχεται να έχει περισσότερες από μία επιλογές.
2. Η μετάβαση από το ένα δίκτυο στο άλλο. Εδώ περιλαμβάνονται τόσο τα κριτήρια που θα ωθήσουν ένα χρήστη στην αναζήτηση άλλου δικτύου, όσο και ο μηχανισμός με βάση τον οποίο θα γίνει η μετάβαση αυτή.

Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας προσομοίωσης που λύνει τα παραπάνω προβλήματα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 7.8. Αρχιτεκτονική πλατφόρμας προσομοίωσης

Παρακάτω θα περιγραφεί αναλυτικά κάθε μία από τις οντότητες του παραπάνω σχήματος. Αναφέρεται επίσης η βασική λειτουργία καθεμιάς καθώς και η αλληλεπίδρασή τους.

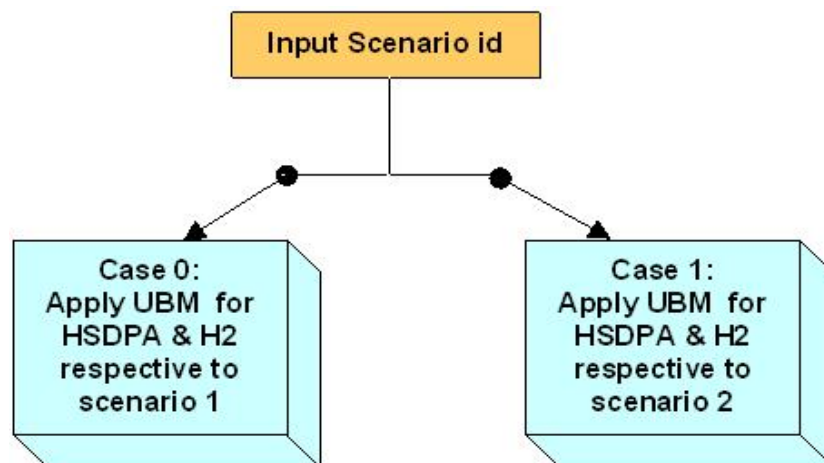
7.3.1 Interoperability Test Cases

Δύο σενάρια συνύπαρξης των δικτύων HSDPA και Hiperlan 2 επιλέχθηκαν για την αποτίμηση των αποτελεσμάτων μέσω της πλατφόρμας προσομοίωσης όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

3. Το πρώτο σενάριο προβλέπει τη συνύπαρξη του δικτύου HSDPA με ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο που καλύπτει εσωτερικό χώρο και συγκεκριμένα αεροδρόμιο.
4. Το δεύτερο προβλέπει τη συνύπαρξη του δικτύου HSDPA με ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο που καλύπτει το κέντρο μιας πόλης δηλαδή εξωτερικό χώρο.

Τα σενάρια αυτά επιλέχθηκαν ως καταλληλότερα γιατί το περιβάλλον μετάδοσης, το μοντέλο κίνησης και η συμπεριφορά των χρηστών είναι διαφορετικά σε κάθε ένα από αυτά. Δίνουν έτσι μία γενική εικόνα της απόδοσης του συστήματος κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Ανάλογα με το σενάριο που επιλέγεται να προσομοιωθεί καθορίζεται και το μοντέλο συμπεριφοράς των χρηστών (User Behaviour Model – UBM) όπως ακριβώς απεικονίζεται στο *σχήμα 7.9*.



Σχήμα 7.9. Επιλογή σεναρίου προσομοίωσης

7.3.2 User Behaviour Model – UBM

Το μοντέλο συμπεριφοράς του χρήστη περιλαμβάνει τους εξής παράγοντες :

- *Κατεύθυνση κίνησης:* Η προτίμηση του χρήστη να κινείται προς μία ορισμένη κατεύθυνση.
- *Ταχύτητα:* Ο χρήστης έχει ταχύτητα κίνησης ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο κινείται.
- *Είδος υπηρεσίας:* Το ποσοστό των χρηστών που εξυπηρετούν μία υπηρεσία (web browsing ή ftp) καθορίζεται από το είδος του δικτύου στο οποίο ανήκουν και μπορεί να είναι διαφορετικό σε κάθε δίκτυο.
- *Τύπος κινητού τερματικού:* Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν laptops ή PDAs.

Από τους παραπάνω παράγοντες καθορίζεται άμεσα ή έμμεσα η τιμή που θα πάρουν διάφορα πεδία της κλάσης User, όπως για παράδειγμα το είδος του δικτύου, οι συντεταγμένες ανά πάσα στιγμή, το base station ή access point που θα εξυπηρετεί το χρήστη.

Ανάλογα με το σενάριο που επιλέγεται το UBM κάθε χρήστη καθορίζεται ως εξής:

➤ UBM για το σενάριο 1.

- HSDPA

- a) *Κατεύθυνση κίνησης*: Το 25% των χρηστών που “ρίχνονται” μέσα στο δίκτυο HSDPA έχουν κατεύθυνση κίνησης προς το hotspot, δηλαδή το αεροδρόμιο. Οι υπόλοιποι έχουν τυχαία κατεύθυνση η οποία καθορίζεται από τα σημεία εκκίνησης και τέλους που έχουν εκχωρηθεί στον κάθε χρήστη.
- b) *Ταχύτητα*: Η ταχύτητα ανατίθεται σε κάθε χρήστη στην αρχή της προσομοίωσης και διατηρείται σταθερή μέχρι αυτός να φτάσει στο σημείο τέλους. Αν όμως ο χρήστης εισέλθει μέσα στα όρια του Hiperlan 2 η ταχύτητά του αλλάζει και παίρνει την τιμή που αντιστοιχεί στην τοπολογία του Hiperlan 2. Η κατανομή των ταχυτήτων για τους χρήστες του HSDPA φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Speed (Kph)	3	15	20	40	60	80	100	120
Probability	5%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	5%

Πίνακας 1. Κατανομή ταχυτήτων στους χρήστες του HSDPA

- c) *Είδος υπηρεσίας*: Στο 60% των χρηστών του HSDPA ανατίθενται υπηρεσίες *web browsing* και στο 40% υπηρεσίες *ftp*.
- d) *Τύπος κινητού τερματικού*: Το 54% των χρηστών χρησιμοποιεί PDAs και το 46% laptops.

- Hiperlan 2

- a) *Κατεύθυνση κίνησης*: Η κατεύθυνση κάθε χρήστη υπολογίζεται από τα σημεία αρχής και τέλους που εκχωρούνται σε αυτόν κατά την αρχικοποίηση. Με σκοπό να αυξηθεί ο αριθμός των inter-system handover ώστε να αξιολογηθεί καλύτερα η απόδοση της πλατφόρμας, ένας αριθμός χρηστών αναγκάζεται να κινηθεί προς τέτοια κατεύθυνση ώστε να εξέλθει από τα όρια του Hiperlan 2. Η είσοδος (αντίστοιχα έξοδος) των χρηστών στο (από το) αεροδρόμιο θεωρείται ότι γίνεται μόνο από την πλευρά των κυψελών 4,8,12,16 (σχήμα 6.3 κεφαλαίου 6). Έτσι όποιος χρήστης πλησιάσει τα όρια του Hiperlan 2 από μία άλλη πλευρά παραμένει ακίνητος.
- b) *Ταχύτητα*: Οι χρήστες που βρίσκονται μέσα στα όρια του hotspot μπορούν είτε να είναι ακίνητοι είτε να έχουν μια μικρή ταχύτητα της τάξης των 1.8km/h, ανεξάρτητα αν εξυπηρετούνται από το Hiperlan 2 ή το HSDPA. Όταν κάποιος χρήστης εγκαταλείψει το hotspot η ταχύτητά του παίρνει μια από τις τιμές του πίνακα που δόθηκε προηγουμένως.
- c) *Είδος υπηρεσίας*: Στο 60% των χρηστών του Hiperlan 2 ανατίθενται υπηρεσίες *web browsing* και στο 40% υπηρεσίες *ftp*.

- d) *Τύπος κινητού τερματικού*: Όπως και στο HSDPA το 54% των χρηστών χρησιμοποιεί PDAs και το 46% laptops.

➤ UBM για το σενάριο 2.

Σε σύγκριση με το σενάριο 1 το μοντέλο συμπεριφοράς του χρήστη διαφέρει μόνο στην κατεύθυνση της κίνησης και στην ταχύτητα. Οι υπόλοιποι παράγοντες παραμένουν ίδιοι.

- HSDPA

- a) *Κατεύθυνση κίνησης*: Σε αυτό το σενάριο όλοι οι χρήστες του HSDPA έχουν τυχαία κατεύθυνση η οποία καθορίζεται από τα σημεία εκκίνησης και τέλους. Δεν αναγκάζονται δηλαδή κάποιοι χρήστες να κινηθούν προς το hotspot, που εδώ είναι το κέντρο της πόλης.
- b) *Ταχύτητα*: Όταν κάποιος χρήστης εισέλθει μέσα στα όρια του Hiperlan 2 η ταχύτητά του αλλάζει και παίρνει την τιμή που αντιστοιχεί στην τοπολογία του Hiperlan 2 για το κέντρο της πόλης και είναι 3km/h.

- Hiperlan 2

- a) *Κατεύθυνση κίνησης*: Στους χρήστες εκχωρούνται τυχαία σημεία αρχής και τέλους τα οποία καθορίζουν την κατεύθυνση κίνησής τους. Όταν φτάσουν στο σημείο τέλους δεν σταματούν αλλά συνεχίζουν να κινούνται στην ίδια κατεύθυνση. Επίσης μπορούν να εγκαταλείψουν το κέντρο της πόλης (hotspot) ακολουθώντας όποια διεύθυνση θελήσουν.
- b) *Ταχύτητα*: Οι χρήστες που βρίσκονται μέσα στα όρια του hotspot έχουν ταχύτητα 3km/h, η οποία αντιστοιχεί στην ταχύτητα πεζού ανθρώπου.

7.3.3 *Joint Environment Modeling*

Κύριος σκοπός του συστατικού αυτού της πλατφόρμας είναι να καθορίσει περιβάλλον διάδοσης και τα μοντέλα των κυψελών που θα χρησιμοποιηθούν. Οι παράμετροί του φαίνονται στον πίνακα 2.

Το μοντέλο διάδοσης που χρησιμοποιείται για το δίκτυο HSDPA βασίζεται στον τύπο Okumura-Hata. Για το Hiperlan 2 στην περίπτωση του αεροδρομίου θεωρήθηκε ότι σταθμός βάσης και κινητό τερματικό έχουν οπτική επαφή (Line Of Sight propagation), ενώ για το κέντρο της πόλης οι απώλειες υπολογίζονται θεωρώντας γραμμική εξασθένιση, όπου εκτός από τις απώλειες ελευθέρου χώρου υπάρχουν επιπλέον απώλειες εξαιτίας διαφόρων εμποδίων όπως αυτοκίνητα, δένδρα, κτίρια κ.α.

Parameter	Value	Comments
Number of HSDPA cells	7	3-sectorized
Number of H2 Access Points	16	
Radius of HSDPA cells	1400m	
Size of H2 Access points	70m	

HSDPA propagation model	$34.4+35\log_{10}d$ (dB)	d in (m)
HIPERLAN/2 indoor propagation model	$46.7+20 \log_{10}d$ (dB)	d in (m)
HIPERLAN/2 outdoor propagation model	$46.7+20 \log_{10}d + 0.3 d^{1/2}$ (dB)	d in (m)
Log-Normal Shadowing (Outdoor)	8dB	
Log-Normal Shadowing (Indoor)	7dB	
Fast Fading MIMO Channel Model	Geometry Based Stochastic Channel	

Πίνακας 2. Μοντέλα και παράμετροι του περιβάλλοντος διάδοσης

7.3.4 HSDPA & HIPERLAN/2 Transparent Modeling

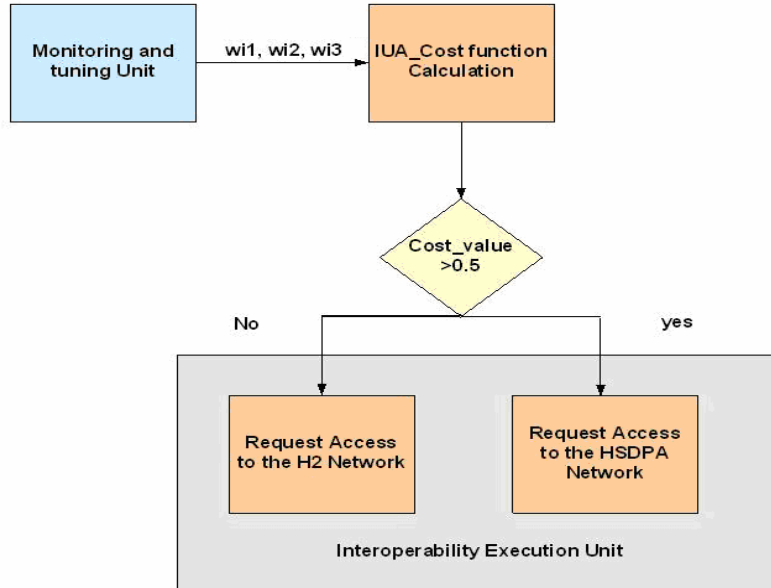
Πρωταρχικός στόχος είναι η διαχείριση των μηχανισμών εκείνων που επιτρέπουν τη συνεργασία των δύο δικτύων και συνεπώς την μετάβαση των χρηστών από το ένα δίκτυο στο άλλο καθώς και των μηχανισμών που επιτρέπουν την εξισορρόπηση της κίνησης.. Οι κατάλληλες παράμετροι και οι συναρτήσεις βρίσκονται στην κλάση *Combined HSDPA-HIPERLAN/2*, η οποία έχει απεικονιστεί στο σχήμα 7.4.

7.3.5 Interoperability triggers entity

Τα κομμάτι αυτό είναι υπεύθυνο για τον υπολογισμό της συνάρτησης κόστους ανάλογα με το αποτέλεσμα της οποίας προκαλούνται ή όχι λειτουργίες άμεσης συνεργασίας των δύο δικτύων. Ο υπολογισμός της συνάρτησης γίνεται σε τρεις περιπτώσεις :

1. Αρχικοποίηση των χρηστών (Initial User Assignment – IUA): Κατά την αρχικοποίηση και για κάθε χρήστη ο οποίος βρίσκεται μέσα στο χώρο κάλυψης και των δύο δικτύων υπολογίζεται η συνάρτηση κόστους με βάση κάποιες παραμέτρους. Αυτές είναι οι εξής:
 - *Τύπος τερματικού*: Όταν το κινητό τερματικό είναι laptop δείχνεται περισσότερη προτίμηση στο Hiperlan 2.
 - *Τύπος υπηρεσίας*: Λόγω κάποιων χαρακτηριστικών ορισμένων υπηρεσιών (όριο μέγιστης καθυστέρησης, όριο ελάχιστου throughput, απαιτήσεις ασφάλειας) είναι δυνατόν για αυτές να προτιμάται περισσότερο το ένα δίκτυο από το άλλο. Για παράδειγμα υπηρεσίες *ftp* θα έδειχναν μεγαλύτερη προτίμηση στο Hiperlan 2.
 - *Ταχύτητα*: Χρήστες με μηδενική ταχύτητα ή ταχύτητα πεζού ανθρώπου προτιμούν τη λύση του Hiperlan 2.

Η βαρύτητα που δίνεται σε κάθε μία από αυτές τις παραμέτρους ώστε να γίνει η τελική επιλογή καθορίζεται από την *Monitoring and Tuning Unit*. Σχηματικά η διαδικασία επιλογής φαίνεται στο σχήμα 12.

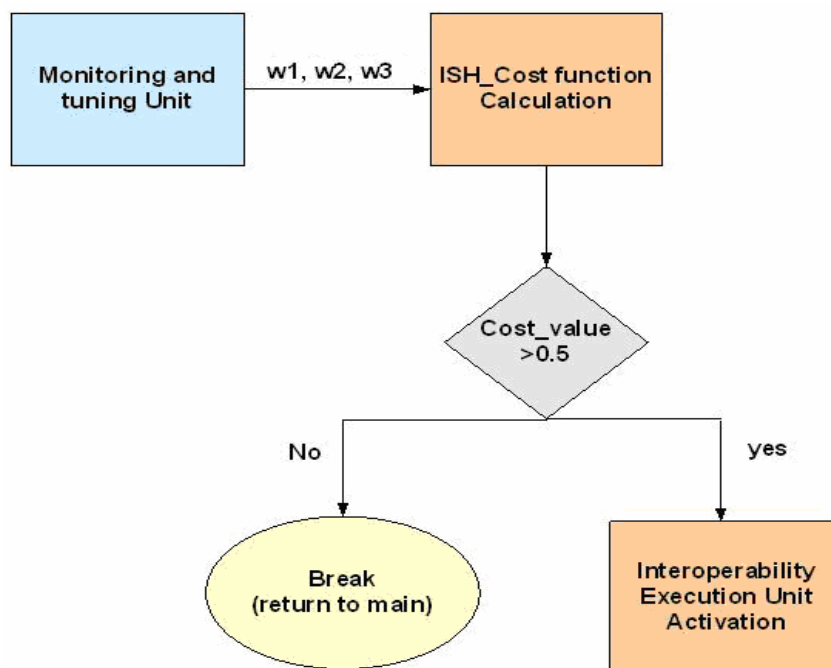


Σχήμα 7.10. Επιλογή δικτύου κατά την αρχικοποίηση των χρηστών

2. Handover μεταξύ των δύο δικτύων (Inter-System Handover – ISH): Στην περίπτωση αυτή η συνάρτηση κόστους υπολογίζεται κάθε φορά που ανανεώνεται η κινητικότητα του χρήστη. Η ανανέωση της κινητικότητας γίνεται κάθε ένα δευτερόλεπτο πραγματικού χρόνου προσομοίωσης. Οι παράμετροι που επηρεάζουν εδώ τη συνάρτηση κόστους είναι:

- *To throughput του χρήστη*: Αν σε ένα δευτερόλεπτο πραγματικού χρόνου προσομοίωσης ο χρήστης δεν έχει στείλει τον ελάχιστο αριθμό bits που προβλέπει η ποιότητα υπηρεσίας, αυτό αποτελεί λόγο για να αναζητήσει άλλο δίκτυο.
- *Ποιότητα ζεύξης*: Αν η τιμή του σηματοθορυβικού λόγου που φτάνει στο κινητό τερματικό έχει ως αποτέλεσμα το Packet Error Rate (PER) να είναι μεγαλύτερο από το προκαθορισμένο όριο, η τιμή της συνάρτησης κόστους θα αυξηθεί.
- *Κινητικότητα*: Η αναχώρηση των χρηστών από την περιοχή που καλύπτει το WLAN (hotspot) αποτελεί λόγο έναρξης διαδικασίας handover.

Όταν η τιμή της συνάρτησης κόστους που υπολογίζεται με βάση τους παράγοντες αυτούς ξεπεράσει την τιμή 0.5 τότε αρχίζει η διαδικασία handover, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 7.11. Έλεγχος έναρξης διαδικασίας inter-system Handover

3. Εξισορρόπηση κίνησης (Traffic Balancing – TB): Η εξισορρόπηση της κίνησης προκαλεί μετάβαση χρηστών από το ένα δίκτυο στο άλλο όταν το φορτίο κάποιου από τα δύο υπερβεί κατά πολύ το ονομαστικό φορτίο που “ρίχτηκε” αρχικά σε αυτό. Σε αντίθεση με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις όπου οι χρήστες ήταν αυτοί που προκαλούσαν την όλη διαδικασία, σε αυτή την περίπτωση η διαδικασία προκαλείται από το δίκτυο. Ο έλεγχος του φορτίου των δικτύων γίνεται κάθε 30 δευτερόλεπτα πραγματικού χρόνου προσομοίωσης.

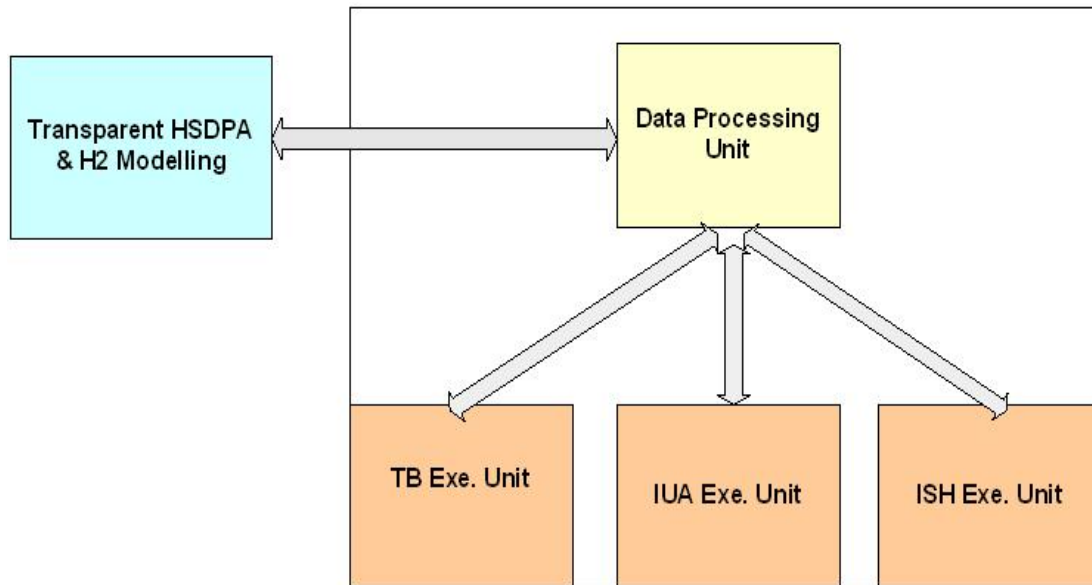
7.3.6 Monitoring and Tuning Unit

Το συστατικό αυτό της πλατφόρμας είναι υπεύθυνο για τον καθορισμό του βάρους που αποδίδεται σε κάθε μία παράμετρο που συμμετέχει στον υπολογισμό της συνάρτησης κόστους. Η τιμή του βάρους κάθε παραμέτρου είναι εμπειρική, προέκυψε από μια σειρά προηγούμενων προσομοιώσεων και έχει σκοπό την αύξηση των ικανοποιημένων χρηστών.

7.3.7 Interoperability Execution Unit

Το κομμάτι αυτό είναι υπεύθυνο για την εφαρμογή όλων των αλγορίθμων που σχετίζονται με την άμεση συνεργασία των δύο δικτύων. Αλληλεπιδρά με το *HSDPA&H2 transparent modeling* και το τροφοδοτεί με τα αποτελέσματα της εκτέλεσης των αλγορίθμων ώστε να υπολογιστεί η απόδοση του δικτύου.

Αποτελείται από τα συστατικά που φαίνονται στο *σχήμα 7.12* και τα οποία περιγράφονται αμέσως μετά.



Σχήμα 7.12. Αρχιτεκτονική του Interoperability Execution Unit

- *Data Processing Unit*: Θεωρείται ως το μέσο επικοινωνίας ανάμεσα στο *interoperability execution unit* και στο *transparent HSDPA&H2*. Συλλέγει δεδομένα από την εκτέλεση των αλγορίθμων και τα περνάει προς *transparent HSDPA&H2* για να υπολογιστεί η απόδοση του δικτύου.
- *TB Execution Unit*: Είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση του αλγορίθμου εξισορρόπησης όποτε αυτό χρειαστεί. Οι βασικές του λειτουργίες είναι οι εξής:
 1. υπολογισμός του αριθμού των bits που υπερβαίνουν το ονομαστικό φορτίο του δικτύου που τροφοδότησε τη διαδικασία εξισορρόπησης.
 2. Εξαναγκασμός ενός αριθμού χρηστών να μεταβούν στο συνεργαζόμενο δίκτυο. Οι χρήστες επιλέγονται με βάση το μικρότερο SNR.
- *IUA Execution Unit*: Εκτελεί τους αλγορίθμους που είναι απαραίτητοι κατά την αρχικοποίηση των χρηστών. Η διαδικασία έχει ως εξής :
 1. Αν η συνάρτηση κόστους δώσει αποτέλεσμα >0.5 ο χρήστης ζητά πρόσβαση στο δίκτυο HSDPA. Αν απορριφθεί η αίτησή του εξαναγκάζεται να ζητήσει από το Hiperlan 2.
 2. Αν το αποτέλεσμα της συνάρτησης κόστους προκύψει <0.5 ο χρήστης ζητά πρόσβαση στο δίκτυο Hiperlan 2. Αν απορριφθεί η αίτησή του εξαναγκάζεται να ζητήσει από το HSDPA.
 3. Τα αποτελέσματα των βημάτων 1 και 2 κοινοποιούνται στο *Data Processing Unit*.
- *ISH Execution Unit*: Εδώ εκτελούνται οι αλγόριθμοι μετάβασης των χρηστών από το ένα δίκτυο στο άλλο όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Η διαδικασία είναι ως εξής :
 1. Αν ο χρήστης εξυπηρετείται από το Hiperlan 2 και ζητήσει πρόσβαση από το HSDPA αλλά δεν υπάρχει κάποιος σταθμός βάσης του HSDPA που να μπορεί να τον εξυπηρετήσει, τότε παραμένει στο Hiperlan 2 συνεχίζοντας όμως να στέλνει αιτήσεις μέχρι να βρεθεί κατάλληλος σταθμός ή έως ότου ο αριθμός των αιτήσεων ξεπεράσει το προκαθορισμένο κατώφλι.

2. Αν ο χρήστης βρίσκεται στο HSDPA, ζητάει πρόσβαση από το Hiperlan 2 και συγκεκριμένα από το AP που δίνει τον μεγαλύτερο SNR. Αν αυτό δεν μπορεί να τον δεχτεί πάει στο AP με το δεύτερο καλύτερο SNR κ.ο.κ. Η διαδικασία τερματίζει όταν κάποιο AP τον δεχτεί ή περάσει ένα χρονικό διάστημα.
3. Και στις δύο περιπτώσεις αν ξεπεραστούν τα κατώφλια χωρίς να έχει επιτευχθεί handover ο χρήστης απορρίπτεται από το δίκτυο.
4. Τα αποτελέσματα κοινοποιούνται στο *Data Processing Unit*.

8

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

8.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση. Σε όλα τα σενάρια που προσομοιώθηκαν το φορτίο του δικτύου HSDPA επιλέχτηκε ίσο με 3 Mbps αφού το πρωτόκολλο MAC που υλοποιήθηκε και του οποίου την απόδοση θέλουμε να μελετήσουμε, εφαρμόστηκε μόνο στο δίκτυο Hiperlan 2. Για το Hiperlan 2 το φορτίο πήρε τιμές 6, 9, 12, 18, 27, 36 και 54 Mbps. Σημειώνουμε ωστόσο ότι ενώ για τις 4 πρώτες τιμές του φορτίου ο πραγματικός χρόνος προσομοίωσης ήταν 3 min (90000 frames), για τα φορτία 27, 36 και 54 Mbps ο πραγματικός χρόνος προσομοίωσης ήταν μόλις 20sec. Ο λόγος είναι ότι εξαιτίας της αυξημένης τιμής του φορτίου και κατά συνέπεια του μεγάλου αριθμού χρηστών στο δίκτυο, ο χρόνος για την προσομοίωση ενενήντα χιλιάδων frames ήταν υπερβολικά μεγάλος και καθιστούσε το εγχείρημα αδύνατο. Παρόλα αυτά, για ορισμένα μεγέθη τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των 20 sec ήταν ικανά να δώσουν συμπεράσματα και γι αυτό παρατίθενται. Λόγω του διαφορετικού χρόνου προσομοίωσης τα αποτελέσματα των φορτίων 27, 36 και 54 Mbps όπου παρουσιάζονται, μπαίνουν σε διαφορετικές γραφικές παραστάσεις από αυτά των υπολοίπων τιμών φορτίου.

8.2 RRACH

Όπως είπαμε στο κεφάλαιο πέντε, το προτεινόμενο πρωτόκολλο MAC δεσμεύει χρόνο στο κανάλι RRACH για κάθε χρήστη υπηρεσίας multimedia με αποτέλεσμα αυτού του είδους οι χρήστες να μην συναγωνίζονται το κανάλι και να μην υπάρχει πιθανότητα σύγκρουσής τους. Οι υπόλοιποι χρήστες συναγωνίζονται τη χρονική

διάρκεια του καναλιού που απομένει. Η τεχνική αυτή έχει ως στόχο τη μείωση του ποσοστού των συγκρούσεων κατά τη διαδικασία αποστολής αιτήσεων από τους χρήστες στο κανάλι RRACH.

Κατά την υλοποίηση θεωρήθηκε ότι η αίτηση κάθε χρήστη έχει μέγεθος 27 bits. Συγκεκριμένα η αίτηση αποτελείται από τα εξής πεδία:

- Αριθμός των PDUs με το μικρότερο χρόνο ζωής τις οποίες και θέλει να μεταδώσει ο χρήστης. Αυτές θα είναι μία ή το πολύ δύο (η περίπτωση των δύο αφορά τους *ftp* χρήστες που σε κάθε frame γεννάνε 2 PDUs). Επομένως το πεδίο αυτό απαιτεί 1 bit.
- Η timeout value των συγκεκριμένων PDUs. Επειδή παίρνει τιμές από ένα έως πεντακόσια απαιτούνται 9 bits.
- Ο λόγος σήματος προς παρεμβολή του χρήστη. Απαιτεί 7 bits.
- Το ID του χρήστη το οποίο απαιτεί 8 bits.
- Το είδος της υπηρεσίας που εξυπηρετεί ο χρήστης (*web browsing* ή *ftp*). Απαιτεί 2 bits.

Συνολικά λοιπόν απαιτούνται 27 bits για να σταλεί μία αίτηση. Έχοντας ως δεδομένο ότι στο κανάλι RRACH η ταχύτητα μετάδοσης είναι 6 Mbps προκύπτει ότι η χρονική διάρκεια κάθε slot πρέπει να είναι $\frac{27bits}{6 * 10^6 bits/sec} = 4.5\mu sec$. Επειδή η διάρκεια του RRACH θεωρήθηκε ίση με 200μsec ο αριθμός των slots του καναλιού θα είναι $\frac{200\mu sec}{4.5\mu sec} \approx 44$.

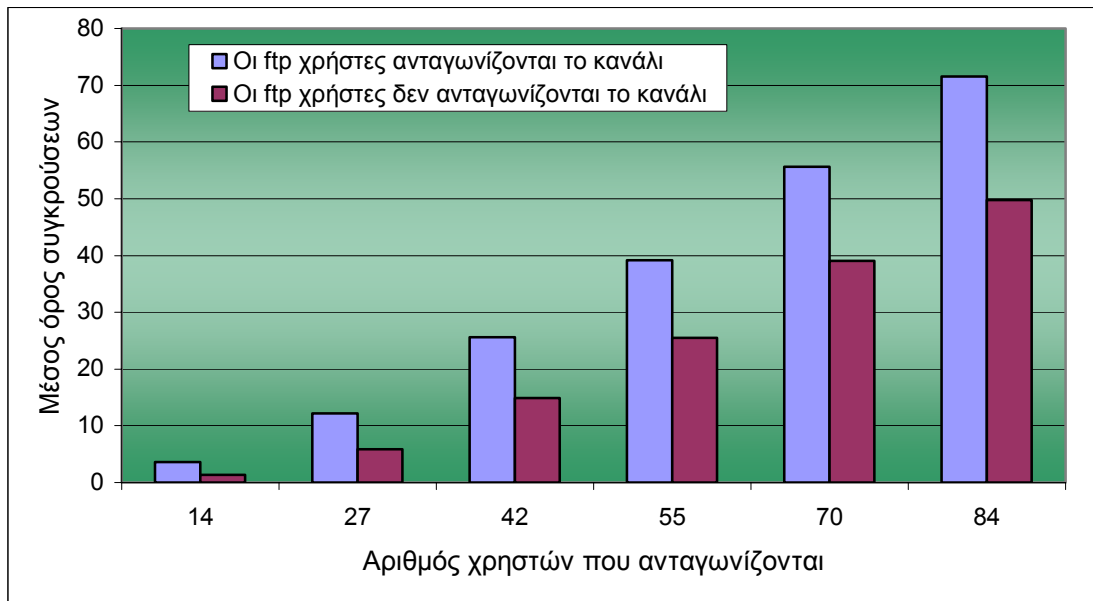
Ανάλογα με το φορτίο που ρίχνουμε στο δίκτυο ο μέσος όρος των χρηστών που ανταγωνίζονται τα 44 slots του καναλιού σε κάθε frame, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Φορτίο (Mbps)	συνολικός αριθμός χρηστών	χρήστες <i>web_browsing</i>	χρήστες <i>ftp</i>
3	14	8	6
6	27	16	11
9	42	25	17
12	55	33	22
15	70	42	28
18	84	50	34

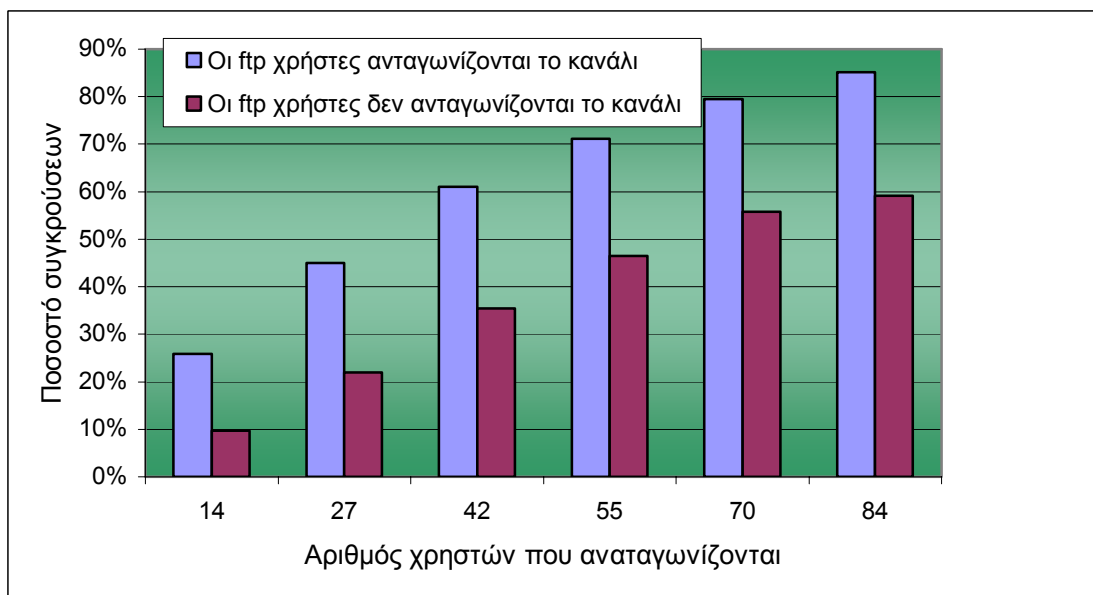
Το ποσοστό των χρηστών που είναι *web_browsing* και *ftp* είναι 60% και 40% αντίστοιχα. Σημειώνουμε ότι σε περιπτώσεις ακόμα μεγαλύτερου φορτίου ο αριθμός των *ftp* χρηστών ξεπερνάει τα 44 slots του καναλιού οπότε κατ' ανάγκη κάποιοι *ftp* χρήστες δε θα έχουν πρόσβαση στο κανάλι. Όμως για τόσο μεγάλα φορτία το ποσοστό των συγκρούσεων είναι αρκετά μεγάλο και με τις δύο μεθόδους αφού ο συνολικός αριθμός των χρηστών είναι σχεδόν τριπλάσιος από τον αριθμό των διαθέσιμων slots.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτουν οι γραφικές παραστάσεις των *σχημάτων* 8.1 και 8.2 που δίνουν το μέσο όρο και το ποσοστό των συγκρούσεων αντίστοιχα, που προκύπτουν χρησιμοποιώντας αρχικά ένα πρωτόκολλο όπου όλοι οι χρήστες ανταγωνίζονται το κανάλι και κατόπιν το προτεινόμενο που δεσμεύει χρόνο

για τους χρήστες υπηρεσιών *ftp*. Στον άξονα των *x* και στις δύο γραφικές παραστάσεις απεικονίζεται ο αριθμός των χρηστών που ανταγωνίζονται.



Σχήμα 8.1. Μέσος όρος συγκρούσεων στο RRACH



Σχήμα 8.2. Ποσοστό συγκρούσεων στο RRACH

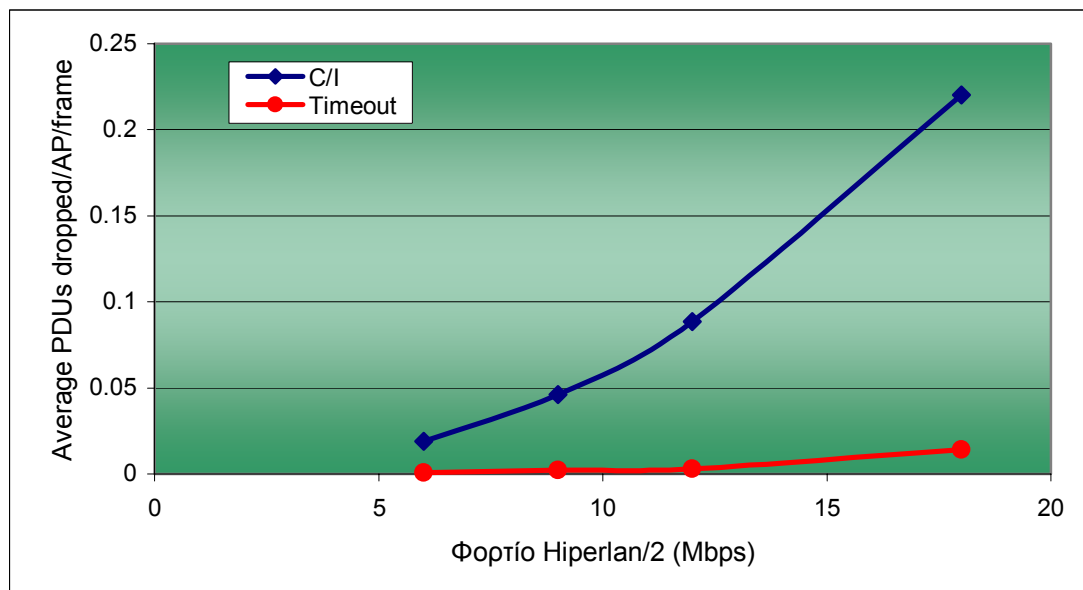
Από τις δύο γραφικές παραστάσεις είναι φανερή η μείωση που επιτυγχάνεται τόσο στον αριθμό όσο και στο ποσοστό των συγκρούσεων όταν χρησιμοποιείται η τεχνική του προτεινόμενου πρωτοκόλλου MAC. Μάλιστα για μικρό αριθμό χρηστών το ποσοστό των συγκρούσεων υποδιπλασιάζεται. Η τεχνική αυτή αυξάνει την πολυπλοκότητα του πρωτοκόλλου MAC, όμως η μείωση του ποσοστού των

συγκρούσεων που επιτυγχάνει έχει ως συνέπεια την αύξηση του throughput και επομένως τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.

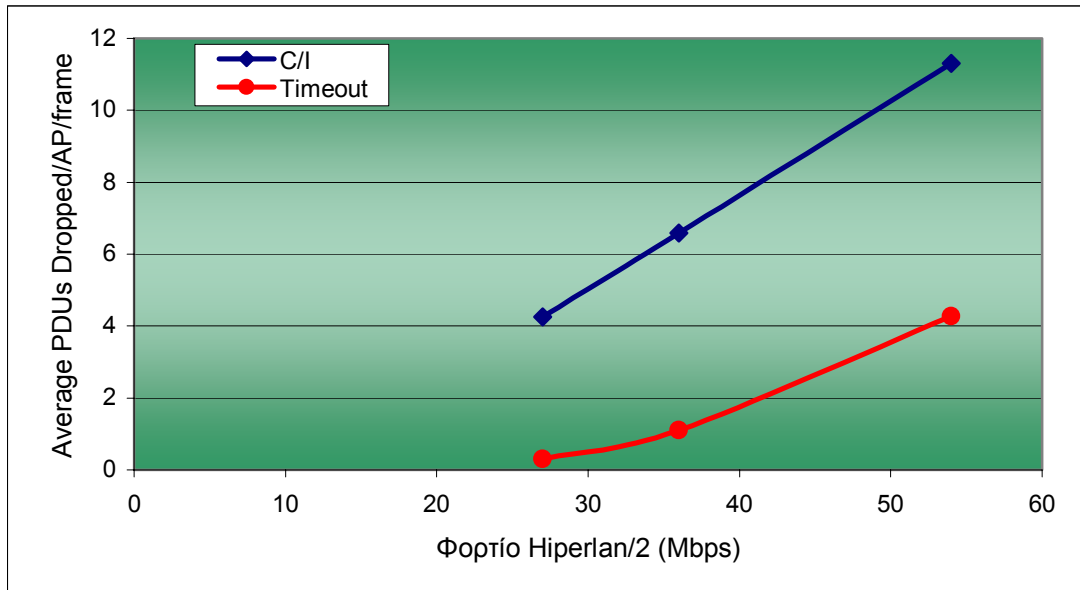
8.3 Απόρριψη PDUs

Πρωταρχικός στόχος του πρωτοκόλλου MAC που υλοποιήσαμε είναι η δραστική μείωση του αριθμού των PDUs που απορρίπτονται και για το λόγο αυτό κατά την ταξινόμηση των χρηστών λαμβάνει υπόψη του εκτός από το λόγο σήματος προς παρεμβολή και το χρόνο ζωής κάθε PDU. Ένα PDU απορρίπτεται όταν εξαντληθεί ο μέγιστος χρόνος αναμονής και δεν έχει γίνει ακόμα η εκπομπή του. Η απόρριψη PDUs από το δίκτυο επηρεάζει την ποιότητα της υπηρεσίας και γι αυτό για κάθε παρεχόμενη υπηρεσία υπάρχει ένα ποσοστό απόρριψης το οποίο αν ξεπεραστεί ο χρήστης δεν θεωρείται ικανοποιημένος. Η πλατφόρμα προσομοίωσης, όπως αναφέραμε σε προηγούμενα κεφάλαια, θεωρεί την ύπαρξη δύο ειδών υπηρεσιών, *web browsing* και *ftp*. Για την πρώτη, η οποία ανήκει στις υπηρεσίες δεδομένων (data services), το κατώφλι απόρριψης θεωρήθηκε ίσο με 0%, ενώ για τη δεύτερη, η οποία ανήκει στις υπηρεσίες multimedia, θεωρήθηκε ίσο με 1%. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η τεχνική ταξινόμησης του πρωτοκόλλου που υλοποιήθηκε επιτυγχάνει σημαντική μείωση του αριθμού των απορριφθέντων PDUs σε σύγκριση με την ταξινόμηση η οποία λαμβάνει υπόψη της μόνο το λόγο σήματος προς παρεμβολή των χρηστών. Στις γραφικές παραστάσεις των *σχημάτων* 8.3 και 8.4 συγκρίνονται οι δύο τεχνικές ταξινόμησης όσον αφορά τον αριθμό των PDUs που απορρίπτονται με συνέπεια να ξεπεραστεί το κατώφλι 0% για τις υπηρεσίες *web browsing* και 1% για τις υπηρεσίες *ftp*.

Στον άξονα *y* των γραφικών παραστάσεων απεικονίζεται ο μέσος αριθμός PDUs που απορρίπτονται από κάθε AP σε κάθε frame. Παρατηρούμε τη σημαντική μείωση του αριθμού αυτού που επιτυγχάνει το πρωτόκολλο MAC που υλοποιήθηκε. Επίσης, από την πρώτη κυρίως γραφική παράσταση που αναφέρεται σε μικρότερα φορτία, είναι φανερό ότι μειώνεται και ο ρυθμός αύξησης των απορριφθέντων PDUs.



Σχήμα 8.3. Μέσος όρος απορριφθέντων PDUs ανά AP ανά frame για φορτία 6, 9, 12, 18Mbps



Σχήμα 8.4. Μέσος όρος απορριφθέντων PDUs ανά AP ανά frame για φορτία 27, 36, 54Mbps

8.4 Ικανοποιημένοι Χρήστες

Κατά την προσομοίωση ορίστηκαν ως ικανοποιημένοι οι χρήστες οι οποίοι αφενός κατάφεραν να εκπέμψουν τουλάχιστον το 95% των bits που απαιτούσε ο ρυθμός μετάδοσης της υπηρεσίας τους, και αφετέρου το PDU error rate (PER) δεν ξεπέρασε σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης το προκαθορισμένο κατώφλι.

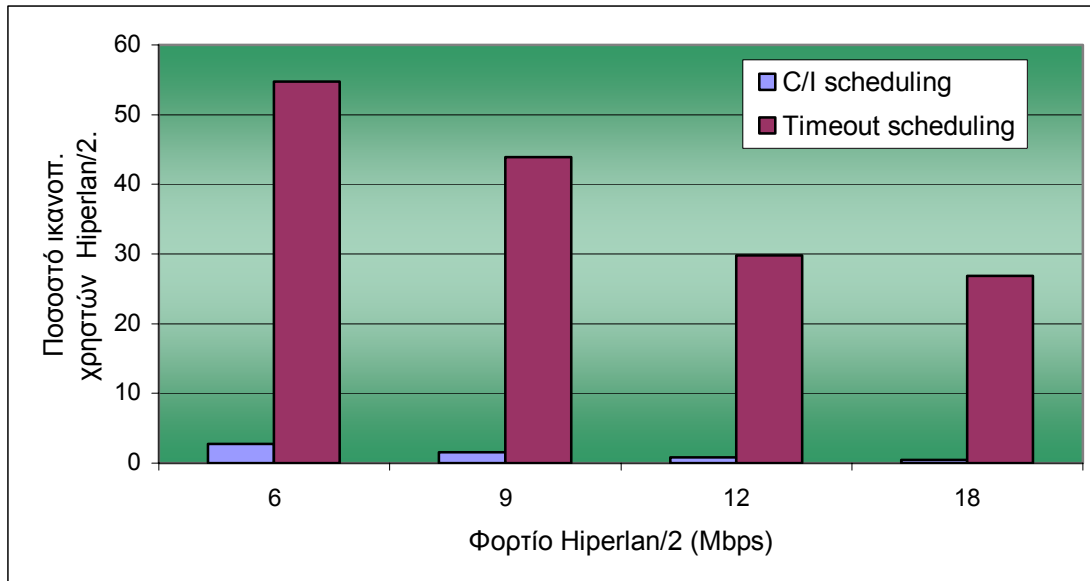
Για παράδειγμα ένας χρήστης υπηρεσίας *web browsing* για να θεωρηθεί ικανοποιημένος, θα πρέπει στο τέλος της προσομοίωσης να έχει αποστείλει τουλάχιστον $0.95 * 64000 * (\text{sec προσομοίωσης})$ bits, ενώ ταυτόχρονα δε θα πρέπει να έχει απορριφθεί κανένα PDU ώστε να μην ξεπεραστεί το κατώφλι 0% του PER που απαιτεί η συγκεκριμένη υπηρεσία.

Αντίστοιχα ένας χρήστης υπηρεσίας *ftp* θα πρέπει στο τέλος της προσομοίωσης να έχει αποστείλει τουλάχιστον $0.95 * 384000 * (\text{sec προσομοίωσης})$ bits, ενώ ταυτόχρονα σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης το PER πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο του 1%.

Τα αποτελέσματα της προηγούμενης ενότητας απέδειξαν ότι ο αλγόριθμος ταξινόμησης που υλοποιήσαμε μειώνει σημαντικά τον αριθμό των απορριφθέντων PDUs σε σύγκριση με τον αλγόριθμο ταξινόμησης που λαμβάνει υπόψη του μόνο το λόγο σήματος προς παρεμβολή των χρηστών. Ως φυσική συνέπεια αυτού είναι και η αύξηση του ποσοστού των ικανοποιημένων χρηστών. Η γραφική παράσταση του σχήματος 8.5 συγκρίνει τις δύο μεθόδους ταξινόμησης και αποτυπώνει την τεράστια βελτίωση του ποσοστού των ικανοποιημένων χρηστών.

Η επιτυχία αυτή του αλγορίθμου ταξινόμησης που υλοποιήθηκε, βασίζεται στο γεγονός ότι λαμβάνει υπόψη του το χρόνο ζωής των PDUs και δίνει προτεραιότητα σε αυτά με το μικρότερο χρόνο ζωής. Αντίθετα ο αλγόριθμος ταξινόμησης κατά C/I εξυπηρετεί αρχικά όλα τα PDUs του χρήστη με το καλύτερο C/I, κατόπιν όλα τα PDUs του χρήστη με τον αμέσως χειρότερο λόγο κ.ο.κ, έως ότου εξαντληθεί ο χρόνος στο MAC frame. Αποτέλεσμα αυτής της τακτικής, όπως διαπιστώθηκε από τα αποτελέσματα, είναι οι χρήστες για τους οποίους τηρούνται τα όρια του PER να είναι

ελάχιστοι. Αυτό συμβαίνει γιατί καθώς οι χρήστες κινούνται μέσα στην περιοχή κάλυψης, μεταβάλλεται ο λόγος σήματος προς παρεμβολή, και έτσι κάθε χρήστης είναι δυνατόν για κάποια δευτερόλεπτα προσομοίωσης να έχει χαμηλό C/I, με αποτέλεσμα να απορριφθούν περισσότερα PDUs από όσα το PER καθορίζει. Αντιθέτως η τακτική του αλγορίθμου που υλοποιήσαμε εγγυάται ότι οι χρήστες θα ικανοποιηθούν και κατά τη διάρκεια που έχουν χαμηλό C/I. Βέβαια σημειώνουμε ότι όσο μεγαλώνει το φορτίο ακόμα και αυτός ο αλγόριθμος δεν μπορεί να ικανοποιήσει όλους τους χρήστες, όμως το ποσοστό των ικανοποιημένων χρηστών είναι πολύ μεγαλύτερο σε σύγκριση με αυτό που επιτυγχάνει ο άλλος αλγόριθμος.

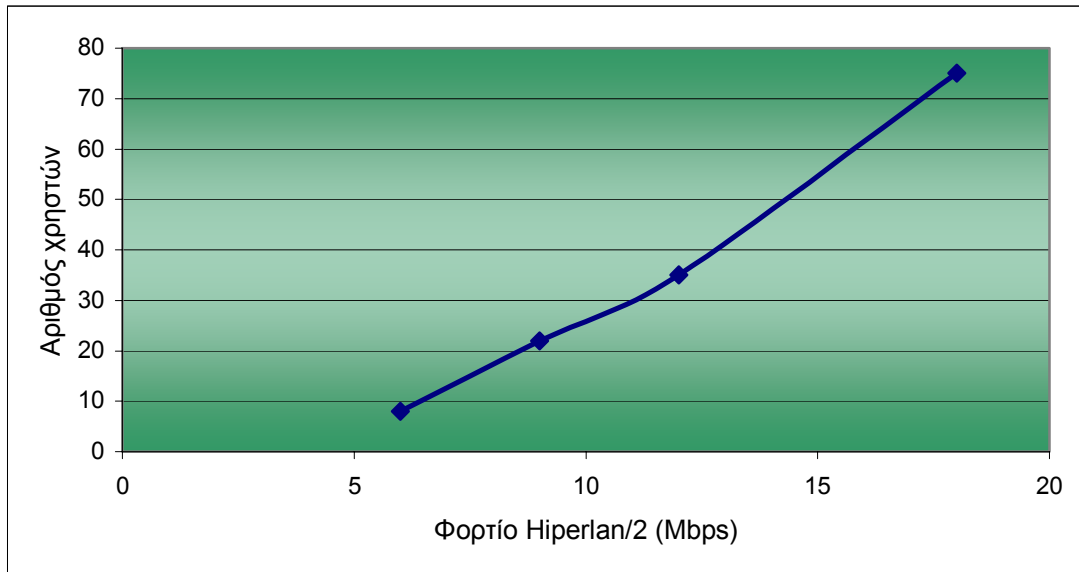


Σχήμα 8.5. Ποσοστό ικανοποιημένων χρηστών για φορτία 6, 9, 12, 18Mbps

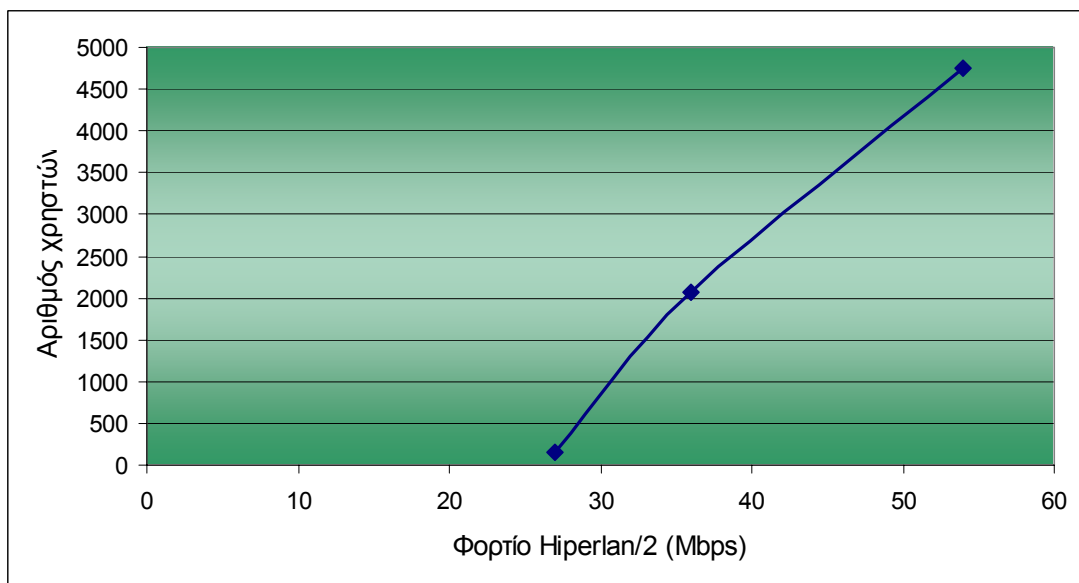
8.5 Provoked Handovers

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του υλοποιούμενου πρωτοκόλλου MAC είναι ότι εκμεταλλεύεται τη συνύπαρξη δικτύων διαφορετικών τεχνολογιών για να μειώσει τις απορρίψεις πακέτων και να παρέχει την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσιών. Η εκμετάλλευση γίνεται στέλνοντας χρήστες στο συνυπάρχον δίκτυο όταν αντιληφθεί ότι αδυνατεί να διατηρήσει τους επιθυμητούς ρυθμούς απόρριψης κάθε υπηρεσίας. Ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνεται το δίκτυο πόσους χρήστες πρέπει να εξαναγκάσει σε handover, ποιοι είναι αυτοί αλλά και ποια είναι η κατάλληλη χρονική στιγμή, περιγράφηκαν αναλυτικά στο πέμπτο κεφάλαιο.

Στις γραφικές παραστάσεις των σχημάτων 8.6 και 8.7 απεικονίζεται ο αριθμός των χρηστών που εξαναγκάστηκαν σε handover κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, ως συνάρτηση του φορτίου του δικτύου Hiperlan 2.



Σχήμα 8.6. Αριθμός χρηστών που εξαναγκάστηκαν σε handover για φορτία 6, 9, 12 και 18Mbps



Σχήμα 8.7. Αριθμός χρηστών που εξαναγκάστηκαν σε handover για φορτία 27, 36 και 54Mbps

Παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές φορτίου στο Hiperlan 2, όπως 6 και 9 Mbps, ο αριθμός των χρηστών που εξαναγκάζονται να αλλάξουν δίκτυο είναι μικρός αφού το σύστημα καταφέρνει να ανταποκριθεί καλύτερα στις απαιτήσεις που δημιουργούνται. Γι αυτό άλλωστε και η διαφορά στα απορριφθέντα PDUs ανάμεσα στην ταξινόμηση κατά C/I και σε αυτήν κατά timeout είναι μικρότερη για τα φορτία αυτά σε σύγκριση με μεγαλύτερα όπως φάνηκε στην προηγούμενη ενότητα. Όταν το φορτίο πάρει μεγαλύτερες τιμές και κυρίως τιμές όπως 27, 36 και 54 Mbps, ο αριθμός των χρηστών που εξαναγκάζονται σε handover αυξάνει σημαντικά. Αν μάλιστα συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι τα αποτελέσματα της γραφικής παράστασης του

σχήματος 8.7 αντιστοιχούν σε 20sec πραγματικού χρόνου προσομοίωσης ενώ αυτά του σχήματος 8.6 σε 3min, αντιλαμβανόμαστε πόσο μεγάλη είναι η αύξηση αυτή.

Σημειώνουμε ότι όταν προσομοιώνονται μεγάλες τιμές φορτίου για το δίκτυο Hiperlan 2, υπάρχει ο κίνδυνος ένας πολύ μεγάλος αριθμός χρηστών να σταλεί στο HSDPA με αποτέλεσμα να επιβαρυνθεί σημαντικά και να μην μπορεί να λειτουργήσει σωστά. Για το λόγο αυτό το Hiperlan 2 πριν στείλει κάποιο χρήστη σε ένα σταθμό βάσης του HSDPA ελέγχει το φορτίο του σταθμού αυτού και αν ξεπερνάει κάποιο κατώφλι τότε ο χρήστης εξαναγκάζεται σε *intra system handover*, στέλνεται δηλαδή σε κάποιο άλλο AP του Hiperlan 2. Επομένως ένας αριθμός από τα *handovers* που παριστάνονται στο σχήμα 8.7 αντιστοιχεί σε αλλαγή AP και όχι σε αλλαγή δικτύου.

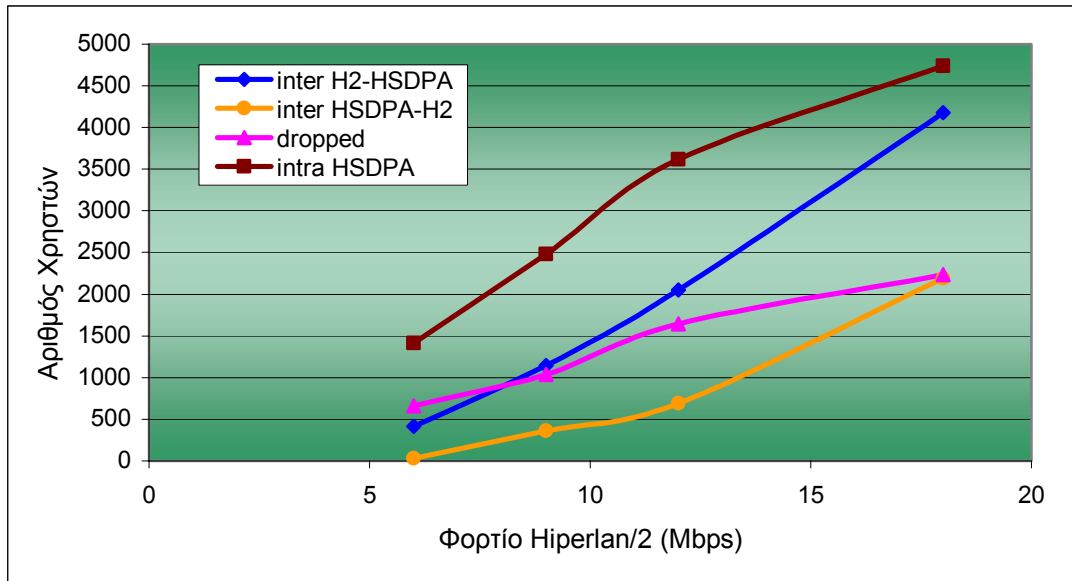
Ένα εύλογο ερώτημα είναι γιατί για μικρές κυρίως τιμές φορτίου, το σύστημα δεν εξαναγκάζει περισσότερους χρήστες σε αλλαγή δικτύου έτσι ώστε να μηδενίσει τον αριθμό των απορριφθέντων PDUs. Η απάντηση είναι ότι η κίνηση δεδομένων στο δίκτυο δεν είναι σταθερή αλλά παρουσιάζει εξάρσεις σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι αν παρουσιαστεί ξαφνικά μεγάλη κίνηση είναι πιθανόν το πρωτόκολλο MAC να μην προλάβει να αντιδράσει εγκαίρως με αποτέλεσμα να απορριφθούν ορισμένα PDUs.

8.6 Handovers

Ανεξάρτητα με το είδος του πρωτοκόλλου MAC που χρησιμοποιείται, κάθε 500 frames για το Hiperlan 2 και κάθε 50 για το HSDPA, υπολογίζεται για κάθε χρήστη η συνάρτηση κόστους. Το αποτέλεσμα της συνάρτησης αυτής καθορίζει αν ο χρήστης πρέπει να αναζητήσει άλλο σταθμό βάσης ή AP για να εξυπηρετείται στο μέλλον. Αν το *throughput* του χρήστη στο δευτερόλεπτο που πέρασε ήταν κάτω από το προκαθορισμένο κατώφλι ή αν ο λόγος σήματος προς θόρυβο στη ζεύξη ανάμεσα στο σταθμό βάσης (ή το AP) και το χρήστη είναι μικρός με αποτέλεσμα το PER να είναι μεγαλύτερο από το επιθυμητό όριο, τότε ο χρήστης αναζητά μήπως υπάρχει άλλο AP ή σταθμός βάσης που μπορεί να τον εξυπηρετήσει. Η αναζήτηση αυτή θα επιφέρει ένα από τα παρακάτω αποτελέσματα:

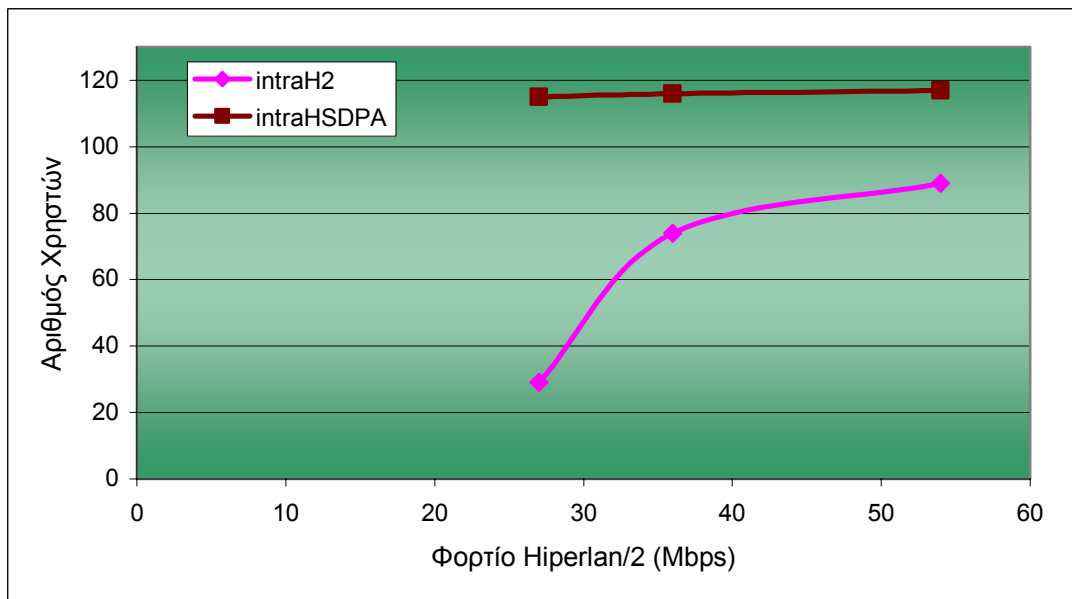
- Ο χρήστης βρίσκει άλλο σταθμό βάσης στο ίδιο δίκτυο με αυτό που ανήκει. Η περίπτωση αυτή οδηγεί το χρήστη σε *intra system handover* (*intra H2* ή *intra HSDPA*). Ο χρήστης δηλαδή δεν αλλάζει δίκτυο. Μεταφέρεται απλώς από ένα AP σε ένα άλλο ή από ένα σταθμό βάσης σε κάποιον άλλο.
- Ο χρήστης βρίσκει σταθμό βάσης στο άλλο δίκτυο και εκτελεί *inter system handover*. Μεταφέρεται έτσι από το HSDPA στο Hiperlan 2 ή το αντίστροφο.
- Ο χρήστης δε βρίσκει σταθμό βάσης καλύτερο από αυτόν που τον εξυπηρετούσε έως εκείνη τη στιγμή και δεν κάνει καμία ενέργεια. Αν το σενάριο αυτό επαναλαμβάνεται διαδοχικά, τότε μετά από ένα ορισμένο αριθμό επαναλήψεων ο χρήστης απορρίπτεται από το δίκτυο.

Στο σχήμα 8.8 απεικονίζεται ο αριθμός των *intra HSDPA handover*, των *inter H2-HSDPA*, των *inter HSDPA-H2* καθώς και ο αριθμός των χρηστών που απορρίφθηκαν, για τιμές φορτίου στο Hiperlan 2 6, 9, 12, 18 Mbps. Δεν έχει απεικονιστεί ο αριθμός των *intra H2 handover* γιατί ήταν αρκετά μικρός σε σχέση με τα υπόλοιπα.

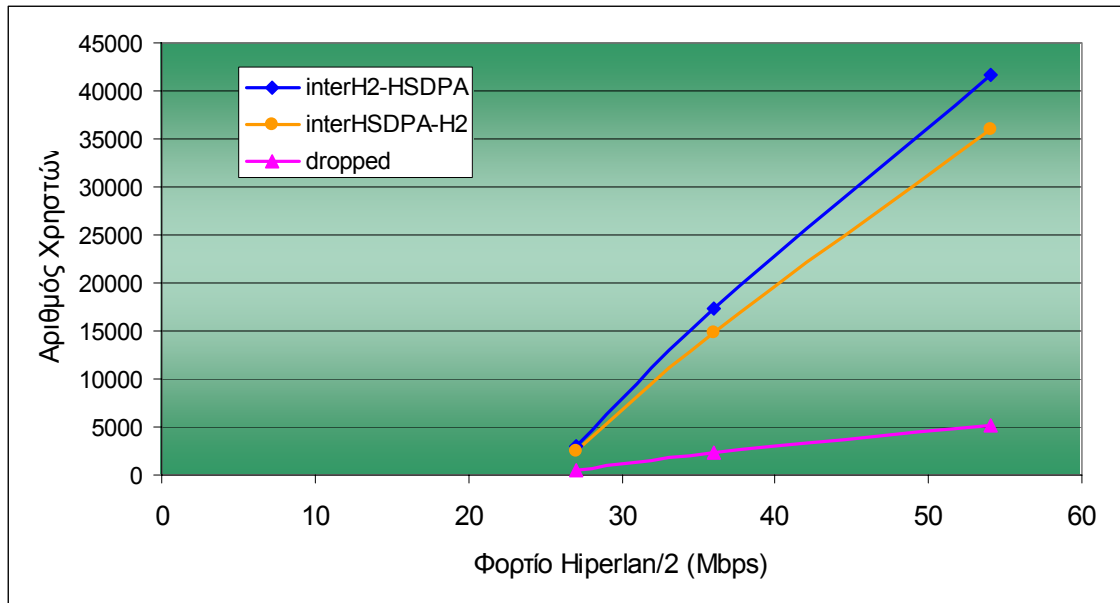


Σχήμα 8.8. Handovers και απορρίψεις χρηστών για φορτία 6, 9, 12 και 18Mbps

Για τιμές φορτίου 27, 36 και 54 Mbps και για 20 sec πραγματικού χρόνου, ο αριθμός κάθε είδους handover καθώς και οι απορρίψεις χρηστών φαίνονται στα σχήματα 8.9 και 8.10.



Σχήμα 8.9. Intra-system handovers για φορτία 27, 36 και 54Mbps



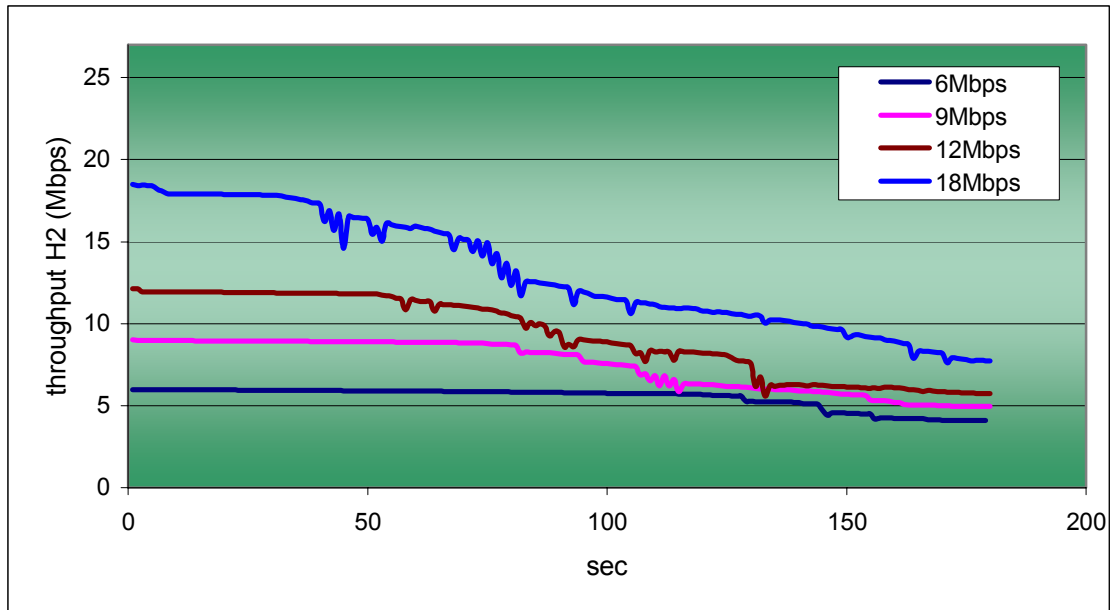
Σχήμα 8.10. Inter-system handovers και απορρίψεις χρηστών για φορτία 27, 36 και 54Mbps

Ενώ για τιμές φορτίου από 6 έως 18 Mbps κυριαρχούν οι περιπτώσεις *intra HSDPA*, όταν το φορτίο πάρει τιμές από 27 έως 54 Mbps οι περιπτώσεις *inter H2-HSDPA* και *inter HSDPA-H2* γίνονται πολύ περισσότερες από αυτές των *intra system handovers*. Η εξήγηση είναι ότι όσο μεγαλύτερο γίνεται το φορτίο του δικτύου Hiperlan 2, αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών που δεν ικανοποιούνται με αποτέλεσμα να καταφεύγουν στο HSDPA. Ωστόσο όταν ο αριθμός αυτός είναι αρκετά μεγάλος το HSDPA αδυνατεί και αυτό με τη σειρά του να εξυπηρετήσει όλους τους χρήστες με αποτέλεσμα ένα μέρος από αυτούς να επιστρέφουν στο επόμενο δευτερόλεπτο πίσω στο Hiperlan 2 και να συνεχίζεται η διαδικασία μεταπήδησης από το ένα δίκτυο στο άλλο. Το φαινόμενο αυτό είναι η αιτία που στο *σχήμα 8.10* οι καμπύλες *inter H2-HSDPA* και *inter HSDPA-H2* δεν απέχουν πολύ η μία από την άλλη. Αντίθετα στο *σχήμα 8.8* απέχουν περισσότερο αφού για μικρές τιμές φορτίου το μεγαλύτερο μέρος των χρηστών που μεταπηδά από το Hiperlan 2 στο HSDPA εξυπηρετείται και δεν επιστρέφει πίσω. Φυσικά η κατάσταση διαδοχικών μεταπηδήσεων δε συνιστά ομαλή λειτουργία του δικτύου. Ωστόσο πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι τέτοιου είδους φορτία είναι αρκετά μεγάλα για να εφαρμοστούν σε πραγματικά δίκτυα.

8.7 Throughput

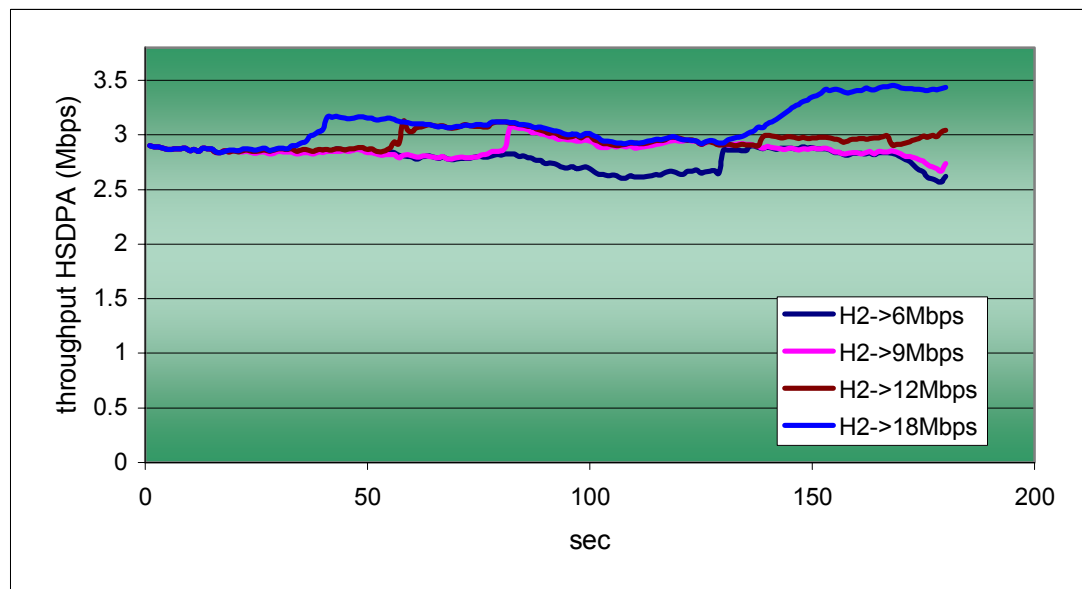
Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε δύο γραφικές παραστάσεις που δείχνουν πως μεταβάλλεται το throughput στα δύο δίκτυα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Στο *σχήμα 8.11* απεικονίζεται η μεταβολή του throughput του δικτύου Hiperlan 2 σε κάθε μία από τις περιπτώσεις 6, 9, 12 και 18 Mbps. Παρατηρούμε ότι αρχικά κινείται γύρω από την ονομαστική του τιμή ενώ όσο προχωράει η προσομοίωση πέφτει σε χαμηλότερα επίπεδα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ονομαστική τιμή τόσο νωρίτερα επέρχεται αυτή η πτώση.



Σχήμα 8.11. Throughput στο δίκτυο Hiperlan 2 για φορτία 6, 9, 12 και 18Mbps

Τέλος στη γραφική παράσταση του σχήματος 8.12 φαίνεται η μεταβολή του throughput στο δίκτυο HSDPA. Το φορτίο του δικτύου αυτού επιλεγόταν πάντοτε ίσο με 3Mbps. Από τη γραφική παράσταση φαίνεται ότι σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης το throughput κινείται γύρω από την τιμή αυτή. Ωστόσο είναι εμφανές



Σχήμα 8.12. Throughput στο δίκτυο HSDPA

ότι στην περίπτωση που το φορτίο στο Hiperlan 2 είναι 18 Mbps το throughput στο HSDPA είναι αυξημένο σε σύγκριση με περιπτώσεις μικρότερου φορτίου στο Hiperlan 2. Ο λόγος είναι φυσικά ότι χρήστες από το Hiperlan 2 μεταφέρονται στο HSDPA για να εξυπηρετηθούν.

Βιβλιογραφία

- [1] Priyanka Iyer, “Issues in Mobility Management in 4G Networks”.
- [2] Apostolis K. Salkintzis, “Interworking Techniques and Architectures for WLAN/3G Integration Towards 4G Mobile Data Networks”.
- [3] Δρ. Νίκος Πασσάς, “Ο ρόλος των Ασύρματων Τοπικών Δικτύων στις Κινητές Επικοινωνίες Τέταρτης Γενιάς – Προοπτικές, Προβλήματα και Λύσεις”.
- [4] Alcatel Telecommunications Review, “3G Evolution Towards High Speed Downlink Packet Access”, 4th Quarter 2003 / 1st Quarter 2004.
- [5] Ingo Forkel, Hartmut Klenner, “High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) – A Means of Increasing Downlink Capacity in WCDMA Cellular Networks?”.
- [6] Hui Li, Goran Malmgren, Mathias Pauli, “Performance Comparison of the Radio Link Protocols of IEEE 802.11a and HIPERLAN/2”, IEEE 2000.
- [7] Zihuai Lin, Goran Malmgren, Johan Torsner, “System Performance Analysis of Link Adaptation in HiperLAN Type 2”, IEEE 2000.
- [8] A. Doufexi, M. Butler, S. Armour, P. Karlsson, A. Nix, D. Bull, “SIMULATED PERFORMANCE OF THE HIPERLAN/2 PHYSICAL LAYER WITH REAL AND STATISTICAL CHANNELS”, 3G Mobile Communication Technologies, 26-28 March 2001, Conference Publication No 477, IEE 2001.
- [9] ETSI TR 101 957 V 1.1.1 (2001-08), Technical Report, Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN Type 2; “Requirements and Architectures for Interworking between HIPERLAN/2 and 3rd Generation Cellular Systems”.
- [10] T. Al-Gizawi, K. Peppas, A. Mousa, D. Axiotis, F. Lazarakis, A. Alexiou, “A Joint HSDPA – HIPERLAN/2 System Level Simulator”.
- [11] T.Al-Gizawi, “A QoS-Oriented Access Control Protocol with Selective Packet Loss SPL Scheduling for Optimal User Satisfaction in 4G Multimedia TDD/TDMA Wireless Communications”.
- [12] V. Huang and W. ZHuang, “QoS-Oriented Access Control for 4G Mobile Multimedia CDMA Communications”, IEEE commun. Mag., vol. 40, No.3, Mar. 2002, pp. 118-125.
- [13] IST FITNESS D4.1, “Definition of System Simulation Methodology for UMTS and HIPERLAN/2”.

- [14] IST FITNESS D4.2, “UMTS/WLAN interoperability issues”.
- [15] IST FITNESS D4.3, “FITNESS Simulation Platform Structure and System Level Performance Evaluation”.
- [16] IST FITNESS D2.1, “Performance Metrics, Critical Parameters and simulation platforms”.