



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Π.Μ.Σ.)

«Διδακτική της Τεχνολογίας & Ψηφιακά Συστήματα»

**ENERGY EFFICIENT RESOURCE ALLOCATION
IN MOBILE COMMUNICATIONS**

Κωνσταντίνος Π. Σιγάλας

A.M.: ME09096

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

Αγγελική Αλεξίου

Πειραιάς

Σεπτέμβριος 2013

Αφιερώνεται στην οικογένεια μου

Περίληψη

«Το όνειρο του χτες είναι η πραγματικότητα του αύριο»

Η σημερινή εξέλιξη των δικτύων κινητών επικοινωνιών ίσως ήταν κάτι πολύ δύσκολο να προβλέψει ή και να φανταστεί κανείς πριν από 20 χρόνια. Ο ταχύτατα αναπτυσσόμενος τομέας των κινητών επικοινωνιών έχει ως αποτέλεσμα την διαρκή και αυξανόμενη απαίτηση για ασύρματη και πολυμεσική επικοινωνία. Σ' αυτό βέβαια συμβάλουν τα μέγιστα οι απαιτήσεις της σύγχρονης αγοράς μ' ένα ενοποιημένο και λειτουργικό σύστημα κινητών επικοινωνιών, καθώς και η πληθώρα των πολυμεσικών εφαρμογών που πλέον είναι διαθέσιμες στους χρήστες και συνεχώς αυξάνονται με ταχύτατους ρυθμούς.

Είναι γεγονός ότι την τελευταία δεκαετία τα δίκτυα επικοινωνιών τρίτης γενιάς (3G) – Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) γνωρίζουν μεγάλη ανάπτυξη και η χρήση τους έχει επεκταθεί παγκοσμίως. Τα δίκτυα αυτά αντικαθιστούν τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα δεύτερης γενιάς, προσφέροντας συν τοις άλλοις μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης και προηγμένες υπηρεσίες προς τους κινητούς πελάτες-χρήστες. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη περαιτέρω ανάπτυξη των 3G δικτύων και στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών με κυριότερο εκπρόσωπό τους τη τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA). Η τεχνολογία αυτή αποτελεί την φυσιολογική μετεξέλιξη του UMTS, η οποία στη βιβλιογραφία αναφέρεται κι ως 3.5G ή 3G+, δηλώνοντας την αναβάθμιση αυτή.

Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία HSPA αναμένεται να προσφέρει τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3rd Generation Partnership Project (3GPP), που αποτελεί τον οργανισμό που προτυποποιεί τις νέες τεχνολογίες και ορίζει τις προδιαγραφές τους, ήδη μελετά και επεξεργάζεται νέες τεχνολογίες που θα επικρατήσουν την αμέσως επόμενη δεκαετία στην αγορά των κινητών επικοινωνιών. Το νέο αυτό project αποκαλείται Long Term Evolution (LTE) και στοχεύει στην επίτευξη ακόμη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρος ζώνης. Κύρια προοπτική του LTE αποτελεί η

διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας και η επικράτηση του προτύπου στο χρονικό ορίζοντα της επόμενης δεκαετίας.

Ταυτόχρονα με την εκτεταμένη εξάπλωση των δικτύων κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς καθώς και τις αυξημένες δυνατότητες των κινητών συσκευών, οι πάροχοι πολυμεσικού περιεχομένου και υπηρεσιών ενδιαφέρονται όλο και περισσότερο για την υποστήριξη της πολυεκπομπής (multicasting) δεδομένων στα δίκτυα αυτά με σκοπό την αποτελεσματική διαχείριση και επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων του δικτύου. Επιπρόσθετα, οι χρήστες των κινητών δικτύων έχουν πλέον την απαίτηση να προσπελούν εφαρμογές και υπηρεσίες οι οποίες μέχρι σήμερα μπορούσαν να διατεθούν αποκλειστικά από τα συμβατικά ενσύρματα δίκτυα. Έτσι λοιπόν στις μέρες μας γίνεται λόγος για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου όπως mobile TV, mobile gaming, mobile streaming κ.α.

Ένα από τα σημαντικότερα βήματα των δικτύων κινητών επικοινωνιών προς την κατεύθυνση της παροχής νέων, προηγμένων πολυμεσικών υπηρεσιών είναι η εισαγωγή της υπηρεσίας Multimedia Broadcast / Multicast Service (MBMS). Η υπηρεσία MBMS έχει σαν κύριο σκοπό την υποστήριξη IP εφαρμογών επανεκπομπής (broadcast) και πολυεκπομπής (multicast), επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την παροχή υπηρεσιών υψηλού ρυθμού μετάδοσης σε πολλαπλούς χρήστες με οικονομικό τρόπο. Η multicast μετάδοση δεδομένων σε κινητά δίκτυα επικοινωνιών είναι μια σχετικά νέα λειτουργικότητα η οποία βρίσκεται ακόμη στο στάδιο των δοκιμών και της προτυποποίησης της. Ένας multicast μηχανισμός μεταδίδει τα δεδομένα μόνο μία φορά πάνω από κάθε ασύρματο σύνδεσμο που αποτελεί τμήμα των μονοπατιών προς τους κινητούς χρήστες.

Σημαντικό κατά την multicast μετάδοση δεδομένων στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών είναι ο αποτελεσματικός έλεγχος ισχύος. Οι σταθμοί βάσης των κυψελωτών αυτών δικτύων διαθέτουν περιορισμένους πόρους ισχύος, γεγονός που περιορίζει τη χωρητικότητα της κυψέλης (cell) και επιβάλλει τη χρήση μίας βέλτιστης στρατηγικής για την όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων ισχύος. Ο έλεγχος ισχύος στοχεύει στη μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος, στην ελαχιστοποίηση του θορύβου στο κυψελωτό δίκτυο και κατά συνέπεια στη διασφάλιση μεγαλύτερης χωρητικότητας επιπλέον χρηστών.

Έχοντας κατά νού τα παραπάνω, στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη του ελέγχου της ισχύος στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς, καθώς και η ανεύρεση τρόπων και μεθόδων/μηχανισμών για την βελτιστοποίησή του. Γίνεται αξιολόγηση των υπαρχόντων καναλιών μεταφοράς του UMTS και της τεχνολογίας HSPA με βάση την αιτούμενη ισχύ που πρέπει να ανατεθεί απο το σταθμό βάσης για καθένα απο αυτά, τον ρυθμό μετάδοσης τους, τον αριθμό των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετήσουν, την ποιότητα υπηρεσιών για κάθε χρήστη, τη μέγιστη δυνατή κάλυψη της κυψέλης κ.α.

Executive Summary

“The dream of yesterday is the reality of tomorrow”

The current evolution of mobile communications may be something very difficult to predictor even imagine 20 years ago. The rapid growth of mobile communications has resulted in constant and increasing demand for wireless and multimedia communication. In this course, the greatest contribution equipments of modern market with a unified and functional system of mobile communications, and the plethora of multimedia applications are now available to users and are increasing rapidly.

More specifically, in the last decade the third generation (3G) - Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) cellular networks have begun to rise and the usage has spread universal. 3G networks have replaced the existing second generation mobile networks and moreover, are in position offering higher (broadband) speed access and advanced services to mobile customers-users. This led to the further development of 3G networks and to the adoption of new technologies, with main representative the High Speed Packet Access (HSPA) technology. This technology is the natural evolution of UMTS, which is mentioned in the literature as 3.5G or 3G+, indicating the upgrade.

However, despite the fact that HSPA technology is expected to allow the provision of numerous broadband services, the 3rd Generation Partnership Project (3GPP), the authorized organization for the standardization of new mobile technologies, already examines new technologies that will prevail in the mobile communications industry over the next decades. This novel project is known as Long Term Evolution (LTE) and aims at achieving increased data rates and reduced latency compared to UMTS and HSPA networks.

Simultaneously, multimedia content and service providers show an increased interest in supporting multicast data in order to effectively manage and re-use the available network resources. Additionally, more and more users require access to applications and services that until today could only be accessed by conventional wired networks.

Thus, real time applications and services may face low penetration today; however, they are expected to gain high interest in future mobile networks. These applications actually reflect a modern, future way of communication among mobile users. For instance, mobile TV is expected to be a “killer” application for 3G’s. Such mobile TV services include streaming live TV (news, weather forecasts etc.) and streaming video (such as video clips). All the above constitute a series of indicative emerging applications that necessitate advanced transmission techniques.

One of the most significant steps towards the provision of such demanding services is the introduction of Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS). MBMS is a point-to-multipoint service in which data is transmitted from a single source entity to multiple destinations, allowing the networks resources to be shared. Actually, MBMS extends the existing UMTS infrastructure and efficiently uses network and radio resources, both in the core network and most importantly, in the air interface of UMTS, where the bottleneck is placed to a large group of users. Therefore, MBMS constitutes an efficient way to support the plethora of the emerging wireless multimedia applications and services such as IP video conferencing and video streaming.

The main requirement during the provision of MBMS multicast services is to make an efficient overall usage of radio and network resources. This necessity mainly translates into improved power control strategies, since the base stations’ transmission power is the limiting factor of downlink capacity in UMTS networks. Under this prism, power control is one of the most critical aspects in MBMS due to the fact that downlink transmission power in UMTS networks is a limited resource and must be shared efficiently among all MBMS users in a cell. Moreover, power control aims at minimizing the transmitted power, eliminating in this way the intercell interference. However, when misused, the use of power control may lead to a high level of wasted power and worse performance results.

After taking into account the above analysis, objective of this dissertation is the study of power control issues in next generation mobile communication networks as well as finding ways and methods /mechanisms for optimization. Being evaluated of existing transmission channels of UMTS and HSPA technology, based in applied force to be

assigned by the base station for each of them, the transmission rate, the number of users that can serve, the quality of service for each user, the maximum possible coverage of the cell, etc.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί τον επίλογο των μεταπτυχιακών μου σπουδών στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς. Ο τίτλος της μεταπτυχιακής εργασίας είναι «Energy Efficient Resource Allocation in Mobile Communications». Η εκπόνηση της, αποτελεί το επιστέγασμα των πολύτιμων γνώσεων που είχα τη τύχη και τη χαρά να αποκτήσω όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μεταπτυχιακής εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με στήριξαν και μου συμπαράσταθηκαν σε όλη η διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια Αγγελική Αλεξίου, του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων, η οποία ήταν και η υπεύθυνη καθηγήτρια της μεταπτυχιακής μου εργασίας. Θέλω να την ευχαριστήσω θερμά για την καθοδήγηση και τις συμβουλές της, καθώς και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ εκτενώς μ' αυτό το σύγχρονο και ενδιαφέρον ερευνητικό τομέα.

Κλείνοντας, θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Ποθητό και Ισαΐα, καθώς και την αδελφή μου, Παρασκευή, για τη συμβολή και τη στήριξή τους στη προσπάθεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών αλλά και για όλα όσα έχουν κάνει για μένα.

Πειραιάς, Σεπτέμβριος 2013

Κωνσταντίνος Π. Σιγάλας

Περιεχόμενα

Περίληψη	v
Executive Summary	ix
Πρόλογος	xiii
Περιεχόμενα.....	xv
Κατάλογος Πινάκων	xviii
Κατάλογος Εικόνων.....	xix
Συντομογραφίες	xxi
Συντομογραφίες	xxi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	5
ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	5
2.1 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	5
2.1.1 Η 1η Γενιά Κινητών Δικτύων	5
2.1.2 Η 2η Γενιά Κινητών Δικτύων	6
2.1.3 Η Γενιά 2.5 Κινητών Δικτύων	7
2.1.4 Η 3η Γενιά Κινητών Δικτύων	8
2.2 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΑΣ.....	10
2.2.1 Η Γενιά 3.5 Κινητών Δικτύων	10
2.2.2 3GPP Long Term Evolution (LTE)	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	15
Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ – ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ UMTS ΚΑΙ Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ HSPA	15
3.1 ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ UMTS	15
3.1.1 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ UMTS	16
3.1.2 ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ UTRAN.....	19
3.2 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ HSPA.....	24
3.2.1 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA).....	25
3.2.2 Διαχείριση Πόρων σε Δίκτυα HSDPA	26
3.2.3 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης Κίνησης.....	29
3.2.4 High Speed Uplink Packet Access (HSUPA).....	32

3.2.5	Πλεονεκτήματα HSPA Τεχνολογίας.....	34
3.2.6	Υπηρεσίες στην HSPA Τεχνολογία.....	35
3.2.7	HSPA+	36
3.2.8	3GPP Long Term Evolution (LTE)	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4		41
Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ MBMS.....		41
4.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ.....	42
4.1.1	Λειτουργία Broadcast	42
4.1.2	Λειτουργία Multicast	42
4.2	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ MBMS.....	43
4.3	ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ MBMS ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ	44
4.4	ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ MBMS	46
4.5	ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ CN	47
4.5.1	Χρήση IP Unicast.....	47
4.5.2	Χρήση IP Multicast.....	49
4.6	ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ UTRAN	50
4.6.1	Μετάδοση Point-to-point	51
4.6.2	Μετάδοση Point-To-Multipoint.....	53
4.7	ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΟ MBMS	54
4.7.1	Πιθανές Απειλές.....	54
4.7.2	Αρχιτεκτονική Ασφάλειας	55
4.8	ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ MBMS	56
4.8.1	Έλεγχος Ισχύος στο WCDMA.....	56
4.8.2	Μέθοδοι Ελέγχου Ισχύος στο UMTS	57
4.8.3	Έλεγχος Ισχύος στη Multicast Μετάδοση	60
4.8.4	Έλεγχος Ισχύος και Κανάλια Μεταφοράς στο MBMS	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		65
Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ.....		65
5.1	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΚΟΙΝΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	65
5.2	ΧΡΗΣΙΜΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ	66
5.2.1	Geometry Factor	67
5.2.2	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (SINR)	68
5.3	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΟ FACH	69
5.3.1	Επίπεδα Ισχύος FACH για MBMS Υπηρεσίες.....	70

5.3.2	Soft και Selection Combining.....	77
5.3.3	Συμπεράσματα για την Κατανομή Ισχύος FACH.....	78
5.4	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΟ DCH	79
5.4.1	Η Περίπτωση του Macrocell.....	82
5.4.2	Η Περίπτωση του Microcell	85
5.5	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΟ HS-DSCH.....	89
5.5.1	Μέθοδοι Ανάθεσης HS-DSCH Ισχύος	89
5.5.2	Δυναμική Κατανομή Ισχύος του HS-DSCH για τη Μετάδοση MBMS Υπηρεσιών	91
5.5.3	Η περίπτωση του MIMO	93
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	95
	ΟΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	95
6.1	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΙΣ MBMS ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ.....	95
6.2	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΚΠΙΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	97
6.2.1	Dynamic Power Setting	97
6.2.2	Longer TTI and Space Diversity.....	98
6.2.3	Macro Diversity Combining	100
6.2.4	Rate Splitting	102
6.2.5	Mixed usage of DCHs and FACH	104
6.2.6	Efficient Channel Selection	106
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	111
	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	111
7.1	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ DPS, LTTI ΚΑΙ MDC.....	112
7.2	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ RS, MDF ΚΑΙ ECS.....	117
7.3	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	120
7.3.1	Στατικό περιβάλλον	120
7.3.2	Δυναμικό περιβάλλον	122
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	125
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	125
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	133
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	133

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Τα λογικά κανάλια του UTRAN.....	20
Πίνακας 2: Οι ιδιότητες των καναλιών μεταφοράς	22
Πίνακας 3: Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN	23
Πίνακας 4: Τιμές ισχύος για κοινά κανάλια [36].....	65
Πίνακας 5: Χρήσιμη ορολογία.....	66
Πίνακας 6: Αντιστοιχία περιοχής κάλυψης και τιμής G.....	68
Πίνακας 7: Μετατροπή E_c/I_{0f} (dB) σε ποσοστό εκπεμπόμενης ισχύος (%).....	71
Πίνακας 8: Παράμετροι για το FACH κανάλι μεταφοράς.....	72
Πίνακας 9: Ποσοστό ισχύος κυψέλης για Case 2 (3 km/h)	76
Πίνακας 10: Ποσοστό ισχύος κυψέλης για Vehicular A (3 km/h)	76
Πίνακας 11: Ποσοστό ισχύος κυψέλης για Pedestrian B (3 km/h).....	76
Πίνακας 12: Απαιτούμενη ισχύς με και χωρίς soft combining Vehicular A.....	78
Πίνακας 13: Ενδεικτικές στάθμες ισχύος του FACH με χρήση της LTTI.....	100
Πίνακας 14: Ενδεικτικές στάθμες ισχύος του FACH με χρήση της MDC.....	102
Πίνακας 15: Ενδεικτικά σημεία εναλλαγής καναλιών	108
Πίνακας 16: Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης - macrocell.....	112
Πίνακας 17: Τιμές παραμέτρων παραδείγματος σε στατικό περιβάλλον.....	121
Πίνακας 18: Τιμές παραμέτρων παραδείγματος σε δυναμικό περιβάλλον	123

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Η εξέλιξη των προτύπων για τα κυψελωτά κινητά δίκτυα έως το 3G	9
Εικόνα 2: Χρονολογική εξέλιξη κινητών δικτύων επόμενης γενιάς απο το 3G έως το LTE	13
Εικόνα 3: Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο	16
Εικόνα 4: Η δομή του UTRAN.....	17
Εικόνα 5: RAs και URAs.....	18
Εικόνα 6: Αντιστοίχιση καναλιών για την downlink κατεύθυνση	24
Εικόνα 7: Υπηρεσίες με τη χρήση HSPA	36
Εικόνα 8: Multiple Input Multiple Output (MIMO), 2x2. Δύο κεραίες σε πομπό και δέκτη	37
Εικόνα 9: Η εξέλιξη των κινητών ευρυζωνικών standards LTE και WIMAX.....	39
Εικόνα 10: Η αρχιτεκτονική της υπηρεσίας MBMS	44
Εικόνα 11: UMTS multicast χωρίς την υποστήριξη του MBMS	45
Εικόνα 12: UMTS multicast με την υποστήριξη του MBMS	45
Εικόνα 13: Οι φάσεις της broadcast λειτουργίας.....	46
Εικόνα 14: Οι φάσεις της multicast λειτουργίας	46
Εικόνα 15: Οι συνοδοί GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP unicast	48
Εικόνα 16: Οι συνοδοί GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP multicast.....	49
Εικόνα 17: MBMS bearers για (a) point-to-point, (b) point-to-multipoint.....	51
Εικόνα 18: Near-far πρόβλημα στον ανερχόμενο σύνδεσμο [36]	57
Εικόνα 19: Σχέση G και περιοχής κάλυψης κυψέλης.....	67
Εικόνα 20: Πραγματική ρυθμαπόδοση κυψέλης ανάλογα με το SINR.....	69
Εικόνα 21: BLER σε συνάρτηση με το E_c/I_{or} (Vehicular A, 3 km/h, $G=6dB$)	74
Εικόνα 22: BLER σε συνάρτηση με το E_c/I_{or} (Pedestrian B, 3 km/h, $G= 6dB$).....	74
Εικόνα 23: Ποσοστό ισχύος σε συνάρτηση με τη περιοχή κάλυψης - Vehicular A, 3 km/h	75
Εικόνα 24: BLER σε σχέση με E_c/I_{or} - Pedestrian B, 3 km/h.....	77
Εικόνα 25: Macrocell - σχέση DCH ισχύος και απόστασης απο το Node B.....	82
Εικόνα 26: Macrocell - σχέση DCH ισχύος και E_b/N_0	83
Εικόνα 27: Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και ρυθμού μετάδοσης.....	84

Εικόνα 28: Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και εκπεμπόμενης ισχύος γειτονικών κυψελών	85
Εικόνα 29: Microcell - Σχέση DCH ισχύος και απόστασης απο το Node B	86
Εικόνα 30: Microcell - Σχέση DCH ισχύος και E_b/N_0	87
Εικόνα 31: Microcell - Σχέση DCH ισχύος και ρυθμού μετάδοσης.....	88
Εικόνα 32: Microcell - Σχέση DCH ισχύος και εκπεμπόμενης ισχύος γειτονικών κυψελών	89
Εικόνα 33: Μέθοδος μεταβλητής ανάθεσης HS-DSCH ισχύος	90
Εικόνα 34: Μέθοδος σταθερής ανάθεσης HS-DSCH ισχύος	91
Εικόνα 35: Διάγραμμα (M, N) MIMO συστήματος	93
Εικόνα 36: Διάγραμμα MIMO 2x2 συστήματος	94
Εικόνα 37: Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της DPS (RL: RAdio Link)	98
Εικόνα 38: Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της LTTI	99
Εικόνα 39: Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της MDC.....	101
Εικόνα 40: Παροχή MBMS υπηρεσιών με χρήση της RS.....	103
Εικόνα 41: Παροχή MBMS υπηρεσιών με χρήση της MDF	104
Εικόνα 42: Ισχύς εκπομπής του Node B με χρήση της MDF.....	106
Εικόνα 43: Ισχύς εκπομπής του Node B με χρήση της ECS για: (a) 50% κάλυψη, (b) 95% κάλυψη.....	107
Εικόνα 44: Διαδρομή του κινούμενου χρήστη σύμφωνα με το σενάριο	113
Εικόνα 45: Ισχύς εκπομπής FACH με το συνδυασμό των τεχνικών DPS, LTTI και MDC	115
Εικόνα 46: Ακολουθία βημάτων σεναρίου	118
Εικόνα 47: Ισχύς εκπομπής του Node B με το συνδυασμό των τεχνικών RS, MDF και ECS	119
Εικόνα 48: Παράδειγμα σε στατικό περιβάλλον	121
Εικόνα 49: Παράδειγμα σε δυναμικό περιβάλλον	123

Συντομογραφίες

Συντομογραφία	Επεξήγηση
3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
8-PSK	Eight-Phase Shift Keying
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BLER	Block Error Ratio
BM-SC	Broadcast / Multicast Service Center
CCCH	Common Control Channel
CCPCH	Common Control Physical Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CNIR	Carrier to Noise and Interference Ratio
CPCH	Common Packet Channel
CPICH	Common Pilot Channel
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRNC	Controlling RNC
CTCH	Common Traffic Channel
D-AMPS	Digital AMPS
DCCH	Dedicated Control Channel
DCF	DRM Content Format
DCH	Dedicated Channel

DPCH	Dedicated Physical Channel
DPS	Dynamic Power Setting
DRM	Digital Rights Management
DSCH	Downlink Shared Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
E_b/N_0	Signal Energy per Bit divided by Noise Spectral Density
ECS	Efficient Channel Selection
E-DCH	Enhanced - DCH
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FACH	Forward Access Channel
FCS	Fast Cell Selection
FDD	Frequency Division Duplex
FTP	File Transfer Protocol
FThS	Fair Throughput scheduler
FTiS	Fair Time scheduler
G	Geometry Factor
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Services
GSM	Global System for Mobile Communications
GTP	GPRS Tunnelling Protocol
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HSCSD	High-Speed Circuit-Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-DSCH	High-Speed Downlink Shared Channel
HSPA	High Speed Packet Access

HS-PDSCH	High Speed - Physical Downlink Shared Channel
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT	International Mobile Telephony
IP	Internet Protocol
Kbps	Kilo bits per second
LTE	Long Term Evolution
LTTI	Longer TTI and Space Diversity
MAC	Medium Access Control
MBMS	Multimedia Broadcast / Multicast Service
Mbps	Mega bits per second
MDC	Macro Diversity Combining
MDF	Mixed usage of DCHs and FACH
MIMO	Multiple Input-Multiple Output
NMT	Nordic Mobile Telephone
OMA	Open Mobile Alliance
OSI	Open Systems Interconnection
PCCH	Paging Control Channel
PCH	Paging Channel
PDA	Personal Digital Assistant
PDC	Personal Digital Cellular
PDN	Public Data Network
PDU	Protocol Data Unit
PRR	Priority Round Robin scheduler
PS	Packet Switched
PSD	Power Spectral Density
PSTN	Public Telephone Switched Network
PTM	Point-to-Multipoint

PTP	Point-to-Point
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RA	Routing Area
RACH	Random Access Channel
RB	Radio Bearer
RL	Radio Link
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RRM	Radio Resource Management
S-CCPCH	Secondary Common Control Physical Channel
SC-OFDM	Single Carrier OFDM
SGSN	Serving GPRS Support Node
SINR	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio
SIR	Signal-to-Interference Ratio
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SRTP	Secure RTP
STTD	Space Time Transmit Diversity
TACS	Total Access Communication System
TCP	Transport Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URA	UTRAN Registration Area
USCH	Uplink Shared Channel
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access
UTRAN	UTRA Network
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over IP
WCDMA	Wideband CDMA

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, που η μορφολογία του εδάφους της δεν επιτρέπει πολλές φορές τη χρήση εναλλακτικών μέσων μετάδοσης όπως για παράδειγμα τη χρήση οπτικών ινών, η ασύρματη επικοινωνία μπορεί να διαδραματίσει ένα πολύ σημαντικό ρόλο. Ειδικότερα, ο τομέας της κινητής τηλεφωνίας είναι ένας ταχύτατα εξελισσόμενος τομέας ο οποίος στις μέρες μας βρίσκεται σε ένα στάδιο μετεξέλιξης του καθώς το πέρασμα από την τρίτη στην τέταρτη γενιά είναι πλέον γεγονός. Στη μεγάλη εξέλιξη του τομέα αυτού συμβάλουν τα μέγιστα και οι απαιτήσεις των σύγχρονων καιρών για ένα ενοποιημένο και λειτουργικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας το οποίο θα είναι σε θέση να παρέχει πληθώρα υπηρεσιών στους χρήστες του.

Έτσι, η βιομηχανία της κινητής τηλεφωνίας εξελίσσεται προς μοντέλο προσανατολισμένο στα πολυμέσα που θα έχει τη δυνατότητα να παρέχει απαιτητικές υπηρεσίες, όπως mobile TV και mobile streaming. Τα δίκτυα High Speed Packet Access (HSPA) και Long Term Evolution (LTE) ανταποκρίνονται καλύτερα στην αναδυόμενη αυτή τάση σε σχέση με τους προγόνους τους, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του φάσματος και αυξάνοντας τη χωρητικότητα των σταθμών βάσης. Αυτές οι βελτιώσεις συγκριτικά με τα δίκτυα τρίτης γενιάς, δίνουν στα HSPA και LTE δίκτυα την ευκαιρία να προσφέρουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, χαμηλότερες καθυστερήσεις, βελτιωμένη εμπειρία για τους τελικούς χρήστες, διατηρώντας παράλληλα σε χαμηλά επίπεδα τα λειτουργικά έξοδα.

Ωστόσο, ο ολοένα και αυξανόμενος αριθμός κινητών πολυμεσικών υπηρεσιών που αναμένεται να έχουν υψηλή διεύθυνση, τονίζει την ανάγκη για επιπρόσθετα μέτρα εξοικονόμησης πόρων του δικτύου. Προς αυτή την κατεύθυνση, οι υπηρεσίες Multimedia Broadcast / Multicast Service (MBMS) αναμένεται να διαδραματίσουν έναν αποφασιστικό ρόλο στην ομαλή εξέλιξη των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς, θέτοντας τη βάση για την επιτυχή διαδικασία προτυποποίησής τους. Το MBMS έχει σαν κύριο σκοπό την υποστήριξη εφαρμογών πανεκπομπής (broadcast) και

πολυεκπομπής (multicast), επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την παροχή υπηρεσιών υψηλού ρυθμού μετάδοσης σε πολλαπλούς χρήστες με οικονομικό τρόπο. Κύρια απαίτηση κατά την παροχή MBMS υπηρεσιών είναι η αποδοτική χρήση των ασύρματων και ενσύρματων πόρων του δικτύου, απαίτηση που με τη σειρά της θα οδηγήσει στην εξοικονόμηση πόρων ισχύος στους σταθμούς βάσης.

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη του ελέγχου ισχύος στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς καθώς και η ανάπτυξη νέων μεθόδων/μηχανισμών για τη βελτιστοποίηση του. Πρόκειται ουσιαστικά για μια προσπάθεια να αναλυθούν και να αξιολογηθούν όλες οι υπάρχουσες τεχνικές αλλά επίσης και να προταθούν νέες τεχνικές για την όσο το δυνατόν πιο αποδοτική (από άποψη ισχύος) μετάδοση των δεδομένων πάνω από κινητά δίκτυα επικοινωνιών.

Η παρούσα εργασία δομείται σε κεφάλαια ως εξής:

Το Κεφάλαιο 2 κάνει μία εισαγωγική αναφορά στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας και ειδικότερα στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Αρχικά, γίνεται μία ιστορική αναδρομή και παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των προηγούμενων συστημάτων κινητής τηλεφωνίας. Τέλος, τονίζονται οι κύριες πτυχές των κινητών δικτύων επικοινωνιών επόμενης γενιάς (HSPA, HSPA+ και LTE) ενώ επισημαίνονται και οι ανάγκες που οδήγησαν στις νέες αυτές γενιές κινητών δικτύων.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το σύστημα Universal Mobile Telecommunication System (UMTS). Πρόκειται για το σύστημα τρίτης γενιάς που έχει επικρατήσει στην Ευρώπη και σταδιακά επεκτείνεται στη Βόρεια Αμερική με αποτέλεσμα η τρίτη γενιά κυψελωτών κινητών συστημάτων να τείνει να ταυτιστεί με αυτό το σύστημα. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα χαρακτηριστικά, η δομή και η λειτουργία του συστήματος UMTS. Επίσης, περιγράφονται και αναλύονται οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+, που σηματοδοτούν τις πρώτες μορφές κινητών δικτύων επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας, οι τεχνολογίες στις οποίες βασίζεται η βελτιωμένη απόδοσή τους καθώς και οι μοντέρνες/απαιτητικές υπηρεσίες που μπορούν να υποστηρίξουν τα δίκτυα αυτά. Τέλος, γίνεται και αναφορά στα δίκτυα LTE που συνιστούν το μέλλον των κινητών δικτύων επικοινωνιών.

Το Κεφάλαιο 4 είναι εξ' ολοκλήρου αφιερωμένο στην υπηρεσία MBMS. Για την ακρίβεια, περιγράφεται το είδος, οι βασικές αρχές καθώς και η αρχιτεκτονική αυτής της υπηρεσίας. Επίσης, αναφέρονται και αναλύονται τα προτερήματα και οι φάσεις παροχής της υπηρεσίας ενώ παράλληλα, θίγονται ορισμένα ζητήματα ασφάλειας που σχετίζονται με την υπηρεσία αυτή. Στη συνέχεια, εξετάζονται οι διάφοροι τύποι μετάδοσης δεδομένων της συγκεκριμένης υπηρεσίας και περιγράφονται οι διαφορετικοί τύποι ελέγχου ισχύος στο UMTS. Στόχος είναι να αναλυθεί ο τρόπος που οι διάφοροι τύποι ελέγχου ισχύος επηρεάζουν την multicast μετάδοση δεδομένων.

Στο Κεφάλαιο 5 αναλύεται η σχέση του ελέγχου ισχύος με τα κανάλια μεταφοράς και αναφέρονται βιβλιογραφικά στοιχεία σχετικά με τη multicast μετάδοση στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών. Η κυριαρχούσα άποψη για την υποστήριξη multicast μετάδοσης είναι η χρησιμοποίηση των υπάρχοντων καναλιών μεταφοράς με μικρές διαφοροποιήσεις. Τα κανάλια μεταφοράς του UMTS που είναι διαθέσιμα στον κατερχόμενο σύνδεσμο και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για multicast μετάδοση είναι το Dedicated Channel (DCH), το Forward Access Channel (FACH) και το High Speed - Downlink Shared Channel (HS-DSCH). Η κύρια απαίτηση είναι να γίνεται αποδοτική χρήση των πόρων του συστήματος. Αυτή η απαίτηση κατατάσσει τα κοινά κανάλια (FACH) ως την πρώτη επιλογή αφού πολλοί χρήστες μπορούν να μοιραστούν ταυτόχρονα τους ίδιους πόρους. Ωστόσο, αυτό εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών του multicast group, τον τύπο υπηρεσίας καθώς και από το Quality of Service (QoS) που μπορεί να διασφαλιστεί. Για το λόγο αυτό, όταν ο αριθμός των χρηστών που λαμβάνουν την MBMS υπηρεσία είναι μικρός είναι πιο αποδοτικό να χρησιμοποιηθούν αφιερωμένα κανάλια μεταφοράς (DCHs), ώστε να ελαχιστοποιηθεί η εκπεμπόμενη ισχύς του σταθμού βάσης και η παρεμβολή (interference). Το σημαντικό ερώτημα λοιπόν που τίθεται στο σημείο αυτό είναι: ποιο είναι το σημείο εναλλαγής (switching point) μεταξύ αφιερωμένων (dedicated) και κοινών (common) καναλιών; Η εύρεση αυτού του σημείου εναλλαγής είναι το αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου της παρούσας εργασίας με κύριο στόχο πάντα την αποδοτικότερη χρήση των πόρων ισχύος του δικτύου.

Στο Κεφάλαιο 6 εξετάζονται τεχνικές μείωσης ισχύος, η εφαρμογή των οποίων μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικά ποσά ισχύος στους σταθμούς βάσης. Οι πόροι

ισχύος των σταθμών βάσης στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών είναι περιορισμένοι, ενώ παράλληλα οι απαιτήσεις σε ισχύ των MBMS υπηρεσιών είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Οι δύο αυτές παρατηρήσεις τονίζουν την ανάγκη για την ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνικών που θα έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν την ισχύ εκπομπής των σταθμών βάσης κατά τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών. Προς αυτή την κατεύθυνση, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αρχικά αναφέρονται και αναλύονται τα προβλήματα και οι περιορισμοί που υπεισέρχονται εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τεχνικές που έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, ο τρόπος λειτουργίας τους καθώς και τα κέρδη ισχύος που κάθε μία τεχνική μπορεί να εξασφαλίσει.

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται, μέσα από δύο σενάρια προσομοίωσης, τα πλεονεκτήματα που είναι σε θέση να προσφέρει η βελτιστοποίηση των συγκεκριμένων τεχνικών μείωσης ισχύος.

Το Κεφάλαιο 8 παρουσιάζει τα συμπεράσματα τα οποία έχουν εξαχθεί κατά την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Στο Παράρτημα I παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Παράλληλα, αναφέρουμε πως οι αναφορές στη βιβλιογραφία έχουν ενσωματωθεί στο κείμενο μέσα σε αγκύλες ([]).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια ιστορική αναδρομή στα χαρακτηριστικά των προηγούμενων συστημάτων κινητής, μέχρι και τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών «2.5 γενιάς». Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς (3G) και τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Τέλος, επισημαίνονται οι ανάγκες που οδήγησαν στην επόμενη γενιά κινητών δικτύων.

2.1 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

2.1.1 Η 1η Γενιά Κινητών Δικτύων

Το 1980 εμφανίζεται η πρώτη γενιά (1G) συστημάτων κυψελωτής κινητής επικοινωνίας. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη γενιά δεν αποτέλεσε το ξεκίνημα των κινητών τηλεπικοινωνιών. Αντίθετα, από πιο πριν είχαν εμφανιστεί αρκετά συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών τα οποία όμως δεν είχαν τα χαρακτηριστικά των κινητών δικτύων με τον τρόπο που τα εννοούμε σήμερα. Το βασικότερο από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η κυψελωτή δομή του δικτύου. Τα πρώιμα αυτά δίκτυα είχαν περιορισμένες δυνατότητες σε σχέση με τα κυψελωτά. Επιπλέον, ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα ήταν η υποτυπώδης και προβληματική υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών.

Στα κυψελωτά κινητά δίκτυα, που στο εξής θα αναφέρονται απλώς σαν κινητά δίκτυα, η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε μικρές κυψέλες (cells). Με αυτόν τον τρόπο οι ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιούνται πολλές φορές στο ίδιο δίκτυο χωρίς να δημιουργούνται έντονα φαινόμενα παρεμβολής (interference). Επομένως, οι δυνατότητες του δικτύου αυξάνονται σημαντικά [38]. Η πρώτη γενιά χρησιμοποιούσε τεχνικές αναλογικής μετάδοσης για την κίνηση η οποία ήταν αποκλειστικά φωνή. Δεν υπήρξε κάποιο πρότυπο που να επικράτησε, αντίθετα υπήρξαν αρκετά πρότυπα όπως το Nordic Mobile Telephone (NMT), το Total Access Communication System (TACS) και το Advanced Mobile Phone Service (AMPS). Τα δύο πρώτα πρότυπα

είχαν μία σχετική επιτυχία στις ευρωπαϊκές χώρες, ενώ το τρίτο ήταν το πιο διαδεδομένο στις Η.Π.Α.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι παρόλο που σήμερα η εξέλιξη στις τηλεπικοινωνίες έχει εστιαστεί στα κινητά δίκτυα τρίτης και τέταρτης γενιάς, υπάρχουν πολλά δίκτυα πρώτης γενιάς που εξακολουθούν να βρίσκονται σε λειτουργία. Βέβαια, στις χώρες όπου υπάρχει προχωρημένη υποδομή στις τηλεπικοινωνίες τα συστήματα αυτά έχουν εγκαταλειφθεί καθώς θεωρείται ότι σπαταλούν πολύτιμο φάσμα συχνοτήτων το οποίο τα σύγχρονα ψηφιακά κινητά δίκτυα επικοινωνιών εκμεταλλεύονται πιο αποδοτικά [36].

2.1.2 Η 2η Γενιά Κινητών Δικτύων

Η δεύτερη γενιά (2G) κινητών δικτύων επικοινωνιών χρησιμοποιεί ψηφιακή μετάδοση της κίνησης. Αυτή είναι και η κύρια διαφοροποίηση μεταξύ των κινητών συστημάτων πρώτης και δεύτερης γενιάς: ο διαχωρισμός αναλογικού - ψηφιακού. Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς έχουν πολύ ευρύτερες δυνατότητες από αυτά της πρώτης γενιάς. Ένα κανάλι συχνοτήτων διαιρείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διαφορετικούς χρήστες (είτε με διαίρεση χρόνου είτε με διαίρεση κώδικα). Επιπλέον χρησιμοποιούνται ιεραρχικές δομές κυψελών, για την ακρίβεια η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε macrocells (κυψέλες μεγάλης έκτασης), microcells (κυψέλες μικρής έκτασης) και picocells (κυψέλες περιορισμένης έκτασης κυρίως σε μεγάλα αστικά κέντρα), με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση των δυνατοτήτων των δικτύων.

Υπάρχουν τέσσερα κύρια πρότυπα για τα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς: το Global System for Mobile (GSM) communications, το Digital AMPS (D-AMPS), το Code Division Multiple Access (CDMA) IS-95 καθώς και το Personal Digital Cellular (PDC). Το GSM είναι μακράν το πιο επιτυχημένο και διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς. Ξεκίνησε ως ένα ευρωπαϊκό σύστημα αλλά τελικά υιοθετήθηκε παγκοσμίως. Η μόνη ήπειρος στην οποία η διάδοση του GSM υστερεί είναι η αμερικανική. Παρόλα αυτά, το 2001 η βορειοαμερικανική κοινότητα για την Time Division Multiple Access (TDMA) αποφάσισε να υιοθετήσει το σύστημα Wideband CDMA (WCDMA) που ορίστηκε από το Third Generation Partnership Project (3GPP).

Προκειμένου να προετοιμαστούν για το WCDMA πολλές αμερικάνικες εταιρίες που χρησιμοποιούσαν το D-AMPS έχουν υιοθετήσει ήδη το σύστημα GSM/GPRS [38], [41].

Το βασικό σύστημα GSM χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Όμως υπάρχουν και αρκετά παράγωγα τα οποία χρησιμοποιούν τις ζώνες των 1800 ή 1900 MHz. Ο βασικότερος λόγος ήταν η έλλειψη χωρητικότητας στη ζώνη των 900 MHz. Οι ζώνες των 1800 ή 1900 MHz μπορούν να εξυπηρετήσουν πολύ μεγαλύτερο αριθμό χρηστών, κυρίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Η περιοχή κάλυψης όμως μειώνεται σε σχέση με τα συστήματα που λειτουργούν στη ζώνη των 900 MHz. Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί και το πρότυπο GSM-400 που αναπτύχθηκε από το ίδρυμα European Telecommunications Standards Institute (ETSI) και το οποίο χρησιμοποιήθηκε συμπληρωματικά των δικτύων GSM με υψηλότερες συχνότητες. Παρόλο που το σύστημα αυτό ήταν αρκετά αποδοτικό σε αραιοκατοικημένες και παράκτιες περιοχές, το πρότυπο GSM-400 δε χρησιμοποιείται πλέον [55].

2.1.3 Η Γενιά 2.5 Κινητών Δικτύων

Με τον όρο «γενιά 2.5 ή 2.5G» αναφερόμαστε στο ευρύτερο σύνολο των αναβαθμίσεων που έγιναν πάνω στα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς. Πολλές από αυτές τις αναβαθμίσεις παρέχουν σχεδόν τις ίδιες δυνατότητες με αυτές των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς. Παρόλο που η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς και αυτών της γενιάς 2.5 είναι λεπτή, υπάρχουν ορισμένες τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τη γενιά 2.5. Αυτές οι τεχνολογίες είναι: η High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD), η General Packet Radio Services (GPRS) και η Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE) [10], [12].

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρουσίασαν οι αρχικές μορφές του GSM ήταν οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης στον αέρα που περιορίζονταν στα 9.6 Kbps. Αργότερα, τέθηκαν οι προδιαγραφές για τα 14.4 Kbps παρόλο που δε χρησιμοποιήθηκαν ευρέως. Η λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία HSCSD. Μέσω αυτής της τεχνολογίας ένας χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί, αντί μίας, περισσότερες χρονοσχισμές (time-slots) για μία σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν το χρήστη είναι το γινόμενο των χρονοσχισμών επί το ρυθμό μετάδοσης για μία χρονοσχισμή. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι σχετικά απλή

και φθινή. Πρόσθετο λογισμικό χρειάζεται να υλοποιηθεί στα κέντρα καθώς και καινούριες φορητές συσκευές που θα υποστηρίζουν την τεχνολογία HSCSD. Το βασικότερο μειονέκτημα ήταν η χρήση μεταγωγής κυκλώματος. Αυτός ο τρόπος μεταγωγής είχε ως αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων του δικτύου αφού οι χρονοσχισμές δεσμεύονταν ακόμα και όταν η χωρητικότητά τους δεν χρησιμοποιούνταν.

Η επόμενη λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία GPRS. Με αυτήν την τεχνολογία μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης των 115 Kbps ή και ακόμα μεγαλύτεροι αν αγνοηθεί η διόρθωση σφαλμάτων. Αυτό που έχει μεγάλη σημασία είναι ότι η τεχνολογία GPRS χρησιμοποιεί τεχνολογία μεταγωγής πακέτου. Επομένως, δεσμεύει τους πόρους του δικτύου μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για αποστολή/λήψη δεδομένων.

Η υλοποίηση του GPRS είναι αρκετά πιο ακριβή από αυτή του HSCSD. Επίσης, το HSCSD συμπεριφέρεται με μεγαλύτερη συνέπεια σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Παρόλα αυτά, η τεχνολογία GPRS προσφέρει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για την αποστολή δεδομένων μέσω των κινητών δικτύων. Είναι σίγουρο πλέον πως η αύξηση της κίνησης δεδομένων στα κινητά δίκτυα, καθιστά την GPRS τεχνολογία αναπόσπαστο στοιχείο ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας [30], [33].

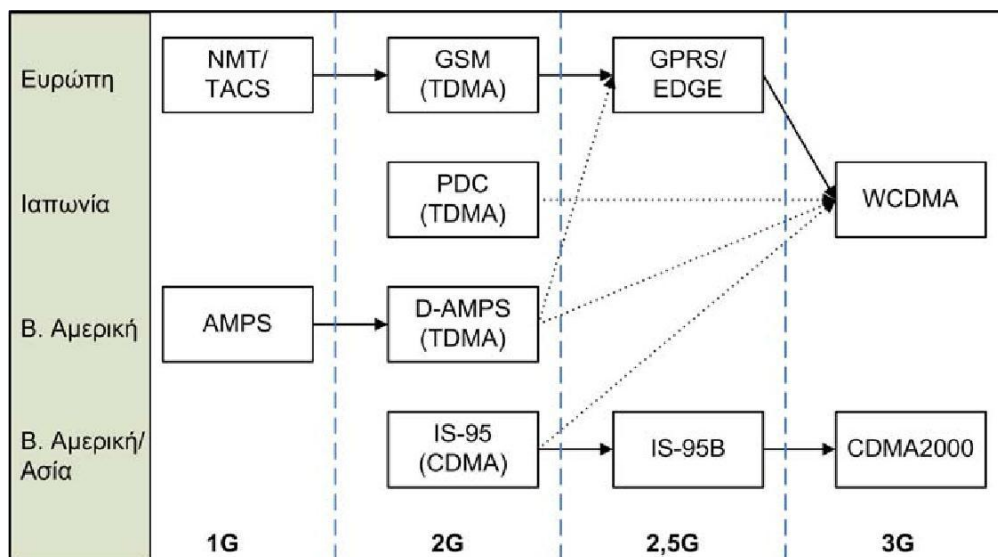
Τέλος, η τρίτη και τελευταία βελτίωση του GSM προκειμένου να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο γενιάς 2.5 είναι η EDGE. Η βασική ιδέα πίσω από το EDGE είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight-Phase Shift Keying (8-PSK) [42]. Αυτή η τεχνική επηρεάζει μόνο το λογισμικό των σταθμών βάσης και προσφέρει έως και τριπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από το βασικό ρυθμό μετάδοσης του GSM. Επιπλέον, μπορεί να συνυπάρξει με την τεχνική διαμόρφωσης Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) η οποία χρησιμοποιείται στη βασική μορφή του GSM.

2.1.4 Η 3η Γενιά Κινητών Δικτύων

Η γρήγορη εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών ήταν ένα από τα αναμφισβήτητα γεγονότα της δεκαετίας του 1990. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο GSM λειτούργησε στη Φινλανδία το 1991. Την ίδια χρονιά, το ίδρυμα ETSI ξεκινούσε την προτυποποίηση της επόμενης γενιάς δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών. Το σύστημα που προέκυψε από αυτή την προτυποποίηση ονομάστηκε Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Η ανάπτυξη των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς δεν έγινε μόνο στο

ETSI. Υπήρξαν πολλοί οργανισμοί και ερευνητικά ιδρύματα, σε παγκόσμιο επίπεδο, που είχαν τον ίδιο σκοπό. Η Εικόνα 1 δείχνει σχηματικά την εξέλιξη των προτύπων για τα κυψελωτά κινητά δίκτυα μέχρι την τρίτη γενιά [36], [53].

Ο βασικός στόχος της ανάπτυξης των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς είναι η παροχή των κινητών υπηρεσιών «οπουδήποτε» και «κάθε στιγμή». Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης δικτύων κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς μπορεί να μετακινείται οπουδήποτε και να εξυπηρετείται ακόμα και σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κάλυψη από συστήματα τρίτης γενιάς αλλά υπάρχουν άλλου είδους ασύρματα δίκτυα. Για την ακρίβεια, ο χρήστης θα μπορεί να εξυπηρετείται από οικιακά ασύρματα συστήματα, από άλλα κυψελωτά κινητά δίκτυα καθώς και από δορυφορικά δίκτυα.



Εικόνα 1: Η εξέλιξη των προτύπων για τα κυψελωτά κινητά δίκτυα έως το 3G

Επιπλέον, οι παρεχόμενες υπηρεσίες επεκτείνονται σε υπηρεσίες διαδικτύου και σε υπηρεσίες πολυμέσων με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (προβλέπονται ρυθμοί που ξεκινούν από τα 144 Kbps και φτάνουν ακόμα και σε ρυθμούς της τάξης των Mbps). Με τον όρο υπηρεσίες πολυμέσων αναφερόμαστε σε υπηρεσίες κατά τις οποίες υπάρχει συνδυασμός εικόνας, ήχου και κειμένου σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο ψηφιακό περιβάλλον. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν τα επικρατέστερα, προς το παρόν, συστήματα τρίτης γενιάς τα οποία είναι: το UMTS (Ευρώπη), το CDMA2000 και το NTT Docomo (Ιαπωνία) [36].

2.2 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

2.2.1 Η Γενιά 3.5 Κινητών Δικτύων

Με τον όρο «γενιά 3.5» (3.5G ή 3G+) αναφερόμαστε στη νέα γενιά κινητών δικτύων τα οποία εκτός από την τεχνολογία WCDMA έχουν ενσωματώσει την τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA). Η ορολογία HSPA αναφέρεται σε μία γενικότερη έννοια που υιοθετήθηκε από το UMTS Forum προκειμένου να τονίσει τις αναβαθμίσεις στις ασύρματες διεπαφές του UMTS στις εκδόσεις 5 και 6 του 3GPP στάνταρ και να προσδιορίσει τα δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς.

Η HSPA αποτελεί μία νέα τεχνολογία η οποία σχεδιάστηκε προκειμένου να αυξήσει τη χωρητικότητα καταρχήν του κατερχόμενου και σε δεύτερη φάση του ανερχόμενου ασύρματου συνδέσμου για τα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς. Το γεγονός αυτό θεωρήθηκε απαραίτητο καθώς, στην πράξη, οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης για τα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς αποδείχθηκαν χαμηλοί για πολυμεσικές εφαρμογές. Ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου ο αριθμός χρηστών πολυμεσικών εφαρμογών στην ίδια κυψέλη ήταν μεγάλος, η απόδοση του δικτύου στη συγκεκριμένη κυψέλη μειωνόταν ραγδαία [35].

Το HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, μέσω του High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) όσο και στον ανερχόμενο, μέσω του High Speed Uplink Packet Access (HSUPA). Αξίζει να αναφερθεί ότι τόσο το HSDPA όσο και το HSUPA μπορούν να υλοποιηθούν στο ίδιο εύρος ζώνης με το UMTS (των 5 MHz), γεγονός που επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία τόσο του HSPA όσο και του κλασσικού UMTS. Το HSDPA, προτάθηκε στην έκδοση 5 του 3GPP στάνταρ (ανακοινώθηκε το 2003 και υλοποιήθηκε το 2005) και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως και 14.4 Mbps ανά χρήστη. Αναφορικά με τον ανερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, το HSUPA εισήχθη στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ δίνοντας τη δυνατότητα υποστήριξης μέχρι και 5.8 Mbps μέσω ενός αφιερωμένου καναλιού στον ανερχόμενο σύνδεσμο [35].

Η βασική ιδέα του HSPA είναι η προσθήκη ενός νέου τύπου ευρυζωνικού καναλιού το οποίο θα είναι βελτιστοποιημένο για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Πρόκειται για το κανάλι High Speed - Downlink Shared Channel (HS-DSCH) το οποίο χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της ρυθμαπόδοσης (throughput) μόνο του κατερχόμενου συνδέσμου. Στο κανάλι αυτό έχουν ενσωματωθεί διάφορες τεχνικές που αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων του όσον αφορά ρυθμό μετάδοσης. Προφανώς, η τεχνική HSPA δεν είναι κατάλληλη για όλα τα είδη υπηρεσιών. Για παράδειγμα, δεν παρέχει εγγυήσεις για την καθυστέρηση και συνεπώς, δεν ενδείκνυται για απαιτητικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Στην περίπτωση αυτή είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν αφιερωμένα κανάλια (όπως το Dedicated Channel). Αντίθετα, η χρήση του HSPA ενδείκνυται προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου σε σημεία με υψηλή κίνηση δεδομένων [3], [10].

Ανάμεσα στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας HSPA συγκαταλέγονται οι αυξημένες ταχύτητες για τους τελικούς χρήστες, η αυξημένη διαδραστικότητα των υπηρεσιών καθώς και η παροχή υψηλής χωρητικότητας του δικτύου προς όφελος κυρίως των παρόχων. Η μείωση των καθυστερήσεων μετάδοσης παράλληλα με τις αυξημένες πλέον ταχύτητες μετάδοσης στο ασύρματο μέσο μεταφράζονται στην δυνατότητα παροχής μίας μεγάλης γκάμας πολυμεσικών εφαρμογών. Κατά συνέπεια, οι κινητοί χρήστες έχουν πλέον την ικανότητα να απολαμβάνουν υπηρεσίες που μέχρι τώρα παρέχονταν μόνο σε χρήστες με ενσύρματη ευρυζωνική σύνδεση. Τέτοιες υπηρεσίες είναι η πολύ γρήγορη, ευρυζωνική σύνδεση στο διαδίκτυο, VoIP, multi-player παιχνίδια, mobile TV, ενισχυμένη μετάδοση video/MP3 streaming, video telephony και video conferencing για κινητούς χρήστες.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ήδη μελετώνται περαιτέρω δυνατότητες αναβάθμισης της ίδιας της HSPA τεχνολογίας από το 3GPP, κατά κύριο λόγο προς τον τομέα της βελτιστοποίησης του ασύρματου μέσου μετάδοσης. Όλες αυτές οι προσπάθειες αναβάθμισης προσδιορίζονται από την ορολογία HSPA+. Οι βασικές προσεγγίσεις προς την κατεύθυνση αυτή είναι η χρήση της τεχνολογίας Multiple Input-Multiple Output (MIMO) και η χρήση 64 Quadrature Amplitude Modulation (QAM) κωδικοποίησης. Η MIMO τεχνική απαιτεί επιπρόσθετες κεραίες λήψης (συστοιχία κεραιών) καθώς και επιπλέον κεραίες μετάδοσης στους σταθμούς βάσης. Παράλληλα,

η εφαρμογή 64 QAM κωδικοποίησης αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης υπό την προϋπόθεση ότι επικρατούν πολύ καλές συνθήκες μετάδοσης.

2.2.2 3GPP Long Term Evolution (LTE)

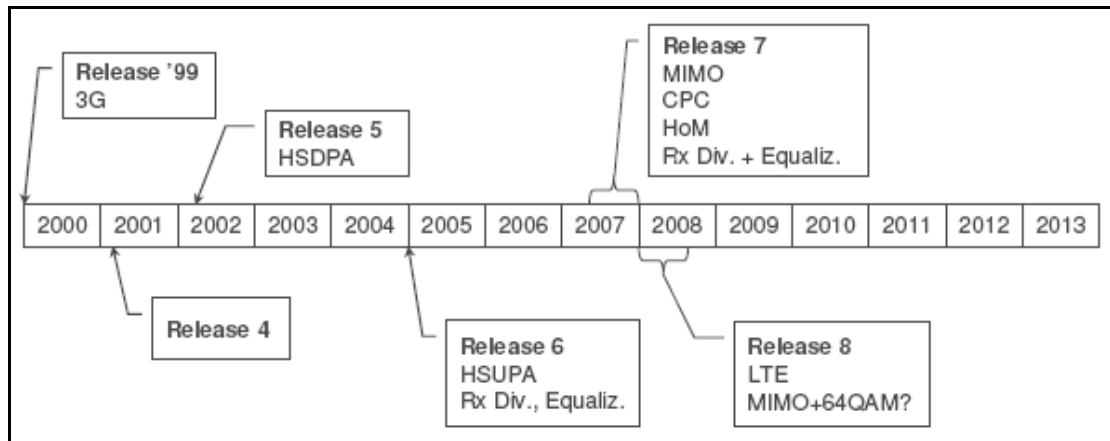
Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+, που οριοθετούν την «γενιά 3.5», αναμένονται να προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3GPP ήδη μελετά και επεξεργάζεται νέες τεχνολογίες που θα επικρατήσουν την αμέσως επόμενη δεκαετία στην αγορά των κινητών επικοινωνιών.

Το νέο αυτό project αποκαλείται 3GPP Long Term Evolution (LTE) και στοχεύει στην επίτευξη ακόμη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρους ζώνης. Κύρια προοπτική του LTE αποτελεί η διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας και η επικράτηση του προτύπου στο χρονικό ορίζοντα της επόμενης δεκαετίας [36].

Το LTE εστιάζει αποκλειστικά στη βελτιστοποίηση υποστήριξης και μετάδοσης εφαρμογών μεταγωγής πακέτων (packet-switched), όπως είναι οι πολυμεσικές εφαρμογές. Επίσης, θέτει πολύ υψηλούς και φιλόδοξους στόχους προκειμένου να ξεπεράσει τα όρια των 14.4 Mbps και 5.8 Mbps που επιτυγχάνονται στο HSDPA και HSUPA αντίστοιχα. Το πρότυπο υποστηρίζει κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 5, 10, 15 και 20 MHz. Επίσης, μπορεί να γίνει και χρήση εύρους ζώνης μικρότερου των 5 MHz (1.5 MHz και 2.5 MHz) για επιπλέον ευελιξία. Επιπλέον, στοχεύει στην επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στον κατερχόμενο σύνδεσμο και 50 Mbps στον ανερχόμενο σύνδεσμο για εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz [36], [39], [47].

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το «αντίπαλο» πρότυπο που ανταγωνίζεται το LTE είναι το Mobile WiMAX. Το LTE ήδη γνωρίζει έντονη ερευνητική δραστηριότητα και αναμένεται να λειτουργήσει στην αγορά σταδιακά, καθώς ξεκίνησε μέσα στο 2010.

Συγκεντρωτικά, η χρονολογική εξέλιξη των 3GPP κυβελωτών προτύπων, ξεκινώντας από τα κινητά δίκτυα 3G έως και τα αντίστοιχα δίκτυα επόμενης γενιάς LTE, απεικονίζεται στην Εικόνα 2. Το πρότυπο 3G/UMTS υιοθετήθηκε αρχικά στην 3GPP Release '99 έκδοση, στην Release 5 πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή του HSDPA, στην Release 6 η εισαγωγή του HSUPA, ενώ μέσω της Release 7 φθάνουμε στο LTE που περιγράφεται και αναλύεται στις εκδόσεις 8 και 9 του 3GPP [52].



Εικόνα 2: Χρονολογική εξέλιξη κινητών δικτύων επόμενης γενιάς απο το 3G έως το LTE

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

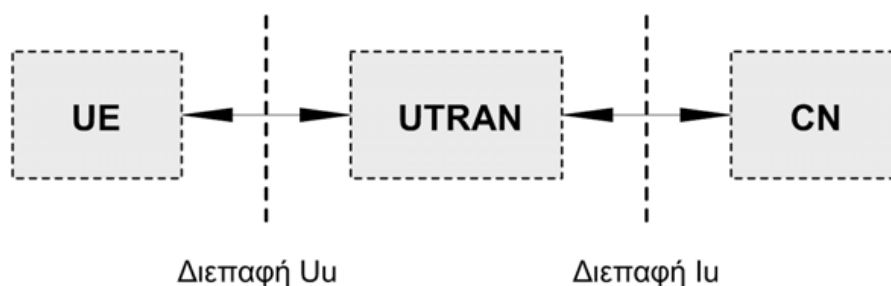
Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ – ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ UMTS ΚΑΙ Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ HSPA

3.1 ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ UMTS

Αν θέλαμε να περιγράψουμε συνοπτικά το σύστημα που αναπτύσσει και εξελίσσει το 3GPP, τότε θα λέγαμε ότι είναι «μία διεπαφή CDMA στον αέρα μέσω της οποίας ανταλλάσσονται πακέτα, σε συνδυασμό με ένα εξελιγμένο δίκτυο κορμού GSM/GPRS». Από την άλλη πλευρά, η οικογένεια προτύπων IMT-2000 περιλαμβάνει πολλές άλλες τεχνολογίες. Όμως, η τεχνολογία που συνδυάζει το WCDMA με το GSM και η οποία αναπτύσσεται από το 3GPP, είναι η πιο δημοφιλής. Ο λόγος για αυτή την επικράτηση είναι προφανής: μεταξύ των τεχνολογιών δεύτερης γενιάς, η τεχνολογία GSM ήταν η πιο διαδεδομένη. Συνεπώς, οι εταιρίες επέλεξαν την οικονομικότερη μεταξύ των προτάσεων του IMT-2000, δηλαδή αυτήν την πρόταση η οποία διατηρούσε την αξία και τη λειτουργικότητα των προηγούμενων επενδύσεών τους. Ο συνδυασμός του WCDMA με τις εξελίξεις του GSM όσον αφορά το δίκτυο κορμού, ονομάζεται Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Πρόκειται για το σύστημα τρίτης γενιάς που έχει επικρατήσει στην Ευρώπη και σταδιακά επεκτείνεται στη Βόρεια Αμερική με αποτέλεσμα η τρίτη γενιά κυψελωτών κινητών συστημάτων να τείνει να ταυτιστεί με αυτό το σύστημα. Στη παράγραφο αυτή θα περιγραφούν τα χαρακτηριστικά, η δομή και η λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος στο οποίο θα εστιάσει κυρίως η παρούσα διπλωματική εργασία, ως κύριο εκπρόσωπο των τεχνολογιών τρίτης γενιάς. Επίσης στη συγκεκριμένη παράγραφο θα παρουσιαστεί αναλυτικά η αρχιτεκτονική και οι λειτουργικότητες του συστήματος UMTS.

3.1.1 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ UMTS

Η Εικόνα 3 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS σε υψηλό επίπεδο.



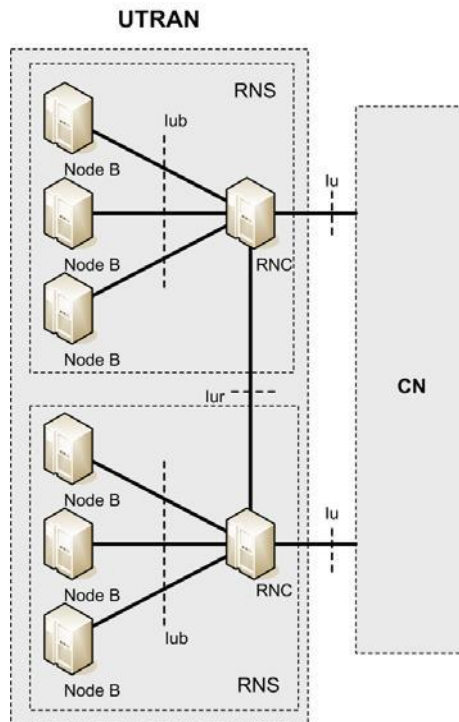
Εικόνα 3: Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο

3.1.1.1 User Equipment

Ο όρος User Equipment (UE) θα λέγαμε ότι ταυτίζεται με την έννοια της φορητής συσκευής. Για παράδειγμα, UE μπορεί να αποτελέσει ένα κινητό τηλέφωνο, μία συσκευή Personal Digital Assistant (PDA) ή ένας φορητός υπολογιστής. Το UE είναι συνδεδεμένο με το UTRAN μέσω της διεπαφής Uu, η οποία είναι βασισμένη στην τεχνολογία WCDMA. Ένα UE μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα με περισσότερες της μίας κυψέλης [9], [36], [38].

3.1.1.2 UMTS Terrestrial Radio Access Network

Το UTRAN είναι ένα νέο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για το UMTS. Διαχωρίζεται από το UE μέσω της διεπαφής Uu και από το Core Network (CN) μέσω της διεπαφής Iu. Η βασικότερη λειτουργία του UTRAN είναι η εποπτεία και η διαχείριση των ασύρματων πόρων του δικτύου. Η λειτουργία αυτή συμπεριλαμβάνει την ευθύνη για τον έλεγχο ισχύος καθώς και την υποστήριξη και διαχείριση των handovers. Η Εικόνα 4 απεικονίζει τη δομή του UTRAN.



Εικόνα 4: Η δομή του UTRAN

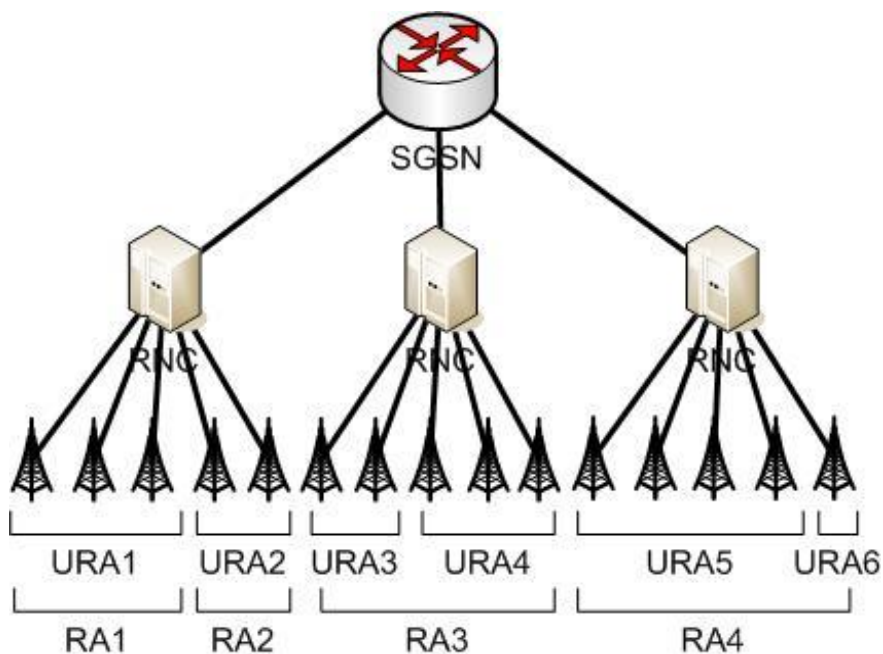
Όπως φαίνεται από την Εικόνα 4, το δίκτυο UTRAN αποτελείται από τους Radio Network Controllers (RNCs) και τους Node Bs. Οι Node Bs είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο ενός ή περισσότερων κυψελών. Μία ομάδα από Node Bs συνδέεται, μέσω των διεπαφών Iub, με έναν κόμβο RNC. Ο Node B λειτουργεί στο επίπεδο φυσικού μέσου και δικτύου (μοντέλο OSI) και μεταφέρει δεδομένα προς τον RNC στον οποίο είναι συνδεδεμένος. Επιπλέον, κάνει μετρήσεις σχετικά με την ποιότητα και την ισχύ των ασύρματων συνδέσεων προς τα UEs και αποστέλλει αναφορές στον κόμβο RNC.

Κάθε κόμβος RNC ελέγχει έναν ή περισσότερους Node Bs. Ένας κόμβος RNC μαζί με τους συνδεδεμένους σε αυτόν Node Bs αποτελούν ένα Radio Network Subsystem (RNS). Ο RNC λαμβάνει τις πληροφορίες που συλλέγουν οι Node Bs του δικού του RNS και προσαρμόζει τις παραμέτρους του ασύρματου υποσυστήματος (subsystem). Μία τέτοια παράμετρος μπορεί να είναι η ισχύς του ασύρματου σήματος στο UE ή στον Node B. Επίσης, ο RNC είναι υπεύθυνος για την ανάθεση του κώδικα WCDMA που θα χρησιμοποιήσουν ο σταθμός βάσης (Node B) και ο χρήστης (UE) στη μεταξύ τους επικοινωνία, έτσι ώστε να μην υπάρξουν παρεμβολές από άλλους ασύρματους συνδέσμους. Τέλος, μία άλλη λειτουργία των κόμβων RNC είναι ο έλεγχος των handovers που λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαφορετικών RNSs. Προκειμένου να

υλοποιηθεί η συγκεκριμένη διαδικασία οι RNCs είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω της διεπαφής Iur (Εικόνα 4). Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία είναι υλοποιημένη με δίκτυο Asynchronous Transfer Mode (ATM).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4, ένας κόμβος RNC συνδέεται με το CN μέσω της διεπαφής Iu. Η συγκεκριμένη διεπαφή έχει δύο συνιστώσες: τη συνιστώσα Iu-Circuit Switched (Iu-CS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (π.χ. φωνή) και τη συνιστώσα Iu -Packet Switched (Iu-PS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων (π.χ. υπηρεσίες δεδομένων) [9], [51].

Στο UTRAN οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε ομάδες κυψελών οι οποίες ονομάζονται Routing Areas (RAs). Επίσης, οι κυψέλες σε μια RA ομαδοποιούνται περαιτέρω σε UTRAN Registration Areas (URAs) όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: RAs και URAs

3.1.1.3 Core Network

Το CN είναι το δίκτυο κορμού του συστήματος UMTS. Είναι συνδεδεμένο με άλλα δίκτυα όπως τηλεφωνικά δίκτυα Public Telephone Switched Network (PSTN), δίκτυα

δεδομένων Public Data Networks (PDNs) όπως το Internet καθώς και με άλλα κινητά δίκτυα. Το CN είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση, την ταυτοποίηση, τον εντοπισμό των χρηστών καθώς και για άλλες πολλές βασικές λειτουργίες.

3.1.2 ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ UTRAN

Στο UTRAN υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι καναλιών: τα λογικά κανάλια, τα κανάλια μεταφοράς και τα φυσικά κανάλια. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται κάθε τύπος καναλιού και δίνονται ορισμένα παραδείγματα κατά περίπτωση.

3.1.2.1 Λογικά Κανάλια

Οι υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων του πρωτοκόλλου MAC παρέχονται μέσω των λογικών καναλιών. Τα λογικά κανάλια είναι αυτά που προσδιορίζουν τον τύπο της πληροφορίας που μεταδίδεται. Χρησιμοποιούνται στη διεπαφή μεταξύ των επιπέδων RLC και MAC. Τα κανάλια αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα κανάλια ελέγχου και τα κανάλια κίνησης. Στη συνέχεια, ένα κανάλι ελέγχου μπορεί να είναι είτε κοινό είτε αφιερωμένο. Κοινά λέγονται τα κανάλια point-to-multipoint (PTM), ενώ αφιερωμένα λέγονται τα κανάλια point-to-point (PTP), δηλαδή αυτά που χρησιμοποιούνται μόνο από ένα χρήστη [36]. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα λογικά κανάλια καθώς και τη λειτουργία τους.

Λογικό κανάλι ελέγχου	Λειτουργία
Broadcast Control Channel (BCCH)	Κατερχόμενο κανάλι για broadcasting πληροφοριών ελέγχου
Paging Control Channel (PCCH)	Κατερχόμενο κανάλι μεταφορά πληροφορίας paging
Dedicated Control Channel (DCCH)	Κανάλι διπλής κατεύθυνσης για μεταφορά πληροφοριών αφιερωμένου ελέγχου
Common Control Channel (CCCH)	Κανάλι διπλής κατεύθυνσης για μεταφορά πληροφοριών ελέγχου μεταξύ του δικτύου και των UEs
Λογικό κανάλι κίνησης	Λειτουργία
Dedicated Traffic Channel (DTCH)	Αφιερωμένο κανάλι για τη μεταφορά πληροφοριών για ένα UE
Common Traffic Channel (CTCH)	Κατερχόμενο κανάλι point-to-multipoint για μεταφορά πληροφοριών για όλους ή μία ομάδα UEs

Πίνακας 1: Τα λογικά κανάλια του UTRAN

3.1.2.2 Κανάλια Μεταφοράς

Τα κανάλια μεταφοράς είναι αυτά που προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα μεταφερθούν τα δεδομένα από το επίπεδο φυσικού μέσου. Ουσιαστικά, τα κανάλια αυτά χρησιμοποιούνται στη διεπαφή που βρίσκεται μεταξύ του MAC πρωτοκόλλου και του αμέσως κατώτερου επιπέδου[36], [38].

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες καναλιών μεταφοράς: τα κοινά κανάλια (common channels), τα αφιερωμένα (dedicated) και τα διαμοιραζόμενα (shared) . Τα κοινά

κανάλια είναι κανάλια μονής κατεύθυνσης τα οποία χρησιμοποιούνται από όλους τους χρήστες σε μία κυψέλη. Τα σημαντικότερα από τα κανάλια αυτά είναι το Forward Access Channel (FACH) για τον κατερχόμενο σύνδεσμο και το Random Access Channel (RACH) για τον ανερχόμενο. Στην κατηγορία των διαμοιραζόμενων καναλιών ανήκει το Downlink Shared Channel (DSCH) καθώς και το High-Speed DSCH (HS-DSCH). Τα συγκεκριμένα κανάλια είναι πάντα συσχετισμένα με ένα αφιερωμένο κανάλι. Ειδικότερα, το HS-DSCH αποτελεί ένα κανάλι που υλοποιεί την τεχνολογία HSDPA). Είναι ένα βελτιστοποιημένο κανάλι για ταχύτατη μετάδοση δεδομένων το οποίο ενσωματώνει έναν ευέλικτο μηχανισμό προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης. Από την άλλη πλευρά, στην κατηγορία του αφιερωμένου καναλιού ανήκει το Dedicated Channel (DCH) το οποίο είναι διπλής κατεύθυνσης και δεσμεύεται για ένα μόνο χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι αν ένα DCH δεσμευθεί είτε ως ανερχόμενος είτε ως κατερχόμενος σύνδεσμος, τότε πρέπει να δεσμευθεί και για την αντίθετη κατεύθυνση. Στην αντίθετη κατεύθυνση όμως, ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να διαφέρει [20], [19].

	Αφιερωμένο κανάλι		Κοινά κανάλια	
	DCH	HS-DSCH	FACH	RACH
Ανερχόμενος / κατερχόμενος σύνδεσμος	Και οι δύο	Κατερχόμενος	Κατερχόμενος	Ανερχόμενος
Χρήση κώδικα	Σύμφωνα με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης	Κώδικας κοινός μεταξύ των χρηστών	Σταθεροί κώδικες για κάθε κυψέλη	Σταθεροί κώδικες για κάθε κυψέλη
Γρήγορος έλεγχος ισχύος	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
Soft handover	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
Ενδεικνυόμενη χρήση	Μεγάλα ποσά δεδομένων	Μεγάλα ποσά δεδομένων	Μικρά ποσά δεδομένων	Μικρά ποσά δεδομένων
Κατάλληλο για καταιγιστικότητα	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι
Τεχνολογία διαθέσιμη στα πρώιμα συστήματα	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι

Πίνακας 2: Οι ιδιότητες των καναλιών μεταφοράς

Ο Πίνακας 2 απεικονίζει τις βασικές ιδιότητες των σημαντικότερων καναλιών μεταφοράς. Όπως φαίνεται στον πίνακα, η διαδικασία του soft handover υποστηρίζεται μόνο από το κανάλι DCH. Αντίθετα, τα υπόλοιπα κανάλια υποστηρίζουν άλλων ειδών handovers. Επιπλέον, μόνο το HS-DSCH υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων. Επιπλέον, όλα τα κανάλια μεταφορά εκτός του DCH δεν υποστηρίζουν γρήγορο έλεγχο ισχύος (Fast Power Control). Αυτό είναι λογικό αφού είναι κοινά μεταξύ των χρηστών που βρίσκονται στην ίδια κυψέλη, με αποτέλεσμα ο έλεγχος ισχύος να μην είναι εύκολα εφικτός.

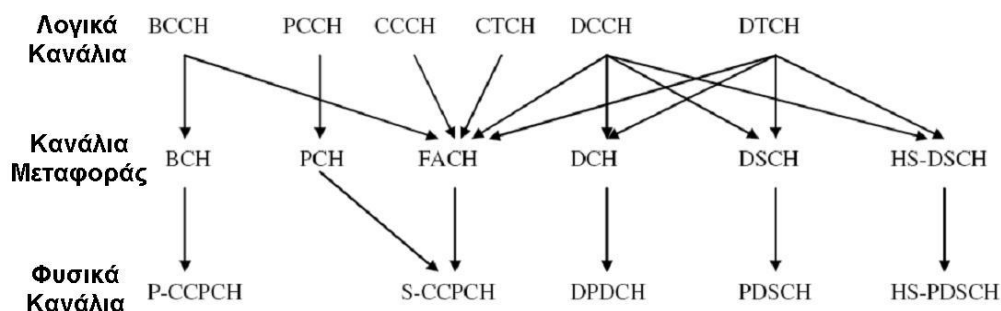
Κοινά κανάλια	Λειτουργία
Broadcast Channel (BCH)	Κατερχόμενο κανάλι για broadcasting πληροφοριών
Paging Channel (PCH)	Κατερχόμενο κανάλι μεταφορά πληροφορίας paging
Random Access Channel (RACH)	Ανερχόμενο κανάλι για αρχική πρόσβαση στο δίκτυο
Common Packet Channel (CPCH)	Ανερχόμενο κανάλι για μετάδοση καταιγιστικής πληροφορίας
Forward Access Channel (FACH)	Κατερχόμενο κανάλι για μεταφορά μικρών ποσοτήτων πληροφορίας
Downlink Shared Channel (DSCH)	Κατερχόμενο κανάλι για μεταφορά αφιερωμένων δεδομένων ελέγχου και κίνησης
High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)	Κατερχόμενο κανάλι βελτιστοποιημένο για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης
Uplink Shared Channel (USCH)	Ανερχόμενο κανάλι για μεταφορά αφιερωμένων δεδομένων ελέγχου και κίνησης
Αφιερωμένο κανάλι	Λειτουργία
Dedicated Channel (DCH)	Κανάλι διπλής κατεύθυνσης αφιερωμένο σε ένα UE

Πίνακας 3: Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει συνοπτικά όλα τα κανάλια μεταφοράς που χρησιμοποιούνται στο UTRAN καθώς και τη λειτουργία τους.

3.1.2.3 Φυσικά Κανάλια

Τα φυσικά κανάλια είναι αυτά που προσδιορίζουν τα ακριβή χαρακτηριστικά του φυσικού μέσου. Αυτό γιατί αποτελούν τα κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται στο επίπεδο φυσικού μέσου της ασύρματης διεπαφής. Το φάσμα συχνοτήτων που διατίθεται σε αυτά τα κανάλια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους. Στη λειτουργία FDD, οι ανερχόμενοι και οι κατερχόμενοι σύνδεσμοι έχουν το δικό τους κανάλι συχνοτήτων. Αντίθετα, στη λειτουργία TDD υπάρχει μόνο ένα κανάλι συχνοτήτων το οποίο χωρίζεται σε χρονοσχιμές. Στη συνέχεια οι χρονοσχιμές μοιράζονται στον ανερχόμενο και τον κατερχόμενο σύνδεσμο [17]. Με βάση τον τρόπο διαχείρισης του φάσματος συχνοτήτων τα φυσικά κανάλια διαχωρίζονται σε FDD και TDD φυσικά κανάλια. Κάθε κατηγορία διαιρείται περαιτέρω σε άλλες δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν το συγκεκριμένο φυσικό κανάλι χρησιμοποιείται στον ανερχόμενο ή στον κατερχόμενο σύνδεσμο. Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται η αντιστοιχία όλων των καναλιών του UMTS που χρησιμοποιούνται στην downlink κατεύθυνση.



Εικόνα 6: Αντιστοίχιση καναλιών για την downlink κατεύθυνση

3.2 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ HSPA

Η σημαντικότερη πρόκληση που αντιμετωπίζει σήμερα η παγκόσμια αγορά κινητών τηλεπικοινωνιών είναι η παροχή νέων, ελκυστικών και διαδραστικών υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες. Η τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA) αποτελεί τη φυσιολογική εξέλιξη του WCDMA προς αυτή την κατεύθυνση, η οποία πολλές φορές

συναντάται και ως 3.5G ή 3G+, προκειμένου να δηλώσει την αναβάθμιση του 3G (UMTS) και ήδη έχει υιοθετηθεί από πολλά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ανά τον κόσμο.

Η εισαγωγή του HSPA κρίθηκε απαραίτητη καθώς, στην πράξη, οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης για τα UMTS δίκτυα αποδείχθηκαν χαμηλοί για εφαρμογές πολυμέσων. Ουσιαστικά, το HSPA αποτελεί μία σημαντική αναβάθμιση των UMTS δικτύων προσφέροντας υψηλότερο εύρος ζώνης στους κινητούς χρήστες και αυξημένη χωρητικότητα για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους με αποτέλεσμα την παροχή υπηρεσιών και εφαρμογών αυξημένης διαδραστικότητας.

Η ορολογία HSPA αναφέρεται σε μία γενικότερη έννοια που υιοθετήθηκε από το UMTS Forum προκειμένου να τονίσει τις αναβαθμίσεις της ασύρματης διεπαφής του UMTS στις εκδόσεις 5 και 6 του 3GPP στάνταρ. Η συμβολή της HSPA τεχνολογίας, προσεγγίζει μόνο το δίκτυο πρόσβασης, δηλαδή το UTRAN, χωρίς να επεμβαίνει καθόλου στη δομή και τη λειτουργικότητα του CN του UMTS.

Πιο συγκεκριμένα, το HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, μέσω του HSDPA όσο και στον ανερχόμενο, μέσω του HSUPA. Αξίζει να αναφερθεί ότι τόσο το HSDPA όσο και το HSUPA μπορούν να υλοποιηθούν στο ίδιο εύρος ζώνης με το UMTS (των 5 MHz), γεγονός που επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία τόσο του HSPA όσο και του κλασσικού UMTS.

3.2.1 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

Η τεχνολογία HSDPA αναπτύχθηκε με σκοπό την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος UMTS, κυρίως όσον αφορά στη χρήση τους για εξυπηρέτηση υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες.

Η τεχνολογία HSDPA βασίζεται στο σχήμα πρόσβασης WCDMA, χρησιμοποιεί το σχήμα αμφιδρόμησης FDD και λειτουργεί στην μπάντα IMT-2000 (1.9-2.1 GHz) με εύρος ζώνης 5 MHz. Η χωρητικότητα ενός δικτύου HSDPA εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό από παράγοντες - παραμέτρους τεχνικής υλοποίησης όπως, η

αποκλειστική χρήση ενός δεύτερου carrier των 5 MHz ή από κοινού με την υφιστάμενη τεχνολογία UMTS, και η επιλογή συγκεκριμένης υλοποίησης από τις προτυποποιημένες εναλλακτικές (δηλαδή η υλοποίηση HSDPA με 5, 10 ή 15 κώδικες).

3.2.2 Διαχείριση Πόρων σε Δίκτυα HSDPA

Σε ένα δίκτυο HSDPA είναι πολύ σημαντικό να γίνεται αποτελεσματική διαχείριση των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών πόρων. Για αυτό τον σκοπό υπάρχουν ειδικοί αλγόριθμοι οι οποίοι αποκαλούνται Αλγόριθμοι Διαχείρισης Ραδιοπόρων (Radio Resource Management algorithms - RRM algorithms). Οι RRM αλγόριθμοι εξασφαλίζουν την αποδοτική λειτουργία του HSDPA δικτύου, διαχειριζόμενοι:

- Τον έλεγχο των handover (handover control).
- Τον αλγόριθμο επιλογής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (AMC).
- Τον έλεγχο της πρόσβασης (admission control).
- Τον έλεγχο του φορτίου (load control) και της συμφόρησης (congestion control) .
- Την λειτουργία του δρομολογητή πακέτων (packet scheduler).

3.2.2.1 Handover Control

Οι RRM αλγόριθμοι στο HSDPA επιτρέπουν μόνο hard handover και intersystem handover. Το soft handover δεν υποστηρίζεται και έχει αντικατασταθεί από την Ταχεία Επιλογή Κυψέλης (Fast Cell Selection - FCS).

Αν και υπάρχει η δυνατότητα το ενεργό σύνολο (active set) ενός κινητού τερματικού χρήστη να έχει πολλές κυψέλες, εν τούτοις μόνο μία εκπέμπει προς το κινητό τερματικό κάθε φορά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των παρεμβολών και την αύξηση της απόδοσης του δικτύου. Υπάρχουν δύο υλοποιήσεις του αλγόριθμου FCS.

Η πρώτη είναι η intra-Node B FCS και η δεύτερη η inter-Node B FCS. Στην intra-Node B για μετάδοση δεδομένων μπορούν να επιλεγούν κυψέλες μόνο από ένα

σταθμό βάσης στο active set του κινητού τερματικού. Αντίθετα, στην inter-Node B για μετάδοση δεδομένων μπορεί να επιλεγεί οποιαδήποτε κυψέλη στο active set του κινητού τερματικού.

3.2.2.2 Fast Link Control

Ο ταχύς έλεγχος ισχύος (fast power control) έχει αντικατασταθεί στο HSDPA από τον αλγόριθμο προσαρμογής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (AMC). Αφού το HS-DSCH εκπέμπει με σταθερή ισχύ κατά την διάρκεια της μετάδοσης, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κατάλληλη διαμόρφωση και κωδικοποίηση για την μεγιστοποίηση της απόδοσης του κατερχόμενου συνδέσμου. Η επιλογή της σωστής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης γίνεται με βάση τις συνθήκες που επικρατούν κάθε δεδομένη χρονική στιγμή στο κανάλι για κάθε χρήστη. Η απόφαση αυτή λαμβάνεται σε κάθε μεσοδιάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών εκπομπών (TTI). Το TTI έχει ελάχιστη τιμή ίση με τη διάρκεια μιας χρονοσχισμής (slot - 0.67 ms) αλλά η τιμή που χρησιμοποιείται συνήθως είναι 2 ms (3 slots). Οι παράμετροι που οδηγούν στην σωστή επιλογή διαμόρφωσης και κωδικοποίησης είναι:

Οι μετρήσεις που αναφέρει το κινητό τερματικό.

- Η στιγμιαία ισχύς του συσχετιζόμενου (associated) διαύλου DPCH.
- Η προκαθορισμένη ποιότητα για κάθε τύπο υπηρεσίας.
- Το μέγεθος του καταχωρητή (buffer) κάθε συνόδου.

Με βάσει τη βιβλιογραφία, με 15 κώδικες (channel codes) η QPSK επιτυγχάνει μέγιστη μετάδοση 5.3 Mbps (7.2 Mbps χωρίς κωδικοποίηση), η 16 QAM 10.7 Mbps και η 64 QAM πάνω από 15 Mbps. Η επιλογή για το είδος της διαμόρφωσης γίνεται από τον Node B.

3.2.2.3 Admission Control

Η οντότητα ελέγχου πρόσβασης (admission controller) του δικτύου είναι υπεύθυνη για την αποδοχή ή απόρριψη μιας νέας αίτησης για σύνδεση στο δίκτυο (admission

request). Υπάρχουν δύο βασικά είδη συνόδων: οι σύνοδοι πραγματικού χρόνου (real time), όπως είναι οι video κλήσεις, και οι σύνοδοι μη πραγματικού χρόνου (non real time), όπως είναι οι web browsing σύνοδοι. Στις συνόδους μη πραγματικού χρόνου, το φορτίο μπορεί να ελεγχθεί και να μειωθεί εφόσον απαιτείται. Αντίθετα στις συνόδους πραγματικού χρόνου δεν μπορούμε να ελέγξουμε απεριόριστα το φορτίο, αφού υπάρχει ένα ελάχιστο όριο στο προσφερόμενο ρυθμό μετάδοσης (guaranteed minimum bit rate). Όταν ένας χρήστης πραγματικού χρόνου ζητήσει να συνδεθεί στο δίκτυο, η οντότητα ελέγχου πρόσβασης οφείλει να ελέγξει αν μπορεί να υποστηριχθεί από το δίκτυο ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης, έστω και αν χρειαστεί να μειωθεί το φορτίο των χρηστών μη πραγματικού χρόνου. Επιπλέον, η οντότητα ελέγχου πρόσβασης εκτελεί την εγκατάσταση μιας νέας συνόδου, συμφωνώντας με τον χρήστη για τις παραμέτρους της νέας σύνδεσης.

3.2.2.4 Congestion Control

Οι RRM αλγόριθμοι πρέπει να λαμβάνουν όλα τα απαραίτητα μέτρα ώστε να μην υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο. Αυτό το επιτυγχάνουν εκτελώντας έλεγχο φορτίου (load control) και έλεγχο συμφόρησης (congestion control). Εφόσον λειτουργεί σωστά ο έλεγχος πρόσβασης και έχει επιλεγθεί ο κατάλληλος δρομολογητής, το δίκτυο σπάνια εισέρχεται σε κατάσταση συμφόρησης. Ωστόσο, αν υπάρξει συμφόρηση, το δίκτυο πρέπει να επανέλθει με γρήγορο και σταθερό ρυθμό σε μία πιο ευσταθή κατάσταση λειτουργίας, εκτελώντας έλεγχο φορτίου. Οφείλουμε να σημειώσουμε ότι στα πλαίσια αυτού του ελέγχου υπολογίζουμε και μεταβάλλουμε μόνο το φορτίο των χρηστών μη πραγματικού χρόνου, αφού μόνο αυτό μπορούμε να ελέγξουμε. Ακόμα, ο αλγόριθμος ελέγχου φορτίου έχει ένα πλήθος επιλογών για να επιτύχει αποσυμφόρηση, όπως μεταγωγές σε άλλα δίκτυα (handover) και ο βίαιος τερματισμός κάποιων κλήσεων (call drop).

3.2.2.5 Packet Scheduler

Τέλος οι RRM αλγόριθμοι ελέγχουν την λειτουργία του δρομολογητή πακέτων (Packet Scheduler). Το HSDPA εκτελεί ταχεία δρομολόγηση (fast scheduling) με σκοπό την μείωση των νεκρών χρόνων στο δίκτυο και την μεγιστοποίηση του ρυθμού διέλευσης. Η δρομολόγηση γίνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ασύρματη διεπαφή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα δρομολογητών αποτελούν ο δρομολογητής μέγιστου λόγου σήματος προς παρεμβολή (MAX C/I, ο σύνδεσμος αποδίδεται στον χρήστη με τον καλύτερο λόγο σήματος προς παρεμβολή), ο δρομολογητής δίκαιου χρόνου (fair time, ο σύνδεσμος αποδίδεται κυκλικά σε όλους τους χρήστες με την σειρά) και ο δρομολογητής δίκαιης απόδοσης (fair throughput, όλοι οι χρήστες έχουν κατά το δυνατό ίσο ρυθμό διέλευσης). Ο επιλεγμένος δρομολογητής συνδέεται στενά με τον ελεγκτή φορτίου (load controller), αφού είναι επιφορτισμένος στην πραγματικότητα με την διαχείριση του φορτίου όλων των κλήσεων.

3.2.3 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης Κίνησης

Η επιλογή του σωστού αλγορίθμου δρομολόγησης κίνησης είναι ζήτημα θεμελιώδους σημασίας για ένα δίκτυο HSDPA - UMTS καθώς επηρεάζει σημαντικά την απόδοσή του. Το HSDPA χρησιμοποιεί αλγορίθμους ταχείας δρομολόγησης (fast scheduling), ώστε να επιτυγχάνει τη μέγιστη δυνατή ρυθμοαπόδοση με βάση την στιγμιαία κατάσταση του δικτύου. Η δρομολόγηση πραγματοποιείται στην οντότητα MAC - HSDPA του Node B, δηλαδή όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην ασύρματη διεπαφή (air interface). Η χρονική κλίμακα στην οποία λαμβάνει αποφάσεις ο δρομολογητής είναι ίση προς 2 ms και καλείται TTI. Σε κάθε TTI ο δρομολογητής λαμβάνει αποφάσεις για τον καταμερισμό των πόρων του δικτύου (συγκεκριμένα των καναλιών μεταφοράς) στους χρήστες. Ως πόροι του δικτύου στην περίπτωση που μελετάμε θεωρούνται οι κώδικες (codes) και οι χρονοθυρίδες (TTIs). Η μέθοδος υλοποίησης του δρομολογητή κίνησης επηρεάζει ένα σύνολο στοιχείων του δικτύου, όπως την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας, την ρυθμοαπόδοση, το ποσοστό χρησιμοποίησης του δικτύου, το κατά πόσο το σύστημα είναι δίκαιο ή όχι κτλ. Ουσιαστικά ο κάθε δρομολογητής ανταλλάσσει ένα μέρος της δικαιοσύνης (fairness) του δικτύου για χάρη της ρυθμοαπόδοσης. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως γενικά, αντί

όλοι οι χρήστες να επιτυγχάνουν τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (data rate), ο δρομολογητής δείχνει μία προτίμηση (ισχυρή ή ασθενή) στους χρήστες που μπορούν να πετύχουν μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από τους υπόλοιπους.

3.2.3.1 Δρομολογητής Βασισμένος Αποκλειστικά στην Ποιότητα του Καναλιού (C/I Scheduler)

Ο αλγόριθμος C/I είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αλγορίθμου που θυσιάζει πλήρως τη δικαιοσύνη του δικτύου ως προς την απόδοση πόρων, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ρυθμοαπόδοση ανά κυψέλη (cell throughput). Είναι αυτονόητο ότι οι χρήστες που έχουν υψηλότερο C/I, μπορούν να επιτύχουν και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Το σκεπτικό του αλγορίθμου είναι απλό: σε κάθε ΤΠΙ κατατάσσουμε τους χρήστες σε φθίνουσα σειρά με βάση το C/I που αναφέρουν στο δίκτυο. Κατόπιν δίνουμε προτεραιότητα για μετάδοση δεδομένων στους χρήστες που βρίσκονται στην κορυφή της λίστας. Οι χρήστες αυτοί έχουν προφανώς τον καλύτερο λόγο σήματος προς παρεμβολή και επομένως είναι αυτοί που θα πετύχουν τον υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Σε κάθε ΤΠΙ εξυπηρετείται ο χρήστης με το μεγαλύτερο C/I έως ότου να αδειάσει ο καταχωρητής του ή να χρησιμοποιήσει όλους τους πόρους του δικτύου. Όταν τελειώσει ο πρώτος χρήστης, αν έχουν απομείνει πόροι εκχωρούνται στον δεύτερο της λίστας κ.ο.κ. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εξασφαλίζει ιδιαίτερα υψηλή ρυθμοαπόδοση.

Γενικά, τα τερματικά που βρίσκονται κοντά στο κέντρο της κυψέλης έχουν καλύτερο λόγο σήματος προς παρεμβολή από αυτά που βρίσκονται πιο μακριά (πάντως μόνο η απόσταση από το κέντρο της κυψέλης δεν είναι ασφαλές κριτήριο για την σύγκριση δύο C/I, καθώς ο λόγος σήματος προς παρεμβολή επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως το η εξασθένηση σήματος και το shadowing). Με τον δρομολογητή C/I διακινδυνεύουμε την «φίμωση» των χρηστών που βρίσκονται στα άκρα της περιοχής κάλυψης της κυψέλης, εξαιτίας του πολύ χαμηλού τους λόγου σήματος προς παρεμβολή.

3.2.3.2 Δρομολογητής Κατανομής Ισόποσου Χρόνου (Fair Time Scheduler - FTiS)

Ο δρομολογητής FTiS διατηρεί μία ισορροπία ανάμεσα στην προσπάθεια για μία δίκαιη κατανομή των πόρων στους χρήστες και στην επιδίωξη για υψηλή ρυθμοαπόδοση. Οι πόροι του δικτύου μοιράζονται στους χρήστες εναλλάξ. Ουσιαστικά πρόκειται για έναν αλγόριθμο που εξυπηρετεί τους χρήστες κυκλικά. Σε όλους τους χρήστες κατανέμεται ίδια ισχύς και ίσα χρονικά διαστήματα αποστολής δεδομένων. Επομένως τα τερματικά εμφανίζουν τελικά διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αφού οι χρήστες με υψηλότερο C/I μπορούν να πετύχουν καλύτερες ταχύτητες μετάδοσης υπό τις ίδιες προϋποθέσεις. Ο δρομολογητής FTiS μπορεί να υλοποιηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι να μοιράζονται οι πόροι του δικτύου στους χρήστες στο ίδιο TTI. Ο δεύτερος τρόπος είναι να αποδίδονται οι πόροι του δικτύου σε έναν χρήστη ανά TTI. Στο αμέσως επόμενο TTI ο επόμενος χρήστης της λίστας καταλαμβάνει και χρησιμοποιεί όλους τους διαθέσιμους πόρους. Από πλευράς απόδοσης ο αλγόριθμος FTiS βρίσκεται ενδιάμεσα στον C/I και στον FThS.

3.2.3.3 Δρομολογητής Κατανομής Ισόποσου Ρυθμού Διέλευσης (Fair Throughput scheduler - FThS)

Ο αλγόριθμος FThS έχει ως στόχο τη δίκαιη κατανομή των πόρων του δικτύου ανάμεσα στους χρήστες. Από μία οπτική γωνία θα μπορούσαμε να τον δούμε ως τον αντίστροφο του αλγορίθμου C/I. Ο αλγόριθμος FThS προσπαθεί να πετύχει ίσο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για όλα τα κινητά τερματικά. Υπάρχουν δύο δυνατότητες υλοποίησης: βραχυπρόθεσμη ικανοποίηση του στόχου (σε κάθε TTI) ή μακροπρόθεσμη (από 20 έως 100 ms, δηλαδή ανά 10 έως 50 TTI). Στους χρήστες με το χειρότερο C/I αποδίδονται περισσότεροι πόροι από το σύστημα, ώστε να καταφέρουν να επιτύχουν ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων με τους χρήστες με καλύτερο C/I. Ο αλγόριθμος αυτός, αν και διατηρεί την δικαιοσύνη (fairness) στο δίκτυο, εν τούτοις δίνει μειωμένη ρυθμοαπόδοση.

3.2.3.4 Δρομολογητής Κυκλικής Εναλλαγής με Προτεραιότητα (Priority Round Robin scheduler - PRR)

Ο αλγόριθμος PRR έχει ως στόχο να δίνει προτεραιότητα στις video συνόδους. Οι πόροι του συστήματος κατανέμονται με έναν αλγόριθμο κυκλικής εναλλαγής στους χρήστες πραγματικού χρόνου (real time users: mpeg και video). Εφόσον οι καταχωρητές αυτών των συνόδων αδειάσουν, οι πόροι που έχουν απομείνει κατανέμονται επίσης με αλγόριθμο κυκλικής εναλλαγής στους υπόλοιπους χρήστες (non real time users - web browsing). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε την άμεση εξυπηρέτηση των τερματικών που εκτελούν συνόδους πραγματικού χρόνου και έχουν συνήθως μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ρυθμό μετάδοσης.

3.2.3.5 Δρομολογητής Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service scheduler - QoS)

Ο αλγόριθμος QoS αποδίδει τους πόρους του συστήματος στους χρήστες, ορίζοντας σε κάθε TTI σειρά προτεραιότητας για κάθε έναν από αυτούς. Οι χρήστες καταλαμβάνουν τους πόρους ανάλογα με τον αριθμό προτεραιότητάς τους. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δρομολόγησης είναι πλήρως παραμετροποιήσιμος, αφού οι προτεραιότητες υπολογίζονται με βάση ένα πλήθος μεταβλητών, οι οποίες υπεισέρχονται στην εξίσωση υπολογισμού με βάση. Οι σημαντικές μεταβλητές έχουν μεγάλα βάρη και επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές επιφέρουν μικρότερες αλλαγές που στόχο έχουν την ορθότερη βαθμονόμηση του συστήματος.

3.2.4 High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)

Η τεχνολογία HSUPA βασίζεται στο σχήμα πρόσβασης WCDMA, χρησιμοποιεί το σχήμα αμφιδρόμησης FDD και λειτουργεί στην μάντα IMT-2000 με εύρος ζώνης 5 MHz. Η τεχνολογία HSUPA αποτελεί το ανάλογο της τεχνολογίας HSDPA στον ανερχόμενο σύνδεσμο, επομένως κατ' αντιστοιχία, η χωρητικότητα ενός δικτύου HSUPA εξαρτάται από αντίστοιχους παράγοντες όπως στην περίπτωση του HSDPA.

Στην πραγματικότητα, το HSUPA, το οποίο εναλλακτικά αποκαλείται και Enhanced Dedicated Channel (E-DCH), περιγράφει τα πρότυπα μιας ιδιαίτερα αποδοτικής μεθόδου για την αποστολή πληροφοριών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των συσκευών τρίτης γενιάς. Η χρήση του HSUPA θα επιτρέψει την πρόσβαση σε «συμμετρικές» εφαρμογές υψηλής ταχύτητας, όπως υπηρεσίες Voice over Internet Protocol (VoIP) και interactive multimedia, παρέχοντας υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στον ανερχόμενο σύνδεσμο και την περαιτέρω μείωση της καθυστέρησης. Ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών, HSDPA και HSUPA, επιτρέπει την πλήρη αξιοποίηση των υποδομών τρίτης γενιάς των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Ο πρωταρχικός στόχος εισαγωγής του HSUPA στο 3GPP standard ήταν να αυξήσει την κάλυψη και τη συνολική ρυθμοαπόδοση και ταυτόχρονα να μειώσει τις συνολικές καθυστερήσεις στον ανερχόμενο σύνδεσμο. Τα σημεία κλειδιά για την επιτυχία του HSUPA ήταν η εισαγωγή ενός νέου αφιερωμένου καναλιού στον ανερχόμενο σύνδεσμο με αυξημένη λειτουργικότητα και απόδοση, η χρήση του HARQ και του fast scheduling, όπως και στην περίπτωση του HSDPA.

Η υλοποίηση του συστήματος στηρίζεται στην υλοποίηση ενός βελτιωμένου αφιερωμένου καναλιού για τον ανερχόμενο σύνδεσμο (E-DCH), ενώ η δυνατότητα ενός χρήστη να μεταδώσει δεδομένα στον ανερχόμενο σύνδεσμο εξαρτάται από τη διαχείριση των χρηστών (user prioritization, user profile: HSUPA, Release '99 χρήστες, κοκ.). Το HSUPA σύστημα μπορεί να προσφέρει μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στον ανερχόμενο σύνδεσμο μέχρι και 5.76 Mbps.

Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία HSUPA προτυποποιήθηκε αρχικά στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ, το Δεκέμβριο του 2004. Σε αυτή καθορίστηκε ως μέγιστη θεωρητική ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων κατά τον ανερχόμενο σύνδεσμο τα 5.76 Mbps, ενώ κατά τη διάρκεια επιδείξεων της συγκεκριμένης τεχνολογίας έχουν πρακτικά πραγματοποιηθεί μεταφορές δεδομένων με ρυθμούς μεταφοράς που φθάνουν τα 1.4 Mbps.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια επισκόπηση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, ο αντίκτυπος για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου και το όφελος για τους τελικούς

χρήστες. Αναλυτικότερα, νέες υπηρεσίες είναι πιθανό να επωφεληθούν από τους υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και τις μειωμένες καθυστερήσεις που προσφέρουν οι HSDPA και HSUPA τεχνολογίες.

3.2.5 Πλεονεκτήματα HSPA Τεχνολογίας

Ανάμεσα στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της HSPA τεχνολογίας συγκαταλέγονται τα ακόλουθα:

- Αυξημένες ταχύτητες για τους τελικούς χρήστες: Με τη χρήση του HSDPA στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, οι χρήστες μπορούν να λαμβάνουν υπηρεσίες με ρυθμό μετάδοσης θεωρητικά έως και 14.4 Mbps. Παρόλα αυτά, για την επίτευξη αυτής της ταχύτητας απαιτούνται ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες, με αποτέλεσμα οι εφικτοί ρυθμοί μετάδοσης να προσεγγίζουν τα 3.6 Mbps. Ακόμα και αυτή η ταχύτητα, ωστόσο, κρίνεται ιδιαίτερα υψηλή συγκριτικά με τα 384 Kbps που παρέχει το παραδοσιακό UMTS. Γίνεται εύκολα αντιληπτό, λοιπόν, ότι επιτυγχάνεται μία αύξηση σχεδόν 10-πλάσια στη συνολική ρυθμοαπόδοση. Περαιτέρω αύξηση του ρυθμού μετάδοσης στο HSDPA μπορεί να επιτευχθεί με χρήση τεχνικών όπως το MIMO.
- Αυξημένη διαδραστικότητα των υπηρεσιών: Η υψηλή διαδραστικότητα των υπηρεσιών που παρέχονται μέσω του HSPA οφείλεται κατά κύριο λόγο στον περιορισμό των καθυστερήσεων και στη μικρή round trip καθυστέρηση (της τάξης των 60 ms). Κατά συνέπεια, μπορούν να υποστηριχθούν υπηρεσίες video ή και multi-user gaming με αυξημένη απόδοση σε πραγματικό χρόνο.
- Υψηλή χωρητικότητα του δικτύου προς όφελος κυρίως των παρόχων: Με τη χρήση της τεχνολογίας HSPA γίνεται πιο αποδοτική εκμετάλλευση του φάσματος στο δίκτυο πρόσβασης. Μάλιστα, η βελτίωση είναι τόσο σημαντική αφού μελέτες αποδεικνύουν ότι η χωρητικότητα στο εύρος ζώνης των 5 MHz του UMTS γίνεται 5 φορές μεγαλύτερη με την αναβάθμιση στην HSDPA τεχνολογία.

Η μείωση των καθυστερήσεων μετάδοσης παράλληλα με τις αυξημένες πλέον ταχύτητες μετάδοσης στο ασύρματο μέσο μεταφράζονται στην δυνατότητα παροχής μίας μεγάλης γκάμας πολυμεσικών εφαρμογών. Αναλυτικότερα, οι υπηρεσίες που

μπορούν να μεταδοθούν μέσω της τεχνολογίας HSPA περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

3.2.6 Υπηρεσίες στην HSPA Τεχνολογία

Όπως γίνεται κατανοητό από τις παραπάνω ενότητες, οι δύο τεχνολογίες HSDPA και HSUPA αλληλοσυμπληρώνονται ώστε να βελτιώσουν την προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσίας για εφαρμογές με απαιτήσεις σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και μειωμένη καθυστέρηση τόσο στον κατερχόμενο όσο και στον ανερχόμενο σύνδεσμο.

Κατά συνέπεια, οι κινητοί χρήστες έχουν πλέον την ικανότητα να απολαμβάνουν υπηρεσίες που μέχρι τώρα παρέχονταν μόνο σε χρήστες με ενσύρματη ευρυζωνική σύνδεση. Ειδικότερα, μετά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των τεχνολογιών HSDPA και HSUPA, οι δύο τεχνολογίες αναμένεται να αποτελέσουν και πρακτικά - εκτός από θεωρητικά - ένα σύστημα, το HSPA, το οποίο θα επιτρέπει την ευρυζωνική πρόσβαση σε κινητούς χρήστες με ταχύτητες της τάξης των 14.4 Mbps στον κατερχόμενο σύνδεσμο και 5.76 Mbps στον ανερχόμενο και σημαντικά μικρότερη καθυστέρηση συγκριτικά με το UMTS. Πιο συγκεκριμένα, οι κατηγορίες υπηρεσιών που μπορούν να υποστηριχθούν είναι κυρίως:

- Βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort).
- Παρασκηνίου (Background).
- Διαδραστικές (Interactive).
- Ροοθήκευσης (Streaming).

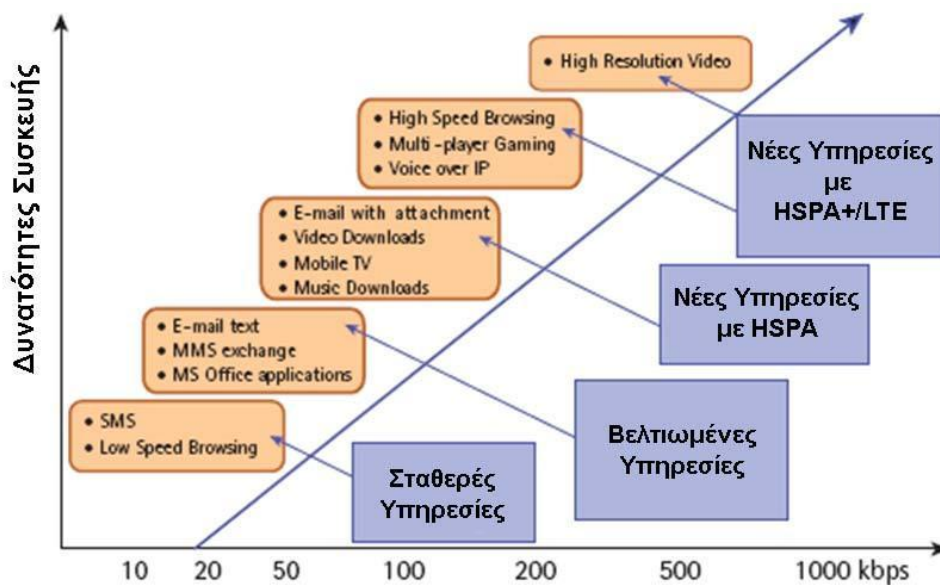
Οι υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας, και παρασκηνίου, βελτιώνονται κυρίως μέσω της τεχνολογίας HSDPA, ενώ οι διαδραστικές υπηρεσίες οι οποίες απαιτούν εκτός από υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλή καθυστέρηση βελτιώνονται κυρίως μέσω της τεχνολογίας HSUPA. Μερικά παραδείγματα ψηφιακών εφαρμογών και ψηφιακού περιεχομένου τα οποία μπορούν να υποστηριχθούν μέσω της τεχνολογίας HSDPA/HSUPA είναι:

- Πλοήγηση στο ψηφιακό περιεχόμενο του διαδικτύου (Internet, downloads) και δυνατότητα τοπικής αποθήκευσής του (download), ανεξάρτητα από τον

τύπο του, θέαση και αποθήκευση στατικού περιεχομένου, αρχείων κειμένου, πολυμεσικού περιεχομένου (multimedia downloads, video clips) κ.ο.κ.

- Υπηρεσίες μεταφοράς/διαμοιρασμού αρχείων οποιουδήποτε ψηφιακού τύπου περιεχομένου (file sharing/ftp, P2P, remote surveillance, βίντεο κατ' απαίτηση (VoD), video/MP3 streaming).
- Υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (κατάλληλο για αποστολή (HSUPA) / λήψη (HSDPA) μεγάλων επισυναπτόμενων αρχείων).
- Υπηρεσίες τοπικών δικτύων (Intranet).
- Video telephony και video conferencing για κινητούς χρήστες.
- Αποστολή/Λήψη απλών και πολυμεσικών μηνυμάτων (instant messaging, SMS, MMS, video /audio MMS).
- Διαδραστικές εφαρμογές (π.χ. online/interactive gaming, televoting, ...).

Σχηματικά, η επίδραση της HSPA τεχνολογίας στις προσφερόμενες υπηρεσίες προς τους κινητούς χρήστες απεικονίζονται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7: Υπηρεσίες με τη χρήση HSPA

3.2.7 HSPA+

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ήδη μελετώνται περαιτέρω δυνατότητες αναβάθμισης της ίδιας της HSPA τεχνολογίας από το 3GPP, κατά κύριο λόγο προς τον τομέα της

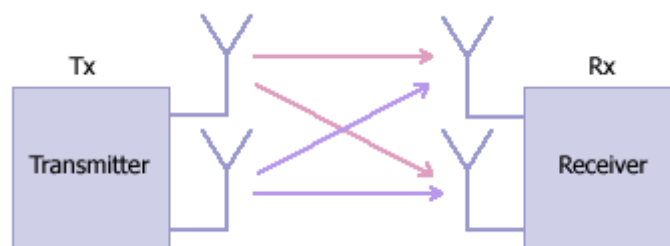
βελτιστοποίησης του ασύρματου μέσου μετάδοσης. Όλες αυτές οι προσπάθειες αναβάθμισης προσδιορίζονται από την ορολογία HSPA+.

Η τεχνολογία HSPA+ είναι ουσιαστικά μια εξέλιξη του συστήματος HSPA και αποτελεί μέρος της έκδοσης 7 (Release 7) του 3GPP. Αναπτύχθηκε με σκοπό:

- Την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος HSPA, κυρίως στο δίκτυο κορμού μέσω της πλήρους διανομής υπηρεσιών μέσω του packet-switched (PS) τομέα, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την ποιότητα των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων.
- Την περαιτέρω αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες.
- Την αποτελεσματική μείωση της καθυστέρησης.

Οι βασικές προσεγγίσεις προς την κατεύθυνση αυτή είναι η χρήση της τεχνολογίας MIMO και η χρήση 64 QAM κωδικοποίησης. Η MIMO τεχνική απαιτεί επιπρόσθετες κεραιές λήψης (συστοιχία κεραιών) καθώς και επιπλέον κεραιές μετάδοσης στους σταθμούς βάσης. Παράλληλα, η εφαρμογή 64 QAM κωδικοποίησης αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης υπό την προϋπόθεση ότι επικρατούν πολύ καλές συνθήκες μετάδοσης.

Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία αυτή αναμένεται να προσφέρει μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 28 Mbps για τον κατερχόμενο σύνδεσμο και των 11.5 Mbps για τον ανερχόμενο στα 5 MHz εύρους ζώνης (χρησιμοποιώντας το 2x2 σχήμα MIMO και διαμόρφωση 16 QAM, εικόνα 8). Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στον κατερχόμενο σύνδεσμο μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 42 Mbps ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της υλοποίησης (χρήση διαμόρφωσης υψηλότερης τάξης - 64 QAM).



Εικόνα 8: Multiple Input Multiple Output (MIMO), 2x2. Δύο κεραιές σε πομπό και δέκτη

Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία HSPA+ αναπτύχθηκε με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες, επιτρέποντας την υποστήριξη και ανάπτυξη ενός μεγάλου συνόλου ψηφιακών υπηρεσιών. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία HSPA+ δεν φαίνεται να εισάγει κάποια καινούργια «Killer Application», καθώς ουσιαστικά παρέχει βελτιωμένη ποιότητα (υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, μικρότερη καθυστέρηση) για τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από την τεχνολογία HSPA. Ωστόσο, δύναται επιπρόσθετα να υποστηρίξει:

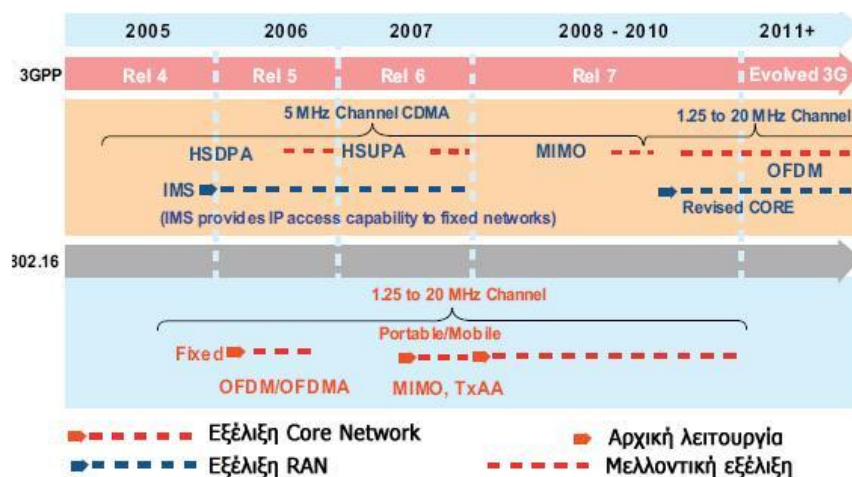
- Διαδραστικές υπηρεσίες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι υπηρεσίες διαδικτυακών αγορών (on-line shopping (π.χ., αγορά CD ή download ήχων κλήσης κατά τη διάρκεια ευρυεκπομπής ενός μουσικού video clip), τηλεψηφοφορίες, αποστολή μηνυμάτων, φωνητικών κλήσεων, κ.α.
- Διαδραστικά παιχνίδια (multiplayer interactive/online gaming).
- Προσωποποιημένες υπηρεσίες/εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η διαμόρφωση προγραμμάτων με εμπλουτισμένο ψηφιακό περιεχόμενο - καιρός, νέα, σαπουνόπερες, μουσική, κοκ. - βασισμένα στο προφίλ του κάθε χρήστη.

Η τεχνολογία HSPA+ μέσω της αξιοποίησης της τεχνολογίας MBMS δύναται επιπρόσθετα να εξυπηρετήσει και υπηρεσίες πολυεκπομπής.

3.2.8 3GPP Long Term Evolution (LTE)

Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+ αναμένονται να προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3GPP ήδη μελετά και επεξεργάζεται νέες τεχνολογίες που θα επικρατήσουν την αμέσως επόμενη δεκαετία στην αγορά των κινητών επικοινωνιών. Το νέο αυτό project αποκαλείται LTE και στοχεύει στην επίτευξη ακόμη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρος ζώνης. Κύρια προοπτική του LTE αποτελεί η διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας και η επικράτηση του προτύπου στο χρονικό ορίζοντα της επόμενης δεκαετίας. Η φάση προτυποποίησης του LTE βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη και αποτελεί μέρος της έκδοσης 8 (Release 8) του 3GPP standard [52].

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το «αντίπαλο» πρότυπο που ανταγωνίζεται το LTE είναι το Mobile WiMAX. Το LTE ήδη γνωρίζει έντονη ερευνητική δραστηριότητα και αναμένονταν να λειτουργήσει στην αγορά σταδιακά, ξεκινώντας γύρω στο 2010. Γραφικά, η χρονική εξέλιξη των δύο ανταγωνιστικών προτύπων (3GPP και 802.16) απεικονίζεται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9: Η εξέλιξη των κινητών ευρυζωνικών standards LTE και WiMAX

3.2.8.1 Υπηρεσίες στο LTE

Η τεχνολογία LTE επιτρέπει τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες. Μέσω της εξέλιξης της τεχνολογίας MBMS σε evolved MBMS επιτρέπει και την παροχή υπηρεσιών ευρυεκπομπής ψηφιακού περιεχομένου, ταυτόχρονα με τις υπηρεσίες δεδομένων, πιο αποδοτικά και με περισσότερες δυνατότητες όσον αφορά στη χωρητικότητα και στον αριθμό των προσφερόμενων καναλιών ευρυεκπομπής. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία LTE ουσιαστικά παρέχει βελτιωμένη ποιότητα, υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και μικρότερη καθυστέρηση για τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από την τεχνολογία HSPA+, και δύναται επιπρόσθετα να υποστηρίξει μέσω της τεχνολογίας evolved MBMS:

- Μετάδοση υψηλής ποιότητας περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο - Υπηρεσίες ροοθήκευσης ήχου και εικόνας (Video and Audio stream services): τηλεόραση, ραδιόφωνο. Το μεταδιδόμενο περιεχόμενο μπορεί να μεταφέρεται σε πραγματικό χρόνο ή να είναι αποθηκευμένο και να αναμεταδίδεται.

- Υπηρεσίες παρεχόμενες/διαφοροποιούμενες ανά εντοπισμένη περιοχή εξυπηρέτησης (Localized services) - δυνατότητα συνδυασμού εθνικών και τοπικών προγραμμάτων τηλεόρασης ή άλλου περιεχομένου ευρυεκπομπής ανά γεωγραφική περιοχή, ευρυεκπομπή τουριστικού περιεχομένου (video-clips, διαφημίσεις) με πληροφορίες για φεστιβάλ, εστιατόρια, ξενοδοχεία, μουσεία, κοκ [36], [39], [47].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ MBMS

Το κεφάλαιο αυτό είναι εξ' ολοκλήρου αφιερωμένο στην υπηρεσία Multimedia Broadcast / Multicast Service (MBMS). Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς είναι η εισαγωγή της υπηρεσίας MBMS. Το MBMS έχει ως κύριο σκοπό την υποστήριξη IP εφαρμογών εκπομπής (broadcast) και πολυεκπομπής (multicast) επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την παροχή υπηρεσιών υψηλού ρυθμού μετάδοσης σε πολλαπλούς χρήστες και με οικονομικό τρόπο. Για την ακρίβεια, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο της μεταπτυχιακής εργασίας περιγράφεται το είδος, οι βασικές αρχές καθώς και η αρχιτεκτονική αυτής της υπηρεσίας. Επίσης, αναφέρονται και αναλύονται οι φάσεις παροχής της υπηρεσίας MBMS. Επιπρόσθετα, θίγονται ορισμένα ζητήματα ασφάλειας που σχετίζονται με την παροχή της συγκεκριμένης υπηρεσίας.

Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι βασικότερες μέθοδοι ελέγχου ισχύος στο UMTS. Ο αποτελεσματικός έλεγχος ισχύος κατά τη multicast μετάδοση δεδομένων στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών αποτελεί ίσως το κρίσιμότερο σημείο. Και αυτό γιατί οι σταθμοί βάσης των κυψελωτών αυτών δικτύων διαθέτουν περιορισμένους πόρους ισχύος, άρα και περιορισμένη χωρητικότητα κυψέλης. Το γεγονός αυτό επιβάλλει τη χρήση μίας βέλτιστης στρατηγικής για την όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων ισχύος. Προς αυτή την κατεύθυνση, ο έλεγχος ισχύος που στοχεύει στη μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος, στην ελαχιστοποίηση του θορύβου στο κυψελωτό δίκτυο και κατά συνέπεια στη διασφάλιση μεγαλύτερης χωρητικότητας επιπλέον χρηστών, θα καταλάβει ένα σημαντικό τμήμα του συγκεκριμένου κεφαλαίου.

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

4.1.1 Λειτουργία Broadcast

Η λειτουργία broadcast είναι μία μονής κατεύθυνσης μετάδοση PTM. Η μετάδοση αυτή ξεκινά από έναν εξυπηρετητή και κατευθύνεται προς όλους τους χρήστες της περιοχής εξυπηρέτησης. Το περιεχόμενο της μετάδοσης είναι πολυμεσικά δεδομένα, δηλαδή κείμενο, εικόνα, ήχος και video. Ο σκοπός της συγκεκριμένης λειτουργίας είναι η αποδοτική χρήση των ασύρματων πόρων και γενικότερα των πόρων του δικτύου. Για το λόγο αυτό, η μετάδοση των δεδομένων γίνεται μέσω ενός κοινού ασύρματου καναλιού. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της λειτουργίας broadcast είναι ότι εμφανίζει κάποια χαρακτηριστικά προσαρμοστικότητας. Για την ακρίβεια, το δίκτυο έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει το ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με τη διαθεσιμότητα ασύρματων πόρων.

Ένα παράδειγμα υπηρεσίας που μπορεί να χρησιμοποιήσει τη λειτουργία broadcast είναι οι διαφημίσεις ή ένα μήνυμα καλωσορίσματος στο δίκτυο. Όλοι οι χρήστες του δικτύου θα μπορούν να λαμβάνουν χωρίς χρέωση τέτοιου είδους μηνύματα. Όμως, επειδή είναι πιθανό να υπάρχουν χρήστες του δικτύου που δεν επιθυμούν τη λήψη σχετικών μηνυμάτων, θα υπάρχει η δυνατότητα για ενεργοποίηση και απενεργοποίηση αυτή της υπηρεσίας broadcast. Κατά συνέπεια, ένα σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι, για τη λειτουργία broadcast του MBMS, δεν απαιτείται συνδρομή στην υπηρεσία. Αντίθετα, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο, αυτή η διαδικασία απαιτείται για τη λειτουργία multicast [6], [7].

4.1.2 Λειτουργία Multicast

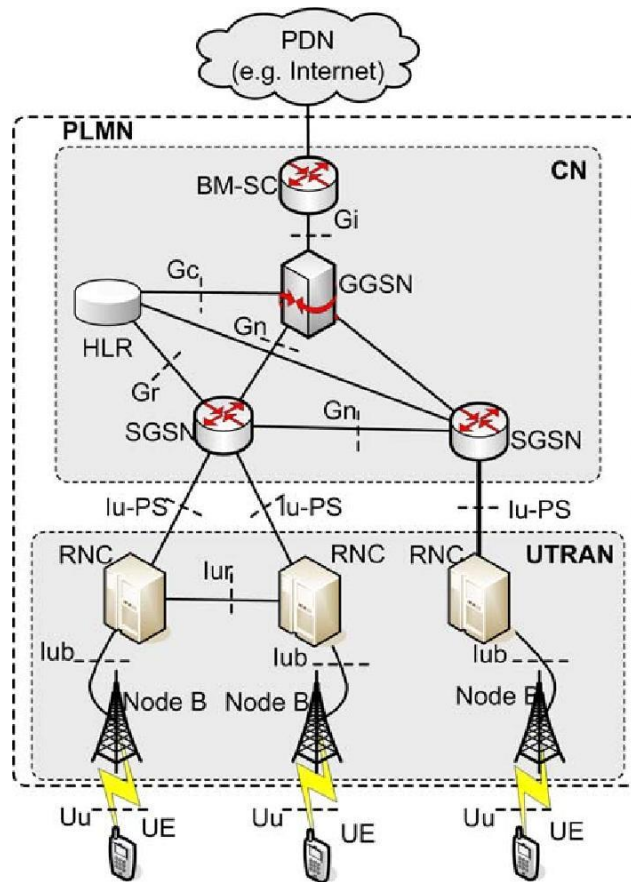
Η λειτουργία multicast είναι μία μονής κατεύθυνσης PTM μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων. Η μετάδοση αυτή ξεκινά από έναν εξυπηρετητή και κατευθύνεται προς ένα multicast group μίας περιοχής εξυπηρέτησης. Όπως και στη λειτουργία broadcast, στόχος της λειτουργίας multicast είναι η αποδοτική χρήση των πόρων του δικτύου. Επίσης, η συγκεκριμένη λειτουργία παρουσιάζει προσαρμοστικότητα μεταβάλλοντας το ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με τη διαθεσιμότητα ασύρματων πόρων στο UTRAN. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της λειτουργίας multicast είναι η δυνατότητα που

δίνεται στο δίκτυο να επιλέγει συγκεκριμένες κυψέλες στις οποίες θα μεταδοθεί η πληροφορία. Φυσικά, η πληροφορία θα απευθύνεται στους χρήστες που βρίσκονται στην κυψέλη και οι οποίοι ανήκουν σε ένα multicast group.

Ένα παράδειγμα τέτοιας υπηρεσίας είναι αυτό των αθλητικών νέων. Αντίθετα με τη λειτουργία broadcast, η λειτουργία multicast απαιτεί μία διαδικασία εγγραφής (Subscription) στο multicast group. Στη συνέχεια, ο χρήστης μπορεί να συμμετάσχει (joining) στο συγκεκριμένο group. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, αντίθετα με τις υπηρεσίες broadcast, στο μεγαλύτερο ποσοστό των υπηρεσιών multicast, αναμένεται να περιλαμβάνεται χρέωση για το χρήστη [6], [7].

4.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ MBMS

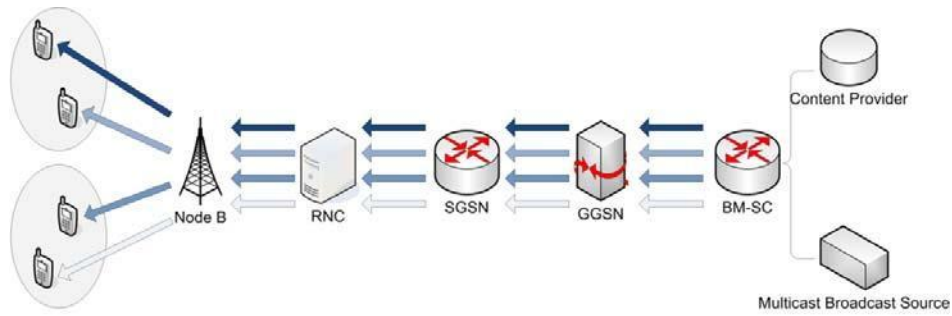
Η δομή του δικτύου UMTS για την υπηρεσία MBMS, απεικονίζεται στην Εικόνα 10. Ας σημειωθεί εδώ ότι και το δίκτυο GSM μπορεί να παρέχει την ίδια υπηρεσία. Η μόνη διαφορά έγκειται στο χρησιμοποιούμενο δίκτυο πρόσβασης. Το δίκτυο GSM χρησιμοποιεί το δίκτυο πρόσβασης GERAN και όχι το UTRAN. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 10, για την υποστήριξη της υπηρεσίας MBMS, ένας νέος κόμβος έχει εισαχθεί στο δίκτυο. Πρόκειται για τον κόμβο Broadcast / Multicast Service Center (BM-SC).



Εικόνα 10: Η αρχιτεκτονική της υπηρεσίας MBMS

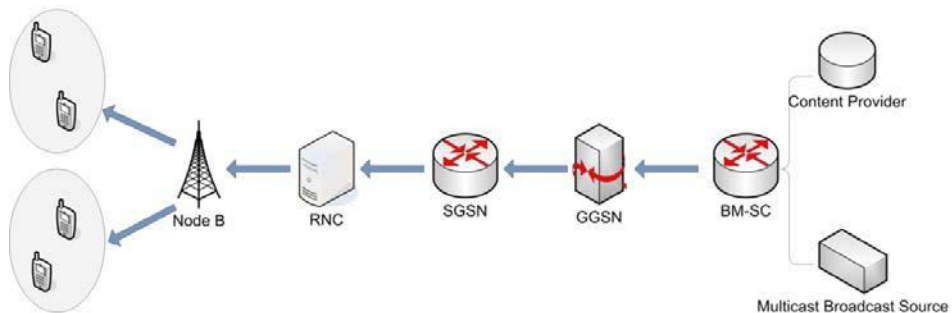
4.3 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ MBMS ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

Η επίτευξη της υψηλής αποδοτικότητας της MBMS υπηρεσίας, και ένας από τους κύριους λόγους που καθιστούν το MBMS ιδιαίτερα κρίσιμο για τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς είναι η βελτιστοποίηση της ροής πολυμεσικών δεδομένων σε όλες τις διεπαφές από τον κόμβο BM-SC έως και τον τελικό χρήστη. Η προηγμένη ροή των δεδομένων καθώς και τα πλεονεκτήματα που αυτή μπορεί να επιφέρει στα κυψελωτά αυτά δίκτυα γίνεται εύκολα αντιληπτή από τις επόμενες δύο γραφικές απεικονίσεις (Εικόνα 11 και Εικόνα 12), στις οποίες παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα multicast μετάδοσης χωρίς και με την υποστήριξη του MBMS, αντίστοιχα.



Εικόνα 11: UMTS multicast χωρίς την υποστήριξη του MBMS

Σύμφωνα με την Εικόνα 11, όταν έχουμε multicast μετάδοση, τα δεδομένα πολλαπλασιάζονται και αποστέλλονται σε όλες τις διεπαφές της αρχιτεκτονικής τόσοι φορές όσοι και οι εξυπηρετούμενοι χρήστες. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδειχτεί ιδιαίτερα αρνητικό στην περίπτωση που το πλήθος των multicast χρηστών αυξάνει σημαντικά, καθώς δημιουργείται ένα bottleneck. Όλες οι επιμέρους διεπαφές επιβαρύνονται σημαντικά λόγω των πολλαπλών μεταδόσεων (που ουσιαστικά μεταφέρουν το ίδιο ακριβώς περιεχόμενο).



Εικόνα 12: UMTS multicast με την υποστήριξη του MBMS

Αντίθετα, όταν υποστηρίζεται το MBMS όπως παρατηρούμε από την Εικόνα 12, η ροή δεδομένων κατά μήκος όλης της διαδρομής προς τους τελικούς χρήστες γίνεται βέλτιστη. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα μεταφέρονται μόνο μία φορά πάνω από κάθε διεπαφή, γεγονός που βελτιστοποιεί τη ροή δεδομένων και επιφέρει ελάχιστο φόρτο στο δίκτυο. Έτσι εξοικονομούνται σημαντικοί πόροι του δικτύου. Κατά συνέπεια, είναι εύλογο να ενσωματωθεί το MBMS στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών και να βελτιωθεί περαιτέρω η απόδοσή του.

4.4 ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ MBMS

Στην παρούσα παράγραφο θα περιγραφούν αναλυτικά οι φάσεις της παροχής της υπηρεσίας MBMS. Η Εικόνα 13 απεικονίζει σχηματικά τις φάσεις της broadcast λειτουργίας, ενώ η Εικόνα 14 παρουσιάζει τις αντίστοιχες φάσεις για τη multicast λειτουργία. Η κατεύθυνση του διανύσματος συμβολίζει τη χρονική αλληλουχία, αν και ενδέχεται ορισμένες φάσεις να επαναλαμβάνονται κατά τη διάρκεια μιας MBMS συνόδου.



Εικόνα 13: Οι φάσεις της broadcast λειτουργίας



Εικόνα 14: Οι φάσεις της multicast λειτουργίας

Όπως φαίνεται από τις εικόνες, οι φάσεις για τις δύο λειτουργίες (broadcast και multicast) διαφέρουν μεταξύ τους. Για την ακρίβεια, οι φάσεις της λειτουργίας multicast είναι υπερσύνολο των φάσεων της λειτουργίας broadcast. Επιγραμματικά, οι οκτώ διαφορετικές φάσεις που εμφανίζονται κατά την παροχή της υπηρεσίας MBMS είναι: η εγγραφή στην υπηρεσία (Subscription), η ανακοίνωση της υπηρεσίας

(Service Announcement), η αίτηση συμμετοχής (Joining), η εκκίνηση της συνόδου (Session Start), η ειδοποίηση για εκκίνηση (MBMS Notification), η μεταφορά δεδομένων (Data Transfer), ο τερματισμός της συνόδου (Session Stop) και η αίτηση αποχώρησης (Leaving).

4.5 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ CN

Η βασική απαίτηση που τίθεται στο CN προκειμένου να υποστηρίξει την υπηρεσία MBMS, είναι η αποδοτική χρήση των πόρων του δικτύου. Προς το παρόν, οι τρέχουσες υπηρεσίες, καθιστούσαν το CN ένα τυπικό RTP περιβάλλον. Κατά συνέπεια, το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει, προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποδοτικότητα στη χρήση των πόρων, είναι η μετατροπή του CN σε ένα PTM περιβάλλον. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο τρόπος λειτουργίας, έχουν προταθεί δύο αρχιτεκτονικές. Η πρώτη χρησιμοποιεί τη unicast μορφή του IP, ενώ δεύτερη χρησιμοποιεί τη multicast μορφή του πρωτοκόλλου. Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφούν οι δύο αρχιτεκτονικές [2], [37].

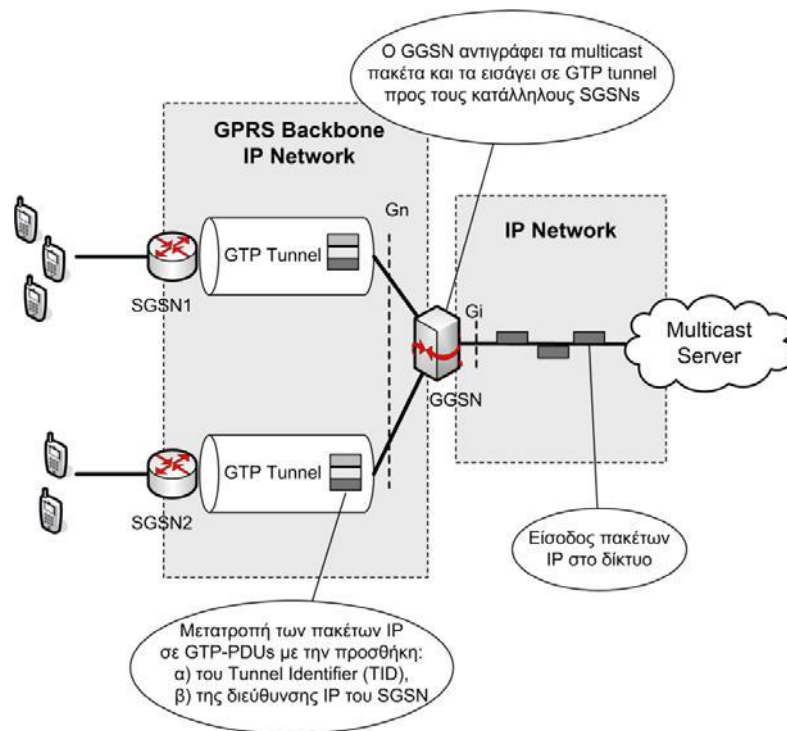
4.5.1 Χρήση IP Unicast

Η χρήση της unicast μορφής του πρωτοκόλλου IP, αποτελεί την εύκολα υλοποιήσιμη λύση. Ουσιαστικά πρόκειται για τη χρήση πολλαπλών unicast μεταδόσεων προκειμένου να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα με τη multicast μετάδοση. Στην περίπτωση αυτή, τα πρωτόκολλα multicast, χρησιμοποιούνται μέχρι τον κόμβο GGSN. Στη συνέχεια, το CN χρησιμοποιεί IP unicast προκειμένου να βελτιστοποιήσει τη χρήση των πόρων κατά τη μετάδοση δεδομένων.

Η Εικόνα 15 δείχνει το μηχανισμό μετάδοσης δεδομένων όταν το CN χρησιμοποιεί μετάδοση IP unicast. Καταρχάς, τα multicast δεδομένα φτάνουν στον κόμβο GGSN είτε από μία πηγή περιεχομένου multicast, είτε από έναν εξωτερικό multicast server. Τα δεδομένα αυτά απευθύνονται σε ένα συγκεκριμένο multicast group από UEs. Ο κόμβος GGSN έχει πλήρη γνώση της τρέχουσας θέσης όλων των UEs που ανήκουν στο αντίστοιχο multicast group. Κατά συνέπεια, γνωρίζει ποιοι κόμβοι SGSNs εξυπηρετούν multicast χρήστες. Σε αυτό το σημείο, ο κόμβος GGSN αντιγράφει τα πακέτα που λαμβάνει και τα αποστέλλει μία φορά σε κάθε κατάλληλο SGSN. Η

μετάδοση γίνεται με unicast τεχνική μέσω των συνόδων GTP (GTP tunnels) που έχουν δημιουργηθεί στη διεπαφή Gn. Όπως επεξηγείται στην Εικόνα 15, στα GTP-PDUs (Protocol Data Units) που αποστέλλονται προς τους SGSNs περιέχουν (εκτός από το αρχικό πακέτο IP και το αναγνωριστικό του tunnel) την IP διεύθυνση του SGSN για τον οποίο προορίζεται το πακέτο.

Στο επόμενο στάδιο, οι κόμβοι SGSNs θα αντιγράψουν τα πακέτα που έλαβαν από τον GGSN, και θα τα αποστείλουν στους κατάλληλους RNCs. Η διαδικασία εξελίσσεται στη διεπαφή Iu-PS με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που εκτελέστηκε προηγουμένως στη διεπαφή Gn. Προφανώς, κατάλληλοι RNCs είναι μόνο αυτοί οι οποίοι ελέγχουν κυψέλες όπου βρίσκονται multicast χρήστες.



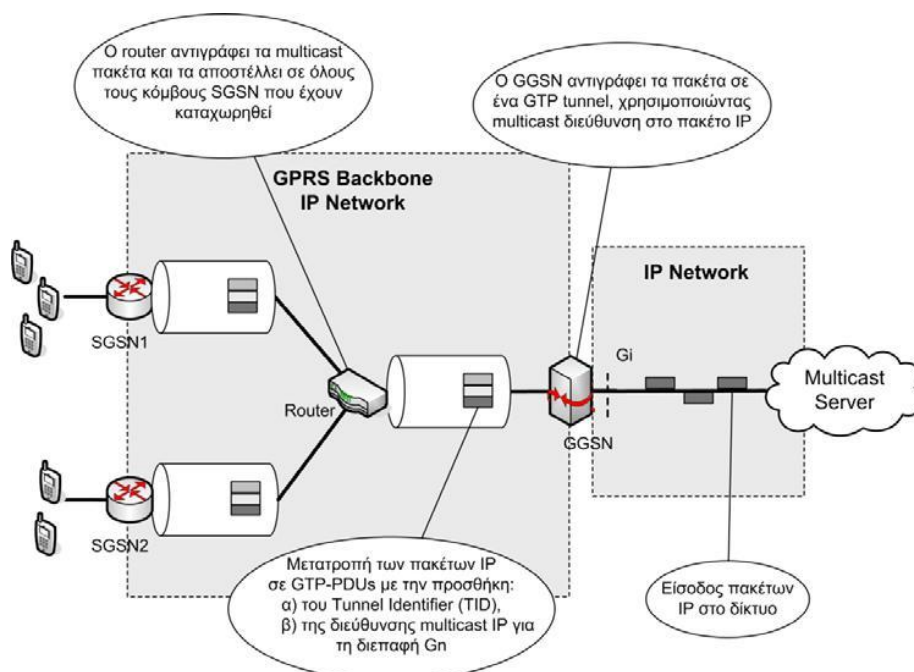
Εικόνα 15: Οι συνοδοί GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP unicast

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι χρησιμοποιεί τους υπάρχοντες μηχανισμούς και ελαχιστοποιεί τις αλλαγές που πρέπει να υποστεί η υπάρχουσα υποδομή του συστήματος UMTS. Οι αλλαγές που εισάγονται επηρεάζουν αποκλειστικά τους κόμβους GGSNs και SGSNs. Το βασικό μειονέκτημα, είναι το γεγονός ότι, ουσιαστικά, δε χρησιμοποιείται πλήρης multicast μετάδοση και, κατά συνέπεια, το δίκτυο δεν επωφελείται από όλα τα προτερήματα αυτού του τύπου μετάδοσης. Πιο αναλυτικά, οι κόμβοι GGSNs και SGSNs θα πρέπει να αντιγράφουν

και να αποστέλλουν τα πακέτα που λαμβάνουν, εξετάζοντας ποιοι κόμβοι SGSNs και RNCs αντίστοιχα, θα πρέπει να λάβουν τα πακέτα αυτά. Η συγκεκριμένη διαδικασία απαιτεί επιπλέον υπολογιστικούς πόρους, από αυτούς τους ήδη φορτωμένους κόμβους [2].

4.5.2 Χρήση IP Multicast

Ένας εναλλακτικός τρόπος βελτιστοποίησης είναι αυτός της χρήσης ειδικών multicast groups μέσα στο ίδιο το GPRS δίκτυο κορμού προκειμένου να γίνονται οι μεταδόσεις στις διεπαφές Gn και Iu-PS. Αντίθετα με την προηγούμενη αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί unicasting των δεδομένων προς τους κατάλληλους SGSNs, στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική, ο GGSN προωθεί κάθε πακέτο μία φορά προς ένα multicast group. Σε αυτό το multicast group έχουν καταχωρηθεί όλοι οι κόμβοι SGSNs που θα πρέπει να λάβουν τα συγκεκριμένα δεδομένα. Στη συνέχεια, IP routers αναλαμβάνουν την αντιγραφή των πακέτων, προκειμένου να παραδοθούν στους κατάλληλους SGSNs. Αυτό σημαίνει ότι οι IP routers του CN θα πρέπει να τροποποιηθούν προκειμένου να υποστηρίζουν IP multicast.



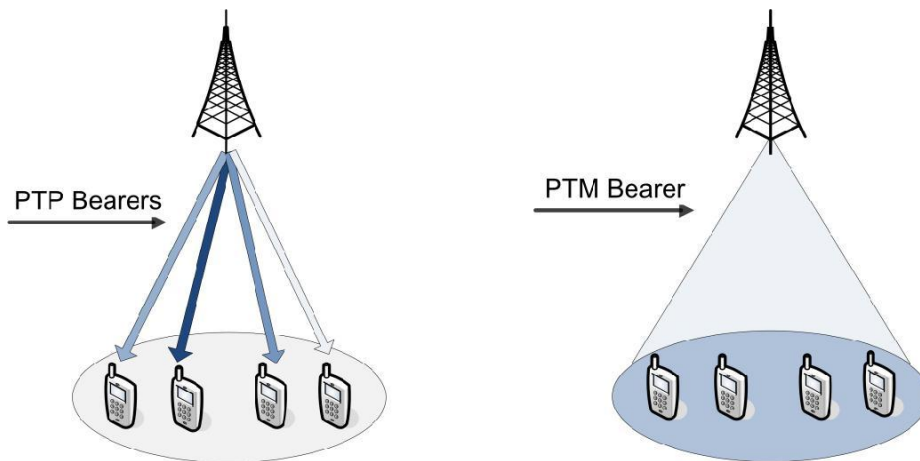
Εικόνα 16: Οι συνοδοί GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP multicast

Η Εικόνα 16 απεικονίζει την εφαρμογή της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής στη διεπαφή Gn. Όπως φαίνεται, τα πακέτα IP που λαμβάνει ο κόμβος GGSN, μετατρέπονται σε GTP-PDUs και αντιγράφονται σε ένα GTP tunnel. Αυτή τη φορά όμως το GTP-PDU δεν περιέχει τη διεύθυνση κάποιου SGSN αλλά μία multicast διεύθυνση που αντιστοιχεί στο σύνολο των SGSNs που θα πρέπει να λάβουν το πακέτο. Στη συνέχεια, ο router πραγματοποιεί την αποστολή των πακέτων προς κάθε κόμβο SGSN. Με ανάλογο τρόπο γίνεται η μετάδοση των multicast δεδομένων προς τους κόμβους RNC.

Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική προσφέρει ελαχιστοποίηση της χρήσης των πόρων του δικτύου. Επιπλέον, μειώνει το φόρτο στους κόμβους GGSN και SGSN του CN. Παρόλα αυτά τα σημαντικά οφέλη, η μετατροπή των κόμβων προκειμένου να υποστηρίξουν αυτή την αρχιτεκτονική, έχει πολύ μεγάλο κόστος. Επομένως, το εξής ερώτημα καθίσταται σημείο διερεύνησης: ποια από τις δύο αρχιτεκτονικές είναι προτιμότερη (πολλαπλό IP unicast ή καθαρό IP multicast); Θα λέγαμε ότι η προτιμότερη αρχιτεκτονική εξαρτάται από την εφαρμογή: η χρήση πολλαπλού IP unicast συνίσταται σε multicast εφαρμογές με χαμηλές απαιτήσεις σε πόρους. Επίσης, η χρήση αυτής της αρχιτεκτονικής κρίνεται αποδοτικότερη για εφαρμογές στις οποίες το πλήθος των χρηστών ανά κυψέλη είναι μικρό. Αντίθετα, η χρήση της αρχιτεκτονικής με IP multicast θα έχει απόδοση σε απαιτητικές εφαρμογές που απευθύνονται σε πολλούς χρήστες ανά κυψέλη. Πάντως, είναι γεγονός πως τα όρια από τα οποία μπορεί να αποφασιστεί ποια αρχιτεκτονική είναι προτιμότερη και ποια όχι, δεν έχουν εντοπιστεί επακριβώς [2], [37].

4.6 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ UTRAN

Όσον αφορά στη μετάδοση δεδομένων στο UTRAN, πρόκειται για ένα ζήτημα το οποίο είναι ακόμα υπό εξέταση στο 3GPP. Ο στόχος είναι η βελτιστοποίηση της ροής δεδομένων για την υπηρεσία MBMS, όταν αυτά διέρχονται από τις διεπαφές του UTRAN (διεπαφές Iub και Uu). Για την ακρίβεια, υπάρχουν δύο ειδών προτάσεις: οι PTP και οι PTM προτάσεις [29], [43].



Εικόνα 17: MBMS bearers για (a) point-to-point, (b) point-to-multipoint

Σχηματικά, οι PTP και PTM μεταδόσεις για τις διεπαφές του UTRAN απεικονίζονται στην Εικόνα 17. Στην PTP μετάδοση έχουμε χρήση πολλαπλών PTP bearers (ένα κανάλι ανά χρήστη), ενώ στην PTM μετάδοση έχουμε χρήση ενός μοναδικού PTM bearer (ένα κοινό κανάλι που εξυπηρετεί όλη την κυψέλη).

Στις παρακάτω παραγράφους περιγράφονται οι δύο τύποι μετάδοσης. Επίσης, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα του κάθε τύπου.

4.6.1 Μετάδοση Point-to-point

Η μετάδοση PTP χρησιμοποιεί αφιερωμένα κανάλια για τη μετάδοση των δεδομένων στο UTRAN. Κάθε αφιερωμένο κανάλι, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 3.1.2, αντιστοιχεί σε ένα UE. Παρόλο που αυτός ο τύπος μετάδοσης δε συνάδει με τη λογική της multicast μετάδοσης, το ενδεχόμενο να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση της υπηρεσίας MBMS είναι πολύ πιθανό. Αυτό γιατί, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, οδηγεί στην αποδοτική χρήση των πόρων του UTRAN [11].

Γενικά, η επιλογή του τύπου μετάδοσης εξαρτάται από τις επιλογές του διαχειριστή του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και συνήθως είναι κατάλληλη ώστε να χρησιμοποιεί αποδοτικά τους ασύρματους πόρους. Τα πλεονεκτήματα που έχει η χρήση αφιερωμένων καναλιών και, κατά συνέπεια, η εφαρμογή της PTP μετάδοσης, είναι τα εξής:

- Ρυθμός μετάδοσης: Τα αφιερωμένα κανάλια (DCH) προσφέρουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης σε σχέση με τα κοινά κανάλια (FACH) που χρησιμοποιούνται στη μετάδοση PTM. Για την ακρίβεια, τα αφιερωμένα κανάλια υποστηρίζουν ρυθμούς που φτάνουν τα 384 Kbps. Από την άλλη πλευρά τα κοινά κανάλια, σύμφωνα με τα πρότυπα στην Release 6 του 3GPP, μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης των 256 Kbps. Οι τρέχουσες προδιαγραφές όμως δεν μπορούν να προσφέρουν ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους των 64 Kbps. Κατά συνέπεια, η PTP μετάδοση είναι προτιμότερη όταν η παρεχόμενη υπηρεσία απαιτεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.
- Αποδοτικότητα για μικρό πλήθος χρηστών ανά κυψέλη: Στην περίπτωση που το πλήθος των χρηστών ανά κυψέλη είναι σχετικά μικρό, η χρήση της PTP μετάδοσης είναι προτιμότερη. Αυτό γιατί η συνολική ισχύς που καταναλώνεται είναι μικρότερη από την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται η PTM μετάδοση. Από μελέτες που έχουν γίνει στο συγκεκριμένο πεδίο, ένα κατάφλι κάτω από το οποίο η χρήση PTP μετάδοσης είναι αποδοτικότερη, είναι 7-15 ενεργοί χρήστες ανά κυψέλη [29].
- Γρήγορος έλεγχος ισχύος: Ο γρήγορος έλεγχος ισχύος είναι ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της χρήσης της τεχνολογίας WCDMA. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των αφιερωμένων καναλιών, άρα και της PTP μετάδοσης είναι ότι επιτρέπει το γρήγορο έλεγχο ισχύος στο UTRAN. Αυτό σημαίνει ότι η ένταση του σήματος που εκπέμπεται μεταβάλλεται ανάλογα με τη δυνατότητα λήψης του UE. Αντίθετα, στην PTM μετάδοση δεν υφίσταται έλεγχος ισχύος. Για την ακρίβεια, στην PTM μετάδοση τα δεδομένα που εκπέμπονται απευθύνονται σε όλα τα UEs, ακόμα και σε αυτά που βρίσκονται στα όρια των κυψελών. Αυτό σημαίνει ότι η ένταση του σήματος που εκπέμπεται θα πρέπει διαρκώς να βρίσκεται στο μέγιστο και, κατά συνέπεια, ο έλεγχος ισχύος δεν έχει καμία εφαρμογή [18].
- Υποστήριξη της κινητικότητας: Τέλος, ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης PTP μετάδοσης είναι η υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών. Τα αφιερωμένα κανάλια DCH είναι τα μόνα κανάλια τα οποία υποστηρίζουν τη διαδικασία του soft-handover. Η διαδικασία αυτή εξασφαλίζει με τον καλύτερο τρόπο την αδιάλειπτη παροχή των υπηρεσιών προς το UE.

Αντίθετα, το κανάλι FACH δεν υποστηρίζει κάποιο σχετικό μηχανισμό, με αποτέλεσμα την αμφίβολη υποστήριξη της υπηρεσίας όταν ο multicast χρήστης μετακινείται μεταξύ των κυψελών [31].

4.6.2 Μετάδοση Point-To-Multipoint

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, η μετάδοση PTM χρησιμοποιεί τα κοινά κανάλια FACH για τη μετάδοση των δεδομένων στο UTRAN. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.1.2, τα κοινά κανάλια χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα από όλα τα UEs της κυψέλης. Επιπλέον, τα κανάλια FACH δίνουν τη δυνατότητα για παροχή πολλαπλών MBMS υπηρεσιών πάνω από το ίδιο κανάλι, με χρήση πολυπλεξίας χρόνου. Οι επιπλέον πληροφορίες ελέγχου, όπως για παράδειγμα οι διαθέσιμες υπηρεσίες και πληροφορίες για τις γειτονικές κυψέλες, μεταδίδονται σε ξεχωριστό κανάλι FACH[2], [11].

Η μετάδοση PTM στο UTRAN αποτελεί επέκταση της multicast λογικής σε ολόκληρο το UMTS. Αυτό γιατί αποσκοπεί στη δημιουργία μίας μόνο ροής δεδομένων για κάθε υπηρεσία MBMS [29]. Η χρήση της PTM μετάδοσης έχει αρκετά πλεονεκτήματα τα οποία παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω:

- Ικανοποιητικός ρυθμός μετάδοσης όταν οι απαιτήσεις είναι χαμηλές: Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, τα αφιερωμένα κανάλια (DCH) προσφέρουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης σε σχέση με τα κοινά κανάλια (FACH). Σύμφωνα, με τις τρέχουσες προδιαγραφές, τα κανάλια FACH δε μπορούν να προσφέρουν ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους των 64 Kbps. Ο συγκεκριμένος ρυθμός μετάδοσης θεωρείται ικανοποιητικός για ένα μεγάλο ποσοστό υπηρεσιών, ακόμα και όταν αυτές περιλαμβάνουν μετάδοση πολυμέσων. Για το λόγο αυτό, αν η συγκεκριμένη MBMS υπηρεσία δεν απαιτεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ο ρυθμός που προσφέρουν τα κανάλια FACH δεν είναι περιοριστικός.
- Αποδοτικότητα για μεγάλο πλήθος χρηστών ανά κυψέλη: Στην περίπτωση που το πλήθος των χρηστών ανά κυψέλη είναι σχετικά μεγάλο (7-15 ενεργοί χρήστες είναι το κάτω όριο), η χρήση PTM μετάδοσης είναι προτιμότερη. Ειδικότερα μετά την επέκταση της υπηρεσίας MBMS, η χρήση της PTM τεχνικής θα είναι μονόδρομος προκειμένου να εξοικονομηθούν πόροι του UTRAN [29].

4.7 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΟ MBMS

Η χρήση της υπηρεσίας MBMS σε ένα δίκτυο εισάγει νέες προκλήσεις σχετικά με την ασφάλεια των επικοινωνιών. Εκτός από τη μόνιμη απειλή των υποκλοπών, η οποία ενυπάρχει στις παραδοσιακές point-to-point υπηρεσίες, δημιουργούνται νέες απειλές ασφάλειας. Για την ακρίβεια, είναι πιθανό το ενδεχόμενο ορισμένοι έγκυροι συνδρομητές να παρακάμψουν διαδικασίες ασφάλειας, καταπατώντας τα δικαιώματα ιδιωτικού απορρήτου και εμπιστευτικότητας των τηλεπικοινωνιών των υπολοίπων συνδρομητών του multicast group. Ένα σχετικό παράδειγμα είναι η διάχυση των κλειδιών αποκρυπτογράφησης από έγκυρους συνδρομητές. Σε μία τέτοια περίπτωση, δίνεται η δυνατότητα σε χρήστες που δεν ανήκουν στο multicast group, να προσπελάσουν δεδομένα που παρέχει η υπηρεσία. Αντιμετωπίζοντας αυτή την απειλή, το σύστημα θα πρέπει να ανανεώνει συχνά τα κλειδιά αποκρυπτογράφησης ώστε αυτά να μην μπορούν να προβλεφθούν από τους συνδρομητές. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη θέματα αποδοτικής χρήσης των ασύρματων πόρων [14].

4.7.1 Πιθανές Απειλές

Οι επιθέσεις που μπορούν να απειλήσουν την ασφάλεια της υπηρεσίας MBMS, μπορούν να εκδηλωθούν σε διάφορα σημεία του δικτύου. Όμως, υπάρχουν κάποια σημεία του δικτύου τα οποία είναι πιο «ευαίσθητα» σε επιθέσεις. Πρόκειται για την ασύρματη διεπαφή (Uu) καθώς και τη διεπαφή μέσω της οποίας ο κόμβος BM-SC επικοινωνεί με τον εξωτερικό εξυπηρετητή. Τέλος, η διεπαφή Gi αποτελεί ένα δυνητικό σημείο επίθεσης στην περίπτωση που ο κόμβος GGSN βρίσκεται σε διαφορετικό φυσικό κόμβο από τον BM-SC [14]. Όσον αφορά στις πιθανές απειλές, αυτές μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

Λήψη δεδομένων από χρήστες εκτός multicast group: Πρόκειται για μία επίθεση κατά την οποία χρήστες που δεν ανήκουν σε κάποιο multicast group, λαμβάνουν δεδομένα που απευθύνονται σε αυτό. Αυτό μπορεί να γίνει είτε μέσω υποκλοπών είτε μέσω της διάδοσης των κλειδιών αποκρυπτογράφησης. Υπάρχουν πολλοί πιθανοί τρόποι μέσω των οποίων τα κλειδιά αυτά μπορούν να φτάσουν στους κακόβουλους χρήστες. Για παράδειγμα, κάποιο έγκυρο μέλος του group μπορεί να εντοπίσει και να αποκαλύψει τα δικά του κλειδιά ή κάποιος κακόβουλος χρήστης μπορεί να διαθέτει κλειδιά από πρόσφατη συμμετοχή στο group.

- Αλλοίωση της ακεραιότητας των δεδομένων: Κατά το ενδεχόμενο αυτό, σε κάποια διεπαφή του δικτύου (ασύρματη ή ενσύρματη) υπάρχει τροποποίηση του περιεχομένου που μεταδίδεται από την υπηρεσία.
- Μπλοκάρισμα της υπηρεσίας: Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ένα ή περισσότερα τμήματα του δικτύου υφίστανται συμφόρηση, προκειμένου να διαταραχθεί η ομαλή μετάδοση των δεδομένων.
- Παραβίαση ιδιωτικού απορρήτου: Σε αυτή την ενδεχόμενη επίθεση, ορισμένα δεδομένα που εντάσσονται στο ιδιωτικό απόρρητο των multicast χρηστών, διαρρέουν προς τον εξωτερικό πάροχο της υπηρεσίας.

4.7.2 Αρχιτεκτονική Ασφάλειας

Η υπηρεσία MBMS ουσιαστικά εισάγει την έννοια της point-to-multipoint εξυπηρέτησης στο σύστημα UMTS. Προφανώς, η θεμελιώδης απαίτηση που υφίσταται είναι η ασφαλής μετάδοση των δεδομένων σε ένα δεδομένο σύνολο χρηστών. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να ενυπάρχουν τρεις μηχανισμοί: ο μηχανισμός ταυτοποίησης των χρηστών, ο μηχανισμός διαχείρισης των κλειδιών και ο μηχανισμός προστασίας των δεδομένων. Στην πραγματικότητα, όλες σχεδόν οι λειτουργίες ασφάλειας διαμοιράζονται μεταξύ του κόμβου BM-SC και των UEs.

Ο BM-SC είναι το σημείο εισόδου των MBMS δεδομένων στο δίκτυο. Κατά συνέπεια, είναι υπεύθυνος για τη λήψη των δεδομένων από τους εξωτερικούς κόμβους και για το χρονοπρογραμματισμό των μεταδόσεων, προκειμένου να αποφευχθεί η συμφόρηση σε κάποιο τμήμα του δικτύου. Άλλες λειτουργίες ασφάλειας του BM-SC είναι η ταυτοποίηση των UEs (για το σκοπό χρησιμοποιείται ο μηχανισμός HTTP digest), η εγγραφή/διαγραφή των UEs από την παρεχόμενη υπηρεσία καθώς και η δημιουργία και η διαχείριση των κλειδιών ασφαλείας. Επίσης, ο συγκεκριμένος κόμβος αναλαμβάνει την εφαρμογή των τεχνικών ασφαλείας στα δεδομένα που αποστέλλει. Τα πρωτόκολλα που συνίστανται για την προστασία της μεταδιδόμενης κίνησης είναι δύο: το Secure Real-time Transport Protocol (SRTP) και το Open Mobile Alliance (OMA) Digital Rights Management (DRM) Content Format (DCF) V2.0. Η επιλογή του χρησιμοποιούμενου πρωτοκόλλου εξαρτάται από τη μεταδιδόμενη κίνηση. Το πρωτόκολλο SRTP χρησιμοποιείται κατά τη μετάδοση

δεδομένων streaming (π.χ. video). Αντίθετα, το OMA DCF V2.0 χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση δεδομένων download.

Όσον αφορά στα UEs, κάθε ένα είναι υπεύθυνο για την εγγραφή/διαγραφή του από τις διάφορες MBMS υπηρεσίες. Επιπλέον πρέπει να έχει την ικανότητα να ζητά και να λαμβάνει τα απαραίτητα κλειδιά που του αποστέλλει ο κόμβος BM-SC. Τέλος, θα πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιήσει τα συγκεκριμένα κλειδιά προκειμένου να αποκρυπτογραφεί και να ανακτά τα MBMS δεδομένα που λαμβάνει [14].

4.8 ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ MBMS

Το κρίσιμότερο σημείο που εντοπίζεται κατά τη multicast μετάδοση δεδομένων στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών είναι ο αποτελεσματικός έλεγχος ισχύος. Οι σταθμοί βάσης των κυψελωτών αυτών δικτύων διαθέτουν περιορισμένους πόρους ισχύος (άρα και περιορισμένη χωρητικότητα κυψέλης), γεγονός που επιβάλλει τη χρήση μίας βέλτιστης στρατηγικής για την όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων ισχύος. Ο έλεγχος ισχύος στοχεύει στη μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος, στην ελαχιστοποίηση του θορύβου στο κυψελωτό δίκτυο και κατά συνέπεια στη διασφάλιση μεγαλύτερης χωρητικότητας επιπλέον χρηστών. Με βάση τη σημασία του αποδοτικού ελέγχου ισχύος, στις επόμενες παραγράφους θα γίνει παράθεση των βασικότερων μεθόδων ελέγχου ισχύος στο UMTS.

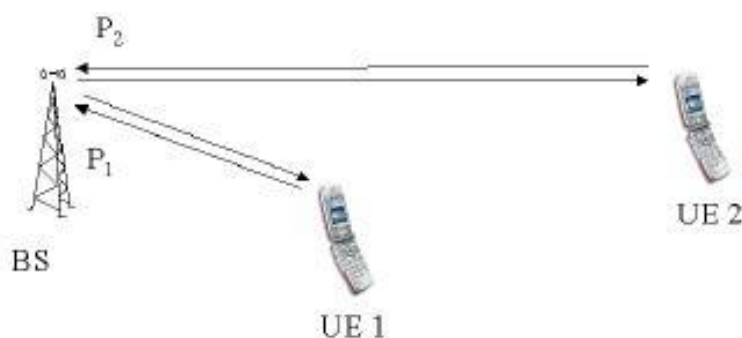
4.8.1 Έλεγχος Ισχύος στο WCDMA

Ο αποδοτικός έλεγχος ισχύος (power control) είναι πολύ σημαντικός για την απόδοση των CDMA συστημάτων. Είναι απαραίτητος για την αντιμετώπιση των φαινομένων εξασθένησης σήματος και παρεμβολής. Ωστόσο, είναι αποδοτικός μόνο σε ορισμένους τύπους καναλιών ανάλογα με τον αλγόριθμο ελέγχου ισχύος που χρησιμοποιείται. Η λανθασμένη χρήση του μπορεί να οδηγήσει σε υψηλό επίπεδο σπατάλης ισχύος. Ο έλεγχος ισχύος χρειάζεται τόσο στον ανερχόμενο όσο και στον κατερχόμενο σύνδεσμο [38], [49].

Ο γρήγορος έλεγχος ισχύος (fast power control) είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για το WCDMA, ιδιαίτερα στον ανερχόμενο σύνδεσμο. Χωρίς αυτόν

ένας χρήστης με μεγάλη ισχύ θα μπορούσε να μπλοκάρει μία ολόκληρη κυψέλη. Συγκεκριμένα, υπάρχει η πιθανότητα η υπερβολική ισχύς να οδηγήσει σε υψηλά επίπεδα θορύβου.

Η Εικόνα 18 απεικονίζει το λεγόμενο near-far πρόβλημα στον ανερχόμενο σύνδεσμο. Εάν ο χρήστης UE1 εκπέμπει με μεγάλη ισχύ τότε μπορεί να περιορίσει το σήμα από τον UE2 και η περιοχή κάλυψής του τελευταίου να μειωθεί δραματικά [46].



Εικόνα 18: Near-far πρόβλημα στον ανερχόμενο σύνδεσμο [36]

Η βέλτιστη στρατηγική του ελέγχου ισχύος είναι ο σταθμός βάσης να λαμβάνει το ίδιο ποσό ισχύος / bit από κάθε UE ανεξάρτητα από τη θέση του ώστε να μειωθούν τα επίπεδα θορύβου και να μεγιστοποιηθεί η χωρητικότητα της κυψέλης [32], [36].

Στην περίπτωση του κατερχόμενου συνδέσμου δεν υφίσταται το near-far πρόβλημα. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή όλοι οι χρήστες διαμοιράζονται την ισχύ εκπομπής του Node B, η οποία, όμως είναι περιορισμένη. Κατά συνέπεια, όταν ένας χρήστης καταναλώνει μεγάλη ισχύ τότε απομένει λιγότερη ποσότητα ισχύος για τους υπόλοιπους χρήστες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της χωρητικότητας της κυψέλης. Είναι κατανοητό ότι στον κατερχόμενο σύνδεσμο ο έλεγχος ισχύος δε χρειάζεται για να αντιμετωπίσει το near-far πρόβλημα αλλά για να διατηρήσει την κατανάλωση ισχύος σε ένα επίπεδο που να διασφαλίζονται οι ανάγκες των χρηστών.

4.8.2 Μέθοδοι Ελέγχου Ισχύος στο UMTS

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι ελέγχου ισχύος στο UMTS:

- Έλεγχος Ισχύος Ανοικτού Βρόγχου (Open Loop Power Control).
- Έλεγχος Ισχύος Κλειστού Βρόγχου (Closed Loop Power Control).
- Έλεγχος Ισχύος Εξωτερικού Βρόγχου (Outer Loop Power Control).

Οι τρεις αυτές μέθοδοι παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

4.8.2.1 Έλεγχος Ισχύος Ανοικτού Βρόγχου

Ο μηχανισμός ελέγχου ισχύος ανοικτού βρόγχου -επιχειρεί να- κάνει εκτίμηση του path loss στον κατερχόμενο σύνδεσμο, μέσω ενός σήματος (beacon signal) υποθέτοντας ότι η τιμή του είναι ίση με αυτή στον ανερχόμενο σύνδεσμο. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος είναι ανακριβής αφού το φαινόμενο της γρήγορης εξασθένησης του σήματος (fast fading) διαφέρει σημαντικά ανάμεσα στον ανερχόμενο και κατερχόμενο σύνδεσμο, λόγω της μεγάλης διαφοράς συχνοτήτων στους δύο συνδέσμους στο WCDMA FDD τρόπο λειτουργίας [8]. Παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μόνο για να παράγει μια πρόχειρη αρχική εκτίμηση ισχύος στον κινητό σταθμό στην αρχή της σύνδεσης.

Στην περίπτωση που επιλέγεται ο TDD τρόπος λειτουργίας, τότε τόσο ο ανερχόμενος όσο και ο κατερχόμενος σύνδεσμος χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες με αποτέλεσμα η εξασθένηση των σημάτων τους να συσχετίζεται άμεσα. Τότε ο μηχανισμός ελέγχου ισχύος ανοικτού βρόγχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά.

4.8.2.2 Έλεγχος Ισχύος Κλειστού Βρόγχου

Η λύση για τον έλεγχο ισχύος στο WCDMA είναι ο μηχανισμός ελέγχου ισχύος κλειστού βρόγχου (επίσης αποκαλείται inner loop power control) στον ανερχόμενο και κατερχόμενο σύνδεσμο.

Στον ανερχόμενο σύνδεσμο όταν χρησιμοποιείται η τεχνική ελέγχου ισχύος κλειστού βρόχου, το Node B εκτελεί συχνές εκτιμήσεις του ληφθέντος Signal-to-Interference Ratio (SIR) και το συγκρίνει με μία αρχικά ορισμένη, επιθυμητή τιμή του SIR (target SIR). Εάν το υπολογισθέν SIR είναι μεγαλύτερο από το target SIR τότε το Node B θα επιβάλλει στο UE να μειώσει την ισχύ εκπομπής του. Αντιθέτως, αν είναι μικρότερο, το Node B θα επιβάλλει στο UE να αυξήσει την ισχύ του. Αυτός ο υπολογισμός εκτελείται 1500 φορές το δευτερόλεπτο (1.5 KHz) για κάθε UE λειτουργώντας έτσι πολύ γρήγορα και προλαμβάνοντας όποια πιθανή αλλαγή στις συνθήκες του καναλιού και στο path loss αντιμετωπίζοντας με αυτόν τον τρόπο το πρόβλημα του fast fading.

Η ίδια τεχνική του ελέγχου ισχύος κλειστού βρόχου χρησιμοποιείται και στον κατερχόμενο σύνδεσμο, όπου δεν υφίσταται το near-far πρόβλημα. Όλα τα σήματα στην κυψέλη προέρχονται από το μοναδικό σταθμό βάσης προς όλους τους χρήστες. Είναι όμως επιθυμητό να παρέχεται ένα οριακό ποσό επιπλέον ισχύος στους χρήστες που βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης αφού αυτοί υφίστανται αυξημένη παρεμβολή / θόρυβο από γειτονικές κυψέλες.

4.8.2.3 Έλεγχος Ισχύος Εξωτερικού Βρόχου

Η τρίτη μέθοδος ελέγχου ισχύος, ο έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου, προσδιορίζει το target SIR, που αναφέρθηκε παραπάνω. Καθορίζει το στόχο για τον έλεγχο ισχύος κλειστού βρόχου ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή ποιότητα σήματος. Το target SIR μπορεί να αλλάζει συνεχώς λόγω των διαφορετικών συνθηκών και των διαφορετικών παραμέτρων του εκάστοτε καναλιού. Πιο συγκεκριμένα, το SIR εξαρτάται από την ταχύτητα του UE και το multipath προφίλ του χρήστη. Για παράδειγμα, ένα UE που κινείται με μεγάλη ταχύτητα θα απαιτεί υψηλό SIR συγκριτικά με ένα ακίνητο. Όμως, για την εξυπηρέτηση και τον καθορισμό του SIR για τη χειρότερη περίπτωση, π.χ. για μεγάλες ταχύτητες, θα υπήρχε σπατάλη χωρητικότητας για τις συνδέσεις με χαμηλές ταχύτητες. Συνεπώς, η καλύτερη στρατηγική είναι η τιμή του target SIR να έχει την ελάχιστη τιμή που ικανοποιεί την επιθυμητή ποιότητα. Η σχέση που δίνει το target SIR φαίνεται στην Εξίσωση 1.

$$SIR = \left(\frac{S}{I} \right)_{\min} = \frac{R_b}{W} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\min} \quad (1)$$

όπου R_b ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, W το εύρος ζώνης (bandwidth) και E_b/N_0 η ενέργεια συμβόλου προς τη φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου (signal energy per bit divided by noise spectral density) που απαιτείται για την επίτευξη μιας προκαθορισμένης συχνότητας εμφάνισης λανθασμένου block (Block Error Rate, BLER) [32], [36], [38].

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι η διαδικασία του Soft Handover προσθέτει επιπλέον πολυπλοκότητα στον έλεγχο ισχύος, αφού πολλοί σταθμοί βάσης εκπέμπουν προς ένα UE ταυτόχρονα και στην ίδια συχνότητα με πιθανώς αλληλοσυγκρουόμενες εντολές ισχύος που λαμβάνονται από το UE [38]. Κατά τη διάρκεια του softer handover μόνο ένα power control loop για κάθε σύνδεση είναι ενεργό, ενώ κατά το soft handover δύο power control loops για κάθε σύνδεση είναι ενεργά, ένα για κάθε σταθμό βάσης [36].

4.8.3 Έλεγχος Ισχύος στη Multicast Μετάδοση

Ο έλεγχος ισχύος δεν έχει καλή απόδοση όταν η μετάδοση κατευθύνεται σε πολλά τερματικά με διαφορετικά μοντέλα διάδοσης. Στην απλούστερη περίπτωση ο πιο αδύναμος σύνδεσμος στο multicast group καθορίζει την απαιτούμενη ισχύ μετάδοσης, οδηγώντας έτσι σε αυξημένη παρεμβολή για όλους τους χρήστες και άρα σε απώλεια χωρητικότητας.

Όπως προαναφέρθηκε ο μηχανισμός ελέγχου ισχύος κλειστού βρόχου είναι αποδοτικός για να ελεγχθεί η παρεμβολή και να αυξηθεί η χωρητικότητα στα κυψελωτά συστήματα. Στις PTP μεταδόσεις (βλ. παράγραφο 4.6.1) στην κατεύθυνση του κατερχόμενου συνδέσμου είναι επιθυμητό να παρέχεται ένα οριακό ποσό επιπλέον ισχύος στους χρήστες που βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης αφού αυτοί υφίστανται αυξημένη παρεμβολή από γειτονικές κυψέλες. Επιπλέον, στην κατεύθυνση αυτή είναι απαραίτητος ένας τρόπος ώστε να ενισχύονται τα σήματα που

εξασθενούν από το φαινόμενο του Rayleigh fading¹ στις χαμηλές ταχύτητες κίνησης των χρηστών. Με άλλα λόγια, ο έλεγχος ισχύος χρησιμοποιείται για να διατηρήσει την ποιότητα του συνδέσμου και να παρέχει μια αξιόπιστη σύνδεση ώστε ο χρήστης να λαμβάνει δεδομένα με αποδεκτούς ρυθμούς σφαλμάτων. Επίσης, η εκπομπή με όσο το δυνατόν λιγότερη ισχύ εξασφαλίζει ότι θα υπάρχει ελάχιστη παρεμβολή που θα επηρεάζει τις γειτονικές κυψέλες.

Στις PTM μεταδόσεις (παράγραφος 4.6.2) επιτυγχάνονται όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα όταν εφαρμόζεται έλεγχος ισχύος. Σε μια απλή μορφή πολυεκπομπής, ο Node B εκπέμπει σε ένα επίπεδο ισχύος αρκετό ώστε να υποστηρίξει τη σύνδεση με το χρήστη που έχει την υψηλότερη ανάγκη ισχύος ανάμεσα σε όλους τους χρήστες του multicast group. Η μέθοδος αυτή είναι αποδοτική αφού ο χρήστης με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις ισχύος θα χρειαζόταν την ίδια ισχύ και στην PTP μετάδοση. Έτσι ικανοποιώντας αυτή την ανάγκη σε ισχύ, η ισχύς μετάδοσης θα είναι αρκετή για όλους τους άλλους χρήστες του multicast group.

Συνεπώς, η εκπεμπόμενη ισχύς διατηρείται σε ένα υψηλό επίπεδο για μεγάλη χρονική διάρκεια, το οποίο με τη σειρά του αυξάνει την ποιότητα κάθε δέκτη στο multicast group. Ωστόσο, η μέση ισχύς και η μέση λαμβανόμενη ποιότητα θα είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη. Το σημαντικό πλεονέκτημα του έλεγχου ισχύος είναι ότι ελαχιστοποιεί την εκπεμπόμενη ισχύ [44].

4.8.4 Έλεγχος Ισχύος και Κανάλια Μεταφοράς στο MBMS

Σε αυτή την ενότητα το ερώτημα που τίθεται είναι κάτω από ποιες προϋποθέσεις, λαμβάνοντας υπόψη τα επίπεδα κατανομής ισχύος, ένα κανάλι είναι κατάλληλο για τη μετάδοση του multicast περιεχομένου.

Η κυριαρχούσα άποψη για την υποστήριξη multicast μετάδοσης στο UTRAN είναι η

¹ Η μικρής κλίμακας διάλειαση καλείται διάλειαση Rayleigh (Rayleigh fading) εάν υπάρχουν πολλαπλές διαδρομές ανάκλασης που είναι πολλές σε αριθμό και δεν υπάρχει συνιστώσα σήματος, οπτική επαφή ή περιβάλλουσα ενός τέτοιου λαμβανόμενου σήματος είναι στατιστικά περιγραμμένη από μια Rayleigh συνάρτηση κατανομής πιθανότητας.

χρησιμοποίηση των υπαρχόντων καναλιών με μικρές διαφοροποιήσεις (π.χ. εισαγωγή multicast διευθυνσιοδότησης). Τα κανάλια μεταφοράς του UMTS που είναι διαθέσιμα στο downlink και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για multicast μετάδοση είναι το DCH, το FACH και το HS-DSCH. Κάθε κανάλι έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά τον έλεγχο ισχύος [36], [40], [44].

Ωστόσο, ενώ τα Release '99 κανάλια (DCH και FACH) έχουν ήδη προτυποποιηθεί για την μετάδοση MBMS υπηρεσιών, η χρήση του «MBMS over HS-DSCH» είναι μία πρόσφατη ιδέα που μέχρι στιγμής έχει γνωρίσει μικρό ερευνητικό ενδιαφέρον. Βέβαια, η ιδέα αυτή για χρήση του HS-DSCH αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο για την περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης του MBMS και αποτελεί ουσιαστικό αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Η κύρια απαίτηση είναι να γίνεται αποδοτική χρήση των πόρων του συστήματος. Αυτή η απαίτηση κατατάσσει τα κοινά κανάλια ως την πρώτη επιλογή αφού πολλοί χρήστες μπορούν να μοιραστούν ταυτόχρονα τους ίδιους πόρους. Ωστόσο, αυτό εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών του multicast group, τον τύπο υπηρεσίας καθώς και από το QoS που μπορεί να διασφαλιστεί. Για το λόγο αυτό, όταν ο αριθμός των χρηστών που λαμβάνουν την MBMS υπηρεσία είναι μικρός είναι πιο αποδοτικό να χρησιμοποιηθούν αφιερωμένα κανάλια μεταφοράς ξεχωριστά για κάθε χρήστη ώστε να ελαχιστοποιηθεί η εκπεμπόμενη ισχύς και η παρεμβολή. Το σημαντικό ερώτημα λοιπόν που τίθεται στο σημείο αυτό είναι το σημείο εναλλαγής (switching point) μεταξύ αφιερωμένων και κοινών καναλιών.

Για το λόγο αυτό, στο MBMS στάνταρ έχει αναπτυχθεί ένας μηχανισμός που αποκαλείται MBMS Counting Mechanism [11]. Ο μηχανισμός αυτός είναι υπεύθυνος για την επιλογή ανάμεσα σε PTP (χρήση πολλαπλών DCH) ή PTM (χρήση ενός μοναδικού FACH) μεταδόσεις. Τα σημαντικότερα προβλήματα του υπάρχοντος MBMS Counting Mechanism είναι η απουσία ευρυζωνικών χαρακτηριστικών (δηλαδή της HSPA τεχνολογίας) καθώς και η σπατάλη σημαντικού τμήματος των (ούτως ή άλλως περιορισμένων) πόρων ισχύος.

Ειδικότερα, η χρήση του HS-DSCH στη λειτουργικότητα του MBMS δεν έχει ακόμη καθοριστεί στο μηχανισμό αυτό. Το HS-DSCH διαθέτει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που το καθιστούν ιδανικό για τη μετάδοση MBMS εφαρμογών. Επιπλέον, ο MBMS

Counting Mechanism θεωρεί ένα προκαθορισμένο κατώφλι εναλλαγής μεταξύ DCH και FACH. Το κατώφλι αυτό ορίζεται με βάση το πλήθος των χρηστών που λαμβάνουν μία MBMS υπηρεσία σε μία κυψέλη. Για λίγους χρήστες προτιμάται η χρήση του DCH, ενώ για μεγάλο αριθμό χρηστών ευνοείται η χρήση του FACH καναλιού. Ωστόσο, η πληροφορία για το πλήθος των χρηστών μόνο δεν είναι αρκετή για να ορίσει το σημείο εναλλαγής. Έτσι, υπάρχει περίπτωση ένας αριθμός χρηστών που χρησιμοποιεί αφιερωμένα κανάλια και που είναι μεγαλύτερος από το σημείο εναλλαγής να χρειάζεται λιγότερη ισχύ από την περίπτωση χρησιμοποίησης ενός μόνο κοινού καναλιού. Πράγματι, οι χρήστες που βρίσκονται στα όρια της κυψέλης χρειάζονται περισσότερη ισχύ από αυτούς που βρίσκονται κοντά στο Node B [44].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ

Η ενότητα αυτή είναι αφιερωμένη στην ανάλυση της κατανομής ισχύος των καναλιών πολυεκπομπής. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζονται οι τιμές ισχύος που πρέπει να κατανεμηθούν από το Node B στα διάφορα κανάλια μεταφοράς (DCH, FACH και HS-DSCH) κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών.

Η ανάλυση αυτή πραγματοποιείται αφού, όπως κατέστη σαφές και στα προηγούμενα κεφάλαια, το βασικότερο κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου καναλιού μεταφοράς είναι η κατανάλωση ισχύος των καναλιών πολυεκπομπής.

5.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΚΟΙΝΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση την κατανομής ισχύος των καναλιών πολυεκπομπής πρέπει να αναφερθεί ότι ένα ποσοστό της downlink ισχύος ενός Node B πρέπει να κατανεμηθεί για κοινά κανάλια ελέγχου (CPICH, SCH, PICH, AICH, CCPCH), τα οποία μεταδίδονται ανεξάρτητα από τα κανάλια μεταφοράς. Η ισχύς αυτή επηρεάζει το χρόνο συγχρονισμού, την ποιότητα λήψης του broadcast καναλιού κ.α. Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τυπικές τιμές της κατανομής ισχύος για τα κοινά αυτά κανάλια στην περίπτωση ενός macrocell περιβάλλοντος [36].

Downlink common channel	Relative to CPICH	Activity	Average power allocation with 20 W maximum power
Common pilot channel CPICH	0 dB	100 %	2.0 W
Primary synchronisation channel SCH	-3 dB	10 %	0.1 W
Secondary synchronisation channel SCH	-3 dB	10 %	0.1 W
Primary common control physical channel P-CCPCH	-5 dB	90 %	0.6 W
Paging indicator channel PICH	-8 dB	100 % ¹	0.3 W
Acquisition indicator channel AICH	-8 dB	100 % ¹	0.3 W
Secondary common control physical channel S-CCPCH	0 dB ²	10 % ³	0.2 W
Total common channel powers			3.6 W

¹Worst case

²Depends on the FACH bit rate, 32 kbps assumed here

³Depends on the amount of PCH and FACH traffic

Πίνακας 4: Τιμές ισχύος για κοινά κανάλια [36]

Όπως μπορεί να φανεί από τον πίνακα αυτό, η ισχύς που κατανέμεται στα κοινά κανάλια ανέρχεται στο 15% περίπου της συνολικής εκπομπής ισχύος του Node B (3 Watt ή περίπου 35 dBm για την περίπτωση ενός macrocell περιβάλλοντος). Το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει ακόμα και το 20%. Γενικά όμως, για την περίπτωση ενός macrocell περιβάλλοντος θεωρείται ότι για το CPICH αφιερώνονται 2 Watt και για τα υπόλοιπα κοινά κανάλια 1 Watt. Τα κανάλια αυτά πρέπει να έχουν περισσότερη ισχύ από τα αφιερωμένα κανάλια αφού πρέπει να καλύπτουν όλη την κυψέλη [17], [36].

5.2 ΧΡΗΣΙΜΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Πριν την ανάλυση για τα επίπεδα ισχύος των καναλιών μεταφοράς κρίνεται σκόπιμο να καθοριστεί η ορολογία που χρησιμοποιείται στη συνέχεια του κεφαλαίου για την καλύτερη κατανόησή του [8]. Ο Πίνακας 5 απεικονίζει ακριβώς την ορολογία αυτή.

Ορολογία	Επεξήγηση
I_{or}	Συνολική εκπεμπόμενη φασματική πυκνότητα ισχύος (PSD ή Power Spectral Density) στον κατερχόμενο σύνδεσμο, μετρημένη στο Node B, κανονικοποιημένη στο chip rate
E_c	Μέση ισχύς ανά chip του φυσικού καναλιού
\hat{I}_{or}	Συνολική εκπεμπόμενη PSD στον κατερχόμενο σύνδεσμο, μετρημένη στην κεραία του δέκτη και κανονικοποιημένη στο chip rate
I_{oc}	Η PSD μίας ζώνης συχνοτήτων ελαττωμένη από λευκό θόρυβο, μετρημένη στην κεραία του δέκτη και κανονικοποιημένη στο chip rate
N_t	Ο effective θόρυβος PSD, μετρημένος στο δέκτη

Πίνακας 5: Χρήσιμη ορολογία

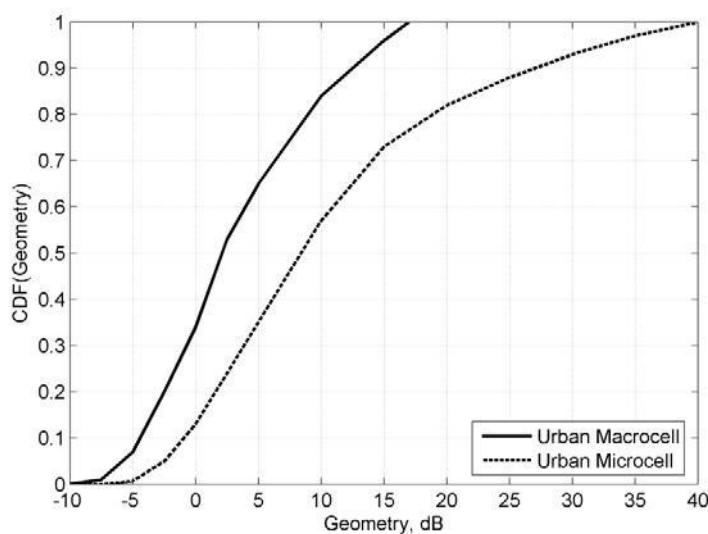
5.2.1 Geometry Factor

Ο λόγος CNIR (carrier to noise and interference ratio) ή Geometry Factor (G) όπως αποκαλείται διαφορετικά, δίνεται από τη σχέση:

$$CNIR = G = \frac{\hat{I}_{or}}{I_{oc} + N_t}$$

Εξίσωση 1: Geometry Factor (G)

Ενδεικτικές τιμές του G που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια είναι οι: G= -3 dB ή G= -6 dB, οι οποίες μεταφράζονται ως εξής. G= -3 dB σημαίνει ότι το $(I_{oc} + N_t)$ είναι 2 φορές μεγαλύτερο από το \hat{I}_{or} και αντίστοιχα G= -6 dB σημαίνει ότι το $(I_{oc} + N_t)$ είναι 4 φορές μεγαλύτερο από το \hat{I}_{or} .



Εικόνα 19: Σχέση G και περιοχής κάλυψης κυψέλης

Στην πραγματικότητα, ο παράγοντας G εκφράζει το ποσοστό της περιοχής κάλυψης μίας κυψέλης. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι για την περίπτωση ενός macrocell περιβάλλοντος μία τιμή του G ίση με -6 dB αντιστοιχεί σε 100% περιοχή κάλυψης μίας κυψέλης ενώ μία τιμή του G ίση με -3 dB αντιστοιχεί σε 84% περιοχή κάλυψης μίας κυψέλης. Μια ενδεικτική αναπαράσταση μεταξύ της παραμέτρου G και της περιοχής κάλυψης μίας κυψέλης απεικονίζεται στην Εικόνα 19, για την περίπτωση

τόσο του macrocell όσο και του microcell. Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τις ακριβείς τιμές του παράγοντα G για διαφορετικές περιοχές κάλυψης.

Κάλυψη	Macrocell G (dB)	Microcell G (dB)
0%	17	40
20%	8.5	18
40%	3.5	11
60%	1.5	7
80%	-2.5	2
100%	-6	-3

Πίνακας 6: Αντιστοιχία περιοχής κάλυψης και τιμές G

5.2.2 Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (SINR)

Το Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (SINR) συνιστά μία κρίσιμη μετρική, η οποία διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο για την ανάλυση της απόδοσης κυρίως του HS-DSCH καναλιού. Στην πραγματικότητα, αποτελεί και ένα βασικό στοιχείο διαφοροποίησης της τεχνολογίας HSDPA από την κλασσική Release '99 τεχνολογία. Στα Release '99 κανάλια μεταφοράς, δηλαδή τα DCH και FACH, παράγοντα ποιότητας αποτελεί κατά κύριο λόγο η μετρική E_b/N_0 (received-energy-per-bit-to-noise ratio). Ωστόσο, στην περίπτωση του HSDPA, η μετρική αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθώς ο ρυθμός μετάδοσης του HS-DSCH αλλάζει σε κάθε TTI χρησιμοποιώντας διαφορετικά σχήματα διαμόρφωσης και διαφορετικό πλήθος High Speed - Physical Downlink Shared Channel (HS-PDSCH) κωδίκων [35]. Η τιμή του SINR για ένα single-antenna Rake receiver υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 2.

$$SINR = SF_{16} \frac{P_{HS-DSCH}}{pP_{own} + P_{other} + P_{noise}}$$

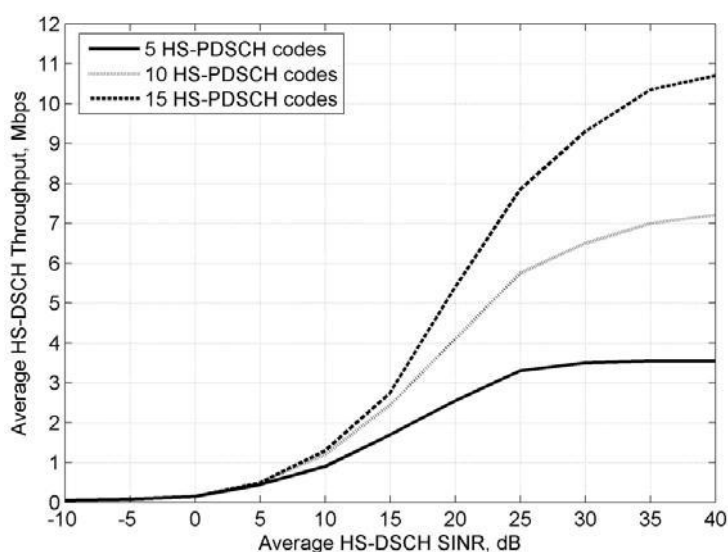
Εξίσωση 2: Υπολογισμός τιμής SINR

όπου $P_{HS-DSCH}$ είναι η εκπεμπόμενη ισχύς του HS-DSCH, P_{own} ο θόρυβος / παρεμβολή από την ίδια κυψέλη, P_{other} ο θόρυβος από τις γειτονικές κυψέλες και P_{noise} ο Additive White Gaussian Noise (AWGN) θόρυβος. Η παράμετρος p συνιστά

τον παράγοντα ορθογωνιότητας ($\rho = 0$ για πλήρη ορθογωνιότητα), ενώ το SF_{16} είναι το spreading factor που λαμβάνει την τιμή 16, όπως ορίζεται στο πρότυπο HSDPA.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει άμεση σχέση ανάμεσα στο πλήθος των HS-PDSCH κωδίκων που ανατίθενται στο HS-DSCH κανάλι και στη μέγιστη ρυθμοαπόδοση που μπορεί να επιτευχθεί στο κανάλι αυτό. Η σχέση αυτή μπορεί να απεικονιστεί στην Εικόνα 20 [35].

Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 20 παρακάτω, όσο περισσότεροι HS-PDSCH κωδικοί ανατίθενται στο HS-DSCH τόσο μεγαλύτερη ρυθμοαπόδοση μπορεί να επιτευχθεί. Η μεγαλύτερη ρυθμοαπόδοση επιτυγχάνεται με τη χρήση του μέγιστου πλήθους HS-PDSCH κωδίκων, δηλαδή 15. Εναλλακτικά, μπορεί να ειπωθεί ότι όσο οι HS-PDSCH κωδικοί αυξάνονται, για την επίτευξη μίας συγκεκριμένης ρυθμοαπόδοσης απαιτείται μικρότερη τιμή SINR.



Εικόνα 20: Πραγματική ρυθμοαπόδοση κυψέλης ανάλογα με το SINR

5.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΟ FACH

Το FACH κανάλι υποστηρίζει μόνο έλεγχο ισχύος ανοικτού βρόγχου ή σταθερή ποσότητα ισχύος και όχι έλεγχο ισχύος κλειστού βρόγχου, αφού δεν υπάρχει κάποιο κανάλι επιστροφής-ανάδρασης (feedback channel) [44].

Ένα κοινό FACH κανάλι πρέπει να παραληφθεί από όλα τα UEs μέσα στην κυψέλη ακόμα και από αυτά που βρίσκονται στα όρια της. Κατά συνέπεια, απαιτείται περισσότερη ισχύς συγκριτικά με ένα DCH. Η συνολική εκπεμπόμενη ισχύς που ανατίθεται για ένα FACH κανάλι είναι σταθερή και σε μια τιμή που να εγγυάται το απαιτούμενο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας, σε όλη την γεωγραφική περιοχή κάλυψης της κυψέλης, και ανεξάρτητα από τη θέση των χρηστών μέσα σε αυτή [31], [40].

Ωστόσο, υπενθυμίζεται ότι κατανέμοντας μεγάλο ποσοστό ισχύος σε αυτό το κανάλι προκύπτει σπατάλη ισχύος, μείωση της αποδοτικότητας και αύξηση της παρεμβολής. Αντίθετα, κατανομή μικρού ποσοστού ισχύος οδηγεί σε υψηλό ρυθμό σφαλμάτων (BLER) σε συγκεκριμένες περιοχές της κυψέλης και κατά συνέπεια σε μείωση της συνολικής κάλυψης της κυψέλης και σε επιπλέον κόστος για τη διόρθωση των σφαλμάτων [32].

Η χρήση ενός FACH καναλιού αποτελεί μια λύση για την υλοποίηση του multicasting στο UMTS. Οι χρήστες που βρίσκονται μέσα στο multicast group λαμβάνουν δεδομένα από το κανάλι, αλλά δε μπορούν να στείλουν πακέτα στον ανερχόμενο σύνδεσμο. Από τη στιγμή που υπάρχει ανάγκη για την πλήρη κάλυψη της κυψέλης είναι φανερό ότι προκύπτει μια «διαμάχη» ανάμεσα στην ποιότητα υπηρεσίας των χρηστών που βρίσκονται στα όρια της κυψέλης, της σπατάλης πόρων και της παρεμβολής που προκαλείται στους άλλους χρήστες της κυψέλης.

5.3.1 Επίπεδα Ισχύος FACH για MBMS Υπηρεσίες

Στη συνέχεια αυτής της ενότητας θα γίνει μία εκτίμηση της ισχύος που απαιτείται για μία MBMS υπηρεσία όταν τα δεδομένα μεταφέρονται από το FACH κανάλι μεταφοράς, το οποίο υπενθυμίζεται ότι αντιστοιχίζεται στο Secondary Common Control Physical Channel (S-CCPCH) κανάλι του φυσικού επιπέδου (βλ. Παράγραφο 3.1.2.3).

Ουσιαστικά, για την εύρεση της απαιτούμενης ισχύος μελετάται η απόδοση του S-CCPCH καναλιού για την περίπτωση του MBMS. Η απόδοση αυτή μετριέται με βάση τη σχέση μεταξύ BLER και E_c/I_{0g} . Η σχέση αυτή, υποδεικνύει την ισχύ που πρέπει να κατανομηθεί για μία MBMS υπηρεσία ώστε να επιτευχθεί μία συγκεκριμένη τιμή BLER στο δέκτη-χρήστη.

Ec/Ior	%Tx	Ec/Ior	%Tx	Ec/Ior	%Tx
0.0	100.0%	-5.5	28.2%	-11.0	7.9%
-0.5	89.1%	-6.0	25.1%	-12.0	6.3%
-1.0	79.4%	-6.5	22.4%	-13.0	5.0%
-1.5	70.8%	-7.0	20.0%	-14.0	4.0%
-2.0	63.1%	-7.5	17.8%	-15.0	3.2%
-2.5	56.2%	-8.0	15.8%	-16.0	2.5%
-3.0	50.1%	-8.5	14.1%	-17.0	2.0%
-3.5	44.7%	-9.0	12.6%	-18.0	1.6%
-4.0	39.8%	-9.5	11.2%	-19.0	1.3%
-4.5	35.5%	-10.0	10.0%	-20.0	1.0%
-5.0	31.6%				

Πίνακας 7: Μετατροπή Ec/Ior (dB) σε ποσοστό εκπεμπόμενης ισχύος (%)

Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει τη σχέση ανάμεσα στην τιμή του Ec/Ior και του ποσοστού εκπεμπόμενης ισχύος από το Node B [13].

Ακολούθως, παρουσιάζεται η απόδοση του S-CCPCH (σχέση μεταξύ BLER και Ec/Ior) για τα μοντέλα κινητικότητας Pedestrian B, Vehicular A και Case 2 τα οποία περιγράφονται στις αναφορές [5], [6] και για ταχύτητες 3 km/h. Τονίζεται ότι μας ενδιαφέρουν κυρίως οι περιπτώσεις όπου επιτυγχάνεται BLER 1%, ώστε να έχουμε μικρή απώλεια σφαλμάτων δεδομένων. Αναφορικά με την κάλυψη κυψέλης επιδιώκεται 95%, ώστε η μετάδοση των δεδομένων να καλύπτει σχεδόν ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης. Ωστόσο θα παρουσιαστούν κατανομές ισχύος για διάφορα ποσοστά κάλυψης κυψέλης με το FACH.

Ο Πίνακας 8 παρουσιάζει τις βασικές παραμέτρους της μελέτης προσομοίωσης.

Παράμετρος	Τιμή
S-CCPCH Slot format	10 (64 Kbps) 12 (128 Kbps)

Transport Block Size & number of transport blocks per TTI	Varied according to information rate (64 or 128 Kbps) and TTI value. 1280 (64 Kbps, 20 ms TTI) 5120 (64 Kbps, 80 ms TTI)
CRC	16 bits
TTI	20 ms, 40 ms and 80 ms
CPICH Ec/Ior	-10 dB (10%)
P-SCH Ec/Ior	-15 dB (3%)
S-SCH Ec/Ior	-15 dB (3%)
Geometry (I _{dr} /I _{oc})	-3 dB, -6 dB
Channel estimation	Enabled
Power Control	Disabled
Channel	Case 2, 3 km/h [6] Pedestrian B, 3 km/h [6] Vehicular-A. 3 km/h [5]

Πίνακας 8: Παράμετροι για το FACH κανάλι μεταφοράς

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι δύο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν δραστικά την απόδοση ενός FACH καναλιού. Οι παράμετροι αυτοί είναι το μήκος του TTI² και η χρήση ή όχι τεχνικών diversity (όπως π.χ. η STTD³). Οι διαφορετικοί συνδυασμοί των παραμέτρων αυτών επηρεάζουν σημαντικά την απαιτούμενη ισχύ μετάδοσης και άρα τη συνολική απόδοση του συστήματος.

Πιο συγκεκριμένα, η χρησιμοποίηση μεγάλου TTI (π.χ. 80 ms αντί 20 ms) παρέχει time diversity, αντιμετωπίζοντας έτσι το φαινόμενο του fast fading, και επιφέροντας

μεγάλο κέρδος σε ισχύ. Το θετικό στοιχείο είναι ότι οι MBMS υπηρεσίες δεν είναι ευαίσθητες σε χρονικές καθυστερήσεις (non delay sensitive) και κατά συνέπεια η χρήση μεγάλου TTI δεν αποτελεί πρόβλημα από την οπτική πλευρά του χρήστη. Επίσης, όταν γίνεται χρήση-ενεργοποίηση του open-loop transmit diversity η εκπεμπόμενη ισχύς από το Node B μπορεί να μειωθεί σημαντικά [13], [45]. Θα πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι η χρήση τεχνικών diversity, όπως η STTD, στα υπάρχοντα στάνταρ είναι προαιρετική.

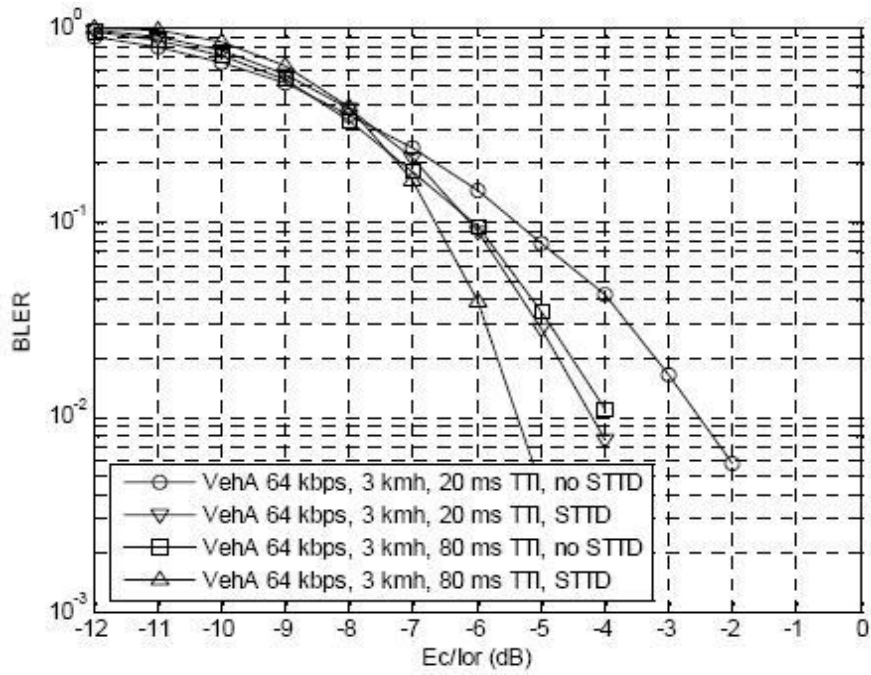
Αρχικά, περιγράφεται η σχέση μεταξύ του επιδιωκόμενου BLER και της εκπεμπόμενης ισχύς όταν μεταδίδονται MBMS υπηρεσίες σε ένα FACH κανάλι μεταφοράς, ενώ στη συνέχεια, περιγράφεται η σχέση μεταξύ της περιοχής κάλυψης και της εκπεμπόμενης ισχύος.

5.3.1.1 Σχέση Εκπεμπόμενης Ισχύος FACH και BLER

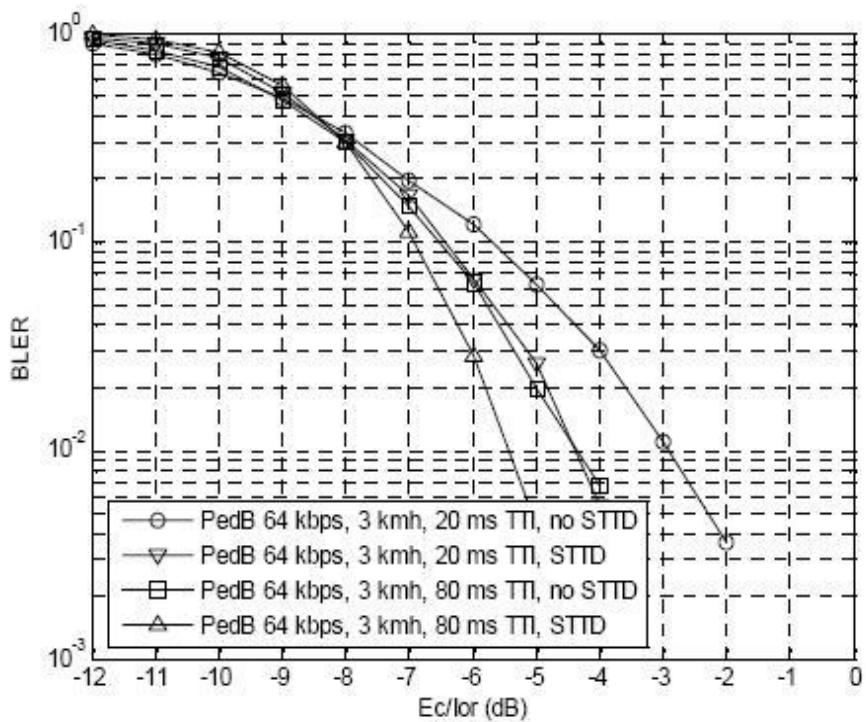
Η Εικόνα 21 και η Εικόνα 22 παρουσιάζουν την σχέση ανάμεσα στο BLER και στην εκπεμπόμενη ισχύ (εκφραζόμενης ως E_c/I_{0T}) για 95% κάλυψη και για τα Vehicular A (3 km/h) και Pedestrian B (3 km/h) κανάλια αντίστοιχα [50]. Στις εικόνες αυτές απεικονίζεται η ισχύς για 64 Kbps MBMS υπηρεσία με STTD και χωρίς. Όπως είναι αναμενόμενο για την επίτευξη BLER μικρής τάξης απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς.

² TTI (Transmission Time Interval) είναι μια παράμετρος του UMTS σχετική με την ενθυλάκωση των δεδομένων από τα υψηλότερα layers στα frames για τη μετάδοση στο επίπεδο Link layer.

³ STTD (Space-time Transmit Diversity) είναι μια διαφορετική μέθοδος μετάδοσης που χρησιμοποιείται σε UMTS κυψελοτά δίκτυα 3G. Η μέθοδος αυτή είναι προαιρετική στην ασύρματη διεπαφή UTRAN, αλλά υποχρεωτική για τον χρήστη (UE). Η STTD χρησιμοποιεί τον Space-time Block Code (STBC) προκειμένου να εκμεταλευνεί την πολλαπλή μετάδοση ενός σήματος.



Εικόνα 21: BLER σε συνάρτηση με το E_c/I_{or} (Vehicular A, 3 km/h, $G=6dB$)



Εικόνα 22: BLER σε συνάρτηση με το E_c/I_{or} (Pedestrian B, 3 km/h, $G=6dB$)

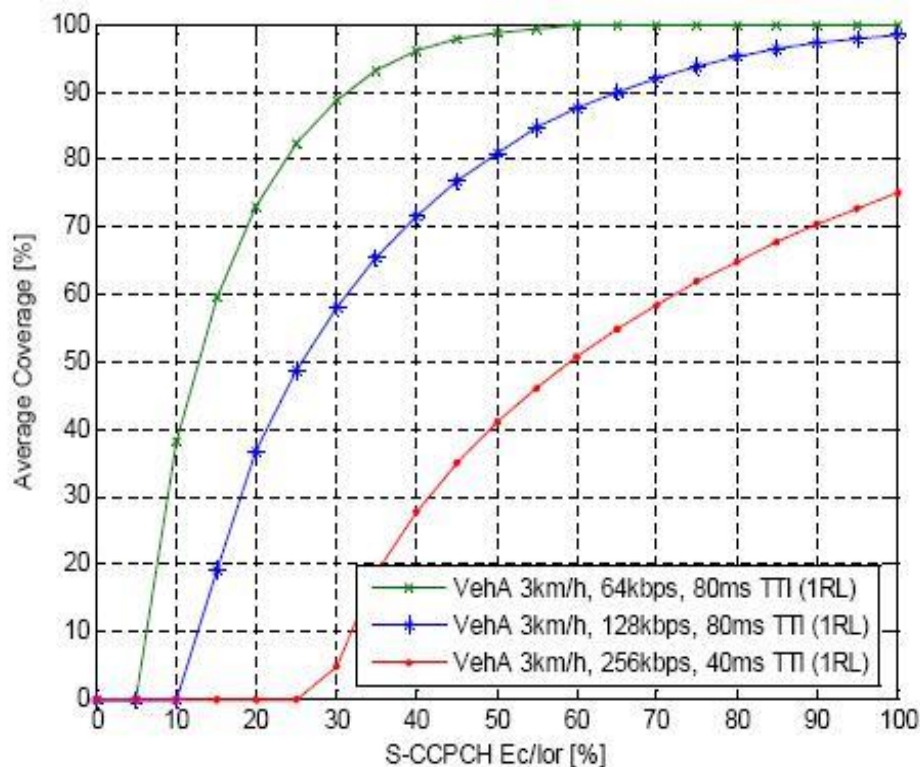
Από τις γραφικές αυτές μπορεί να γίνει άμεσα αντιληπτό ότι αυξάνοντας το TTI από 20 σε 80 ms ή χρησιμοποιώντας STTD η κατανομή ισχύος μειώνεται κατά 1.5 dB περίπου, τόσο για το Vehicular A όσο και για το Pedestrian B.

Μία ακόμα σημαντική παρατήρηση είναι ότι η ισχύς που κατανέμεται για την περίπτωση του Pedestrian B είναι κατά μέσο όρο 0.5 dB μικρότερη από την αντίστοιχη του Vehicular A.

5.3.1.2 Σχέση Εκπεμπόμενης Ισχύος FACH και Περιοχής Κάλυψης

Σε αυτή την ενότητα θα εξεταστούν τα επίπεδα κατανομής ισχύος FACH σε συνάρτηση με την περιοχή κάλυψης μίας κυψέλης. Για τη συνέχεια θεωρούμε ότι έχουμε τιμή BLER ίση με 1%.

Η Εικόνα 23 απεικονίζει τα επίπεδα ισχύος για διαφορετικά ποσοστά κάλυψης μίας μακροκυψέλης για Vehicular A (3 km/h), χωρίς να λαμβάνεται υπόψη κάποια τεχνική diversity [13], [28].



Εικόνα 23: Ποσοστό ισχύος σε συνάρτηση με τη περιοχή κάλυψης - Vehicular A, 3 km/h

Οι επόμενοι πίνακες παρουσιάζουν το ποσοστό της εκπεμπόμενης ισχύος από το Node B που απαιτείται για 95% κάλυψη της κυψέλης και για τα μοντέλα κινητικότητας Case 2, Vehicular A και Pedestrian B με ταχύτητες 3 km/h.

Ρυθμός μετάδοσης	TTI	Geometry (G)	Ποσοστό ισχύος κυψέλης για 1% BLER	
			Απενεργοποίηση Tx diversity	Ενεργοποίηση Tx diversity
64 Kbps	20 ms	-3 dB	31.6%	16.2%
64 Kbps	20 ms	-6 dB	79.4%	35.5%
64 Kbps	80 ms	-3 dB	17.8%	11.7%

Πίνακας 9: Ποσοστό ισχύος κυψέλης για Case 2 (3 km/h)

Ρυθμός μετάδοσης	TTI	Geometry	Ποσοστό ισχύος κυψέλης για 1% BLER	
			Απενεργοποίηση Tx diversity	Ενεργοποίηση Tx diversity
32 Kbps	20 ms	-6dB	34.7%	19.5%
32 Kbps	80 ms	-6dB	20.9%	14.5%
64 Kbps	20 ms	-6dB	66.1%	37.2%
64 Kbps	80 ms	-6dB	38.0%	26.3%

Πίνακας 10: Ποσοστό ισχύος κυψέλης για Vehicular A (3 km/h)

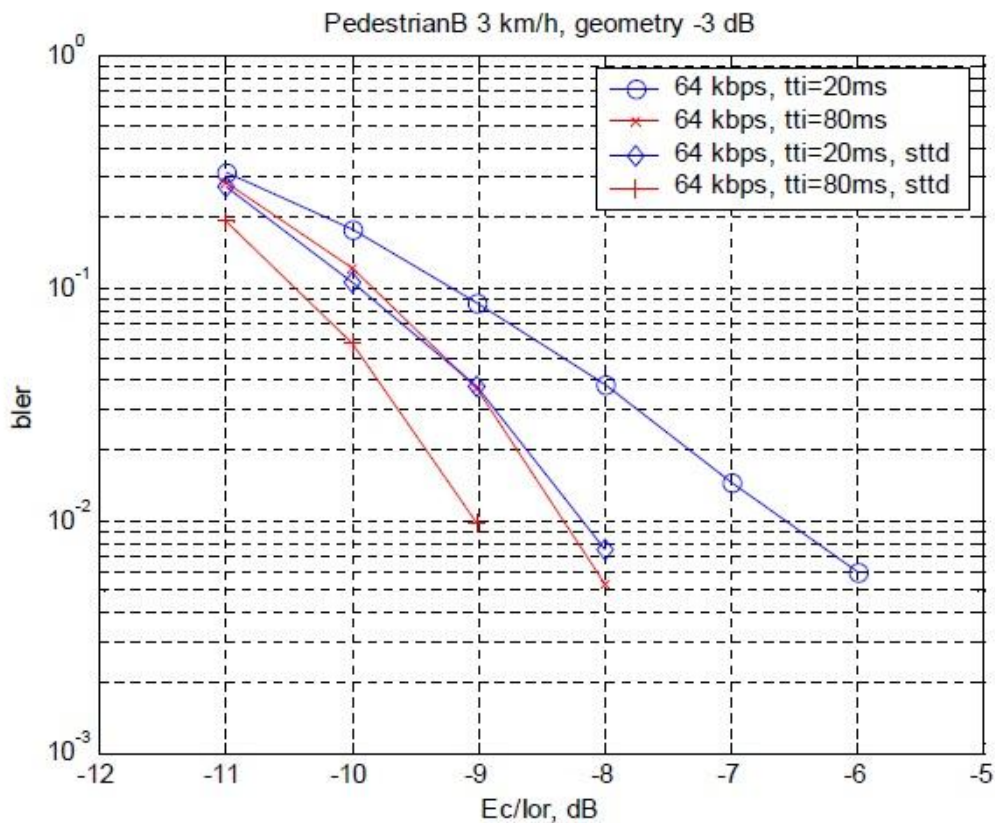
Ρυθμός μετάδοσης	TTI	Geometry	Ποσοστό ισχύος κυψέλης για 1% BLER	
			Απενεργοποίηση Tx diversity	Ενεργοποίηση Tx diversity
64 Kbps	20 ms	-3 dB	22.4%	15.1%
64 Kbps	80 ms	-3 dB	14.8%	12.6%

Πίνακας 11: Ποσοστό ισχύος κυψέλης για Pedestrian B (3 km/h)

Οι πίνακες αυτοί επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι με τη χρήση μεγαλύτερου TTI καθώς και με την ενεργοποίηση τεχνικών transmit diversity η εκπεμπόμενη ισχύς του Node B μειώνεται σημαντικά. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για την Case 2 περίπτωση η

χρήση 80 ms TTI αντί για 20 ms και χωρίς χρήση transmit diversity οδηγεί σε μείωση της ισχύος από 31.6% σε 17.8% που αντιστοιχεί σε μείωση κατά 2.5 dB. Κάνοντας χρήση και transmit diversity η μείωση ανέρχεται στα 4.3 dB.

Για την περίπτωση Pedestrian B παρουσιάζεται και γραφικά η σχέση της τιμής του E_c/I_{or} για διαφορετικά TTI και με χρήση ή χωρίς STTD στην Εικόνα 24.



Εικόνα 24: BLER σε σχέση με E_c/I_{or} - Pedestrian B, 3 km/h

5.3.2 Soft και Selection Combining

Ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να συμβάλει στη μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος από το Node B είναι ο συνδυασμός των εκπομπών (transmission combining), που επιφέρει κέρδος από 4 έως 6 dB. Υπάρχουν δύο είδη συνδυασμών, οι soft combining και selection combining οι οποίοι εισήχθησαν στην Release 6 του MBMS.

Το soft combining συνδυάζει τα soft bits που λαμβάνονται από διάφορα radio links πριν την αποκωδικοποίηση (turbo decoding). Το selection combining αποκωδικοποιεί το σήμα που λαμβάνεται από κάθε κυψέλη ξεχωριστά και σε κάθε TTI επιλέγει κάποιο (εάν υπάρχουν) από τα σωστά αποκωδικοποιημένα block δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία στα υψηλότερα επίπεδα.

Ο Πίνακας 12 παρουσιάζει το κέρδος για την περίπτωση που δεν υφίσταται combining (ένα radio link - RL) και όταν έχουμε soft combining με δύο ή τρία RLs.

Το κέρδος από το soft combining παρουσιάζεται ενδεικτικά για μία 64 Kbps MBMS υπηρεσία για κάλυψη 90% και 95% της κυψέλης, BLER 1% και για το μοντέλο Vehicular A, 3 km/h [13].

Κάλυψη για 1% BLER	Μήκος TTI	No Combining (1 RL)	Soft Combining (2RL)	Soft Combining (3 RL)
90%	80 ms	-7.9 dB (16.2%)	-12.2 dB (6.0 %)	-14.0 dB (4.0%)
95%	80 ms	-6.8 dB (20.9%)	-11.2 dB (7.6%)	-13.2 dB (4.8%)

Πίνακας 12: Απαιτούμενη ισχύς με και χωρίς soft combining Vehicular A

5.3.3 Συμπεράσματα για την Κατανομή Ισχύος FACH

Συμπερασματικά, σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση η (σταθερή) ισχύς που ανατίθεται από το Node B για ένα FACH κανάλι μεταφοράς εξαρτάται από την απαιτούμενη περιοχή κάλυψης, το χρησιμοποιούμενο TTI και τη χρήση τεχνικών diversity. Για μία τυπική MBMS υπηρεσία στα 64 Kbps και μέγιστη περιοχή

κάλυψης 95% της κυψέλης, απαιτούνται 7.6 Watt ή 38% της συνολικής ισχύος ενός Node B.

Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι η χρήση ενός FACH καναλιού με σταθερή ισχύ περιορίζει το ποσοστό ισχύος που μπορεί να αποδοθεί για τη χρήση αφιερωμένων καναλιών και αυξάνει τόσο την intra-cell όσο και την intercell παρεμβολή. Επιπλέον, η παρουσία αφιερωμένων χρηστών μειώνει το QoS των multicast χρηστών, οι οποίοι δεν έχουν τη δυνατότητα να βασιστούν σε μηχανισμούς ελέγχου ισχύος [40], [44].

Ένα ακόμα κρίσιμο ζήτημα που αφορά τα κοινά κανάλια είναι ότι όταν δεν υπάρχει τίποτα προς μετάδοση, οι πόροι του συστήματος απελευθερώνονται και κατά συνέπεια δεν παράγεται επιπλέον παρεμβολή. Το γεγονός αυτό διατηρεί την εκπεμπόμενη ισχύ σε χαμηλότερα επίπεδα, σε αντίθεση με τα αφιερωμένα κανάλια στα οποία ένα κανάλι ελέγχου διατηρείται μέχρι να παρέλθει ο μετρητής χρονικής διάρκειας της σύνδεσης [36].

5.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΟ DCH

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μια ποσοτική εκτίμηση της απαιτούμενης ισχύος για την εξυπηρέτηση των multicast χρηστών χρησιμοποιώντας αφιερωμένα κανάλια μεταφοράς στον κατερχόμενο σύνδεσμο. Το DCH δεν έχει σταθερή ισχύ, αλλά μεταβαλλόμενη κατανομή ισχύος και μάλιστα αυξανόμενη καθώς αυξάνεται τόσο ο αριθμός των χρηστών - UEs όσο και η απόσταση τους από το Node B.

Η εκτίμηση της απαιτούμενης ισχύος μπορεί να διακριθεί σε δυο διαφορετικές περιπτώσεις. Αρχικά, εξετάζουμε την περίπτωση των macrocell, ενώ στη συνέχεια την περίπτωση των microcell περιβαλλόντων.

Αυτό το οποίο μας ενδιαφέρει στην ανάλυση που ακολουθεί είναι να υπολογίσουμε το ποσοστό της ισχύος που πρέπει να ανατεθεί από το Node B για τους χρήστες που χρησιμοποιούν τα DCHs ως συνάρτηση:

- Του αριθμού των χρηστών που εξυπηρετούνται από το Node B.
- Της απόστασης των χρηστών από το σταθμό βάσης.

- Του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων από το σταθμό βάσης.
- Του απαιτούμενου E_b/N_0 για κάθε χρήστη.

Με τον τρόπο αυτό, ακολούθως, μπορεί να υπολογιστεί το πλήθος των χρηστών που μπορούν ταυτόχρονα να εξυπηρετηθούν με DCH κανάλια από μια κυψέλη για μια MBMS υπηρεσία με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Η Εξίσωση 3 υπολογίζει τη συνολική ισχύ που ανατίθεται από το Node B για όλους τους DCH χρήστες, ενώ η Εξίσωση 4 την ισχύ που ανατίθεται από το Node B ξεχωριστά για ένα μόνο DCH χρήστη [46].

$$P_T = \frac{P_p + \sum_{i=1}^n \frac{(P_N + x_i)}{W} L_{p,i}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i R_{b,i}} \frac{1 - \sum_{i=1}^n \frac{p}{W} \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i R_{b,i}} + p}{1}$$

Εξίσωση 3: Συνολική ισχύς για DCH χρήστες

$$P_{Ti} = L_{p,i} \frac{P_N + x_i + p \frac{P_T}{L_{p,i}}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i R_{b,i}} \frac{1}{\frac{1}{W} + p}$$

Εξίσωση 4: Ισχύς για έναν DCH χρήστη

όπου P_T η συνολική ισχύς για όλους τους DCH χρήστες, P_{Ti} η ισχύς για κάθε ένα χρήστη, $L_{p,i}$ οι απώλειες μετάδοσης (path loss) για τον i χρήστη, $R_{b,i}$ ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για τον i χρήστη, W το εύρος ζώνης (bandwidth), P_p η ισχύς που ανατίθεται για τα κοινά κανάλια ελέγχου, P_N ο background θόρυβος που υπεισέρχεται κατά την μετάδοση, E_b/N_0 η ενέργεια συμβόλου προς τη φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου που απαιτείται για την επίτευξη μιας

προκαθορισμένης συχνότητας εμφάνισης λανθασμένου block (BLER), p ο παράγοντας ορθογωνιότητας (χρησιμοποιούνται ορθογώνιοι κώδικες στον κατερχόμενο σύνδεσμο). Οι ορθογώνιοι κώδικες αλλοιώνονται λόγω του multi-path φαινομένου. Ο παράγοντας ορθογωνιότητας λαμβάνει τιμές από το 0 έως το 1, όπου 0 σημαίνει τέλεια ορθογωνιότητα, ενώ 1 μη-ορθογώνιοι κώδικες.

Η παράμετρος E_b/N_0 εξαρτάται από το ρυθμό μετάδοσης, την ποιότητα υπηρεσίας που παρέχεται και το προφίλ κίνησης του χρήστη. Ενδεικτικά, αναφέρουμε ότι για μικρές ταχύτητες η τιμή της παραμέτρου είναι μικρή σε αντίθεση με τις υψηλές ταχύτητες όπου η τιμή είναι μεγάλη. Επιπλέον, για χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης η τιμή της παραμέτρου είναι μικρή [36].

Η παράμετρος x_i εκφράζει την παρεμβολή των γειτονικών κυψελών που παρατηρείται από τον i χρήστη. Η παράμετρος x_i είναι συνάρτηση της εκπεμπόμενης ισχύος από τις γειτονικές κυψέλες και του path loss κάθε χρήστη από τις κυψέλες αυτές και δίνεται από την Εξίσωση 5.

$$x_i = \sum_{j=1}^K \frac{P_{Tj}}{L_{ij}}$$

Εξίσωση 5: Παράγοντας παρεμβολής γειτονικών κυψελών

όπου P_{Tj} , $j = 1, \dots, K$ η εκπεμπόμενη ισχύς από τις γειτονικές κυψέλες και L_{ij} το path loss για το χρήστη i στην κυψέλη j . Είναι σημαντικό να τονιστεί το γεγονός ότι η τελική τιμή της ισχύος εκπομπής ενός Node B εξαρτάται άμεσα από τη σχετική τιμή ισχύος P_{Tj} που εκπέμπουν όλες οι γειτονικές κυψέλες. Στην ανάλυση που ακολουθεί η παράμετρος αυτή έχει οριστεί στην τιμή των 2 Watt ή διαφορετικά 33 dBm [46].

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται η κατανομή της DCH ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών. Από την ακόλουθη ανάλυση γίνεται εμφανής η επίδραση διάφορων παραμέτρων-παραγόντων στην απαιτούμενη DCH ισχύ, όπως το πλήθος των multicast χρηστών, η απόσταση των χρηστών από το σταθμό βάσης, ο

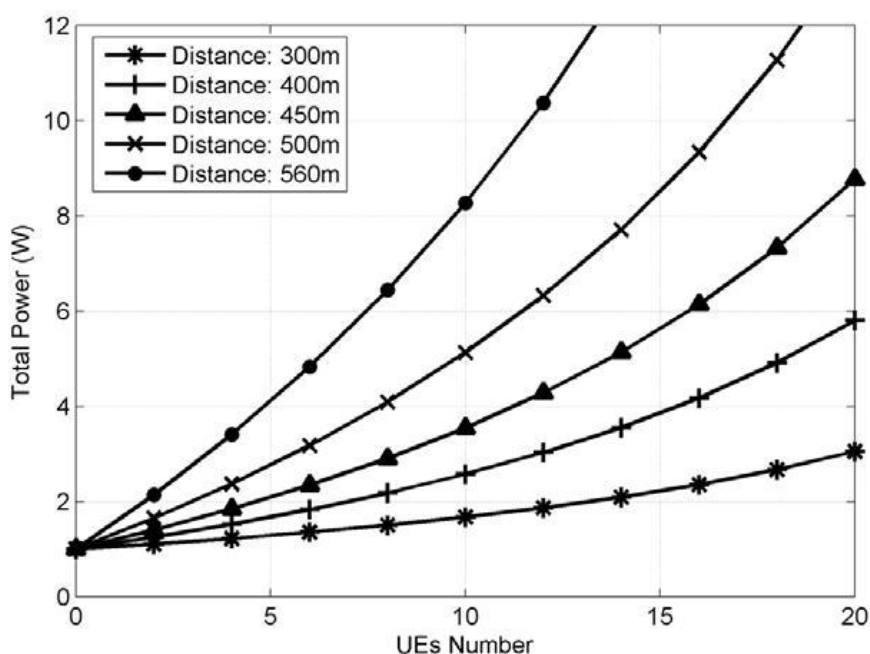
ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, η ποιότητα υπηρεσίας για κάθε χρήστη καθώς και η επίδραση των γειτονικών κυψελών στην υπό εξέταση κυψέλη.

5.4.1 Η Περίπτωση του Macrocell

Σε αυτή την ενότητα εξετάζεται και αναλύεται η κατανομή της DCH ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών στην περίπτωση macrocell περιβαλλόντων.

5.4.1.1 Σχέση DCH Ισχύος και Απόστασης από το Node B

Στην Εικόνα 25 διακρίνεται η επίδραση της απόστασης των χρηστών από το Node B στην εκπεμπόμενη DCH ισχύ για διαφορετικά πλήθη multicast χρηστών. Είναι εμφανές ότι όσο πιο μακριά από το σταθμό βάσης βρίσκονται οι χρήστες τόσο μεγαλύτερη ισχύς πρέπει να κατανεμηθεί από το Node B για την επιτυχή εξυπηρέτηση των χρηστών αυτών.



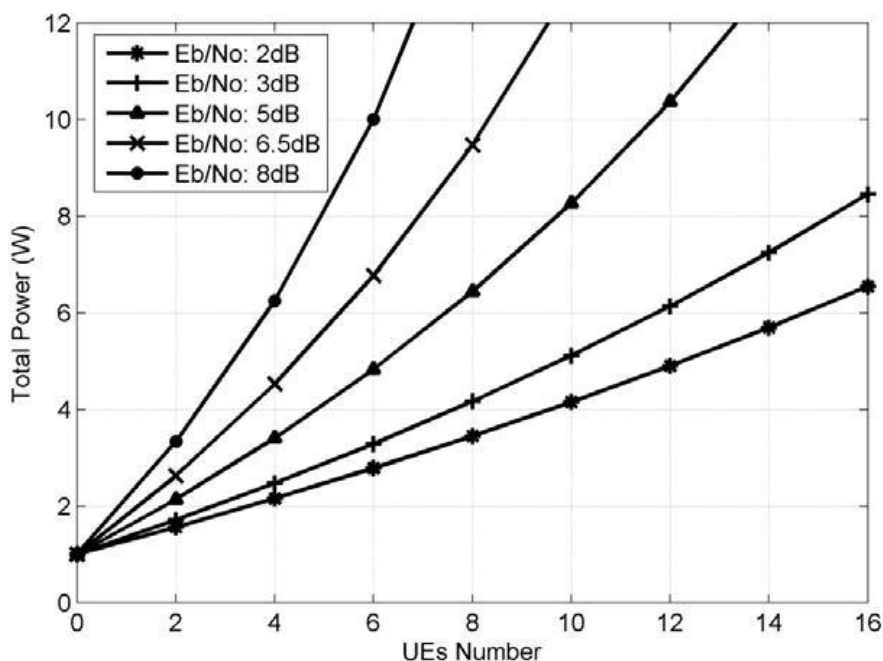
Εικόνα 25: Macrocell - σχέση DCH ισχύος και απόστασης από το Node B

Η ακτίνα της μακροκυψέλης είναι 577 m. Έτσι, για παράδειγμα η απόσταση 560 m αντιστοιχεί σε 95% κάλυψη κυψέλης, ενώ η απόσταση 300 m αντιστοιχεί σε κάλυψη κυψέλης περίπου 50%.

Αξίζει να σημειωθεί ότι όταν οι χρήστες βρίσκονται στα όρια της κυψέλης (95% περιοχή κάλυψης) τα επίπεδα DCH ισχύος είναι ιδιαίτερα υψηλά γεγονός που καθιστά προβληματική, από πλευράς αξιοποίησης των πόρων του συστήματος, την μετάδοση μίας MBMS υπηρεσίας μέσω πολλαπλών DCH καναλιών μεταφοράς. Από την άλλη πλευρά, τα επίπεδα DCH ισχύος για μικρές περιοχές κάλυψης είναι ιδιαίτερα χαμηλά και καθιστά εφικτή την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού multicast χρηστών.

5.4.1.2 Σχέση DCH Ισχύος και E_b/N_0

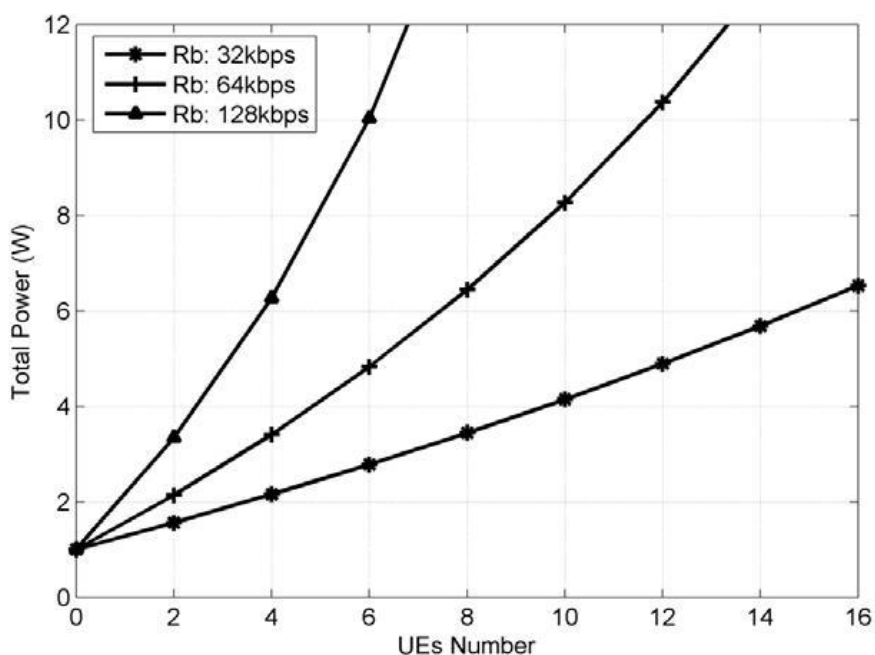
Παρόμοια, η Εικόνα 26 απεικονίζει την επίδραση της ποιότητας υπηρεσίας (εκφρασμένης ως προς την παράμετρο E_b/N_0) των multicast χρηστών. Όπως είναι αναμενόμενο, μεγαλύτερη ανάγκη για E_b/N_0 οδηγεί σε μεγαλύτερα επίπεδα DCH ισχύος.



Εικόνα 26: Macrocell - σχέση DCH ισχύος και E_b/N_0

5.4.1.3 Σχέση DCH Ισχύος και Ρυθμού Μετάδοσης

Η Εικόνα 27 απεικονίζει το γεγονός ότι όσο αυξάνει ο ρυθμός μετάδοσης μίας MBMS υπηρεσίας, η DCH ισχύς εκπομπής αυξάνεται δραματικά. Είναι προφανές, ότι για τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών με ρυθμό μετάδοσης της τάξης των 128 Kbps απαιτούνται μεγάλα ποσά ισχύος, γεγονός που καθιστά απαγορευτική τη μετάδοση τέτοιων υπηρεσιών με DCH.



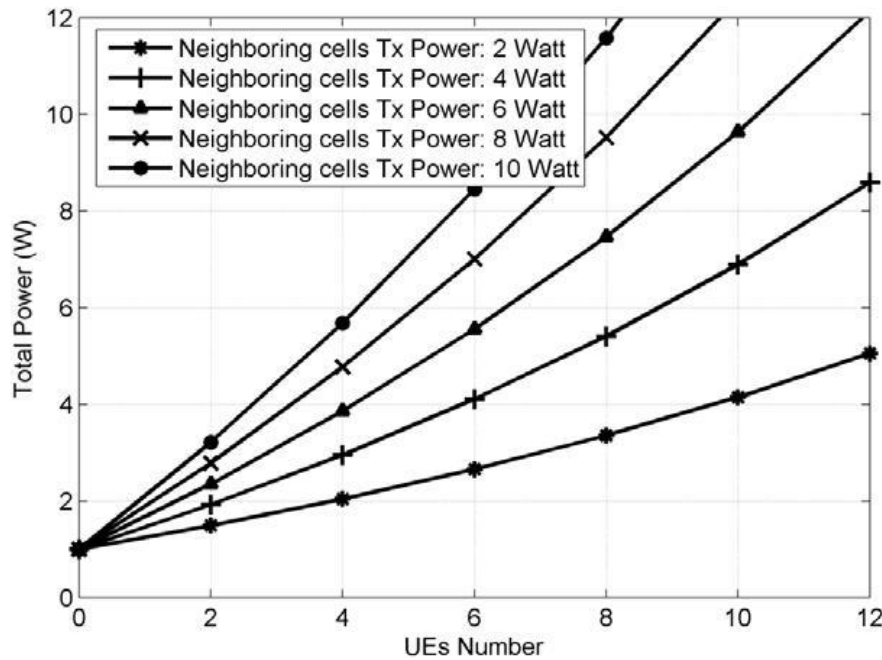
Εικόνα 27: Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και ρυθμού μετάδοσης

5.4.1.4 Σχέση DCH Ισχύος και Εκπεμπόμενης Ισχύος Γειτονικών Κυψελών

Μια ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη κατά το σχεδιασμό UMTS δικτύων και κατά συνέπεια και κατά την μετάδοση MBMS υπηρεσιών είναι η ισχύς εκπομπής των γειτονικών κυψελών. Η επίδρασή αυτή εκφράζεται από τον παράγοντα PT_j σύμφωνα με την Εξίσωση 5.

Η Εικόνα 28 απεικονίζει ακριβώς την επίδραση της ισχύος εκπομπής των γειτονικών κυψελών στην ισχύ εκπομπής της υπό εξέταση κυψέλης. Η επίδραση αυτή είναι

ιδιαίτερα σημαντική και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό μετάδοσης MBMS υπηρεσιών.



Εικόνα 28: Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και εκπεμπόμενης ισχύος γειτονικών κυψελών

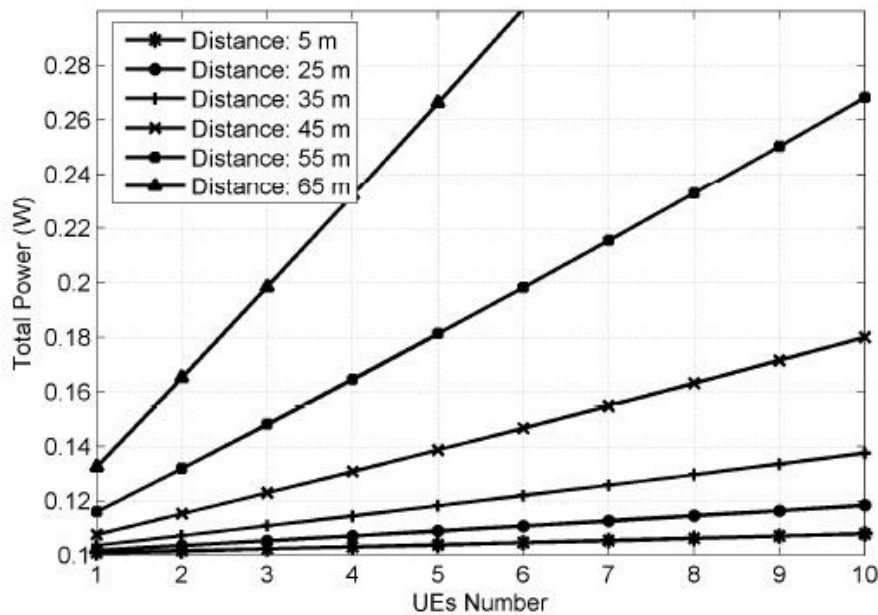
5.4.2 Η Περίπτωση του Microcell

Σε αυτή την ενότητα εξετάζεται και αναλύεται η κατανομή της DCH ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών στην περίπτωση του microcell περιβάλλοντος. Ουσιαστικά, εξετάζονται οι ίδιες παράμετροι όπως στην περίπτωση των macrocell περιβάλλοντος. Η βασική διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι στις μικροκυψέλες η μέγιστη ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης είναι 2 Watt και όχι 20 Watt όπως στις μακροκυψέλες και εν γένει, τα επίπεδα ισχύος είναι σημαντικά μικρότερης τάξης. Ωστόσο, η συμπεριφορά των επιπέδων ισχύος, όπως θα φανεί στη συνέχεια, είναι παρόμοια με την περίπτωση των μακροκυψελών.

5.4.2.1 Σχέση DCH Ισχύος και Απόστασης από το Node B

Στην Εικόνα 29 απεικονίζεται η επίδραση της απόστασης των χρηστών από το Node B στην εκπεμπόμενη DCH ισχύ για διαφορετικά πλήθη multicast χρηστών. Όπως και

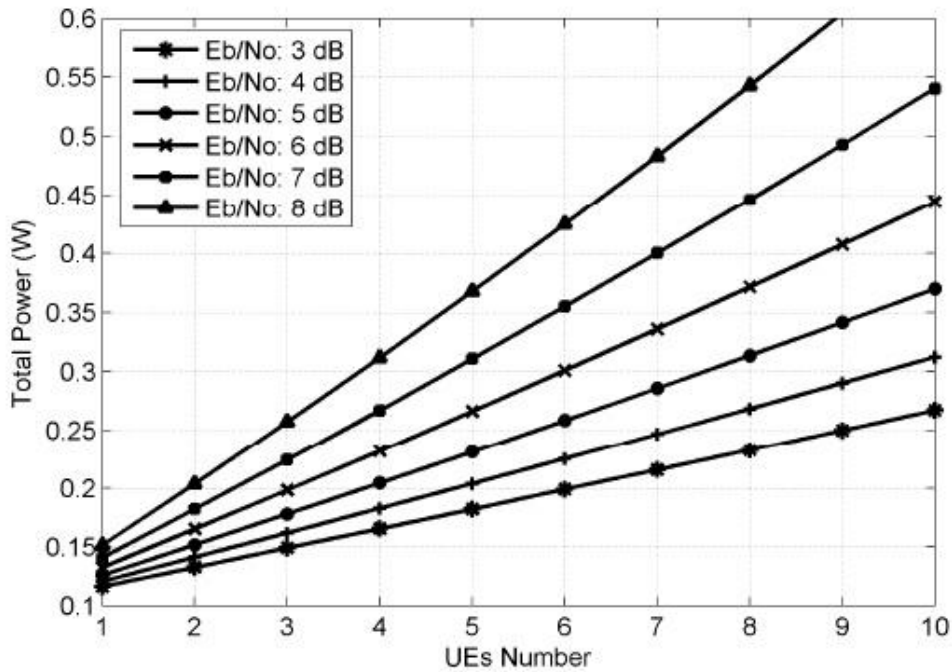
στην περίπτωση του macrocell, όσο πιο μακριά από το σταθμό βάσης βρίσκονται οι χρήστες τόσο μεγαλύτερη ισχύς πρέπει να καταναλωθεί από το Node B για την επιτυχή εξυπηρέτηση των χρηστών αυτών. Η ακτίνα μίας μικροκυψέλης είναι 67 m. Έτσι, για παράδειγμα η απόσταση 65 m αντιστοιχεί σε 95% κάλυψη κυψέλης, ενώ η απόσταση 35 m αντιστοιχεί σε κάλυψη κυψέλης περίπου 50%.



Εικόνα 29: Microcell - Σχέση DCH ισχύος και απόστασης απο το Node B

5.4.2.2 Σχέση DCH Ισχύος και E_b/N_0

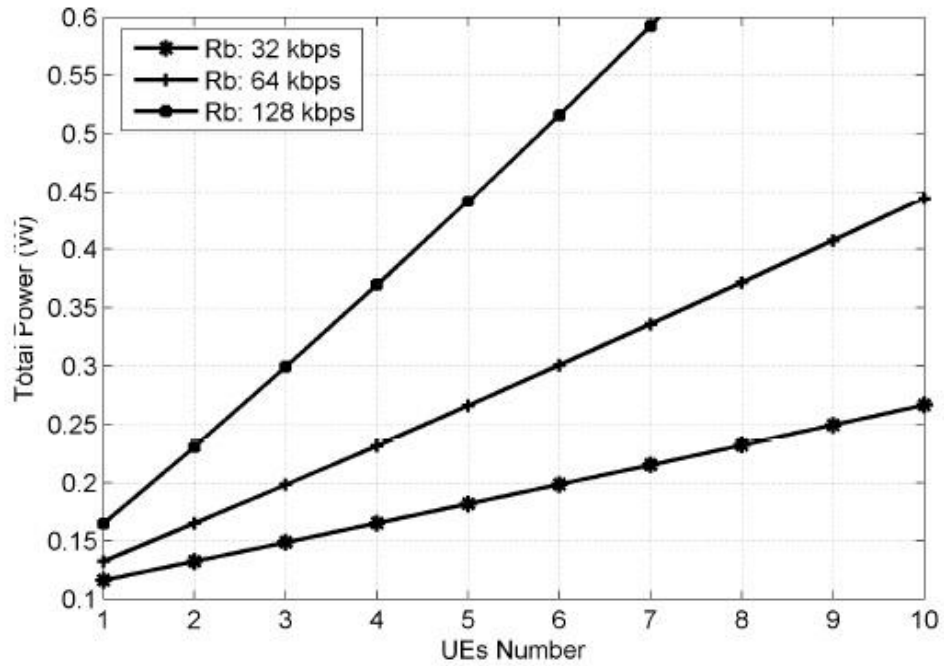
Η Εικόνα 30 απεικονίζει την επίδραση της ποιότητας υπηρεσίας (εκφρασμένης ως προς την παράμετρο E_b/N_0) των multicast χρηστών. Όπως και στις μακροκυψέλες, καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας, δηλαδή μεγαλύτερη ανάγκη για E_b/N_0 , οδηγεί σε μεγαλύτερα επίπεδα DCH ισχύος.



Εικόνα 30: Microcell - Σχέση DCH ισχύος και E_b/N_0

5.4.2.3 Σχέση DCH Ισχύος και Ρυθμού Μετάδοσης

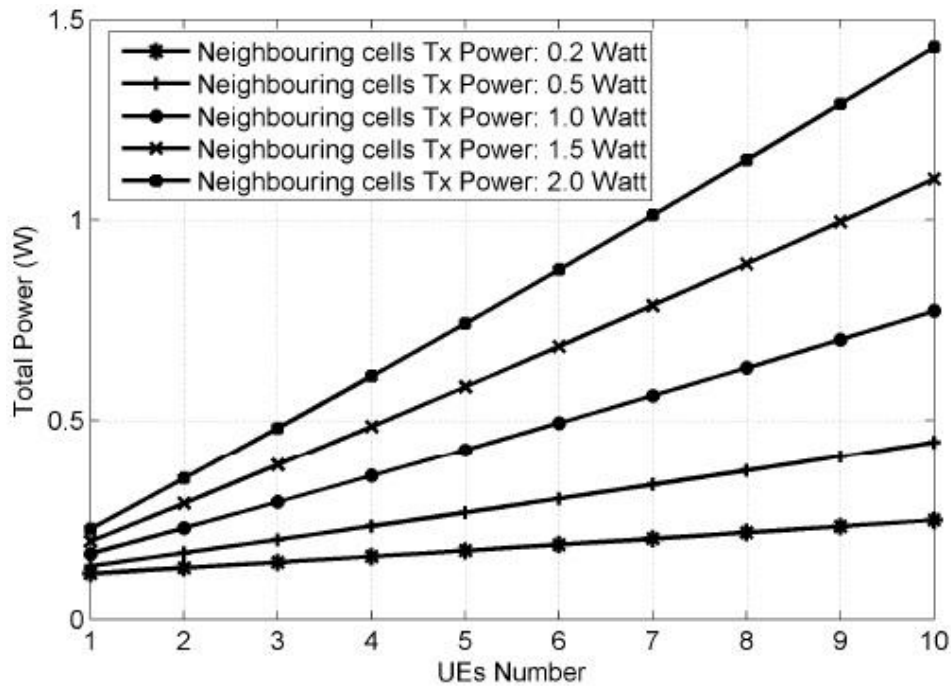
Παρόμοια, η Εικόνα 31 απεικονίζει το γεγονός ότι όσο αυξάνει ο ρυθμός μετάδοσης μίας MBMS υπηρεσίας, η DCH ισχύς εκπομπής αυξάνεται. Όπως και στις μακροκυψέλες για τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών με ρυθμό μετάδοσης της τάξης των 128 Kbps απαιτείται υψηλή ισχύς, γεγονός που καθιστά απαγορευτική τη μετάδοση τέτοιων υπηρεσιών με χρήση πολλαπλών DCHs



Εικόνα 31: Microcell - Σχέση DCH ισχύος και ρυθμού μετάδοσης

5.4.2.4 Σχέση DCH Ισχύος και Εκπεμπόμενης Ισχύος Γειτονικών Κυψελών

Η Εικόνα 32 απεικονίζει την επίδραση της ισχύος εκπομπής των γειτονικών κυψελών στην ισχύ εκπομπής της υπό εξέταση κυψέλης. Υψηλή ισχύς σε γειτονικές κυψέλες επιφέρει μεγαλύτερη ανάγκη σε πόρους ισχύος.



Εικόνα 32: Microcell - Σχέση DCH ισχύος και εκπεμπόμενης ισχύος γειτονικών κυψελών

5.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΟ HS-DSCH

Το κανάλι HS-DSCH αποτελεί το βασικό κανάλι μεταφοράς που χρησιμοποιείται από την τεχνολογία HSDPA. Το HS-DSCH είναι ένα διαμοιραζόμενο κανάλι μεταφοράς και δε διαθέτει έλεγχο ισχύος αλλά έλεγχο ρυθμού. Είναι δηλαδή rate-controlled και όχι power-controlled. Με άλλα λόγια, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για το κανάλι HS-DSCH καθορίζεται από τις στιγμιαίες συνθήκες κάθε φορά και από το αντίστοιχο επιλεγόμενο σχήμα διαμόρφωσης.

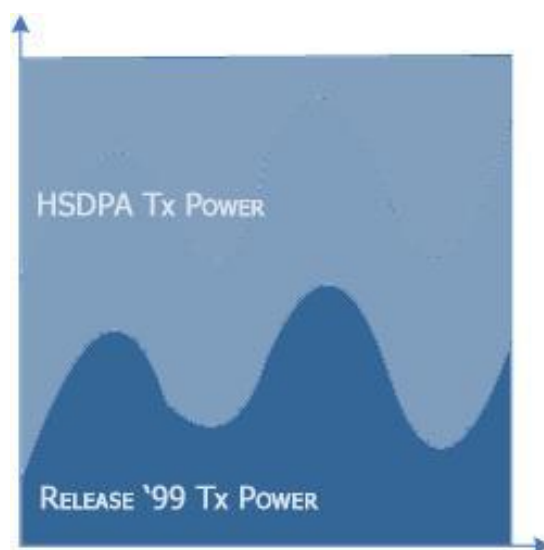
Το ποσοστό της κατανομής ισχύος στην περίπτωση που χρησιμοποιείται το HS-DSCH κανάλι επηρεάζει δραστικά το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, όσο περισσότερη ισχύς αφιερώνεται σε αυτόν το τύπο καναλιού (και αντίστοιχα λιγότερη σε DCH κανάλια) τόσο υψηλότεροι ρυθμοί επιτυγχάνονται και τόσο μεγαλύτερη ρυθμοαπόδοση κυψέλης εξασφαλίζεται [30], [47].

5.5.1 Μέθοδοι Ανάθεσης HS-DSCH Ισχύος

Πιο συγκεκριμένα, το HS-DSCH υποστηρίζει δύο διαφορετικές μεθόδους ανάθεσης ισχύος από το Node B. Κάθε μία από τις δύο μεθόδους έχει διαφορετικό αντίκτυπο

στον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και στην χωρητικότητα του συστήματος που απομένει για την εξυπηρέτηση των Release '99 χρηστών (χρηστών που εξυπηρετούνται με DCH και FACH κανάλια μεταφοράς).

Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο ανάθεσης ισχύος (Εικόνα 29) η ισχύς που ανατίθεται στο HS-DSCH είναι μεταβλητή και ειδικότερα ισοδυναμεί με την ισχύ που απομένει στο Node B ύστερα από την εξυπηρέτηση των κοινών καναλιών ελέγχου και άλλων power-controlled καναλιών. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την πιο αποδοτική χρήση των κοινών πόρων ισχύος του συστήματος. Η διαμοιραζόμενη αυτή λογική αποτυπώνεται στην Εικόνα 33 [35].

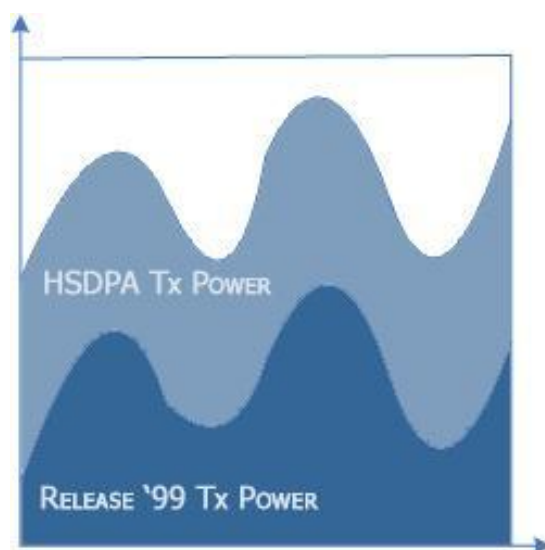


Εικόνα 33: Μέθοδος μεταβλητής ανάθεσης HS-DSCH ισχύος

Στη δεύτερη μέθοδο ανάθεσης ισχύος (Εικόνα 30) το Controlling RNC (CRNC) αναθέτει κατ' αποκλειστικότητα ένα σταθερό ποσοστό HSDPA ισχύος ανά κυψέλη, το οποίο μπορεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα να ανανεώνεται.

Έχουν προταθεί διάφορες στάθμες ισχύος για την περίπτωση που χρησιμοποιείται η μέθοδος σταθερής ανάθεσης ισχύος για το HS-DSCH κανάλι. Ωστόσο, η ισχύς που ανατίθεται στο HS-DSCH κανάλι έχει ως κάτω όριο τα 2 Watt (33 dBm), ίση δηλαδή με την ισχύ του CPICH. Ειδικότερα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα επίπεδο ισχύος 3 Watt (15% της συνολικής διαθέσιμης ισχύος του Node B) ή ένα επίπεδο ισχύος 7 Watt (35% της συνολικής διαθέσιμης ισχύος του Node B) [35]. Γενικά, η ισχύς που

ανατίθεται από το Node B είναι σταθερή και κυμαίνεται από 3 έως 9 Watt [35], [36], [46].



Εικόνα 34: Μέθοδος σταθερής ανάθεσης HS-DSCH ισχύος

5.5.2 Δυναμική Κατανομή Ισχύος του HS-DSCH για τη Μετάδοση MBMS Υπηρεσιών

Για τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών στο κανάλι μεταφοράς HS-DSCH μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας δυναμικός τρόπος κατανομής ισχύος, διαφορετικός από αυτούς που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Υπενθυμίζεται ότι το κρισιμότερο σημείο κατά την μετάδοση MBMS εφαρμογών αποτελεί η καταναλισκόμενη ισχύς από το σταθμό βάσης (η οποία επιθυμούμε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη). Κατά συνέπεια, κρίνεται σκόπιμη η εξεύρεση ενός αποδοτικού, δυναμικά προσαρμοζόμενου τρόπου κατανομής ισχύος για το κανάλι HS-DSCH, ώστε να προκύπτει βέλτιστος έλεγχος ισχύος. Ο δυναμικός τρόπος υπολογισμού ισχύος για το κανάλι HS-DSCH που προτείνεται στα πλαίσια αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας παρουσιάζεται αναλυτικά στην ενότητα αυτή.

Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου κατανομής ισχύος στο HS-DSCH πρέπει πρώτα να μελετηθούν δύο βασικές μετρικές για το HS-DSCH. Αυτές είναι το SINR και το Geometry factor (G) που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 5.1.2.

Ο δυναμικός τρόπος υπολογισμού ισχύος για το κανάλι HS-DSCH αποτελείται από τρία διακριτά βήματα.

1. Αρχικά, πρέπει να οριστεί η απαιτούμενη MBMS ρυθμοαπόδοση (throughput) της κυψέλης που πρέπει να επιτευχθεί. Για παράδειγμα, εάν σε μία κυψέλη μεταδίδεται μία MBMS υπηρεσία των 64 Kbps την οποία λαμβάνουν 10 multicast χρήστες, τότε η συνολική MBMS ρυθμοαπόδοση είναι 640 Kbps.
2. Όταν οριστεί η απαιτούμενη MBMS πρέπει να καθοριστεί η τιμή του SINR που αντιστοιχεί στη ρυθμοαπόδοση αυτή με βάση την Εικόνα 20 Υπενθυμίζεται ότι όσο οι HS-PDSCH κωδικοί αυξάνονται, για την επίτευξη μίας συγκεκριμένης ρυθμοαπόδοσης απαιτείται μικρότερη τιμή SINR.
3. Τέλος, αφού έχει οριστεί και η τιμή του SINR απομένει να υπολογιστεί η απαιτούμενη HS-DSCH ισχύς, λαμβάνοντας υπόψη και την τιμή του G. Η τιμή της HS-DSCH ισχύος υπολογίζεται από την Εξίσωση 6 [35].

$$P_{HS-DSCH} \geq SINR \left[p - G^{-1} \right] \frac{P_{own}}{SF_{16}}$$

Εξίσωση 6: Υπολογισμός HS-DSCH ισχύος

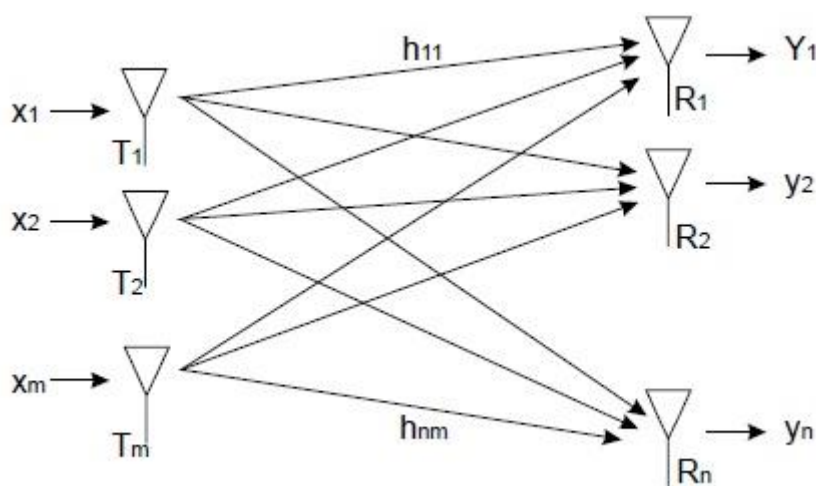
Σε κάθε περίπτωση, ωστόσο, η ισχύς που ανατίθεται στο HS-DSCH κανάλι δε μπορεί να είναι μικρότερη από τα 2 watt (33dBm), μικρότερη δηλαδή από την ισχύ του CPICH.

Με τον παραπάνω δυναμικό τρόπο κατανομής ισχύος για το HS-DSCH κανάλι μεταφοράς ανατίθεται μόνο η απαιτούμενη, οριακή τιμή ισχύος προκειμένου να καλύψει όλους τους MBMS multicast χρήστες μίας κυψέλης. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η κατανάλωση μεγάλης ποσότητας ισχύος και ταυτόχρονα μειώνεται ο θόρυβος που προκαλείται στην κυψέλη.

Αξίζει να αναφερθεί ότι μία εκτενής αναφορά για την κατανομή ισχύος για τα κανάλια DCH, FACH και HS-DSCH μπορεί να βρεθεί στις αναφορές [24], [25], [26], [27].

5.5.3 Η περίπτωση του MIMO

Η ασύρματη μετάδοση παρουσιάζει απώλειες στην ποιότητα του σήματος λόγω των διαλείψεων που δημιουργούνται από τις πολλαπλές διαδρομές (multipaths) του μέσου διάδοσης και των παρεμβολών από άλλους χρήστες. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και αυξημένη ποιότητα στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών οδήγησαν σε νέες τεχνικές οι οποίες υιοθετούν τη χρήση πολλαπλών κεραιών τόσο στον πομπό και στον δέκτη και προσφέρουν με αυξημένη αποδοτικότητα φάσματος και βελτιωμένη αξιοπιστία σύνδεσης σε μία ασύρματη μετάδοση. Η τεχνολογία αυτή είναι γνωστή ως τεχνολογία MIMO. Ένα MIMO σύστημα προσφέρει κέρδος diversity και κέρδος πολυπλεξίας (multiplexing gain).

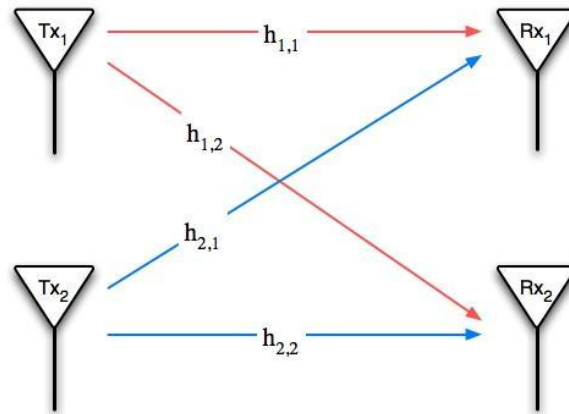


Εικόνα 35: Διάγραμμα (M, N) MIMO συστήματος

Αποδεικνύεται ότι η χωρητικότητα καναλιού ενός συστήματος κεραιάς που χρησιμοποιεί M κεραιές μετάδοσης και N κεραιές λήψης (Εικόνα 35) είναι περίπου $n = \min(M, N)$ φορές μεγαλύτερη από το σύστημα απλής κεραιάς για καθορισμένο εύρος ζώνης και καθορισμένη συνολική ισχύ μετάδοσης [34], [48].

Για την περίπτωση των κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς, και ειδικότερα όταν το HS-DSCH υποστηρίζει τη χρήση πολλαπλών κεραιών μετάδοσης και λήψης (MIMO schemes) τότε η τιμή του SINR βελτιώνεται σημαντικά [54]. Πιο συγκεκριμένα, όταν υποστηρίζεται η MIMO τεχνική, διαφορετικές ροές MBMS δεδομένων αποστέλλονται ταυτόχρονα από κάθε μία από τις κεραιές.

Ειδικά για την περίπτωση του HSPA αλλά και των πρώτων σταδίων ανάπτυξης του LTE απαιτούνται 2 κεραίες στην πλευρά του αποστολέα (σταθμό βάσης για το MBMS) και του δέκτη (κινητού χρήστη για το MBMS). Έτσι, προκύπτει ένα σχήμα MIMO 2x2, που γραφικά απεικονίζεται στην Εικόνα 36. Μεταγενέστερες, βέβαια, φάσεις του LTE προβλέπεται ότι θα υποστηρίζουν MIMO 4x4 κεραίες.



Εικόνα 36: Διάγραμμα MIMO 2x2 συστήματος

Χωρίς βλάβη της γενικότητας, όταν έχουμε σχήματα MIMO 2x2 απαιτείται η μισή ισχύς συγκριτικά με τα συστήματα μίας κεραίας για τη μετάδοση της ίδιας MBMS υπηρεσίας [39]. Με άλλα λόγια, η ύπαρξη MIMO συστημάτων περιορίζει σημαντικά την κατανάλωση ισχύος για το HS-DSCH, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει σημαντικά την συνολική χωρητικότητα της κυψέλης. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η μετάδοση MBMS υπηρεσιών σε μεγαλύτερο πλήθος χρηστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΟΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε παραπάνω έχει καταστεί σαφές πως οι πόροι ισχύος των σταθμών βάσης στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών είναι περιορισμένοι, ενώ παράλληλα οι απαιτήσεις σε ισχύ των MBMS υπηρεσιών είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Οι δύο αυτές παρατηρήσεις τονίζουν την ανάγκη για την ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνικών που θα έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν την ισχύ εκπομπής των σταθμών βάσης κατά τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών. Προς αυτή την κατεύθυνση, στο συγκεκριμένο κομμάτι της μεταπτυχιακής εργασίας εξετάζονται έξι συνολικά τεχνικές μείωσης ισχύος, η εφαρμογή των οποίων μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικά ποσά ισχύος.

Πιο αναλυτικά, στη συγκεκριμένη παράγραφο αρχικά αναφέρονται και αναλύονται τα προβλήματα και οι περιορισμοί που υπεισέρχονται εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τεχνικές που έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, ο τρόπος λειτουργίας τους καθώς και τα κέρδη ισχύος που κάθε μία τεχνική μπορεί να εξασφαλίσει.

6.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΙΣ MBMS ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ

Υπάρχουν δύο πολύ σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται με την απαιτούμενη ισχύ για τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών. Το πρώτο πρόβλημα αναφέρεται στα υπερβολικά υψηλά επίπεδα ισχύος που απαιτούνται όταν ανατίθεται το FACH ως κανάλι μεταφοράς των MBMS δεδομένων. Σαν παράδειγμα, αναφέρουμε ότι για τη μετάδοση μίας MBMS υπηρεσίας ρυθμού μετάδοσης 128 Kbps στο 95% της περιοχής μίας κυψέλης και την εξυπηρέτηση όλων των χρηστών στην περιοχή αυτή, το FACH απαιτεί ισχύ της τάξης των 16 Watt [28]. Εάν συλλογιστούμε ότι η μέγιστη ισχύς εκπομπής του Node B είναι 20 Watt (η οποία βέβαια πρέπει να διαμοιραστεί μεταξύ όλων των χρηστών της κυψέλης και μεταξύ όλων των πιθανών υπηρεσιών), γίνεται κατανοητό ότι η παραπάνω στάθμη ισχύος καθιστά αδύνατη την παροχή MBMS υπηρεσιών με τόσο υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Βασικός στόχος του

MBMS θα πρέπει να είναι επομένως η ανάπτυξη τεχνικών που είναι ικανές να μειώσουν τα επίπεδα ισχύος κατά τις PTM (με χρήση του FACH) μεταδόσεις.

Το δεύτερο πρόβλημα κατά τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο το 3GPP έχει προτείνει να λαμβάνει χώρα η εναλλαγή μεταξύ των PTP και PTM καναλιών μεταφοράς. Γενικά, ο κόμβος RNC είναι ο υπεύθυνος κόμβος της MBMS αρχιτεκτονικής που δίνει εντολή στο σταθμό βάσης ώστε να μεταβεί από το ένα κανάλι μεταφοράς στο άλλο. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι κατά τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών, ενώ ο σταθμός βάσης γνωρίζει τη στιγμιαία ισχύ του κάθε χρήστη που εξυπηρετεί, ο κόμβος RNC δεν έχει αυτή την πληροφορία με αποτέλεσμα να μην γνωρίζει τον αριθμό των PTP συνδέσεων που «ασοδυναμούν» με μία PTM σύνδεση. Επομένως, στον κόμβο RNC θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας μηχανισμός που θα είναι υπεύθυνος για την εναλλαγή μεταξύ PTM και PTP καναλιών με κύριο στόχο την ελαχιστοποίηση της συνολικά απαιτούμενης ισχύος.

Το 3GPP στα πλαίσια της εναλλαγής μεταξύ των PTM (δηλαδή του FACH) και PTP (πολλαπλά DCHs) καναλιών μεταφοράς, έχει προτείνει το μηχανισμό «MBMS Counting Mechanism (ή χάριν συντομίας TS 25.346)» [11]. Σύμφωνα με αυτόν τον μηχανισμό, ένα μόνο κανάλι μεταφοράς (PTP ή PTM) μπορεί να μεταδίδεται σε μία κυψέλη κάθε χρονική στιγμή, ενώ η απόφαση σχετικά με όριο εναλλαγής λαμβάνεται από τον κόμβο RNC και βασίζεται αποκλειστικά στον αριθμό των MBMS χρηστών που εξυπηρετούνται. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να πραγματοποιείται μία εναλλαγή από πολλαπλά DCHs σε ένα FACH κανάλι (δεδομένου ότι ο TS 25.346 δεν υποστηρίζει μεταδόσεις με το κανάλι HS-DSCH), όταν ο αριθμός χρηστών σε μία κυψέλη υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο. Ωστόσο, για τον υπολογισμό του προκαθορισμένου αυτού ορίου το 3GPP δεν έχει λάβει υπόψη τις διαθέσιμες τεχνικές μείωσης ισχύος και την τεχνολογία HSDPA, μια τεχνολογία που αποδεδειγμένα μπορεί να εμπλουτίσει το MBMS με ευρυζωνικά χαρακτηριστικά. Η ενσωμάτωση στο MBMS των συγκεκριμένων τεχνικών όσο και της τεχνολογίας HSDPA τονίζει την ανάγκη για τον καθορισμό νέων, πιο ρεαλιστικών σημείων εναλλαγής. Συμπερασματικά, το δεύτερο πρόβλημα που σχετίζεται με τις MBMS υπηρεσίες είναι η εύρεση ενός κατάλληλου σχήματος εναλλαγής καναλιών το οποίο θα εκτελείται στον κόμβο RNC και:

- Θα επιτρέπει τη μετάδοση MBMS δεδομένων με όλα τα διαθέσιμα κανάλια μεταφοράς (DCH, FACH και HS-DSCH).
- Θα λαμβάνει υπόψη τις τεχνικές μείωσης ισχύος.
- Θα καθορίζει τα σημεία εναλλαγής με στόχο την ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης ισχύος.
- Θα βασίζει την επιλογή των σημείων εναλλαγής στον αριθμό των χρηστών που εξυπηρετούνται.

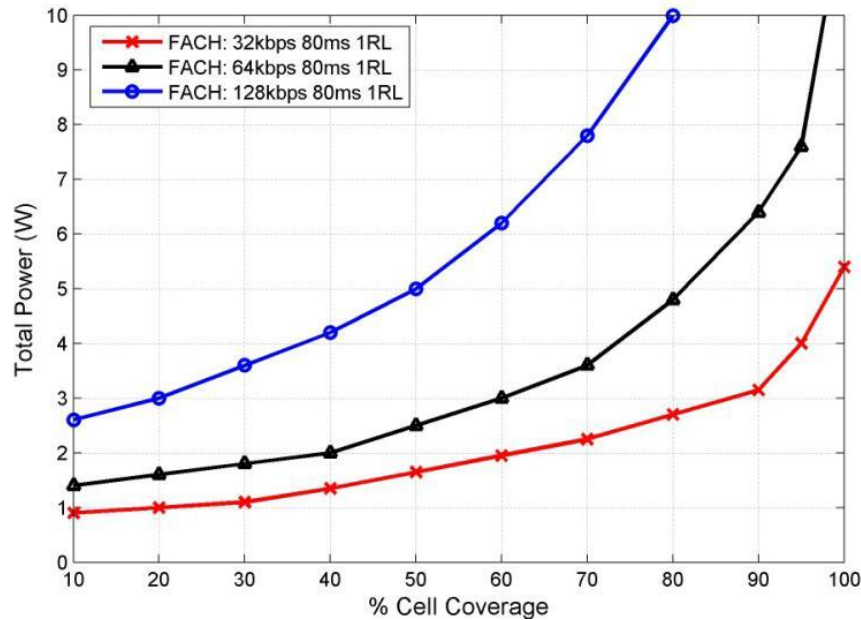
6.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΚΠΙΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

6.2.1 Dynamic Power Setting

Σύμφωνα με την τεχνική Dynamic Power Setting (η οποία εφεξής θα καλείται DPS), η ισχύς εκπομπής του FACH μπορεί να καθοριστεί δυναμικά με βάση το path loss του πιο απομακρυσμένου από το σταθμό βάσης χρήστη. Με τον τρόπο αυτό, η ισχύς του FACH καθορίζεται δυναμικά και επομένως το FACH θα πρέπει να καλύψει ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης μόνο εάν ένας ή περισσότεροι χρήστες είναι στα όρια της κυψέλης. Προκειμένου να εκτελεστεί η τεχνική DPS, οι MBMS χρήστες θα πρέπει να θέσουν σε λειτουργία ένα μηχανισμό μέτρησης της ποιότητας σήματος ενώ βρίσκονται στην κατάσταση Cell-FACH. Με βάση τις μετρήσεις, ο κόμβος Node B μπορεί να ρυθμίσει την ισχύ του FACH στο επιθυμητό επίπεδο [32].

Τα παραπάνω παρουσιάζονται στην Εικόνα 37, σύμφωνα με την οποία ο σταθμός βάσης θέτει την ισχύ μετάδοσης του FACH βασισμένος στην απόσταση του πιο απομακρυσμένου χρήστη. Η πληροφορία για την απόσταση των χρηστών αποστέλλεται στο σταθμό βάσης μέσω uplink καναλιών. Η περαιτέρω εξέταση της εικόνας αποκαλύπτει ότι απαιτούνται συνολικά 4.0 Watt για την παροχή μίας 32 Kbps MBMS υπηρεσίας στο 95% της κυψέλης. Ωστόσο, εάν υποθεθεί ότι όλοι οι χρήστες βρίσκονται κοντά στο σταθμό βάσης (και απαιτείται η κάλυψη μόνο του 10% της κυψέλης) απαιτούνται μόνο 0.9 Watt. Στην περίπτωση αυτή μπορούν να εξοικονομηθούν 3.1 Watt (4.0 Watt μείον 0.9 Watt) κατά την μετάδοση της 32 Kbps υπηρεσίας, δεδομένου ότι εφαρμόζοντας την τεχνική DPS, ο σταθμός βάσης θα θέσει την ισχύ του σε επίπεδο ικανό να καλύψει μόνο το 10% της κυψέλης. Το αντίστοιχο κέρδος ισχύος αυξάνεται στα 6.2 Watt για μία 64 Kbps υπηρεσία και στα 13.4 Watt

για μία 128 Kbps MBMS υπηρεσία (υπενθυμίζουμε ότι η μέγιστη ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης είναι 20 Watt). Αυτά τα υψηλά κέρδη ισχύος υπογραμμίζουν την ανάγκη ενσωμάτωσης της τεχνικής DPS στο MBMS.



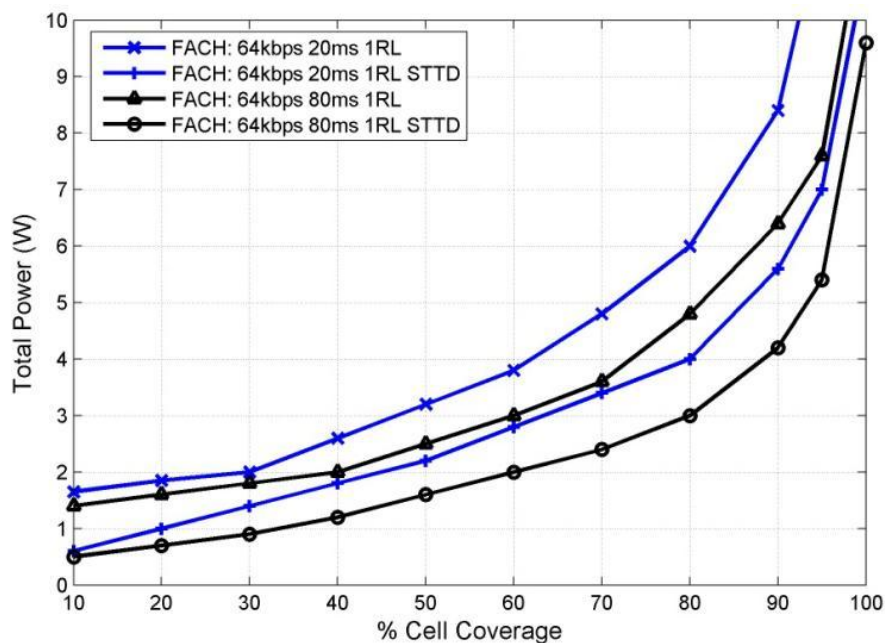
Εικόνα 37: Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της DPS (RL: RAdio Link)

6.2.2 Longer TTI and Space Diversity

Η τεχνική Longer Transmission Time Interval (TTI) and Space Diversity (εφεξής LTTI) πρόκειται ουσιαστικά για το συνδυασμό δύο τεχνικών μείωσης ισχύος, της Longer TTI και της Space Diversity. Αυτές οι δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο φυσικό επίπεδο για να ωφελήσουν κάθε μέλος ενός MBMS group σε μία κυψέλη. Οι τεχνικές space-time diversity εκμεταλλεύονται το diversity στα πεδία του χώρου και του χρόνου. Το diversity πρόκειται για μία τεχνική σύμφωνα με την οποία μπορούν να συνδυαστούν δύο ή περισσότερα αντίγραφα του ίδιου μηνύματος που παραλαμβάνεται από διαφορετικά κανάλια. Αφ' ενός, μια αύξηση στο μήκος του TTI (από τα 20 ms στα 80 ms) μπορεί να παρέχει σημαντικά κέρδη ισχύος, ωστόσο, η χρήση μεγαλύτερου TTI εισάγει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και μεγαλύτερες απαιτήσεις σε μνήμη στους κινητούς σταθμούς. Αφ' ετέρου, η τεχνική Space Diversity υποθέτει δύο κεραίες εκπομπής και μία κοινή ροή δεδομένων προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα του σήματος και επομένως οι απαιτήσεις ισχύος. Το κύριο όφελος από το συνδυασμό των τεχνικών space-time diversity είναι η

μείωση του απαιτούμενου E_b/N_0 στον κατερχόμενο σύνδεσμο. Αυτή η βελτίωση στην απαίτηση του E_b/N_0 βελτιώνει με τη σειρά της τη χωρητικότητα του συστήματος και αυξάνει την περιοχή κάλυψη της υπηρεσίας [13], [15].

Η Εικόνα 38 παρουσιάζει την απαιτούμενη ισχύ του FACH για τη μετάδοση μίας 64 Kbps MBMS υπηρεσίας σε διάφορες περιοχές κάλυψης με ή χωρίς τη χρήση των τεχνικών Longer TTI και Space Diversity. Σύμφωνα με την εικόνα, η αύξηση του TTI (από 20 ms σε 80 ms) σε συνδυασμό με την εφαρμογή της τεχνικής Space Diversity εξασφαλίζει τη μικρότερη κατανάλωση ισχύος.



Εικόνα 38: Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της LTTI

Παράλληλα, ο Πίνακας 13 εμφανίζει ορισμένες χαρακτηριστικές περιπτώσεις που αποκαλύπτουν τα ποσά ισχύος που μπορούν να εξοικονομηθούν κατά την μετάδοση μίας 64 Kbps MBMS υπηρεσίας, με την αύξηση του μήκους TTI και την εφαρμογή του Space Diversity. Έτσι, τόσο από τον πίνακα όσο και από την Εικόνα 38 παρατηρούμε πως για 50% κάλυψη της κυψέλης απαιτείται ακριβώς η μισή ισχύς με την τεχνική αυτή ενώ για 95% κάλυψη λιγότερη από τη μισή συγκριτικά με την περίπτωση που η MBMS υπηρεσία μεταδιδόταν χωρίς τη χρήση της.

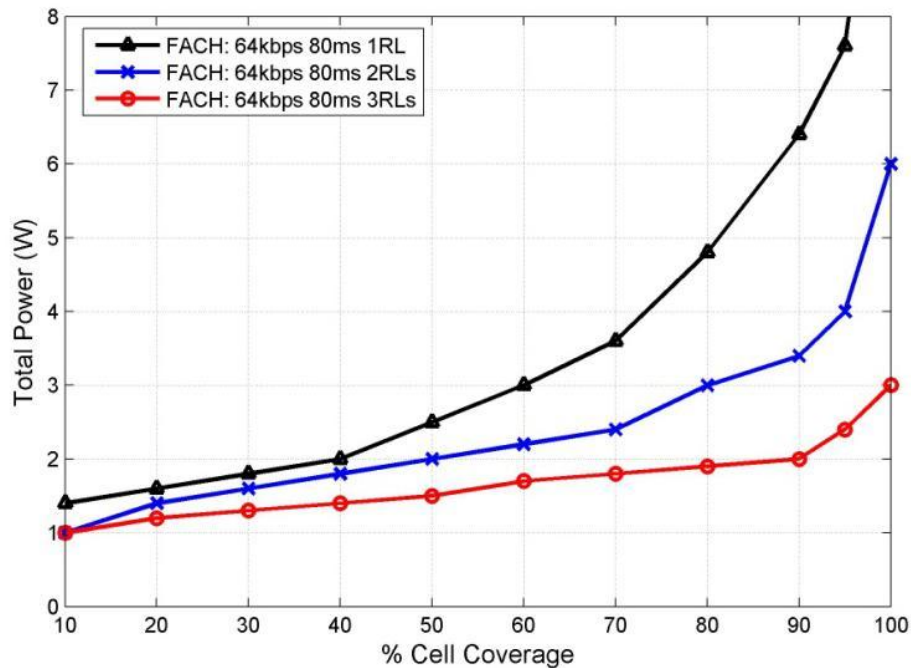
Περιοχή κάλυψης (%)	ms	TTI (ms)	Απαιτούμενη Ισχύς (Watt)
	50	20	χωρίς STTD
20		με STTD	2.2
80		χωρίς STTD	2.5
80		με STTD	1.6
80		χωρίς STTD	11.8
95	20	με STTD	7.0
	80	χωρίς STTD	7.6
	80	με STTD	5.4
	80	χωρίς STTD	7.6

Πίνακας 13: Ενδεικτικές στάθμες ισχύος του FACH με χρήση της LTTI

6.2.3 Macro Diversity Combining

Η τεχνική Macro Diversity Combining (εφεξής θα καλείται MDC) εφαρμόζεται στην περίπτωση όπου δύο ή περισσότεροι Node Bs εξυπηρετούν την ίδια περιοχή και ο έλεγχος του κινητού χρήστη εναλλάσσεται μεταξύ τους. Στην τεχνική αυτή, η ίδια πληροφορία μεταδίδεται πάνω από δύο ή περισσότερα κανάλια, ενώ στο δέκτη συνδυάζονται τα πολλαπλά αυτά αντίγραφα προκειμένου να αυξηθεί το συνολικός λόγος σήματος προς θόρυβο (Signal-to-Noise Ratio ή SNR). Η κύρια ιδέα γύρω από την τεχνική MDC είναι να μειωθεί η ισχύς εκπομπής ενός σταθμού βάσης όταν αυτός εξυπηρετεί χρήστες κοντά στα όρια της κυψέλης. Το γεγονός ότι ο χρήστης είναι σε θέση να λαμβάνει τα δεδομένα από δύο σταθμούς βάσης ταυτόχρονα, οδηγεί σε

μείωση της ισχύος εκπομπής του κάθε σταθμού βάσης, ωστόσο, η συνολικά απαιτούμενη ισχύς παραμένει η ίδια. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, ανάλογα με την περιοχή κάλυψης, η συνολική ισχύς που απαιτεί η τεχνική MDC μπορεί να είναι μεγαλύτερη [28].



Εικόνα 39: Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της MDC

Η Εικόνα 39 δείχνει πως όταν εφαρμόζεται η τεχνική MDC τα επίπεδα ισχύος μετάδοσης του FACH μεταβάλλονται δραστικά ανάλογα με την επιθυμητή περιοχή κάλυψης. Στο σενάριο θεωρούμε ότι μια υπηρεσία με ρυθμό μετάδοσης 64 Kbps πρέπει παραδοθεί σε ένα group χρηστών με τη χρήση ενός, δύο ή τριών σταθμών βάσεων (ή αλλιώς ασύρματων συνδέσμων, radio links). Θεωρούμε επίσης πως το TTI έχει οριστεί στα 80 ms. Παράλληλα, για την ευκολότερη κατανόηση του σεναρίου, ο Πίνακας 14 παρουσιάζει ορισμένες ενδεικτικές στάθμες ισχύος του FACH με την εφαρμογή της τεχνικής MDC που εξάγονται από την Εικόνα 39.

Περιοχή κάλυψης (%)	Ασύρματοι σύνδεσμοι (RL)	Απαιτούμενη ισχύς (Watt)
50	1	2.5
	2	2.0
	3	1.5
95	1	7.6
	2	4.0
	3	2.4

Πίνακας 14: Ενδεικτικές στάθμες ισχύος του FACH με χρήση της MDC

Παρατηρούμε ότι καθώς ο χρήστης λαμβάνει τα δεδομένα από δύο (ή τρεις) σταθμούς βάσης ταυτόχρονα, η ισχύς που καταναλώνει ο εκάστοτε σταθμός βάσης μειώνεται. Συγκεκριμένα, για 50% κάλυψη διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Το group εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης που απαιτεί ισχύ 2.5 Watt.
- Το group εξυπηρετείται από δύο σταθμούς βάσης κάθε ένας από τους οποίους απαιτεί ισχύ 2.0 Watt.
- Το group εξυπηρετείται από τρεις σταθμούς βάσης κάθε ένας από τους οποίους απαιτεί ισχύ 1.5 Watt.

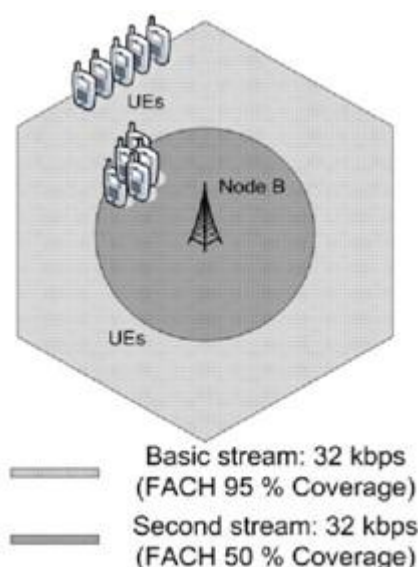
Αυτό που αξίζει να αναφέρουμε είναι ότι στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η συνολική απαιτούμενη ισχύς στην περίπτωση που το group χρηστών εξυπηρετούσαν δύο ή τρεις σταθμοί βάσης είναι μεγαλύτερη από την περίπτωση του ενός σταθμού βάσης (μη εφαρμογή της MDC). Η παρατήρηση αυτή όπως θα φανεί στις επόμενες παραγράφους δεν ισχύει πάντα. Ωστόσο, ακόμα και στο συγκεκριμένο παράδειγμα η εφαρμογή της τεχνικής MDC μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση που τα επίπεδα ισχύος ενός συγκεκριμένου σταθμού βάσης είναι υψηλά, ενώ αντίστοιχα τα επίπεδα ισχύος των γειτονικών σταθμών βάσης είναι χαμηλά.

6.2.4 Rate Splitting

Η τεχνική RS προϋποθέτει ότι η ροή των MBMS δεδομένων είναι βαθμωτή και κατά συνέπεια μπορεί να χωριστεί σε περισσότερες ροές με διαφορετικά QoS χαρακτηριστικά. Από τις ροές αυτές, μόνο η σημαντικότερη (βασική ροή) αποστέλλεται σε όλους τους χρήστες της κυψέλης προκειμένου να παρέχει τη βασική

υπηρεσία. Οι λιγότερο σημαντικές ροές αποστέλλονται με μικρότερα ποσά ισχύος και επομένως μόνο οι χρήστες που έχουν καλύτερες συνθήκες (ή διαφορετικά οι χρήστες που βρίσκονται κοντά στο Node B) μπορούν να τις λάβουν για να βελτιώσουν την ποιότητα της βασικής MBMS ροής. Με τον τρόπο αυτό, η ισχύς μετάδοσης της βασικής ροής μπορεί να μειωθεί αφού μειώνεται ο ρυθμός μετάδοσής της. Ταυτόχρονα, μπορεί να μειωθεί η ισχύς μετάδοσης των λιγότερο σημαντικών ροών αφού για τις ροές αυτές μειώνονται οι απαιτήσεις σε κάλυψη [16].

Στο σενάριο που παρουσιάζεται στην Εικόνα 40, θεωρούμε ότι μία 64 Kbps MBMS υπηρεσία μπορεί να χωριστεί σε δύο ροές των 32 Kbps. Η πρώτη ροή των 32 Kbps (βασική ροή) υποτίθεται πως φέρει τις πιο σημαντικές πληροφορίες της MBMS υπηρεσίας και επομένως παρέχεται σε ολόκληρη την κυψέλη. Αντίθετα, η δεύτερη ροή των 32 Kbps αποστέλλεται μόνο στους χρήστες που βρίσκονται κοντά στο σταθμό βάσης (μέχρι το 50% της περιοχής της κυψέλης) και δίνει τη δυνατότητα στους συγκεκριμένους χρήστες να λάβουν την πλήρη υπηρεσία των 64 Kbps. Η Εικόνα 48 απεικονίζει τον τρόπο που λειτουργεί αυτή η τεχνική, από άποψη επιλογής καναλιών και κάλυψης της κυψέλης.



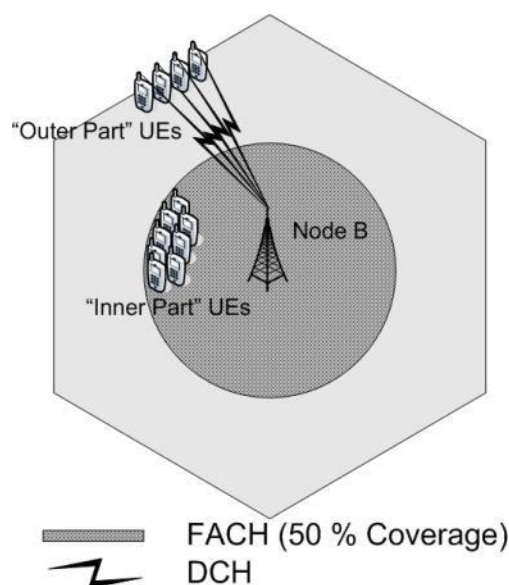
Εικόνα 40: Παροχή MBMS υπηρεσιών με χρήση της RS

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, με τη χρήση της τεχνικής RS ο σταθμός βάσης απαιτεί 5.8 Watt (4.0 Watt για τη βασική και 1.8 Watt για τη δεύτερη ροή). Από την άλλη μεριά, για τη μετάδοση μίας 64 Kbps MBMS υπηρεσίας με ένα FACH με

κάλυψη 95% της κυψέλης θα απαιτούνταν 7.6 Watt. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή της τεχνικής RS μπορεί να εξασφαλίσει 1.8 Watt. Ωστόσο, αξίζει να αναφέρουμε ότι αυτό το κέρδος σε ισχύ εμπεριέχει ένα σημαντικό μειονέκτημα. Και αυτό γιατί ορισμένοι από τους χρήστες θα λαμβάνουν μόνο τα 32 Kbps της υπηρεσίας, ακόμα κι αν αυτά τα 32 Kbps περιέχουν τις σημαντικές πληροφορίες. Δεδομένου ότι η διαφορά που παρατηρείται θα είναι μικρή, ο σταθμός βάσης θα πρέπει να αντισταθμίζει την ισχύ μετάδοσης και τις απαιτήσεις των κινητών χρηστών.

6.2.5 Mixed usage of DCHs and FACH

Η τεχνική MDF μπορεί να μειώσει σημαντικά την ισχύ μετάδοσης του Node B ανάλογα με τον πληθυσμό και την κατανομή των χρηστών που λαμβάνουν την MBMS υπηρεσία σε μία κυψέλη. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, το κανάλι FACH καλύπτει μόνο το εσωτερικό τμήμα της κυψέλης (π.χ. το 50% της περιοχής της κυψέλης) και παρέχει την MBMS υπηρεσία στους χρήστες που βρίσκονται στο τμήμα αυτό («inner part» χρήστες). Οι υπόλοιποι χρήστες («outer part» χρήστες) εξυπηρετούνται με πολλαπλά DCHs, τα οποία ουσιαστικά καλύπτουν το εξωτερικό τμήμα της κυψέλης. Η Εικόνα 41 είναι αντιπροσωπευτική του τρόπου παροχής μίας MBMS υπηρεσίας με τη χρήση της τεχνικής MDF. Η συνολική κατανάλωση ισχύος συμπεριλαμβανομένης της ισχύος του FACH και των αφιερωμένων καναλιών εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό και τη θέση των χρηστών που εξυπηρετούνται με DCHs [32].

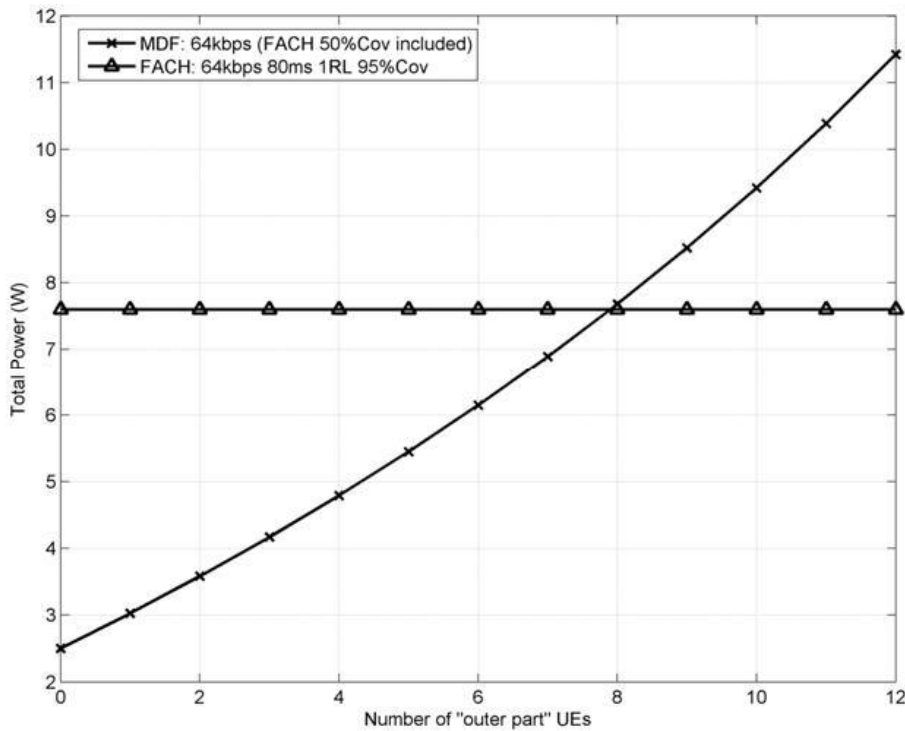


Εικόνα 41: Παροχή MBMS υπηρεσιών με χρήση της MDF

Στόχος μας είναι να εξετάσουμε το πώς η ισχύς μετάδοσης επηρεάζεται από τον αριθμό των «outer part» χρηστών. Προς αυτή την κατεύθυνση, η Εικόνα 42 παρουσιάζει τη συνολική ισχύ μετάδοσης του Node B συναρτήσει του αριθμού των «outer part» χρηστών. Η συνολική ισχύς περιλαμβάνει την ισχύ που απαιτείται προκειμένου να καλυφθεί το εσωτερικό 50% της κυψέλης με FACH (δηλαδή 2.5 Watt). Επιπρόσθετα, ο αριθμός των «inner part» χρηστών υποτίθεται ότι είναι αρκετά υψηλός ώστε να δικαιολογηθεί την επιλογή του FACH ως κανάλι μεταφοράς στο εσωτερικό τμήμα.

Παράλληλα, στην Εικόνα 42 έχει σχεδιαστεί εκτός από την ισχύ που απαιτεί η τεχνική MDF και η ισχύς που απαιτείται για την κάλυψη του 95% της περιοχής της κυψέλης με ένα FACH. Αυτός ο παράλληλος σχεδιασμός έχει ως στόχο να δώσει έμφαση στο γεγονός ότι πρέπει να εκτελεστεί μία εναλλαγή από την τεχνική MDF σε ένα FACH ή αντίστροφα. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 42 όταν οι «outer part» χρήστες ξεπεράσουν τους 7, η συνολική ισχύς με τη χρήση της τεχνικής MDF υπερβαίνει την ισχύ που απαιτείται προκειμένου να καλυφθεί ολόκληρη η κυψέλη με ένα FACH. Επομένως, είναι πιο αποδοτικό από άποψη ισχύος να χρησιμοποιηθεί ένα FACH που θα καλύψει το 95% της κυψέλης. Ωστόσο, για λιγότερους από 7 «outer part» χρήστες η τεχνική MDF μπορεί να εξασφαλίσει την εξοικονόμηση σημαντικού ποσοστού των διαθέσιμων πόρων ισχύος.

Πρέπει τέλος να επισημάνουμε το γεγονός ότι η τεχνική MDF έχει ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα. Το πλεονέκτημα αυτό στηρίζεται στο γεγονός ότι το κανάλι DCH υποστηρίζει το soft handover, ενώ το FACH όχι. Δεδομένου ότι με αυτήν την τεχνική οι χρήστες που βρίσκονται κοντά στα όρια της κυψέλης εξυπηρετούνται με DCHs, η μετάβασή τους σε μία γειτονική κυψέλη θα είναι ομαλότερη, δεδομένου ότι η MBMS υπηρεσία θα παρέχεται αδιάλειπτα.

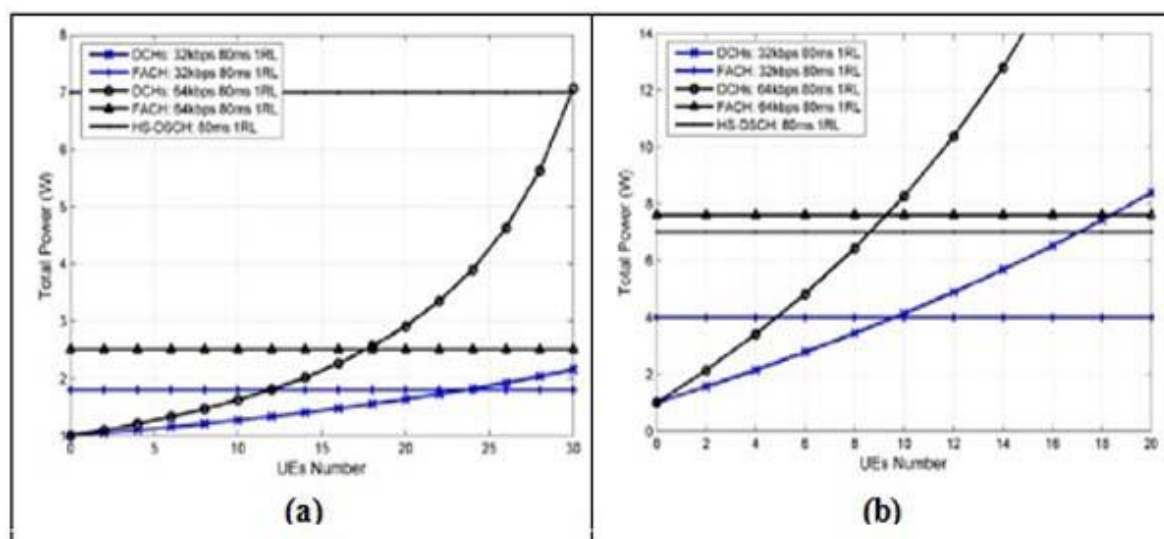


Εικόνα 42: Ισχύς εκπομπής του Node B με χρήση της MDF

6.2.6 Efficient Channel Selection

Αναφέρουμε την τεχνική αυτή τελευταία, αν και είναι η προφανέστερη και αυτή που έχει προκαλέσει περισσότερο το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας. Η τεχνική Efficient Channel Selection (εφεξής ECS) σχετίζεται με την επιλογή του πιο αποδοτικού από άποψη ισχύος καναλιού πολυεκπομπής για τη μετάδοση μίας MBMS συνόδου. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, αν ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ισχύ εκπομπής του Node B κατά τη διάρκεια μιας MBMS συνόδου (όπως οι απαιτήσεις QoS, η κατανομή και η κινητικότητα των χρηστών, κοκ.) καθίσταται εφικτή η δημιουργία ενός βασισμένου στην ισχύ σχεδίου επιλογής του αποδοτικότερου καναλιού μεταφοράς, το οποίο θα επιτρέπει ταυτόχρονα την εναλλαγή μεταξύ των καναλιών. Η απόφαση θα πρέπει να λαμβάνεται αφού υπολογιστεί η συνολική απαιτούμενη ισχύς για κάθε περίπτωση. Ωστόσο, προκειμένου να είναι δυνατή η αποδοτική εναλλαγή μεταξύ των καναλιών, θα πρέπει σε πρώτη φάση να καθοριστούν με ακρίβεια τα όρια (ή αλλιώς ο αριθμός των χρηστών) πάνω από τα οποία το πιο κατάλληλο κανάλι είναι το HS-DSCH, το FACH ή το DCH [25], [26]. Αν και ο τρόπος καθορισμού των ορίων θα εξεταστεί σε

συνδυασμό με τις τεχνικές RS και MDF, θα κάνουμε στο σημείο αυτό μία αρχική περιγραφή του.



Εικόνα 43: Ισχύς εκπομπής του Node B με χρήση της ECS για: (a) 50% κάλυψη, (b) 95% κάλυψη

Προς αυτή την κατεύθυνση, εξετάζονται δύο διαφορετικές περιπτώσεις ανάλογα με την περιοχή που επιθυμούμε να καλυφθεί. Στην πρώτη περίπτωση, η επιθυμητή περιοχή κάλυψης είναι το 50% (Εικόνα 43a), ενώ στη δεύτερη το 95% της κυψέλης (Εικόνα 43b). Κάθε μία εικόνα παρουσιάζει την ισχύ που απαιτείται για τη μετάδοση μίας MBMS υπηρεσίας (ρυθμού μετάδοσης 32 ή 64 Kbps) συναρτήσει του αριθμού χρηστών, όταν χρησιμοποιούνται τα κανάλια DCH, FACH ή HS-DSCH.

Από την Εικόνα 43 μπορούμε να συμπεράνουμε τα παρακάτω:

- Για 50% κάλυψη (Εικόνα 43a): Όταν εξυπηρετείται ένας μόνο χρήστης με DCH μπορούν να εξοικονομηθούν 0.8 Watt ή 1.4 Watt κατά τη μετάδοση μίας 32 Kbps ή 64 Kbps αντίστοιχα, συγκριτικά με την περίπτωση του FACH. Το παραπάνω κέρδος ισχύος αυξάνεται στα 6.0 και 5.9 Watt αντίστοιχα όταν το DCH συγκρίνεται με το HS-DSCH.
- Για 95% κάλυψη (Εικόνα 43b): Το αντίστοιχο κέρδος αγγίζει τα 2.7 Watt (ή τα 5.7 Watt συγκριτικά με το HS-DSCH) για μία 32 Kbps υπηρεσία και τα 6.0 Watt (ή 5.4 Watt συγκριτικά με το HS-DSCH) για μία 64 Kbps υπηρεσία.

- Και στις δύο περιπτώσεις: Το κέρδος ισχύος μειώνεται καθώς ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται.
- Και στις δύο περιπτώσεις: από έναν αριθμό χρηστών και πάνω θα πρέπει να πραγματοποιηθεί εναλλαγή από DCHs σε FACH (ή από DCHs σε HS-DSCH).

Αξίζει να σημειωθεί πως σύμφωνα με την Εικόνα 43, όταν χρησιμοποιείται το DCH ως κανάλι μεταφοράς, η αρχική τιμή της ισχύος εκπομπής είναι 1 Watt [46]. Η τιμή αυτή ισούται με την ισχύ που ανατίθεται για τα κοινά κανάλια ελέγχου (όρος P_p στην Εξίσωση 3) και προστίθεται στον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος όταν χρησιμοποιείται το κανάλι DCH. Σύμφωνα με την Εξίσωση 3, αυτός ο σταθερός όρος προστίθεται μόνο μία φορά, ανεξάρτητα από τον αριθμό και τη θέση των χρηστών. Παράλληλα, για την περίπτωση HS-DSCH χρησιμοποιείται η μέθοδος σταθερής ανάθεσης ισχύος, όπως αυτή περιγράφηκε στην παράγραφο 5.5.1.

Περιοχή κάλυψης (%)	Ρυθμός μετάδοσης (Kbps)	Σημεία εναλλαγής από DCH σε FACH (UEs)	Σημεία εναλλαγής από DCH σε HS-DSCH (UEs)
50	32	23	-
	64	17	30
95	32	10	17
	64	10	8

Πίνακας 15: Ενδεικτικά σημεία εναλλαγής καναλιών

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, ο Πίνακας 15 παρουσιάζει ορισμένα ενδεικτικά σημεία εναλλαγής μεταξύ των καναλιών DCH και FACH ή μεταξύ των DCH και HS-DSCH. Για αριθμό χρηστών μεγαλύτερο από το αντίστοιχο σημείο εναλλαγής το FACH ή το HS-DSCH είναι το πιο κατάλληλο από άποψη ισχύος κανάλι για τη μετάδοση των multicast δεδομένων. Μάλιστα, τα σημεία εναλλαγής είναι η μόνη πληροφορία που χρειάζεται ο κόμβος RNC προκειμένου να δώσει εντολή στο Node B να μεταδώσει τα MBMS δεδομένα με διαφορετικό κανάλι μεταφοράς. Τέλος, αναφέρουμε πως θα μπορούσαν να διακριθούν πολλές ακόμη περιπτώσεις και να καθοριστούν περισσότερα σημεία εναλλαγής, δεδομένου ότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την ισχύ μετάδοσης [25]. Ωστόσο, τα δύο παραδείγματα που εξετάστηκαν είναι αντιπροσωπευτικά για τον τρόπο με τον οποίο η τεχνική ECS μπορεί να μειώσει την ισχύ εκπομπής των σταθμών βάσης.

Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι μία εκτενής αναφορά για τις τεχνικές μείωσης της εκπεμπόμενης ισχύος μπορεί να βρεθεί στις αναφορές [21], [22], [23].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Απο τις παραπάνω τεχνικές που αναφέρθηκαν γίνεται κατανοητό ότι συνδυασμός των τεχνικών αυτών μείωσης της ισχύος είναι δυνατόν να επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν θα προτείνουμε και θα αναλύσουμε μέσα από σχετικές προσομοιώσεις που αναφέρονται στη βιβλιογραφία τον συνδυασμό τους, με κύριο στόχο να προσδιοριστεί το επιπλέον κέρδος ισχύος και να τονιστεί η χρησιμότητα του συνδυασμού τους. Τέλος, θα δούμε ένα παράδειγμα μέσα από το οποίο θα εφαρμόσουμε αυτά που έχουμε αναφέρει παραπάνω ώστε να γίνει κατανοητός ο έλεγχος της ισχύος σε στατικό και δυναμικό περιβάλλον. Πιο αναλυτικά στην παράγραφο 7.1 εξετάζεται ο συνδυασμός των τεχνικών DPS, LTTI και MDC που εξασφαλίζουν μειωμένη κατανάλωση ισχύος κατά τις PTM μεταδόσεις, ενώ στην παράγραφο 7.2 αξιολογείται ο συνδυασμός των τεχνικών RS, MDF και ECS κατά τη μετάδοση μίας MBMS υπηρεσίας. Τα αποτελέσματα αναφέρονται στην περίπτωση του macrocell περιβάλλοντος. Επομένως, οι βασικές παράμετροι προσομοίωσης είναι αυτές που αναφέρει ο Πίνακας 16, με κάποιες επιπλέον παραμέτρους προσομοίωσης για τα σενάρια που αφορούν το συνδυασμό των τεχνικών μείωσης ισχύος [1], [4], [5], [36]. Στην παράγραφο 7.3 υπολογίζεται η συνολική ισχύς του σταθμού βάσης σε στατικό και δυναμικό περιβάλλον.

Παράμετρος	Τιμή
Τύπος κυψελών	Εξαγωνικές κυψέλες
Πλήθος κυψελών	18
Τομείς	3 τομείς/ κυψέλη
Site-to-site distance	1 km

Ακτίνα κυψέλης	577 m
Μέγιστη ισχύς εκπομπής	20 Watt (43dBm)
Ισχύς εκπομπής κοινών καναλιών ελέγχου	1 Watt (30dBm)
Background θόρυβος	-100 dBm
Εύρος ζώνης	3.84 (Mchips/s)
Παράγοντας ορθογωνιότητας (0: τέλεια ορθογωνιότητα)	0.5
Path loss model	$L_p \text{ dB} = 128.1 + 37.6 \cdot \log_{10} d$ (Modified Okumura-Hata)
Ισχύς εκπομπής λοιπών BS	5 Watt
Ισχύς CPICH	2 Watt
Multipath channel	Vehicular A (3 km/h)
E_b/N_0 target	5 dB

Πίνακας 16: Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης - macrocell

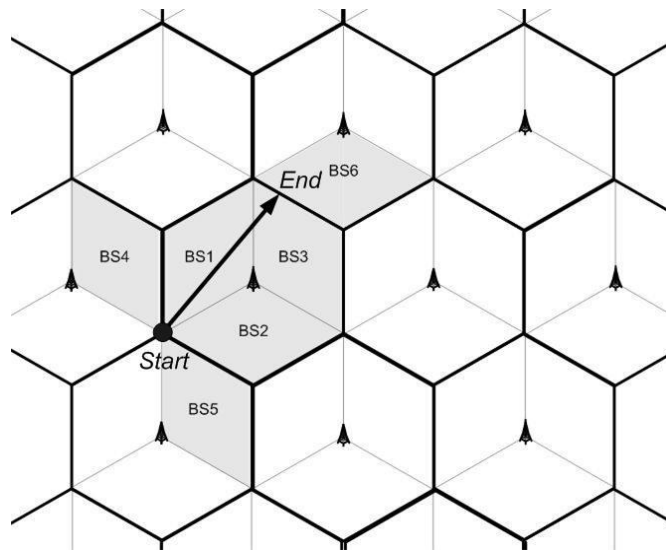
7.1 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ DPS, LTTI ΚΑΙ MDC

Στη συγκεκριμένη παράγραφο γίνεται αναφορά σχετικά με την κατανάλωση ισχύος του συνδυασμού των τεχνικών Dynamic Power Setting, Longer TTI and Space Diversity και Macro Diversity Combining.

Προς αυτή την κατεύθυνση εξετάζεται ένα σενάριο που προσομοιώνει την κίνηση ενός χρήστη καθώς λαμβάνει μία MBMS υπηρεσία ρυθμού μετάδοσης 64 Kbps. Η διαδρομή του χρήστη φαίνεται στην Εικόνα 44. Το σενάριο υποθέτει ότι ο χρήστης τη

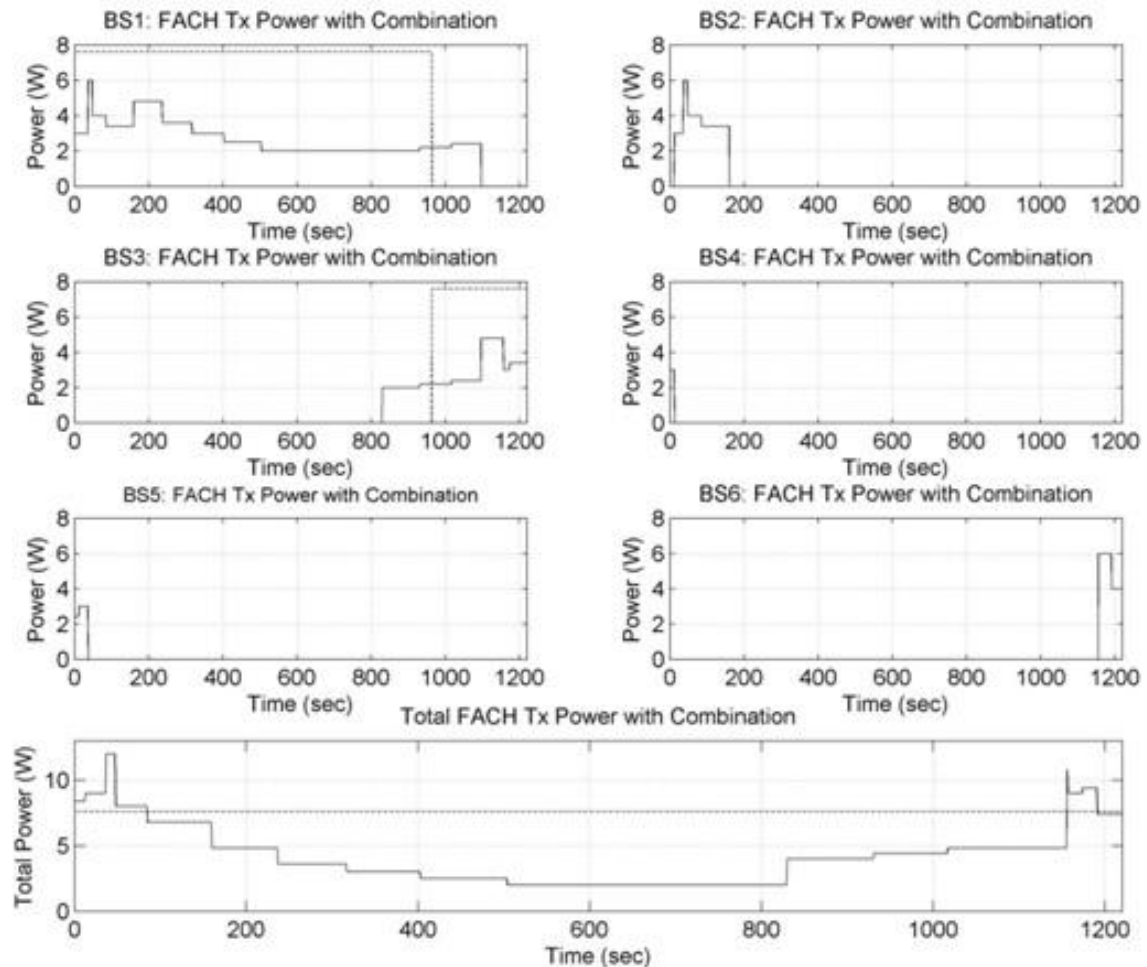
χρονική στιγμή 0 sec ξεκινά να κινείται από το σημείο «Start» για να καταλήξει στο σημείο «End» ακολουθώντας τη διαδρομή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 44. Η προσομοίωση διαρκεί συνολικά 1220 δευτερόλεπτα. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής του, ο κινούμενος χρήστης εισέρχεται και εξέρχεται διαδοχικά από την περιοχή κάλυψης δύο διαφορετικών τομέων που εξυπηρετούνται από τους σταθμούς βάσης BS1 και BS3. Ωστόσο, δεδομένου ότι εφαρμόζεται η τεχνική MDC, θεωρούμε πως κατά τη διάρκεια του σεναρίου ο χρήστης εξυπηρετείται συνολικά από 6 διαφορετικούς τομείς (BS1 έως BS6 στην Εικόνα 44).

Σημειώνουμε πως κύριος στόχος του σεναρίου είναι να αναδείξει το ποσό ισχύος που θα μπορούσε να εξοικονομηθεί μέσω του συνδυασμού των τεχνικών DPS, LTTI και MDC. Οι συγκεκριμένες τεχνικές, όπως παρουσιάστηκε στις παραγράφους 6.2.1, 6.2.2 και 6.2.3, εφαρμόζονται για να μειώσουν τις απαιτήσεις ισχύος κατά τις μεταδόσεις με το FACH. Για λόγους απλότητας λοιπόν, υποθέτουμε ότι κατά τη διάρκεια της διαδρομής του, ο κινούμενος χρήστης εξυπηρετείται μόνο με FACH. Με άλλα λόγια, κάθε «ενεργός» τομέας ανιχνεύει την απόσταση του χρήστη και ρυθμίζει την ισχύ του σε επίπεδο ικανό να του παρέχει την MBMS υπηρεσία μέσω της τεχνικής DPS. Θεωρούμε επίσης ότι το TTI τίθεται στα 80 ms καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Με άλλα λόγια το κέρδος ισχύος από την τεχνική LTTI είναι ενσωματωμένο στα αποτελέσματα.



Εικόνα 44: Διαδρομή του κινούμενου χρήστη σύμφωνα με το σενάριο

Οι πρώτες έξι γραφικές παραστάσεις στην Εικόνα 44 απεικονίζουν την ισχύ μετάδοσης του FACH (συνεχής γραμμή στην Εικόνα 44) για κάθε σταθμό βάσης που συμμετέχει στο σενάριο. Από την άλλη μεριά, η συνεχής γραμμή στην έβδομη (κάτω) γραφική παράσταση αντιπροσωπεύει τη συνολική, αθροιστική ισχύ των σταθμών βάσης που απαιτείται προκειμένου να εξυπηρετηθεί ο κινούμενος χρήστης. Τέλος, για λόγους σύγκρισης, στις γραφικές παραστάσεις των BS1, BS3 και της συνολικής ισχύος έχει προστεθεί με διακεκομμένη γραμμή η ισχύς μετάδοσης του FACH στην περίπτωση που δεν εφαρμοζόταν καμία από τις τρεις τεχνικές. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση αυτή ο χρήστης εξυπηρετείται κάθε χρονική στιγμή από ένα μόνο τομέα. Ο αντίστοιχος τομέας μάλιστα θα χρησιμοποιούσε ένα FACH με ισχύ ικανή να καλυφθεί το 95% της περιοχής του (απαιτώντας σταθερή ισχύ ίση με 7.6 Watt για μία 64 Kbps MBMS υπηρεσία και TTI ίσο με 80 ms). Πιο συγκεκριμένα, από την Εικόνα 45 παρατηρούμε ότι στη περίπτωση που δεν εφαρμοζόταν καμία τεχνική, ο BS1 θα είχε αναλάβει την εξυπηρέτηση του κινούμενου χρήστη από την αρχή της προσομοίωσης μέχρι τη χρονική στιγμή 963 sec (απαιτώντας 7.6 Watt) ενώ, για το χρονικό διάστημα 963 sec μέχρι το τέλος της προσομοίωσης ο κινούμενος χρήστης εξυπηρετείται από τον σταθμό βάσης BS3 αφού βρίσκεται στην περιοχή κάλυψής του.



Εικόνα 45: Ισχύς εκπομπής FACH με το συνδυασμό των τεχνικών DPS, LTTI και MDC

Ακόμη και μία γρήγορη ματιά στη γραφική του BS1 (πρώτη γραφική στην Εικόνα 45) αποκαλύπτει ότι για το χρονικό διάστημα 0-963 sec όπου ο χρήστης παραμένει στην περιοχή κάλυψης του BS1, η ισχύς που απαιτείται με το συνδυασμό των τεχνικών δεν υπερβαίνει σε καμία περίπτωση την ισχύ που απαιτείται όταν δεν εφαρμόζεται ο συνδυασμός. Ακόμη και στις περιπτώσεις όπου ο κινούμενος χρήστης βρίσκεται στα όρια του τομέα (π.χ. στο σημείο «Start») η ισχύς που απαιτείται από τον BS1 με τον συνδυασμό είναι πολύ μικρότερη απ' ότι χωρίς το συνδυασμό. Αυτό συμβαίνει επειδή στα όρια του τομέα εφαρμόζεται η τεχνική MDC επιτρέποντας στο χρήστη να λαμβάνει τα MBMS δεδομένα από δύο ή τρεις τομείς ταυτόχρονα.

Επιπλέον, σύμφωνα με την Εικόνα 45 για το χρονικό διάστημα 160-829 sec, ο κινούμενος χρήστης εξυπηρετείται μόνο από τον BS1. Ισχύς εξοικονομείται και σε αυτήν την περίπτωση αφού ο BS1 ρυθμίζει την ισχύ του βασισμένος στην απόσταση του κινούμενου χρήστη κάθε χρονική στιγμή (εφαρμογή της τεχνικής DPS). Η

παραπάνω παρατήρηση μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητή μετά από μία ματιά στην Εικόνα 44 και συγκεκριμένα λίγο μετά το σημείο «Start» μέχρι λίγο πριν ο χρήστης εισέλθει στην περιοχή κάλυψης του BS3. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο σταθμός BS1 δεν είναι απαραίτητο να καλύψει ολόκληρη την περιοχή του, καθώς ο κινούμενος χρήστης δεν βρίσκεται ποτέ στα όρια της. Συνεπώς, όσο πιο κοντά κινείται ο χρήστης στον BS1, τόσο λιγότερη ισχύς απαιτείται ή διαφορετικά τόσο υψηλότερο είναι το κέρδος ισχύος. Παρόμοια συμπεράσματα εξάγονται παρατηρώντας τη γραφική του BS3 για το χρονικό διάστημα 963 sec μέχρι το τέλος της προσομοίωσης, όπου ο χρήστης κινείται στην περιοχή κάλυψης του BS3. Κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, ο συνδυασμός των τεχνικών DPS και MDC εξασφαλίζει μειωμένη κατανάλωση ισχύος για τον BS3.

Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 6.2.3, η χρήση της τεχνικής MDC δεν συνεπάγεται απαραίτητα μικρότερη συνολική κατανάλωση ισχύος. Πράγματι, όπως φαίνεται στην έβδομη (κάτω) γραφική παράσταση στην Εικόνα 45, αθροιστικά, η ισχύς των τομέων που εξυπηρετούν τον κινούμενο χρήστη μπορεί να είναι υψηλότερη από τη συνολική ισχύ στην περίπτωση που δεν εφαρμόζεται ο συνδυασμός των τεχνικών. Επομένως, η τεχνική MDC πρέπει να εφαρμοστεί μόνο όταν τα επίπεδα ισχύος των τομέων BS1 και BS3 είναι υψηλά, ενώ αντίστοιχα τα επίπεδα ισχύος των γειτονικών τομέων είναι χαμηλά και επομένως μπορούν να συνεισφέρουν πόρους ισχύος.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι την ευθύνη σχετικά με την εφαρμογή της τεχνική MDC την έχει ο κόμβος RNC. Θα εξηγήσουμε την παραπάνω δήλωση μέσω ενός πρόσθετου σεναρίου στην Εικόνα 44. Σύμφωνα με το σενάριο, ο BS4 παρέχει μια 64 Kbps MBMS υπηρεσία σε 25 χρήστες που βρίσκονται σε απόσταση 50% της περιοχής κάλυψής του, απαιτώντας 2.5 Watt με ένα FACH. Επιπρόσθετα, ο BS1 παρέχει την ίδια MBMS υπηρεσία σε 15 χρήστες στα όρια του με τον BS4, απαιτώντας 7.6 Watt με ένα FACH. Σε αυτήν την περίπτωση, ο BS4 μπορεί να αυξήσει την ισχύ μετάδοσής του από 2.5 σε 4 Watt, ούτως ώστε σε συνδυασμό με τον BS1 (με ισχύ μετάδοσης 4 Watt και όχι 7.6 Watt) να εξυπηρετήσει τους multicast χρήστες που βρίσκονται στα σύνορα των BS1 και BS4 (εφαρμογή MDC). Έτσι, αφ' ενός, ο BS4 θα είναι σε θέση να εξυπηρετήσει τους 25 χρήστες που βρίσκονται στο 50% της περιοχής κάλυψής του δεδομένου ότι η ισχύς μετάδοσης του FACH θα είναι

υψηλότερη από τα 2.5 Watt που απαιτούνται για την εξυπηρέτησή τους, ενώ αφ' ετέρου ο BS4 θα βελτιώσει την ποιότητα σήματος των χρηστών που εξυπηρετούνται από τον BS1, με αποτέλεσμα να λαμβάνουν ικανοποιητικά την MBMS υπηρεσία. Όπως αναφέρθηκε, ο κόμβος RNC είναι ο αρμόδιος κόμβος για την εφαρμογή της τεχνικής MDC. Ο RNC γνωρίζει ανά πάσα χρονική στιγμή την κατανομή των χρηστών σε ολόκληρη την τοπολογία και την ισχύ μετάδοσης κάθε τομέα. Επομένως, στο συγκεκριμένο σενάριο εάν ο RNC παρατηρήσει πως ο τομέας BS4 μπορεί να διαθέσει το επιπλέον 1.5 Watt, θα δώσει εντολή στον BS4 να αυξήσει την ισχύ μετάδοσής του, ενώ ταυτόχρονα, θα δώσει εντολή στον BS1 να μειώσει την ισχύ του ώστε να εξυπηρετηθούν και οι 40 χρήστες του σεναρίου.

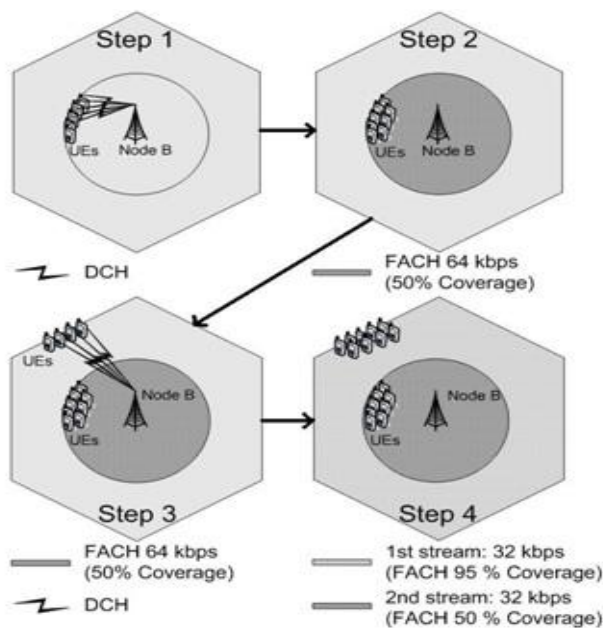
Συνοψίζοντας, κάθε μια από τις τεχνικές που εξετάστηκαν στη συγκεκριμένη παράγραφο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει την ισχύ των σταθμών βάσης, ωστόσο, ο συνδυασμός αυτών των τριών τεχνικών εμφανίζεται να είναι ιδιαίτερα ελκυστικός καθώς εξοικονομεί επιπλέον πόρους ισχύος.

7.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ RS, MDF ΚΑΙ ECS

Έχει ήδη γίνει αντιληπτό πως ο συνδυασμός των τεχνικών μείωσης ισχύος παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς μπορεί να εξοικονομήσει πρόσθετο κέρδος ισχύος και να επιτρέψει στους Node Bs να εξυπηρετήσουν μεγαλύτερο αριθμό χρηστών. Στην παράγραφο αυτή εξετάζεται ένα ακόμη σενάριο, στο οποίο θα φανεί πως είναι πιο αποδοτικό να χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός των τεχνικών Rate Splitting, Mixed Usage of DCHs and FACH και Efficient Channel Selection.

Στο σενάριο εξετάζεται ποιο είναι το αποδοτικότερο κανάλι (ή συνδυασμός καναλιών) μεταφοράς για τη μετάδοση μιας 64 Kbps MBMS υπηρεσίας σε μία κυψέλη, καθώς όλο και περισσότεροι χρήστες εγγράφονται στην υπηρεσία. Η Εικόνα 46 αποτελείται από μία σειρά βημάτων που παρουσιάζει τον τρόπο που οι χρήστες εμφανίζονται στην κυψέλη σύμφωνα με το σενάριο, καθώς και το αποδοτικότερο από άποψη ισχύος κανάλι σε κάθε βήμα. Σύμφωνα με την Εικόνα 46, το πρώτο group multicast χρηστών που αιτείται την MBMS υπηρεσία βρίσκεται σε μια απόσταση ίση με το μισό της ακτίνας της κυψέλης (Step 1 και 2 στην Εικόνα 46). Ο αριθμός χρηστών του συγκεκριμένου group αυξάνεται σταδιακά από 1 σε 26 χρήστες. Όταν ο

πληθυσμός του πρώτου group φτάσει τους 26 χρήστες, ένα δεύτερο group χρηστών στα όρια της κυψέλης αιτείται την ίδια MBMS υπηρεσία (Step 3 και 4 στην Εικόνα 46). Με άλλα λόγια, ο 27ος χρήστης που λαμβάνει την υπηρεσία είναι ο χρήστης που παρουσιάζεται πρώτος στα όρια της κυψέλης. Από εκείνη τη χρονική στιγμή, ο πληθυσμός του 1ου group παραμένει σταθερός ενώ ο πληθυσμός του 2ου group σταδιακά αυξάνεται. Το σενάριο ολοκληρώνεται όταν ο συνολικός αριθμός των χρηστών φτάσει τους 40 χρήστες (26 στο 1ο group και 14 στο 2ο).

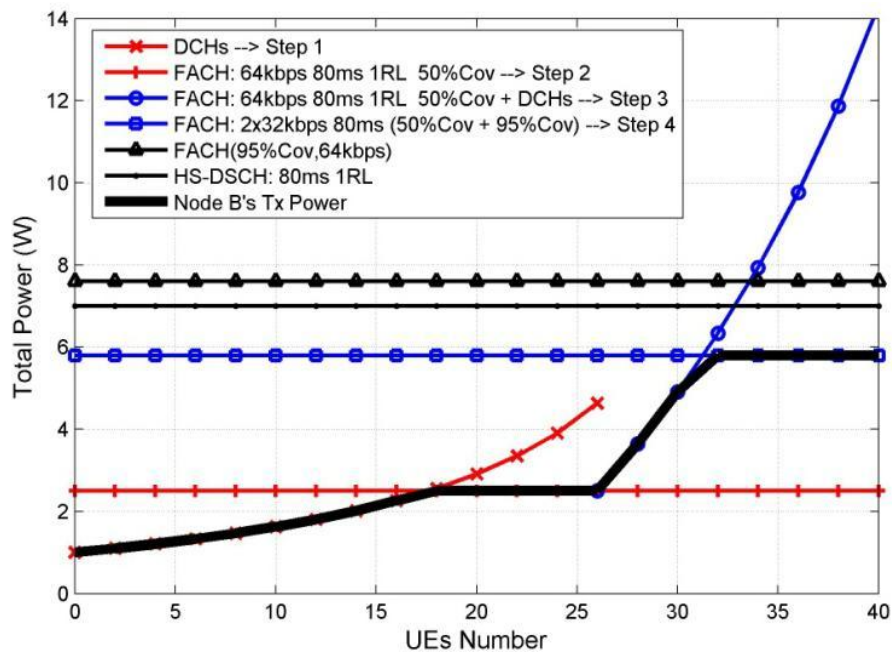


Εικόνα 46: Ακολουθία βημάτων σεναρίου

Τ' αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 47. Η έντονη γραμμή παρουσιάζει τη συνολική ισχύ μετάδοσης του σταθμού βάσης όταν συνδυαστούν οι τρεις παραπάνω τεχνικές. Στην Εικόνα 47, η δράση της τεχνικής ECS εμφανίζεται για αριθμό χρηστών έως 17, η δράση της MDF για 18 έως 31 χρήστες, ενώ η δράση της τεχνικής RS για περισσότερους από 32 χρήστες. Για λόγους κατανόησης τα αποτελέσματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Αναλυτικά, η ισχύς που απαιτείται όταν εφαρμοστεί ο συνδυασμός των τεχνικών συγκρίνεται με την ισχύ που απαιτείται όταν χρησιμοποιηθεί: (α) η «στατική» ανάθεση ισχύος για το FACH (FACH με ισχύ εκπομπής ώστε να καλύπτεται συνεχώς το 95% της περιοχής της κυψέλης), (β) μόνο η τεχνική RS, (γ) μόνο η τεχνική MDF.

- Στην περίπτωση της «στατικής» ανάθεσης ισχύος για το FACH για την εξυπηρέτηση ολόκληρης της κυψέλης χρησιμοποιείται ένα FACH με σταθερή ισχύ εκπομπής. Η σταθερή αυτή ισχύς στην περίπτωση του macrocell

περιβάλλοντος και για μία 64 Kbps υπηρεσίας ισούται με 7.6 Watt, ενώ στην Εικόνα 47 εμφανίζεται με τη λεζάντα: FACH (95%Cov,64Kbps). Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 47, οι απαιτήσεις ισχύος με το συνδυασμό των τεχνικών, δεν αγγίζουν σε καμία περίπτωση αυτό το επίπεδο ισχύος. Παράλληλα, το κέρδος ισχύος με το συνδυασμό φθάνει τα 6.6 Watt όταν εξυπηρετείται ένας μόνο χρήστης και το 1.8 Watt όταν η σταδιακή αύξηση του αριθμού των χρηστών αναγκάσει το Node B να εκπέμψει στο επίπεδο ισχύος που απαιτεί η τεχνική RS (για περισσότερους από 31 χρήστες).



Εικόνα 47: Ισχύς εκπομπής του Node B με το συνδυασμό των τεχνικών RS, MDF και ECS

Συνεπώς, ο συνδυασμός των τεχνικών RS, MDF και ECS μπορεί να εξοικονομήσει από 9% έως 33% της μέγιστης ισχύος μετάδοσης του σταθμού βάσης, αφήνοντας την ισχύ αυτή για άλλες εφαρμογές (π.χ. φωνητικές κλήσεις, web browsing, κ.λπ.).

- Η βελτιωμένη απόδοση του συνδυασμού συγκριτικά με την περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο η τεχνική RS, εμφανίζεται στην Εικόνα 47 για αριθμό χρηστών μικρότερο από 31 (ο αριθμός αυτός μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το σενάριο που εξετάζεται, ή ακριβέστερα, ανάλογα με τον αριθμό χρηστών που βρίσκονται στο 50% της περιοχής της κυψέλης και εξυπηρετούνται με ένα FACH). Δεδομένου ότι η ισχύς που απαιτείται με την τεχνική RS είναι σταθερή (βλ. παράγραφο 6.2.4), το κέρδος ισχύος με το συνδυασμό μπορεί να

αγγίζει τα 4.8 Watt, ισχύς που αντιστοιχεί στο 24% της μέγιστης ισχύος μετάδοσης του σταθμού βάσης.

- Τέλος, ο συνδυασμός των τριών αυτών τεχνικών μπορεί να επιφέρει κέρδος ισχύος συγκριτικά με την περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο η τεχνική MDF. Στο σενάριο που εξετάζουμε, το συγκεκριμένο κέρδος ισχύος παρουσιάζεται για πληθυσμό χρηστών μικρότερο από 17. Ο αριθμός αυτός πρόκειται ουσιαστικά για το σημείο εναλλαγής μεταξύ πολλαπλών DCHs και FACH όταν απαιτείται 50% κάλυψη (βλ. Εικόνα 43a στην παράγραφο 6.2.5). Ο συνδυασμός σύμφωνα με την Εικόνα 47 μπορεί να εξοικονομήσει έως 1.4 Watt ή 7% της μέγιστης ισχύος μετάδοσης του σταθμού βάσης

Συνοψίζοντας, μπορούμε να αναφέρουμε πως για το συγκεκριμένο σενάριο η εφαρμογή του συνδυασμού των τεχνικών RS, MDF και ECS είναι η βέλτιστη λύση. Για οποιοδήποτε πληθυσμό χρηστών, σύμφωνα με την Εικόνα 47, η ισχύς που απαιτεί ο σταθμός βάσης όταν εφαρμόζεται ο συνδυασμός των τεχνικών είναι μικρότερη από την ισχύ που απαιτεί η περίπτωση της «στατικής» ανάθεσης ισχύος ή την ισχύ που απαιτεί κάθε μία τεχνική από μόνη της. Υπάρχουν πολλά ακόμη σενάρια που αποδεικνύουν ότι η εφαρμογή του συνδυασμού των τεχνικών υπερτερεί συγκριτικά με την εφαρμογή κάθε μίας τεχνικής ξεχωριστά.

7.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Αρχικά θα θεωρήσουμε ότι για το συγκεκριμένο παράδειγμα ισχύει ότι:

$$PowerPerUE = \frac{TotalPower}{NumberofUEs} . \text{ Έτσι έχουμε δύο περιπτώσεις:}$$

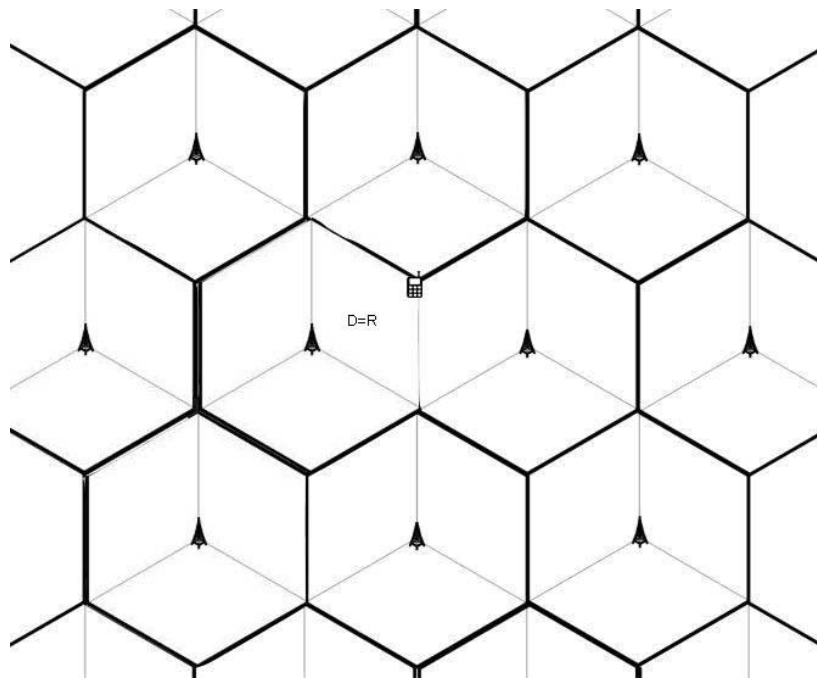
7.3.1 Στατικό περιβάλλον

Τα δεδομένα που θα θέσουμε είναι τα εξής:

Παράμετρος	Τιμή
Τύπος κυψελών	Εξαγωνικές κυψέλες
Ακτίνα κυψέλης	1000 m

Background θόρυβος	-100 dBm
Παράγοντας ορθογωνιότητας (0: τέλεια ορθογωνιότητα)	0.5
Path loss model	$L_p \text{ dB} = 128.1 + 37.6 \cdot \log_{10} d$
Ισχύς εκπομπής λοιπών BS	5 Watt
E_b/N_0 target	5 dB
Ισχύς εκπομπής κοινών καναλιών ελέγχου	1 Watt (30dBm)
Εύρος ζώνης	3.84 (Mchips/s)
Ρυθμός Μετάδοσης	32 kbps

Πίνακας 17: Τιμές παραμέτρων παραδείγματος σε στατικό περιβάλλον



Εικόνα 48: Παράδειγμα σε στατικό περιβάλλον

Για τον υπολογισμό της συνολικής ισχύος της κυψέλης, υποθέτουμε ότι ο πιο απομακρυσμένος χρήστης βρίσκεται στα όρια της κυψέλης και επομένως η απόστασή του από τον σταθμό βάσης της κυψέλης είναι η ίδια με την ακτίνα της κυψέλης. Επομένως, λύνοντας τον τύπο της εξίσωσης 3:

$$P_{T1} = \frac{30 + \frac{(-100 + \frac{45}{229,58})}{3,84} \cdot 240,9}{1 - \frac{\frac{3,84}{160} + 0,5}{0,5}} \Leftrightarrow P_{T1} = 43dBm$$

Εξίσωση 7: Συνολική ισχύς σε στατικό περιβάλλον

Ακόμα μπορούμε να υπολογίσουμε το achieved rate για το UE. Αυτό δίνεται από την παρακάτω εξίσωση: $C = B \log_2(1 + \frac{S}{N})$,

Εξίσωση 8: Υπολογισμός achieved rate

Όπου C συμβολίζεται η χωρητικότητα του καναλιού σε bit/sec, B είναι το εύρος ζώνης του καναλιού σε Hertz, S ορίζουμε την ισχύ του σήματος προς το εύρος ζώνης και μετριέται σε watts, και τέλος το N που ορίζεται ο θόρυβος και μετριέται σε watt.

Έτσι λύνοντας την παραπάνω εξίσωση με τα δεδομένα που έχουμε, προκύπτει ότι:

$$C_1 = B \log_2(1 + \frac{S}{N}) \Leftrightarrow C_1 = 3,84 \log_2(1 + \frac{5,2}{10 \times 10^6}) \Leftrightarrow C_1 = 98.42bit / sec .$$

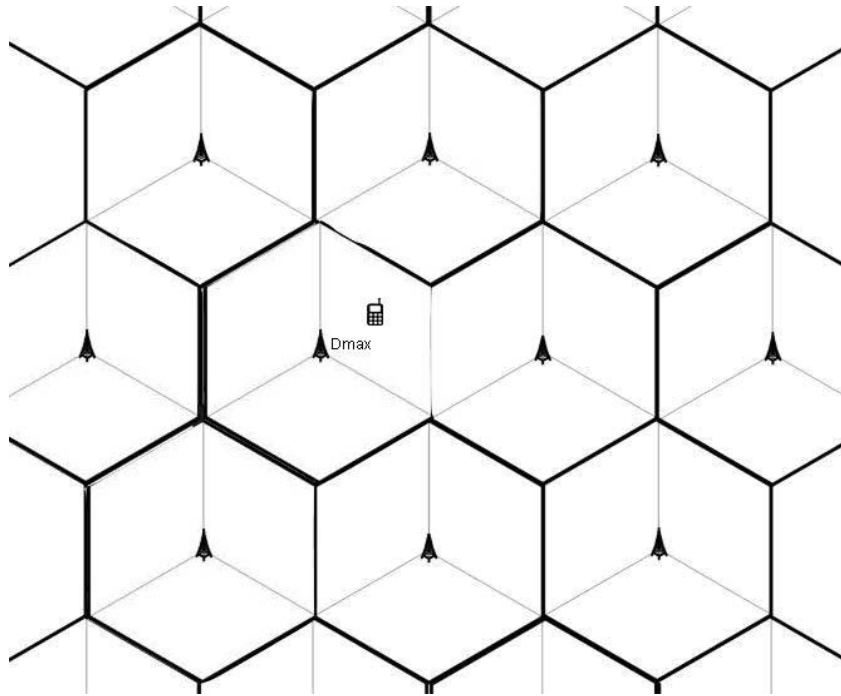
7.3.2 Δυναμικό περιβάλλον

Τα δεδομένα που θα θέσουμε είναι τα εξής:

Παράμετρος	Τιμή
Τύπος κυψελών	Εξαγωνικές κυψέλες
Ακτίνα κυψέλης	500 m
Background θόρυβος	-80 dBm
Παράγοντας ορθογωνιότητας (0: τέλεια ορθογωνιότητα)	0.3
Path loss model	$L_p \text{ dB} = 128.1 + 37.6 \cdot \log_{10} d$
Ισχύς εκπομπής λοιπών BS	5 Watt
E_b/N_0 target	10 dB

Ισχύς εκπομπής κοινών καναλιών ελέγχου	0,31 Watt (25dBm)
Εύρος ζώνης	3.84 (Mchips/s)
Ρυθμός Μετάδοσης	2 kbps

Πίνακας 18: Τιμές παραμέτρων παραδείγματος σε δυναμικό περιβάλλον



Εικόνα 49: Παράδειγμα σε δυναμικό περιβάλλον

Για τον υπολογισμό της συνολικής ισχύος της κυψέλης, υποθέτουμε ότι ο πιο απομακρυσμένος χρήστης από το σύνολο των χρηστών βρίσκεται σε απόσταση d_{max} από το σταθμό βάσης της κυψέλης. Έτσι από την εξίσωση 3 υπολογίζουμε την συνολική ισχύ όπως ακολούθως:

$$P_{T2} = \frac{(-80 + \frac{1,96}{240,9})}{25 + \frac{3,84}{229,58}} \frac{320}{1 - \frac{0,3}{\frac{3,84}{320} + 0,3}} \Leftrightarrow P_{T2} = 21dBm$$

Εξίσωση 9: Συνολική ισχύς σε δυναμικό περιβάλλον

Ακόμα μπορούμε να υπολογίσουμε το achieved rate για το UE. Αυτό δίνεται από την εξίσωση 8 και έτσι έχουμε:

$$C_2 = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \Leftrightarrow C_2 = 3,84 \log_2 \left(1 + \frac{5,46}{8 \times 10^6} \right) \Leftrightarrow C_2 = 107.42 \text{ bit / sec .}$$

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να πούμε απο τις παραγράφους 7.3.1 και 7.3.2 ότι όσο πιο μακριά βρίσκεται ο πιο απομακρυσμένος χρήστης τόσο περισσότερη ισχύς εκπέμπει ο σταθμός βάσης, κάτι που συμφωνεί με τη θεωρία που αναφέραμε προγενέστερα στην εργασία. Επίσης βλέπουμε ότι όσο πιο κοντά βρίσκεται ο πιο απομακρυσμένος χρήστης, τόσο μικρότερο achieved rate διαθέτει, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ταχύτατα εξελισσόμενος τομέας των δικτύων κινητών επικοινωνιών έχει επιφέρει μία ιδιαίτερα αυξανόμενη απαίτηση για ασύρματη, πολυμεσική επικοινωνία. Ειδικότερα, τα τελευταία χρόνια τα δίκτυα επικοινωνιών τρίτης γενιάς - UMTS γνωρίζουν μεγάλη άνθηση και η χρήση τους έχει επεκταθεί στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, όπως και στην Ελλάδα. Ωστόσο, η αδήριτη ανάγκη για μεγαλύτερες (ευρυζωνικές) ταχύτητες πρόσβασης οδήγησε στην περαιτέρω ανάπτυξη των 3G δικτύων και στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, με κυριότερο εκπρόσωπο τους την τεχνολογία HSPA.

Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία HSPA αναμένεται να προσφέρει τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3GPP, ο οργανισμός που προτυποποιεί τις νέες τεχνολογίες και ορίζει τις προδιαγραφές τους, ήδη μελετά και επεξεργάζεται νέες τεχνολογίες που θα επικρατήσουν την αμέσως επόμενη δεκαετία στην αγορά των κινητών επικοινωνιών. Το νέο αυτό project αποκαλείται LTE και στοχεύει στην επίτευξη ακόμη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρος ζώνης. Κύρια προοπτική του LTE αποτελεί η διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας και η επικράτηση του προτύπου στο χρονικό ορίζοντα της επόμενης δεκαετίας. Κατά συνέπεια, η αγορά κινητών επικοινωνιών σταδιακά μεταλλάσσεται προς τη δημιουργία δικτύων κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς, με απώτερο σκοπό την επίτευξη της αποκαλούμενης «Κινητής Ευρυζωνικότητας».

Ταυτόχρονα με την εκτεταμένη εξάπλωση των δικτύων κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς καθώς και τις αυξημένες δυνατότητες των κινητών συσκευών, οι πάροχοι πολυμεσικού περιεχομένου και υπηρεσιών ενδιαφέρονται όλο και περισσότερο για την υποστήριξη της πολυεκπομπής δεδομένων στα δίκτυα αυτά με σκοπό την αποτελεσματική διαχείριση και επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων του δικτύου. Επιπρόσθετα, οι χρήστες των κινητών δικτύων έχουν πλέον την απαίτηση να προσπελαίνουν εφαρμογές και υπηρεσίες οι οποίες μέχρι σήμερα

μπορούσαν να διατεθούν αποκλειστικά από τα συμβατικά ενσύρματα δίκτυα. Έτσι λοιπόν στις μέρες μας γίνεται λόγος για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου όπως mobile TV, mobile gaming, mobile streaming κ.α.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία επικεντρώθηκε στη μελέτη και ανάλυση της multicast μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων σε κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Προς αυτή την κατεύθυνση αρχικά μελετήθηκε η υπηρεσία MBMS, η οποία εντάχθηκε στις προδιαγραφές του 3GPP σχετικά πρόσφατα (Release 6) και έχει σαν κύριο σκοπό την υποστήριξη IP broadcast και multicast εφαρμογών, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την παροχή υπηρεσιών υψηλού ρυθμού μετάδοσης σε πολλαπλούς χρήστες με οικονομικό τρόπο. Για την ακρίβεια, περιγράφηκε το είδος, οι βασικές αρχές καθώς και η αρχιτεκτονική αυτής της υπηρεσίας. Επίσης, αναλύθηκαν τα προτερήματα και οι φάσεις παροχής της υπηρεσίας ενώ παράλληλα, θίχτηκαν ορισμένα ζητήματα ασφάλειας που σχετίζονται με την υπηρεσία αυτή. Τέλος, εξετάστηκαν οι διάφοροι τύποι μετάδοσης δεδομένων της συγκεκριμένης υπηρεσίας και περιγράφηκαν οι διαφορετικοί τύποι ελέγχου ισχύος στο UMTS. Κίνητρο για την παραπάνω μελέτη αποτέλεσε το γεγονός ότι το κρισιμότερο σημείο που εντοπίζεται κατά τη multicast μετάδοση δεδομένων στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών είναι ο αποτελεσματικός έλεγχος ισχύος. Οι σταθμοί βάσης των κυψελωτών αυτών δικτύων διαθέτουν περιορισμένους πόρους ισχύος, γεγονός που περιορίζει τη χωρητικότητα της κυψέλης και επιβάλλει τη χρήση μίας βέλτιστης στρατηγικής για την όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων ισχύος.

Στη συνέχεια της μεταπτυχιακής εργασίας και με βάση την παραπάνω μελέτη, αναλύθηκε η σχέση του ελέγχου ισχύος με τα κανάλια μεταφοράς κατά τη multicast μετάδοση στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών. Γενικότερα, η άποψη που έχει κυριαρχήσει σχετικά με την υποστήριξη multicast μετάδοσης είναι η χρησιμοποίηση των υπάρχοντων καναλιών μεταφοράς με μικρές διαφοροποιήσεις. Τα κανάλια μεταφοράς του UMTS και της τεχνολογίας HSPA που είναι διαθέσιμα στον κατερχόμενο σύνδεσμο και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για multicast μετάδοση είναι το DCH, το FACH και το HS-DSCH. Η κύρια απαίτηση είναι να γίνεται αποδοτική χρήση των πόρων του συστήματος. Αυτή η απαίτηση κατατάσσει τα κοινά κανάλια (FACH) ως την πρώτη επιλογή αφού πολλοί χρήστες μπορούν να

μοιραστούν ταυτόχρονα τους ίδιους πόρους. Ωστόσο, όπως έγινε κατανοητό αυτό εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών του multicast group, τον τύπο υπηρεσίας καθώς και από το QoS που μπορεί να διασφαλιστεί. Για το λόγο αυτό, όταν ο αριθμός των χρηστών που λαμβάνουν την MBMS υπηρεσία είναι μικρός είναι πιο αποδοτικό να χρησιμοποιηθούν αφιερωμένα (DCHs) ή διαμοιραζόμενα (HS-DSCH) κανάλια μεταφοράς, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η εκπεμπόμενη ισχύς του Node B και η παρεμβολή. Με βάση τα παραπάνω η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία επιχείρησε να δώσει απαντήσεις σε δύο πολύ σημαντικά ερωτήματα που αφορούν την απόδοση του MBMS:

- Μπορεί πράγματι ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών, για έναν ορισμένο αριθμό χρηστών ένα κανάλι να έχει μικρότερες απαιτήσεις σε ισχύ από ένα άλλο και για διαφορετικό αριθμό χρηστών να ισχύει το αντίστροφο;
- Αν αυτό ισχύει, ποιο είναι το κατάλληλο σημείο εναλλαγής μεταξύ αφιερωμένων, διαμοιραζόμενων και κοινών καναλιών;

Προς αυτή την κατεύθυνση μελετήθηκε η κατανομή ισχύος των καναλιών πολυεκπομπής DCH, FACH και HS-DSCH. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν οι τιμές ισχύος που κάθε ένα κανάλι απαιτεί προκειμένου να μεταδώσει αποτελεσματικά μία MBMS multicast υπηρεσία στους χρήστες μίας κυψέλης. Παράλληλα, ερευνήθηκε η επίδραση αρκετών παραγόντων στην ισχύ μετάδοσης του σταθμού βάσης τόσο σε macrocell όσο και σε microcell περιβάλλοντα και δόθηκε έμφαση στο βαθμό επίδρασης κάθε παράγοντα στην ισχύ εκπομπής του σταθμού βάσης. Ορισμένοι από αυτούς τους παράγοντες είναι:

- Ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετούνται από το Node B.
- Η απόσταση των χρηστών από το σταθμό βάσης.
- Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων από το σταθμό βάσης.
- Το απαιτούμενο E_b/N_0 για κάθε χρήστη.

Ειδικό βάρος δόθηκε στον τρόπο αντιμετώπισης των δύο πιο ενοχλητικών προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά τη μετάδοση μίας MBMS multicast υπηρεσίας και τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση ολόκληρης της κυψέλης. Αρχικά, τα υψηλά σταθερά επίπεδα ισχύος όταν ανατίθεται το FACH ως κανάλι μεταφοράς για την παράδοση της MBMS υπηρεσίας και στη συνέχεια η

δυσκολία καθορισμού των κατάλληλων σημείων εναλλαγής μεταξύ των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς. Για την επίλυση των δύο αυτών προβλημάτων προτάθηκαν έξι διαφορετικές τεχνικές μείωσης ισχύος. Οι τεχνικές αυτές είναι:

- Η Dynamic Power Setting (DPS), σύμφωνα με την οποία η ισχύς εκπομπής του FACH μπορεί να καθοριστεί δυναμικά με βάση το path loss του πιο απομακρυσμένου από το σταθμό βάσης χρήστη και επομένως το FACH θα πρέπει να καλύψει ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης μόνο εάν ένας ή περισσότεροι χρήστες είναι στα όρια της κυψέλης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής, η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να εξοικονομήσει στο σταθμό βάσης 3.1 Watt κατά την μετάδοση της 32 Kbps υπηρεσίας, 6.2 Watt για μία 64 Kbps υπηρεσία και 13.4 Watt για μία 128 Kbps MBMS υπηρεσία. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης είναι 20 Watt, τα συγκεκριμένα κέρδη ισχύος υπογραμμίζουν την ανάγκη ενσωμάτωσης της τεχνικής DPS στο MBMS.
- Η Longer TTI and Space Diversity (LTTI) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο φυσικό επίπεδο για να ωφελήσει κάθε μέλος ενός MBMS group σε μία κυψέλη. Η αύξηση του TTI (από 20 ms σε 80 ms) σε συνδυασμό με την εφαρμογή της τεχνικής Space Diversity εξασφαλίζει τη μικρότερη κατανάλωση ισχύος. Συγκεκριμένα, για 50% κάλυψη της κυψέλης απαιτείται ακριβώς η μισή ισχύς με την τεχνική αυτή ενώ για 95% κάλυψη λιγότερη από τη μισή συγκριτικά με την περίπτωση που η MBMS υπηρεσία μεταδιδόταν χωρίς τη χρήση της.
- Η Macro Diversity Combining (MDC), στην οποία η ίδια πληροφορία μεταδίδεται πάνω από δύο ή περισσότερα κανάλια, ενώ στο δέκτη συνδυάζονται τα πολλαπλά αυτά αντίγραφα προκειμένου να αυξηθεί η συνολική ποιότητα του σήματος. Όταν εφαρμόζεται η τεχνική MDC τα επίπεδα ισχύος μετάδοσης του FACH μεταβάλλονται δραστικά ανάλογα με την επιθυμητή περιοχή κάλυψης. Συγκεκριμένα, για την εξυπηρέτηση ενός group χρηστών σε απόσταση ίση με το 50% κάλυψη διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:
 1. Το group εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης που απαιτεί ισχύ 2.5 Watt.

2. Το group εξυπηρετείται από δύο σταθμούς βάσης κάθε ένας από τους οποίους απαιτεί ισχύ 2.0 Watt.
3. Το group εξυπηρετείται από τρεις σταθμούς βάσης κάθε ένας από τους οποίους απαιτεί ισχύ 1.5 Watt.

Αν και στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η συνολική απαιτούμενη ισχύς στην περίπτωση που το group χρηστών εξυπηρετούσαν δύο ή τρεις σταθμοί βάσης είναι μεγαλύτερη από την περίπτωση του ενός σταθμού βάσης, το γεγονός αυτό δεν ισχύει πάντα. Σε κάθε περίπτωση η εφαρμογή της τεχνικής MDC συνίσταται στις περιπτώσεις όπου τα επίπεδα ισχύος ενός συγκεκριμένου σταθμού βάσης είναι υψηλά, ενώ αντίστοιχα τα επίπεδα ισχύος των γειτονικών σταθμών βάσης είναι χαμηλά.

- Η Rate Splitting (RS), σύμφωνα με την οποία η ροή των MBMS δεδομένων μπορεί να χωριστεί σε περισσότερες ροές με διαφορετικά QoS χαρακτηριστικά και από τις οποίες μόνο η σημαντικότερη ροή αποστέλλεται σε όλους τους χρήστες της κυψέλης προκειμένου να παρέχει τη βασική υπηρεσία. Η εφαρμογή της τεχνικής RS μπορεί να εξασφαλίσει 1.8 Watt στο Node B κατά την παροχή μίας MBMS υπηρεσίας με ρυθμό μετάδοσης 64 Kbps.
- Η Mixed usage of DCHs and FACH (MDF), σύμφωνα με την οποία, το κανάλι FACH καλύπτει μόνο το εσωτερικό τμήμα της κυψέλης και παρέχει την MBMS υπηρεσία στους χρήστες που βρίσκονται στο τμήμα αυτό, ενώ οι υπόλοιποι χρήστες εξυπηρετούνται με πολλαπλά DCHs. Η συνολική κατανάλωση ισχύος συμπεριλαμβανομένης της ισχύος του FACH και των αφιερωμένων καναλιών εξαρτάται προφανώς από τον αριθμό και τη θέση των χρηστών που εξυπηρετούνται με DCHs. Ωστόσο, για μικρό αριθμό χρηστών που εξυπηρετούνται με DCHs, η τεχνική αυτή μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικούς πόρους ισχύος.
- Η Efficient Channel Selection (ECS), η οποία σχετίζεται με την επιλογή του πιο αποδοτικού από άποψη ισχύος καναλιού μεταφοράς για τη μετάδοση μίας MBMS συνόδου. Τα κέρδη ισχύος με την εφαρμογή της τεχνικής αυτής γίνονται κατανοητά μέσω δύο περιπτώσεων, όπου επιθυμείτε διαφορετική περιοχή κάλυψης:

- Για 50% κάλυψη όταν εξυπηρετείται ένας μόνο χρήστης με DCH μπορούν να εξοικονομηθούν 0.8 Watt ή 1.4 Watt κατά τη μετάδοση μίας 32 Kbps ή 64 Kbps αντίστοιχα, συγκριτικά με την περίπτωση του FACH. Το παραπάνω κέρδος ισχύος αυξάνεται στα 6.0 και 5.9 Watt αντίστοιχα όταν το DCH συγκρίνεται με το HS-DSCH.
- Για 95% κάλυψη το αντίστοιχο κέρδος αγγίζει τα 2.7 Watt (ή τα 5.7 Watt συγκριτικά με το HS-DSCH) για μία 32 Kbps υπηρεσία και τα 6.0 Watt (ή 5.4 Watt συγκριτικά με το HS-DSCH) για μία 64 Kbps υπηρεσία.

Αυτό που έγινε κατανοητό από τα αποτελέσματα των τεχνικών είναι πως όλες οι τεχνικές είναι σε θέση να μειώσουν την ισχύ εκπομπής των σταθμών βάσης. Ωστόσο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός των τεχνικών καθώς μπορεί να εξοικονομήσει επιπλέον πόρους ισχύος, ενσωματώνοντας τα πλεονεκτήματα των τεχνικών.

Αρχικά εξετάστηκε ο συνδυασμός των τεχνικών DPS, LTTI και MDC. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η ισχύς που απαιτείται με το συνδυασμό των τριών αυτών τεχνικών δεν υπερβαίνει σε καμία περίπτωση την ισχύ που απαιτείται όταν δεν εφαρμόζεται ο συνδυασμός. Στη συνέχεια εξετάστηκε ο συνδυασμός των τεχνικών RS, MDF και ECS. Η απόδοση του συνδυασμού των τεχνικών συγκρίθηκε με τρεις διαφορετικές περιπτώσεις:

- Σύγκριση με την περίπτωση της στατικής ανάθεσης ισχύος για το FACH, όπου για την εξυπηρέτηση ολόκληρης της κυψέλης χρησιμοποιείται ένα FACH με σταθερή ισχύ εκπομπής. Το κέρδος ισχύος με το συνδυασμό αγγίζει τα 6.6 Watt όταν εξυπηρετείται ένας μόνο χρήστης και το 1.8 Watt όταν ο σταθμός βάσης αναγκάζεται να εκπέμψει στο επίπεδο ισχύος που απαιτεί η τεχνική RS. Συνεπώς, ο συνδυασμός των τεχνικών RS, MDF και ECS μπορεί να εξοικονομήσει από 9% έως 33% της μέγιστης ισχύος μετάδοσης του σταθμού βάσης.
- Σύγκριση με την περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο η τεχνική RS. Το κέρδος ισχύος με το συνδυασμό σε αυτή την περίπτωση μπορεί να αγγίζει τα

4.8 Watt, ισχύς που αντιστοιχεί στο 24% της μέγιστης ισχύος μετάδοσης του σταθμού βάσης.

- Σύγκριση με την περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο η τεχνική MDF. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο συνδυασμός μπορεί να εξοικονομήσει έως 1.4 Watt ή 7% της μέγιστης ισχύος μετάδοσης του σταθμού βάσης.

Συνοψίζοντας, η εφαρμογή του συνδυασμού των τεχνικών υπερτερεί συγκριτικά με την εφαρμογή κάθε μίας τεχνικής ξεχωριστά, καθώς είναι σε θέση να εξοικονομήσει επιπλέον πόρους ισχύος στους σταθμούς βάσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] 3GPP TR 101.102. (1998). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS. Version 3.2.0.
- [2] 3GPP TR 23.846. (2003). Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Stage 2. Version 6.1.0.
- [3] 3GPP TR 25.858. (2002). Physical layer aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access. Version 5.0.0.
- [4] 3GPP TR 25.942. (2008). Radio Frequency (RF) system scenarios. Version 8.0.0.
- [5] 3GPP TR 30.03U. (1998). Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS. Version 3.2.0.
- [6] 3GPP TS 22.146. (2008). Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Stage 1. Version 9.0.0.
- [7] 3GPP TS 22.246. (2008). Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) user services; Stage 1. Version 8.5.0.
- [8] 3GPP TS 25.104. (2009). Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD). Version 9.0.0.
- [9] 3GPP TS 25.301. (2009). Radio interface protocol architecture. Version 8.5.0.
- [10] 3GPP TS 25.308. (2009). High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall description; Stage 2. Version 9.0.0.
- [11] 3GPP TS 25.346. (2009). Introduction of the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN); Stage 2. Version 8.3.0.
- [12] 3GPP TS 25.423. (2009). UTRAN Iur interface Radio Network Subsystem Application Part (RNSAP) signalling. Version 8.5.0.
- [13] 3GPP TS 25.803. (2005). S-CCPCH performance for Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS). Version 6.0.0.
- [14] 3GPP TS 33.246. (2009). 3G Security; Security of Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS). Version 8.4.0.

- [15] 3GPP TSG-RAN WG1#28, R1-021234. (2002). Evaluation of combining gains for MBMS (incl. STTD).
- [16] 3GPP TSG-RAN WG1#28, R1-021239. (2002). MBMS Power Usage.
- [17] 3GPP TSG-RAN WG2#29, R2-021669. (2002). Considerations on power allocation for MBMS.
- [18] 3GPP TSG-RAN WGx#29 R1-021325. (2002). Comparison of DSCH and FACH for MBMS.
- [19] Alexiou, A., Bouras, C., & Igglesis, V. (2004). Performance Evaluation of TCP over UMTS Transport Channels. In Proceedings of 7th International Symposium on Communications Interworking (INTERWORKING 2004), Ottawa, Canada.
- [20] Alexiou, A., Bouras, C., & Igglesis, V. (2004). Performance Evaluation of UMTS for Mobile Internet Access. In Proceedings of 12th Annual Meeting of the IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2004), Volendam, The Netherlands, pp. 615 – 618.
- [21] Alexiou, A., Bouras, C., & Kokkinos, V. (2007). Power Saving Techniques in MBMS Multicast Mode. In Proceedings of 3rd ACM International Workshop on Wireless Multimedia Networking and Performance Modeling (WMuNeP 2007), Chania, Greece, pp. 62-69.
- [22] Alexiou, A., Bouras, C., & Kokkinos, V. (2008). Power Saving Methods for MBMS Transmissions in UTRAN. In Proceedings of 13th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2008), Marrakech, Morocco, pp. 374-379.
- [23] Alexiou, A., Bouras, C., & Kokkinos, V. (2009). Efficient Assignment of Multiple E-MBMS Sessions towards LTE. In Proceedings of 2nd Joint IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC 2009), Gdansk, Poland, pp 240-250.
- [24] Alexiou, A., Bouras, C., & Rekkas, E. (2008). Efficient Delivery of MBMS Multicast Traffic over HSDPA. In Proceedings of 3rd IEEE Workshop on multiMedia Applications over Wireless Networks (MediaWiN 2008), Marrakech, Morocco, pp 50-55.
- [25] Alexiou, A., Bouras, C., Kokkinos, V., & Rekkas, E. (2007). MBMS Power Planning in Macro and Micro Cell Environments. In Proceedings of 2nd IEEE

- Workshop on multimedia Applications over Wireless Networks (MediaWiN 2007), Aveiro, Portugal, pp. 33-38.
- [26] Alexiou, A., Bouras, C., Kokkinos, V., & Rekkas, E. (2007). Power Efficient Radio Bearer Selection in MBMS Multicast Mode. In Proceedings of 10th ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2007), Chania, Greece, pp. 261-268.
- [27] Alexiou, A., Bouras, C., Kokkinos, V., & Rekkas, E. (2009). Cost Analysis and Efficient Radio Bearer Selection for Multicasting over UMTS. *Wireless Communications and Mobile Computing Journal*, Wiley InterScience, vol. 9, pp. 1159-1172.
- [28] B-BONE project IST-2003-507607. Final Results with combined enhancements of the Air Interface. Deliverable of the project (D2.5).
- [29] Boni, A., Launay, E., Mienville, T., & Stuckmann P. (2004). Multimedia Broadcast Multicast Service - Technology Overview and Service Aspects. In Proceedings of 5th IEE International Conference on 3G Mobile Communication Technologies (3G 2004), London, UK, pp. 634-638.
- [30] Cai, J., & Goodman, D. (1997). General Packet Radio Service in GSM. *IEEE Communications Magazine*, pp. 122-131.
- [31] Christophorou, C., & Pitsillides, A. (2006). MBMS Handover Control for Efficient Multicasting in IP-Based 3G Mobile Networks. In Proceedings of 2006 IEEE Int. Conference of Communications (ICC 2006), Istanbul, Turkey, pp. 2112-2117.
- [32] Ericsson. (2006). Estimation of Non-Orthogonality and Other-to-Own Cell Interference in a WCDMA Radio Network. Technical Report.
- [33] Eylert, B. (2005). *The Mobile Multimedia Business: Requirements and Solutions*. John Wiley & Sons.
- [34] Foschini, G., & Gans, M. (1998). On Limits of Wireless Communications in a Fading Environment when using Multiple Antennas. *Wireless Personal Communications*, Vol. 6, pp. 311-335.
- [35] Holma, H., & Toskala, A. (2006). *HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications*. John Wiley & Sons.
- [36] Holma, H., & Toskala, A. (2007). *WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE*. 4th edition, John Wiley & Sons.

- [37] Ivancovic, T. (2005). Support of Multimedia Broadcast/Multicast Service in UMTS Networks. In Proceedings of 8th International Conference on Telecommunications (ConTEL 2005), Zagreb, Croatia, pp. 91-98.
- [38] Korhonen, J. (2003). Introduction to 3G Mobile Communications. 2nd edition, Artech House.
- [39] Lescuyer, P., & Lucidarme, T. (2008). Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS. John Wiley & Sons.
- [40] Malkowski, C. (2003). UTRAN Enhancements for Multicast. In Proceedings of HyWiN workshop, Turin, Italy.
- [41] Nilsson, M. (1999). Third Generation Radio Access Standards. Ericsson Review, No. 3.
- [42] Nokia Telecommunications, white paper. (1999). Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE). Available at: <http://www.nokia.com/>.
- [43] Ogunbenkun, J., & Mendjeli, A. (2003). MBMS service provision and its challenges. In Proceedings of 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies (3G 2003), London, UK, pp. 128 -133.
- [44] OverDRiVE project IST-2001-35125. Spectrum Efficient Multicast and Asymmetric Services in UMTS.
- [45] Parkvall, S., Englund, E., Lundevall, M., & Torsner, J. (2006). Evolving 3G Mobile Systems: Broadband and Broadcast Services in WCDMA. IEEE Communications Magazine, vol. 44, no. 2, pp. 30-36.
- [46] Perez-Romero, J., Sallent, O., Agusti, R., & Diaz-Guerra, M. (2005). Radio Resource Management Strategies in UMTS. John Wiley & Sons.
- [47] Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2009). LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley & Sons.
- [48] Shui, D. (2000). Wireless Communication Using Dual Antenna Arrays. Kluwer Academic Publishers.
- [49] Silva, C., Souto, S., Cercas, C., Correia, A., & Rodrigues, J. (2003).
- [50] Characterization of Power Control for UMTS. In Proceedings of International Symp. on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMP 2003), Yokosuka, Japan, Vol. 2, pp. 443-447.
- [51] Soares, A., & Correia, A. (2005). Transmission Power Saving Methods for Multimedia Broadcast/Multicast Services in UMTS Networks. In Proceedings

of 6th IEE International Conference on 3G and Beyond, London, UK, pp. 67 - 71.

- [52] Spaniol, O. (2003). Mobility Management in UMTS. Datacommunication & Distributed Systems.
- [53] Third Generation Partnership Project - 3GPP (<http://www.3gpp.org>).
- [54] UMTS Forum (<http://www.umts-forum.org/>).
- [55] Βαρβαρίγος, Ε., & Μπερμπερίδης, Κ. (2004). Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Πανεπιστήμιο Πατρών.