ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ
ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ»**

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Γ. ΚΟΚΚΙΝΟΣ

ΦΥΣΙΚΟΣ, M.Sc.

A.M.: 496

ΠΑΤΡΑ 2009

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ»

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Γεώργιος Αλεξίου, Καθηγητής

Σπύρος Φωτόπουλος, Καθηγητής

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Γεώργιος Αλεξίου, Καθηγητής

Ιωάννης Γαροφαλάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Σταύρος Κωτσόπουλος, Καθηγητής

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

Πάυλος Σπυράκης, Καθηγητής

Σπύρος Φωτόπουλος, Καθηγητής

Ιωάννης Χαριτάντης, Καθηγητής

Στην Οικογένειά μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ταχύτατα εξελισσόμενος τομέας των δικτύων κινητών επικοινωνιών έχει επιφέρει μία ιδιαίτερα αυξανόμενη απαίτηση για ασύρματη, πολυμεσική επικοινωνία. Στη ραγδαία εξέλιξη του τομέα αυτού συμβάλουν τα μέγιστα και οι απαιτήσεις της σύγχρονης αγοράς για ένα ενοποιημένο και λειτουργικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας παρέχοντας παράλληλα πληθώρα ευρυζωνικών υπηρεσιών ψηφιακού περιεχομένου στους πελάτες - χρήστες του.

Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια τα δίκτυα επικοινωνιών τρίτης γενιάς (3G) - Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) γνωρίζουν μεγάλη άνθηση και η χρήση τους έχει επεκταθεί στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, όπως και στην Ελλάδα. Τα νέα αυτά κινητά δίκτυα αντικαθιστούν τα υπάρχοντα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς και επιπλέον προσφέρουν προηγμένες υπηρεσίες στους κινητούς χρήστες. 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 High Speed Packet Access (HSPA). Η τεχνολογία HSPA αποτελεί τη φυσιολογική μετεξέλιξη του UMTS, η οποία πολλές φορές συναντάται και ως 3.5G ή 3G+, προκειμένου να δηλώσει την αναβάθμιση του 3G (UMTS) προτύπου.

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 εύρους 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» (Mobile Broadband).

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 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.

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 πανεκπομπής (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 προορισμούς-κινητούς χρήστες.

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, 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.

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία του ελέγχου ισχύος στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς κατά τη multicast μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου καναλιού μεταφοράς για τη μετάδοση των δεδομένων στον κινητό χρήστη. Συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα κρίσιμο ζήτημα το οποίο είναι ακόμα υπό εξέταση στο 3GPP. Προς την κατεύθυνση αυτή, στο MBMS πρότυπο έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μηχανισμοί, με χαρακτηριστικό τον MBMS Counting Mechanism. Στόχος του μηχανισμού αυτού είναι η βελτιστοποίηση της ροής δεδομένων για την υπηρεσία MBMS, όταν αυτά διέρχονται από τις διαπαφές του UMTS/HSPA δικτύου. Ωστόσο, η υπάρχουσα μορφή του μηχανισμού αυτού, καθώς και των αρκετών άλλων μηχανισμών που έχουν προταθεί από το 3GPP, διακρίνεται από πολλές αδυναμίες που δεν επιτρέπουν την αποτελεσματική και μαζική μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων. Τα σημαντικότερα προβλήματα των μηχανισμών αυτών είναι η απουσία ευρυζωνικών χαρακτηριστικών καθώς και η σπατάλη σημαντικού τμήματος των ούτως ή άλλως περιορισμένων πόρων ισχύος. Εν γένει, η επιλογή του κατάλληλου καναλιού μεταφοράς των πολυμεσικών δεδομένων στο ασύρματο μέσο είναι μια δύσκολη διαδικασία καθώς μια λανθασμένη επιλογή καναλιού μπορεί να οδηγήσει στην αστοχία μίας ολόκληρης κυψέλης. Γίνεται σαφές λοιπόν, ότι απαιτείται μία βελτιωμένη έκδοση των υπάρχοντων μηχανισμών για την αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου σε μεγάλο πλήθος χρηστών.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη του ελέγχου ισχύος στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς καθώς και η ανάπτυξη νέων μεθόδων/μηχανισμών για τη βελτιστοποίηση του. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της διατριβής αυτής είναι η ενσωμάτωση και η «εκμετάλλευση» όλων των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της HSPA τεχνολογίας στην MBMS υπηρεσία.

Προς αυτή την κατεύθυνση, στην παρούσα διδακτορική διατριβή αναλύονται και αξιολογούνται όλα τα υπάρχοντα κανάλια μεταφοράς του UMTS και της τεχνολογίας HSPA τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη multicast μετάδοση MBMS υπηρεσιών. Η αξιολόγηση γίνεται με βάση την απαιτούμενη ισχύ που πρέπει να ανατεθεί από το σταθμό βάσης για καθένα από αυτά, και κατά συνέπεια με βάση το 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.

Οι ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις των MBMS υπηρεσιών μας οδήγησαν στη συνέχεια στη διερεύνηση και αξιολόγηση ορισμένων τεχνικών μείωσης της εκπεμπόμενης ισχύος, με απώτερο σκοπό την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος κατά τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως μία MBMS υπηρεσία με ρυθμό μετάδοσης 128 Kbps μπορεί να καταναλώσει έως και το 80% των πόρων ισχύος ενός σταθμού βάσης. Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι η μετάδοση MBMS υπηρεσιών με τόσο υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης καθίσταται δύσκολη έως και αδύνατη. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος έχουν αναπτυχθεί τεχνικές, όπως η FACH Dynamic Power Setting, η Macro Diversity Combining και το Rate Splitting, ικανές να μειώσουν τα επίπεδα ισχύος κατά τη μετάδοση multicast δεδομένων στους MBMS χρήστες. Η διδακτορική αυτή διατριβή εξετάζει την αποδοτικότητα της χρήσης αυτών των τεχνικών εξοικονόμησης ισχύος και παρουσιάζει πειραματικά αποτελέσματα που αποκαλύπτουν το ποσό ισχύος που εξοικονομείται από κάθε μία τεχνική.

Η αξιολόγηση τόσο των καναλιών μεταφοράς όσο και των τεχνικών μείωσης ισχύος θα οδηγήσει στην εύρεση ενός κατάλληλου σχήματος/μηχανισμού, ο οποίος θα εξασφαλίζει την αποδοτική εναλλαγή μεταξύ των διάφορων τύπων καναλιών κατά τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών. Ο μηχανισμός αυτός, τον οποίο καλούμε MBMS Channel Assignment Mechanism (ή χάριν συντομίας «MCAM»), αναμένεται να εξασφαλίσει βελτιωμένη απόδοση σε σχέση με τους αντίστοιχους μηχανισμούς που έχουν προταθεί από το 3GPP, μείωση της καταναλισκόμενης ισχύος και κατά συνέπεια αύξηση της χωρητικότητας των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς. Ωστόσο, το πιο αξιοπρόσεκτο πλεονέκτημα του προτεινόμενου μηχανισμού, που ουσιαστικά τον διαφοροποιεί από τις άλλες προσεγγίσεις, είναι ότι προσαρμόζεται στις αυξημένες απαιτήσεις των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς για ταυτόχρονη παροχή πολλαπλών πολυμεσικών συνόδων. Το γεγονός αυτό μπορεί να επιτρέψει τη μαζική μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων σε πληθώρα κινητών χρηστών, θέτοντας κατά τον τρόπο αυτό τον MCAM σαν έναν ισχυρό υποψήφιο για τα δίκτυα επόμενης γενιάς.

EXECUTIVE SUMMARY

The rapid growth of mobile communications networks has involved an increasing demand for wireless, multimedia communication. The fast development of this area was mainly motivated by the requirements of modern market for a unified and functional system of mobile communications that, at the same time, may provide numerous broadband services to its users.

More specifically, in the recent years, the usage of third generation (3G) - Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) cellular networks has begun to rise in most European countries, as in Greece. 3G networks have replaced the second generation mobile networks and moreover, are in position of offering advanced services to mobile users. However, the need for higher (broadband) speeds 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. HSPA constitutes the evolution of UMTS and is known as 3.5G or 3G+ in order to indicate the upgrade from UMTS.

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. Therefore, the mobile communications industry progressively evolves to next generation networks, with main target the achievement of the so called “Mobile Broadband”.

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.

In order to have efficient power control in MBMS, one of the most critical aspects is the selection of the transport channel for the transmission of MBMS multicast traffic. MBMS services can be provided in each cell by either multiple point-to-point (PTP) channels or by a single point-to-multipoint (PTM) channel. A wrong channel selection may result to a significant capacity decrease, thus, preventing the mass delivery of multimedia applications. It is worth mentioning that channel selection is still an open issue in today’s MBMS infrastructure mainly due to its catalytic role in MBMS performance. In the

frame of MBMS power control and transport channel selection several approaches have been proposed, with main representative the 3GPP MBMS Counting Mechanism. However, none of these approaches performs optimal transport channel selection either due to the fact that some of them do not consider the power consumption as the selection criterion or because of the fact that they do not consider all the available transport channels (or combination of them) for the transmission of the MBMS data. All the above stress the need for an advanced version of these mechanisms that could deliver multimedia content to a large number of mobile users in a more efficient and economic way.

After taking into account the above analysis, objective of this dissertation is the study of power control issues in next generation mobile communication networks and the development of new approaches/mechanisms for its optimization.

To this direction, this dissertation analyzes and evaluates all the available UMTS and HSPA transport channels that could be used for the transmission of MBMS multicast services. Moreover, this dissertation investigates and evaluates several power saving techniques that aim at the efficient usage of radio and network resources. Techniques, such as Dynamic Power Setting, Macro Diversity Combining and Rate Splitting are capable of decreasing the power consumption during the provision of MBMS services and may enable the mass market delivery of multimedia services to mobile users. The evaluation of the available transport channels and power saving techniques will lead to the development of a novel scheme/mechanism that will enable the efficient selection of transport channels for the transmission of MBMS services. The proposed mechanism, which we call MBMS Channel Assignment Mechanism (or «MCAM»), is expected to optimally utilize the available power resources of base stations to MBMS sessions running in the network, resulting in that way to an extensive increase on the system's capacity. Therefore, MCAM may allow the mass provision of multimedia data to a large number of mobile users, which makes MCAM a strong candidate for next generation networks.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί τον επίλογο των μεταπτυχιακών μου σπουδών στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής (ΤΜΗΥΠ) του Πανεπιστημίου Πατρών. Ο τίτλος της διδακτορικής διατριβής είναι «Μελέτη και Ανάλυση Μηχανισμών Βελτιστοποίησης Ελέγχου Ισχύος σε Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών».

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της διδακτορικής διατριβής, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όσους με βοήθησαν, με συμβούλευσαν και μου συμπαρασταθήκαν όλο αυτό το διάστημα. Ο Καθηγητής μου Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής του ΤΜΗΥΠ του Πανεπιστημίου Πατρών και Επιστημονικός Υπεύθυνος της Ερευνητικής Μονάδας 6 του ΕΑΙΤΥ, υπήρξε ο σύμβουλος και δάσκαλός μου σε όλη τη διάρκεια ολοκλήρωσης των μεταπτυχιακών σπουδών μου. Θέλω να τον ευχαριστήσω θερμά για την καθοδήγηση και την επιμονή του για συστηματική δουλειά, η οποία θέλω να ελπίζω ότι έφερε αποτελέσματα και να του ευχηθώ πάντα επιτυχίες και αντοχή.

Στη συνέχεια θέλω να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής: τον Καθηγητή του ΤΜΗΥΠ, κ. Γεώργιο Αλεξίου και τον Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής κ. Σπύρο Φωτόπουλο, εξαιρετικούς δασκάλους με βαρύνουσα άποψη και κύρος, για την καθοδήγησή τους και την υποστήριξή τους στην ολοκλήρωση αυτής της διατριβής.

Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη της επταμελούς επιτροπής για την ουσιαστική συνδρομή τους στην ολοκλήρωση αυτής της διατριβής: τον Καθηγητή του ΤΜΗΥΠ κ. Παύλο Σπυράκη, τον Αναπληρωτή Καθηγητή του ΤΜΗΥΠ κ. Ιωάννη Γαροφαλάκη, τον Καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών κ. Σταύρο Κωτσόπουλο και τον Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής κ. Ιωάννη Χαριτάντη.

Επιπλέον, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω το Δρ. Αντώνιο Αλεξίου. Είναι άριστος επιστήμονας με πλούσια πνευματικά προσόντα και σπουδαίο ήθος. Πάνω από όλα είναι εξαιρετικός φίλος που με τις πολύτιμες και ουσιαστικές του γνώσεις και συμβουλές με βοήθησε σημαντικά στην εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Δε θα μπορούσα, βέβαια, να μην ευχαριστήσω θερμά τον Ευάγγελο Ρέκκα για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια και την ουσιαστική βοήθεια του στην εκπόνηση της διδακτορικής μου διατριβής.

Στη συνέχεια ευχαριστώ, διακινδυνεύοντας να ξεχάσω κάποιους, τους συναδέλφους και συνεργάτες μου στα πλαίσια της συμμετοχής μου στο Εργαστήριο Τηλεματικής και Νέων Υπηρεσιών του ΤΜΗΥΠ και στην Ερευνητική Μονάδα 6 του ΕΑΙΤΥ: Αντώνιο Αλεξίου, Ευάγγελο Ρέκκα, Βασίλη Τριγλιανό, Βασίλη Παπαπαναγιώτου, Γιάννη Ζαούδη, Γιώργο Τσιχριτζή, Γιώργο Αδάμ, Βαγγέλη Καπούλα, Κώστα Στάμο, Απόστολο Γκάμα, Βασίλη Πουλόπουλο, Βασίλη Τσόγκα, Λεωνίδα Πουλόπουλο, Έρη Γιαννακά, Βασιλική Μανταδάκη και Δημήτρη Πρίμπα. Όλοι αποτελούν εξαιρετικά δείγματα συνεργατών συμβάλλοντας σε μια αρμονική και ευχάριστη συνεργασία.

Κλείνοντας, θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Γεώργιο και Ανθούλα καθώς και στις αδερφές μου, Κατερίνα και Βιβή, για τη συμβολή και τη στήριξη τους σε αυτή την προσπάθεια αλλά και για όλα όσα έχουν κάνει για εμένα.

Πάτρα, Δεκέμβριος 2009

Βασίλειος Γ. Κόκκινος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	VII
EXECUTIVE SUMMARY	IX
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	XI
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	XIII
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	XIX
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	XXI
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	29
2.1 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	31
2.1.1 Η 1 ^η ΓΕΝΙΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	31
2.1.2 Η 2 ^η ΓΕΝΙΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	32
2.1.3 Η ΓΕΝΙΑ 2.5 ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	32
2.2 Η 3^η ΓΕΝΙΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	33
2.2.1 ΠΡΟΤΥΠΑ	34
2.2.1.1 WCDMA	34
2.2.1.2 Προηγμένο TDMA	35
2.2.1.3 Υβριδικό CDMA/TDMA	36
2.2.1.4 OFDM	36
2.2.1.5 IMT-2000	36
2.2.1.6 Third Generation Partnership Project	37
2.3 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΑΣ	37
2.3.1 Η ΓΕΝΙΑ 3.5 ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	37
2.3.2 3GPP LONG TERM EVOLUTION	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS	41
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	43
3.2 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ UMTS	44
3.2.1 USER EQUIPMENT	45

3.2.2 UMTS TERRESTRIAL RADIO ACCESS NETWORK	45
3.2.3 CORE NETWORK.....	47
3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΕΠΑΦΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ.....	48
3.3.1 Η ΔΙΕΠΑΦΗ UU	48
3.3.2 Η ΔΙΕΠΑΦΗ IUB.....	49
3.3.3 Η ΔΙΕΠΑΦΗ IUR.....	51
3.3.4 Η ΔΙΕΠΑΦΗ IU-PS	52
3.3.5 ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΔΙΕΠΑΦΕΣ.....	53
3.4 ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ UTRAN.....	54
3.4.1 ΛΟΓΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ	54
3.4.2 ΚΑΝΑΛΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	54
3.4.3 ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ	57
3.5 HANDOVERS ΣΤΟ UMTS	57
3.5.1 SOFTER ΚΑΙ SOFT HANDOVER.....	57
3.5.2 HARD HANDOVER	60
3.5.3 INTERSYSTEM HANDOVERS.....	60
3.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ	61
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ HSPA.....	63
 4.1 ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΗΣ HSPA ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	65
4.2 HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS.....	66
4.2.1 ΔΙΑΜΟΙΡΑΖΟΜΕΝΟ ΚΑΝΑΛΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ HS-DSCH	66
4.2.1.1 Adaptive Modulation and Coding.....	68
4.2.1.2 Hybrid Automatic Repeat Request	69
4.2.1.3 Fast Scheduling.....	70
4.2.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ HSDPA.....	71
4.2.2.1 Handover Control.....	71
4.2.2.2 Fast Link Control	71
4.2.2.3 Admission Control.....	72
4.2.2.4 Congestion Control	72
4.2.2.5 Packet Scheduler	72
4.2.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	73
4.2.3.1 Δρομολογητής Βασισμένος αποκλειστικά στην Ποιότητα του Καναλιού (C/I scheduler).....	73
4.2.3.2 Δρομολογητής Κατανομής Ισόποσου Χρόνου (Fair Time scheduler - FTiS). 74	
4.2.3.3 Δρομολογητής Κατανομής Ισόποσου Ρυθμού Διέλευσης (Fair Throughput scheduler - FThS).....	74
4.2.3.4 Δρομολογητής Κυκλικής Εναλλαγής με Προτεραιότητα (Priority Round Robin scheduler - PRR)	74
4.2.3.5 Δρομολογητής Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service scheduler - QoS) 74	
4.3 HIGH SPEED UPLINK PACKET ACCESS.....	75

4.3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ HSUPA ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	76
4.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ HSPA ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	77
4.5 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΗΝ HSPA ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	78
4.6 HSPA+: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	79
4.7 3GPP LONG TERM EVOLUTION.....	80
4.7.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ LTE	81
4.7.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΟ LTE	82
4.7.3 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΟ LTE.....	83
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ MBMS.....	85
 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	87
5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ	88
5.2.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ BROADCAST	88
5.2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ MULTICAST	89
5.3 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ MBMS	89
5.4 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ MBMS ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ	91
5.5 ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ MBMS.....	92
5.5.1 SUBSCRIPTION	94
5.5.2 SERVICE ANNOUNCEMENT	94
5.5.3 JOINING	94
5.5.4 SESSION START	95
5.5.5 MBMS NOTIFICATION	95
5.5.6 DATA TRANSFER	95
5.5.7 SESSION STOP	95
5.5.8 LEAVING	96
5.6 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ CN	96
5.6.1 ΧΡΗΣΗ IP UNICAST	96
5.6.2 ΧΡΗΣΗ IP MULTICAST	98
5.7 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ UTRAN	99
5.7.1 ΜΕΤΑΔΟΣΗ POINT-TO-POINT	99
5.7.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ POINT-TO-MULTIPOINT.....	100
5.7.3 Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ IUR	101
5.8 ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	102
5.8.1 ΠΙΘΑΝΕΣ ΑΠΕΙΛΕΣ	102
5.8.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	103
5.9 ΈΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ MBMS	104
5.9.1 ΈΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ WCDMA	104
5.9.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ UMTS	105
5.9.2.1 Open Loop Power Control	105
5.9.2.2 Fast Closed Loop Power Control	105

5.9.2.3 Outer Loop Power Control.....	106
5.9.3 ΈΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΗ MULTICAST ΜΕΤΑΔΟΣΗ	106
5.9.4 ΈΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΚΑΝΑΛΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΟ MBMS.....	107
5.9.5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	108
5.9.5.1 Macrocell Περιβάλλον.....	109
5.9.5.2 Microcell Περιβάλλον.....	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	113
6.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ.....	115
6.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	118
6.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ.....	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ	123
7.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΚΟΙΝΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	125
7.2 ΧΡΗΣΙΜΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ.....	126
7.2.1 GEOMETRY FACTOR.....	126
7.2.2 SIGNAL-TO-INTERFERENCE-PLUS-NOISE RATIO	127
7.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΟ FACH	128
7.3.1 ΕΠΙΠΕΔΑ ΙΣΧΥΟΣ FACH ΓΙΑ MBMS ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ	129
7.3.1.1 Σχέση Εκπεμπόμενης Ισχύος FACH και BLER	131
7.3.1.2 Σχέση Εκπεμπόμενης Ισχύος FACH και Περιοχής Κάλυψης	132
7.3.2 SOFT ΚΑΙ SELECTION COMBINING	134
7.3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ FACH.....	135
7.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΟ DCH.....	135
7.4.1 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ MACROCELL	137
7.4.1.1 Σχέση DCH Ισχύος και Απόστασης από το Node B	137
7.4.1.2 Σχέση DCH Ισχύος και E_b/N_0	138
7.4.1.3 Σχέση DCH Ισχύος και Ρυθμού Μετάδοσης	138
7.4.1.4 Σχέση DCH Ισχύος και Εκπεμπόμενης Ισχύος Γειτονικών Κυψελών	139
7.4.2 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ MICROCELL.....	139
7.4.2.1 Σχέση DCH Ισχύος και Απόστασης από το Node B	140
7.4.2.2 Σχέση DCH Ισχύος και E_b/N_0	140
7.4.2.3 Σχέση DCH Ισχύος και Ρυθμού Μετάδοσης	141
7.4.2.4 Σχέση DCH Ισχύος και Εκπεμπόμενης Ισχύος Γειτονικών Κυψελών	141
7.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΟ HS-DSCH.....	142
7.5.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΘΕΣΗΣ HS-DSCH ΙΣΧΥΟΣ	142
7.5.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΤΟΥ HS-DSCH ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ MBMS ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	143
7.5.3 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ MIMO	144
7.6 ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ	146

7.6.1.1 Απόδοση στο Macrocell Περιβάλλον	146
7.6.1.2 Απόδοση στο Microcell Περιβάλλον	149
7.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	152
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	153
 8.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΙΣ MBMS ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ	155
8.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	156
8.2.1 DYNAMIC POWER SETTING	156
8.2.2 LONGER TTI AND SPACE DIVERSITY	157
8.2.3 MACRO DIVERSITY COMBINING	159
8.2.4 RATE SPLITTING	160
8.2.5 MIXED USAGE OF DCHS AND FACH	161
8.2.6 EFFICIENT CHANNEL SELECTION	163
8.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	165
8.3.1 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ DPS, LTTI ΚΑΙ MDC	165
8.3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ RS, MDF ΚΑΙ ECS	168
8.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ	171
8.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	173
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ	175
 9.1 ΚΙΝΗΤΡΑ / ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ MIMO ...	178
9.2 ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	180
9.2.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ «MBMS COUNTING MECHANISM (TS 25.346)»	180
9.2.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ «MBMS PTP/PTM SWITCHING ALGORITHM (TR 25.922)»	182
9.2.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΠΡΟΤΑΘΗΚΕ ΣΤΟ 3GPP TSG-RAN R1-021240	183
9.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ «MBMS CHANNEL ASSIGNMENT MECHANISM»	184
9.3.1 ΦΑΣΗ ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ	185
9.3.2 ΦΑΣΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	186
9.3.3 ΦΑΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	187
9.3.3.1 Υπολογισμός Περιοχής Κάλυψης του FACH (Define PTM Coverage)	189
9.3.3.2 Υπολογισμός Συνδυασμού PTP Καναλιών (Find PTP Combination)	189
9.3.3.3 Πολυπλεξία FACH (FACH Multiplexing)	190
9.3.3.4 Υπολογισμός Συνολικής Ισχύος	191
9.3.4 ΦΑΣΗ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	191
9.3.5 ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ	192
9.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ MCAM	193
9.4.1 Έλεγχος Λειτουργίας της Φάσης Επιλογής Καναλιών	194
9.4.2 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ MIMO	196
9.4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ 3GPP ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥΣ	200
9.4.4 ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ MBMS ΣΥΝΟΔΩΝ	202

9.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	207
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	209
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	219
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ	227
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	233
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΑΚΡΩΝΥΜΑ	241
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV: ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ.....	249
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V: ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ	257

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η εξέλιξη των προτύπων για τα κυψελωτά κινητά δίκτυα έως το 3G	34
Εικόνα 2. Η κατανομή των καναλιών στις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης.....	35
Εικόνα 3. Χρονολογική εξέλιξη κινητών δικτύων επόμενης γενιάς από το 3G έως το LTE.....	40
Εικόνα 4. Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο.....	44
Εικόνα 5. Η δομή του UTRAN.....	45
Εικόνα 6. RAs και URAs.....	46
Εικόνα 7. Η δομή του CN.....	48
Εικόνα 8. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu	49
Εικόνα 9. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iub	50
Εικόνα 10. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iur	51
Εικόνα 11. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής $Iu-PS$	52
Εικόνα 12. Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας	53
Εικόνα 13. Η αντιστοιχία λογικών καναλιών σε κανάλια μεταφοράς.....	56
Εικόνα 14. Αντιστοίχιση καναλιών για την downlink κατεύθυνση.....	57
Εικόνα 15. Οι δυνατές περιπτώσεις <i>softer</i> και <i>soft handover</i>	58
Εικόνα 16. PMM και RRC μηχανισμοί.....	61
Εικόνα 17. Πορεία προτυποποίησης και εμπορικής διάθεσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών	65
Εικόνα 18. Εξέλιξη των ρυθμών μετάδοσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών	66
Εικόνα 19. Διαμοίραση κωδίκων καναλιού για το HS-DSCH.....	67
Εικόνα 20. Διαμοίραση πόρων στο πεδίο του χρόνου για το HS-DSCH.....	67
Εικόνα 21. Σχήματα διαμόρφωσης QPSK, 16-QAM και 64-QAM	68
Εικόνα 22. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καθορίζεται από τις στιγμιαίες συνθήκες καναλιού	69
Εικόνα 23. HARQ - Διαδικασία επαναμετάδοσης χαμένων δεδομένων.....	70
Εικόνα 24. Δρομολόγηση χρηστών με ευνοϊκές συνθήκες για αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου....	70
Εικόνα 25. Υπηρεσίες με τη χρήση HSPA τεχνολογίας.....	79
Εικόνα 26. Η εξέλιξη των κινητών ευρυζωνικών standards LTE και WiMAX.....	81
Εικόνα 27. Εξέλιξη της MBMS υπηρεσίας.....	88
Εικόνα 28. Η αρχιτεκτονική της υπηρεσίας MBMS.....	90
Εικόνα 29. UMTS multicast χωρίς την υποστήριξη του MBMS.....	92
Εικόνα 30. UMTS multicast με την υποστήριξη του MBMS.....	92
Εικόνα 31. Οι φάσεις της broadcast λειτουργίας.....	93
Εικόνα 32. Οι φάσεις της multicast λειτουργίας.....	93
Εικόνα 33. Οι σύνοδοι GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP unicast.....	97
Εικόνα 34. Οι σύνοδοι GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP multicast.....	98
Εικόνα 35. MBMS bearers για (a) point-to-point, (b) point-to-multipoint.....	99
Εικόνα 36. Οι πιθανές επιλογές μονοπατιών προς το UE1	102
Εικόνα 37. Near-far πρόβλημα στον ανερχόμενο σύνδεσμο [65]	104
Εικόνα 38. Macrocell περιβάλλον	109
Εικόνα 39. Microcell περιβάλλον	111
Εικόνα 40. Σχέση G και περιοχής κάλυψης κυψέλης.....	126
Εικόνα 41. Πραγματική ρυθμοαπόδοση κυψέλης ανάλογα με το SINR.....	128
Εικόνα 42. BLER σε συνάρτηση με το E_c/I_{or} (Vehicular A, 3 km/h, $G=-6$ dB)	131
Εικόνα 43. BLER σε συνάρτηση με το E_c/I_{or} (Pedestrian B, 3 km/h, $G=-6$ dB).....	131
Εικόνα 44. Ποσοστό ισχύος σε συνάρτηση με την περιοχή κάλυψης - Vehicular A 3 km/h.....	132
Εικόνα 45. BLER σε σχέση με E_c/I_{or} - Pedestrian B 3 km/h.....	134
Εικόνα 46. Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και απόστασης από το Node B.....	137
Εικόνα 47. Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και E_b/N_0	138
Εικόνα 48. Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και ρυθμού μετάδοσης.....	138
Εικόνα 49. Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και εκπεμπόμενης ισχύος γειτονικών κυψελών	139
Εικόνα 50. Microcell - Σχέση DCH ισχύος και απόστασης από το Node B.....	140
Εικόνα 51. Microcell - Σχέση DCH ισχύος και E_b/N_0	140
Εικόνα 52. Microcell - Σχέση DCH ισχύος και ρυθμού μετάδοσης	141

Εικόνα 53. Microcell - Σχέση DCH ισχύος και εκπεμπόμενης ισχύος γειτονικών κυψελών	141
Εικόνα 54. Μέθοδος μεταβλητής ανάθεσης HS-DSCH ισχύος.....	142
Εικόνα 55. Μέθοδος σταθερής ανάθεσης HS-DSCH ισχύος	143
Εικόνα 56. Διάγραμμα (M,N) MIMO συστήματος	145
Εικόνα 57. Διάγραμμα MIMO 2x2 συστήματος	145
Εικόνα 58. Macrocell - Ισχύς καναλιών πολυεκπομπής συναρτήσει της απόστασης από το Node B.....	146
Εικόνα 59. Macrocell - Ισχύς καναλιών πολυεκπομπής συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης.....	147
Εικόνα 60. Macrocell - Πορεία κινούμενου χρήστη	148
Εικόνα 61. Macrocell - Ισχύς μετάδοσης του Node B που εξυπηρετεί τον κινούμενο χρήστη	148
Εικόνα 62. Microcell - Ισχύς καναλιών πολυεκπομπής συναρτήσει της απόστασης από το Node B	150
Εικόνα 63. Microcell - Ισχύς καναλιών πολυεκπομπής συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης.....	150
Εικόνα 64. Microcell - Πορεία κινούμενου χρήστη	151
Εικόνα 65. Microcell - Ισχύς μετάδοσης του Node B που εξυπηρετεί τον κινούμενο χρήστη	151
Εικόνα 66. Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της DPS (RL: Radio Link).....	157
Εικόνα 67. Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της LTTI.....	158
Εικόνα 68. Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της MDC.....	159
Εικόνα 69. Παροχή MBMS υπηρεσιών με χρήση της RS.....	161
Εικόνα 70. Παροχή MBMS υπηρεσιών με χρήση της MDF	162
Εικόνα 71. Ισχύς εκπομπής του Node B με χρήση της MDF	162
Εικόνα 72. Ισχύς εκπομπής του Node B με χρήση της ECS για: (a) 50% κάλυψη, (b) 95% κάλυψη.....	163
Εικόνα 73. Διαδρομή του κινούμενου χρήστη σύμφωνα με το σενάριο	166
Εικόνα 74. Ισχύς εκπομπής FACH με το συνδυασμό των τεχνικών DPS, LTTI και MDC	167
Εικόνα 75. Ακολουθία βημάτων του σεναρίου.....	169
Εικόνα 76. Ισχύς εκπομπής του Node B με το συνδυασμό των τεχνικών RS, MDF και ECS.....	170
Εικόνα 77. HS-DSCH εναντίον FACH.....	171
Εικόνα 78. Κατανομή ισχύος για μία 64 Kbps MBMS υπηρεσία με 60% κάλυψη	178
Εικόνα 79. Κατανομή ισχύος για μία 64 Kbps MBMS υπηρεσία με 80% κάλυψη	179
Εικόνα 80. Κατανομή ισχύος για μία 64 Kbps MBMS υπηρεσία με 100% κάλυψη	179
Εικόνα 81. Λειτουργία και στάθμες ισχύος του μηχανισμού TS 25.346.....	181
Εικόνα 82. Λειτουργία και στάθμες ισχύος του μηχανισμού TR 25.922	182
Εικόνα 83. Λειτουργία και στάθμες ισχύος του μηχανισμού 3GPP TSG-RAN R1-021240.....	184
Εικόνα 84. Λογικό διάγραμμα του MCAM.....	186
Εικόνα 85. Ζώνες της κυψέλης.....	187
Εικόνα 86. Ψευδοκώδικας του Αλγόριθμου Επιλογής Καναλιών	188
Εικόνα 87. Πολυπλεξία FACH σε (a) ένα επίπεδο, (b) δύο επίπεδα	191
Εικόνα 88. Σχηματισμοί καναλιών μεταφοράς τη χρονική στιγμή 1 sec.....	195
Εικόνα 89. Στάθμες ισχύος των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς.....	196
Εικόνα 90. Τοπολογία προσομοίωσης	197
Εικόνα 91. Source Cell: (a) Λειτουργικότητα του MCAM, (b) Σύγκριση MCAM και TS 25.346.....	198
Εικόνα 92. Target Cell: (a) Λειτουργικότητα του MCAM, (b) Σύγκριση MCAM και TS 25.346.....	198
Εικόνα 93. Σύγκριση (a) κατανάλωσης ισχύος και (b) πολυπλοκότητας μεταξύ των μηχανισμών	201
Εικόνα 94. Στάθμες ισχύος για τις MBMS συνόδους.....	204
Εικόνα 95. Αξιολόγηση πολυπλεξίας FACH σε: (a) ένα επίπεδο (b) δύο επίπεδα	206
Εικόνα 96. Εναλλακτικές μορφές της e-MBMS αρχιτεκτονικής	224
Εικόνα 97. Ορισμοί στο e-MBMS	225

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Τα χαρακτηριστικά του UMTS και η συμβατότητα του GSM.....	44
Πίνακας 2. Τα λογικά κανάλια του UTRAN.....	54
Πίνακας 3. Οι ιδιότητες των καναλιών μεταφοράς.....	55
Πίνακας 4. Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN.....	56
Πίνακας 5. Επιτεύξιμοι ρυθμοί μετάδοσης ανάλογα με την διαμόρφωση.....	69
Πίνακας 6. Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης - macrocell.....	110
Πίνακας 7. Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης - microcell.....	112
Πίνακας 8. Τιμές ισχύος για κοινά κανάλια [65].....	125
Πίνακας 9. Χρήσιμη ορολογία.....	126
Πίνακας 10. Αντίστοιχία περιοχής κάλυψης και τιμής G	127
Πίνακας 11. Μετατροπή E_c/I_{or} (dB) σε ποσοστό εκπεμπόμενης ισχύος (%).....	129
Πίνακας 12. Πίνακας παραμέτρων για FACH κανάλι μεταφοράς.....	130
Πίνακας 13. Ποσοστό ισχύος κυψέλης για Case 2 (3 km/h).....	133
Πίνακας 14. Ποσοστό ισχύος κυψέλης για Vehicular A (3 km/h).....	133
Πίνακας 15. Ποσοστό ισχύος κυψέλης για Pedestrian B (3 km/h).....	133
Πίνακας 16. Απαιτούμενη ισχύς με και χωρίς soft combining Vehicular A.....	134
Πίνακας 17. Ενδεικτικές στάθμες ισχύος του FACH με χρήση της LTTI.....	158
Πίνακας 18. Ενδεικτικές στάθμες ισχύος του FACH με χρήση της MDC.....	160
Πίνακας 19. Ενδεικτικά σημεία εναλλαγής καναλιών.....	164
Πίνακας 20. Επιπλέον παράμετροι προσομοίωσης για το συνδυασμό των τεχνικών μείωσης ισχύος.....	165
Πίνακας 21. Σημεία εναλλαγής και αποδοτικές τεχνικές συναρτήσει των «inner part» χρηστών.....	172
Πίνακας 22. Επιπλέον παράμετροι για την αξιολόγηση του MCAM.....	194
Πίνακας 23. Κατανομή χρηστών.....	194
Πίνακας 24. Αριθμός χρηστών και κάλυψη ανά χρονική περίοδο.....	200
Πίνακας 25. Οι υποθέσεις του σεναρίου.....	203
Πίνακας 26. Σεναριο προσομοίωσης για την πολυπλεξία FACH.....	205
Πίνακας 27. Σύγκριση των μηχανισμών.....	207

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 διείσδυση, 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 διδακτορικής διατριβής 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 διατριβή 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 διεξοδικά 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.

Στο Κεφάλαιο 4 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 5 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, τίγονται 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. Τέλος, περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των macrocell και microcell περιβαλλόντων προσομοίωσης στα οποία βασίζεται η περαιτέρω ανάλυση της παρούσας διατριβής.

Στο Κεφάλαιο 6 θα γίνει μια αναλυτική παρουσίαση της ερευνητικής περιοχής του ελέγχου ισχύος κατά τη μετάδοση multicast υπηρεσιών σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Επίσης, θα αναφερθούν λεπτομερειακά οι εργασίες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής και θα παρουσιαστούν τα σημεία εκείνα τα οποία διαφοροποιούν τις προσεγγίσεις που ακολουθήθηκαν στις εν λόγω εργασίες με την προσέγγιση που προτείνονται στην παρούσα διδακτορική διατριβή.

Στο Κεφάλαιο 7 αναλύεται η σχέση του ελέγχου ισχύος με τα κανάλια μεταφοράς και αναφέρονται βιβλιογραφικά στοιχεία σχετικά με τη multicast μετάδοση στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών. Η κυρίαρχουσα 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 διατριβής με κύριο στόχο πάντα την αποδοτικότερη χρήση των πόρων ισχύος του δικτύου.

Στο Κεφάλαιο 8 εξετάζονται έξι συνολικά 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. Τέλος, παρουσιάζονται δύο σενάρια προσομοίωσης μέσω των οποίων γίνονται αντιληπτά τα πλεονεκτήματα που είναι σε θέση να προσφέρει ο συνδυασμός των συγκεκριμένων τεχνικών μείωσης ισχύος.

Στο Κεφάλαιο 9 παρουσιάζονται και αναλύονται εκτενώς οι μηχανισμοί που έχουν προταθεί από το 3rd Generation Partnership Project (3GPP) για την επιλογή του κατάλληλου καναλιού πολυεκπομπής στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά ο μηχανισμός επιλογής καναλιών πολυεκπομπής που προτάθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, τον οποίο ονομάζουμε MBMS Channel Assignment Mechanism (ή χάριν συντομίας «MCAM»), καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του. Κύριος στόχος του προτεινόμενου μηχανισμού είναι ο αποδοτικός έλεγχος ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών. Η λογική του MCAM βασίζεται στην επιλογή του καναλιού μεταφοράς ή στην επιλογή του συνδυασμού καναλιών μεταφοράς που εξασφαλίζει τις μικρότερες απαιτήσεις σε ισχύ. Με άλλα λόγια, ο μηχανισμός στοχεύει στην εξοικονόμηση πόρων ισχύος που αποτελεί ουσιαστικά τον πιο περιορισμένο πόρο στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, πως σε αντίθεση με τις περισσότερες 3GPP προσεγγίσεις, ο MCAM αναθέτει δυναμικά το καταλληλότερο κανάλι μεταφοράς ή τον καταλληλότερο συνδυασμό καναλιών μεταφοράς, με απώτερο σκοπό πάντα τον αποδοτικότερο έλεγχο των πόρων ισχύος ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Επιπρόσθετα, σε αντίθεση με τις 3GPP προσεγγίσεις, ο MCAM επεκτείνεται το πλήθος των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς με την ενσωμάτωση του καναλιού HS-DSCH. Ωστόσο, το πιο αξιοσημείωτο πλεονέκτημα του MCAM είναι ότι διαφοροποιείται ουσιαστικά από τις 3GPP προσεγγίσεις δεδομένου ότι προσαρμόζεται στις απαιτήσεις των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς για ταυτόχρονη παροχή πολλαπλών πολυμεσικών συνόδων. Επομένως, ο νέος αυτός μηχανισμός υπόσχεται βελτιωμένη απόδοση, μείωση της καταναλισκόμενης ισχύος και κατά συνέπεια αύξηση της χωρητικότητας των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς.

Το Κεφάλαιο 10 παρουσιάζει τα συμπεράσματα τα οποία έχουν εξαχθεί κατά την διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής.

Στο Κεφάλαιο 11 παρουσιάζονται τα ανοιχτά θέματα που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας στο συγκεκριμένο τομέα.

Στο Παράρτημα Ι παρουσιάζονται οι εργασίες που δημοσιεύτηκαν, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής σε διεθνή περιοδικά, βιβλία και διεθνή συνέδρια.

Στο Παράρτημα ΙΙ παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, ταξινομημένη κατά αλφαβητική σειρά. Η ταξινόμηση της σχετικής βιβλιογραφίας αλφαβητικά πραγματοποιήθηκε με στόχο τη διευκόλυνση του αναγνώστη και τη γρήγορη αναζήτησή τους μέσα στο κείμενο. Παράλληλα, αναφέρουμε πως οι αναφορές στη βιβλιογραφία έχουν ενσωματωθεί στο κείμενο μέσα σε αγκύλες ([]).

Στο Παράρτημα ΙΙΙ παρουσιάζονται τα ακρωνύμια τα οποία χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διδακτορική διατριβή για τη διευκόλυνση του αναγνώστη.

Στο Παράρτημα ΙV παρουσιάζεται το γλωσσάριο ξενικών όρων που χρησιμοποιούνται στη διδακτορική αυτή διατριβή για τη διευκόλυνση του αναγνώστη.

Τέλος, στο Παράρτημα V παρουσιάζεται το ευρετήριο ορισμένων όρων οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διδακτορική διατριβή για τη διευκόλυνση του αναγνώστη και τη γρήγορη αναζήτησή τους μέσα στο κείμενο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ
ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Το κεφάλαιο αυτό 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, μέχρι και τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών «γενιάς 2.5». Ακολουθεί μία διεξοδική περιγραφή των κινητών δικτύων επικοινωνιών τρίτης γενιάς και των βασικών προτύπων τους. Στη συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Παράλληλα, επισημαίνονται οι ανάγκες που οδήγησαν στην επόμενη γενιά κινητών δικτύων.

2.1 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

2.1.1 Η 1^η Γενιά Κινητών Δικτύων

Η πρώτη γενιά (1G) συστημάτων κυψελωτής κινητής τηλεφωνίας εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1980. 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 [67]. 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 [65].

2.1.2 Η 2^η 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 κυψέλων, 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 [67], [70].

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 [92].

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) [19], [25].

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 φθηνή. 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 [56], [62].

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) [71]. 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.

2.2 Η 3^η ΓΕΝΙΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

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 [65], [88].

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) [65].

2.2.1 Πρότυπα

Μέχρι στιγμής έχουν υποβληθεί διάφορες προτάσεις για ένα παγκόσμιο πρότυπο τρίτης γενιάς. Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζονται οι σημαντικότερες προτάσεις οι οποίες ομαδοποιούνται με βάση την τεχνολογία που χρησιμοποιούν. Οι δυνατές τεχνολογίες είναι η WCDMA, η προηγμένη TDMA, η υβριδική CDMA/TDMA και η Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) [67].

2.2.1.1 WCDMA

Εξ' ορισμού το εύρος ζώνης ενός συστήματος WCDMA είναι 5 MHz ή και μεγαλύτερο. Αυτή η τιμή των 5 MHz είναι το ονομαστικό εύρος ζώνης όλων των WCDMA προτάσεων για την τρίτη γενιά. Ονομάστηκε wideband (ευρείας ζώνης) διότι το φάσμα των 5 MHz είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το φάσμα που χρησιμοποιεί το αντίστοιχο σύστημα CDMA των Η.Π.Α. Για την ακρίβεια, το σύστημα CDMA2000 χρησιμοποιεί ένα φάσμα των 1.25 MHz. Αυτή η κοινή επιλογή δεν είναι τυχαία διότι επαρκεί για την παροχή ρυθμών μετάδοσης των 144 και 384 Kbps (πρόκειται για τους βασικούς ρυθμούς μετάδοσης στους οποίους στοχεύουν τα συστήματα τρίτης γενιάς), ενώ ταυτόχρονα δε δημιουργεί προβλήματα στον καταμερισμό της ζώνης συχνοτήτων. Η τελευταία παράμετρος είναι πολύ σημαντική αν σκεφτεί κανείς ότι πολλά συστήματα θα κληθούν να χρησιμοποιήσουν τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούν ήδη συστήματα δεύτερης γενιάς.

Εικόνα 2. Η κατανομή των καναλιών στις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης

Στο σύστημα αυτό, ο αποστολέας της πληροφορίας, πριν αποστείλει τα δεδομένα, τα πολλαπλασιάζει με τον κώδικά του. Ο παραλήπτης γνωρίζει εκ των προτέρων τον κώδικα του αποστολέα. Επιπλέον, οι κώδικες που χρησιμοποιούνται από διαφορετικά ζεύγη πρέπει να είναι μεταξύ τους ορθογώνιοι. Για την ακρίβεια είναι «σχεδόν» ορθογώνιοι, γιατί είναι αδύνατον να βρεθούν πλήρως ορθογώνιοι κώδικες για κάθε ζεύγος. Όταν ο παραλήπτης πολλαπλασιάσει τα δεδομένα που έλαβε, με τον κώδικα του αποστολέα τότε προκύπτουν τα αρχικά δεδομένα. Μετά από αυτόν τον υπολογισμό, τα υπόλοιπα δεδομένα που ανταλλάχθηκαν από άλλους χρήστες, έχουν απορριφθεί από τον παραλήπτη ως θόρυβος. Η Εικόνα 2 απεικονίζει σε διαγράμματα την κατανομή των καναλιών για τις τεχνικές Frequency Division Multiple Access (FDMA), TDMA και CDMA [85].

Από το σημείο αυτό, τα πρότυπα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα σύγχρονα και τα ασύγχρονα. Τα σύγχρονα δίκτυα υιοθετήθηκαν στη Βόρεια Αμερική. Ο λόγος ήταν η συμβατότητα με τα υπάρχοντα συστήματα δεύτερης γενιάς των οποίων αποτελούν και εξέλιξη. Στα σύγχρονα δίκτυα οι σταθμοί βάσης είναι συγχρονισμένοι κάθε χρονική στιγμή μεταξύ τους. Το πρότυπο CDMA2000 είναι η σημαντικότερη πρόταση αυτής της κατηγορίας προτύπων.

Τα ασύγχρονα δίκτυα είναι η ευρωπαϊκή πρόταση στο πρότυπο WCDMA. Πρόκειται για την πρόταση του ευρωπαϊκού ιδρύματος ETSI η οποία είναι και η πιο δημοφιλής σε παγκόσμια κλίμακα. Στην πραγματικότητα στηρίχθηκε από τους ευρωπαϊκούς κολοσσούς των τηλεπικοινωνιών, όπως την Ericsson και τη Nokia, καθώς και από αρκετές ιαπωνικές εταιρίες. Η πρόταση αυτή είναι στηριγμένη στο δίκτυο GSM. Συνεπώς, η υιοθέτηση αυτού του προτύπου από τις εταιρίες κινητών τηλεπικοινωνιών που χρησιμοποιούν δίκτυα GSM είναι η φθηνότερη επιλογή. Αυτό επίσης εξασφαλίζει ότι όλες οι υπηρεσίες ενός GSM δικτύου υποστηρίζονται εξ' αρχής από ένα δίκτυο WCDMA. Όπως περιγράφεται και στην παράγραφο 2.2.1.6, οι προδιαγραφές του WCDMA εξελίσσονται από τον οργανισμό 3GPP.

2.2.1.2 Προηγμένο TDMA

Παρά την, κατά τα φαινόμενα, τελική επικράτηση της διαμόρφωσης CDMA, η κατεύθυνση της έρευνας ήταν στραμμένη προς την εξέλιξη των συστημάτων TDMA. Αυτό συνέβαινε μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1990. Στη συνέχεια μόνο ένα πρότυπο υιοθετήθηκε. Πρόκειται για το πρότυπο UWC-136 το οποίο είναι εξέλιξη των αμερικανικών συστημάτων δεύτερης γενιάς. Το πρότυπο UWC-136 προβλέπει τη χρήση τριών κατηγοριών εύρους ζώνης. Η πρώτη κατηγορία είναι των 3 KHz και έχει το ίδιο εύρος ζώνης με αυτό των συστημάτων δεύτερης γενιάς. Η δεύτερη κατηγορία

είναι των 200 KHz και έχει τις ίδιες παραμέτρους με το σύστημα EDGE. Τέλος, η τρίτη κατηγορία χρησιμοποιεί εύρος ζώνης των 1.6 MHz, μπορεί να επιτύχει ρυθμούς των 2 Mbps αλλά περιορίζεται σε οικιακή χρήση [67].

2.2.1.3 Υβριδικό CDMA/TDMA

Το υβριδικό CDMA/TDMA ήταν μία λύση που εξετάστηκε από το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα FRAMES. Επίσης, ήταν η αρχική πρόταση του ETSI για το σύστημα UMTS. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, κάθε πλαίσιο του TDMA διαιρείται σε οκτώ χρονοσχισμές. Σε κάθε χρονοσχισμή, τα διαφορετικά κανάλια πολυπλέκονται με χρήση της μεθόδου CDMA. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτού του προτύπου είναι ότι δανείζεται τη δομή του κάθε πλαισίου από το σύστημα GSM. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει συμβατότητα προς τα πίσω. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη πρόταση του ETSI δεν υποστηρίζεται πια και το πρότυπο έχει εγκαταλειφθεί. Όμως η υβριδική λογική CDMA/TDMA δεν εγκαταλείφθηκε εντελώς από τα δίκτυα τρίτης γενιάς, αφού χρησιμοποιείται σε πολλά από τα τμήματα του συστήματος UMTS με διαφορετικά όμως χαρακτηριστικά [67].

2.2.1.4 OFDM

Στο πρότυπο OFDM η βασική ιδέα είναι η διαίρεση των ροών δεδομένων σε περαιτέρω ροές (υποκανάλια). Κάθε μία από αυτές τις ροές έχει χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης από την αρχική. Στη συνέχεια οι υποροές διαμορφώνονται με χρήση κωδίκων οι οποίοι είναι μεταξύ τους ορθογώνιοι. Εξαιτίας της ορθογωνιότητας τα υποκανάλια μπορούν να πλησιάζουν πολύ κοντά μεταξύ τους (ή ακόμα και να επικαλύπτονται) χωρίς να υπάρχει κίνδυνος παρεμβολής. Επίσης λόγω των χαμηλών ρυθμών μετάδοσης αποφεύγεται και το φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί με πολύ αποδοτικό τρόπο το παρεχόμενο φάσμα συχνοτήτων.

Το πρότυπο OFDM αποτελεί τη βάση για πολλά πρότυπα τηλεπικοινωνιών όπως το 802.11a, το 802.11g, το WLAN ακόμα και τα συστήματα Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL). Τα πλεονεκτήματα που το κατέστησαν τόσο δημοφιλές είναι: η αποδοτική χρήση του παρεχόμενου εύρους ζώνης και οι ανοχές στις παρεμβολές. Από την άλλη πλευρά, το κυριότερο μειονέκτημα του OFDM είναι το γεγονός ότι αποτελεί ένα ιδιαίτερα ενεργοβόρο σύστημα. Ίσως για αυτό το λόγο καμία από τις επικρατούσες τεχνολογίες για τα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς δεν έχουν ενσωματώσει το OFDM. Παρόλα αυτά, η ενσωμάτωση του προτύπου αυτού στα κινητά συστήματα επόμενης γενιάς είναι πλέον γεγονός [65].

2.2.1.5 IMT-2000

Το IMT-2000 περιλαμβάνει τις προδιαγραφές για όλα τα συστήματα τρίτης γενιάς. Ξεκίνησε ως στόχος της ένωσης International Telecommunication Union (ITU) προκειμένου να υπάρξει ένα και μοναδικό σύστημα τρίτης γενιάς για όλη την υφήλιο. Όμως, για λόγους τεχνικούς αλλά και πολιτικούς, ο στόχος αυτός δεν επετεύχθη. Η πολιτική της ITU ήταν αρκετά ελαστική προκειμένου να θεωρήσει κάποιο σύστημα συμβατό με το πρότυπο IMT-2000. Επομένως, στο πρότυπο εντάχθηκαν σχεδόν όλα τα συστήματα που πληρούσαν κάποιες υποτυπώδεις προδιαγραφές, με αποτέλεσμα το IMT-2000 να αποτελεί πλέον όχι απλώς ένα πρότυπο αλλά μία οικογένεια προτύπων που τεχνικά δεν έχουν πολλά κοινά σημεία μεταξύ τους.

Είναι γεγονός ότι οι περισσότερες από τις τεχνολογίες που εντάχθηκαν στο πρότυπο IMT-2000 έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο. Η πλειοψηφία από αυτά τα συστήματα από τη στιγμή που εντάχθηκαν στο πρότυπο και έπειτα, εξελίχθηκαν με τη συμβολή της βιομηχανίας. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το IMT Direct Spread (IMT-DS) είναι αναμφισβήτητο το πιο σημαντικό σύστημα του IMT-2000. Το IMT-DS δεν είναι άλλο από το σύστημα WCDMA το οποίο περιγράφηκε στην παράγραφο 2.2.1.1.

2.2.1.6 Third Generation Partnership Project

Το 3GPP [86] είναι ένας οργανισμός που αναπτύσσει προδιαγραφές για ένα σύστημα τρίτης γενιάς το οποίο είναι βασισμένο στη διεπαφή Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) και σε ένα εξελιγμένο δίκτυο GSM/GPRS. Το 3GPP έχει αναλάβει επίσης τις μελλοντικές προδιαγραφές για το σύστημα GSM. Η εξέλιξη του GSM ήταν μέσα στη ζώνη ευθύνης του ευρωπαϊκού ιδρύματος ETSI. Όμως επειδή το σύστημα του 3GPP χρησιμοποιεί το ίδιο κεντρικό δίκτυο με το GSM, όπως επίσης λόγω του διεθνούς χαρακτήρα του GSM, το 3GPP ανέλαβε την εξέλιξη και των δύο συστημάτων μαζί.

Το δίκτυο UTRA Network (UTRAN) που αναπτύσσεται από το 3GPP, περιλαμβάνει δύο τρόπους λειτουργίας: τον Frequency Division Duplex (FDD) και τον Time Division Duplex (TDD). Στον FDD ο ανερχόμενος (uplink) και ο κατερχόμενος (downlink) σύνδεσμος χρησιμοποιούν διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων, κάθε μία από τις οποίες έχει εύρος ζώνης 5 MHz. Από την άλλη πλευρά, ο TDD διαφέρει από τον FDD στο γεγονός ότι και οι δύο κατευθύνσεις χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Στην περίπτωση αυτή οι 15 χρονοσχισμές κάθε πλαισίου κατανέμονται δυναμικά μεταξύ του ανερχόμενου και του κατερχόμενου συνδέσμου.

Αρχικά το UTRAN θεωρήθηκε ένα ευρω-ιαπωνικό σύστημα που έχει στενή σχέση με το GSM. Αντίθετα, το CDMA2000 [87] φάνηκε να δεσπόζει στις Η.Π.Α. Παρόλα αυτά αυτός ο διαχωρισμός δεν ισχύει πια αφού πλέον πολλές εταιρίες της Αμερικής έχουν υιοθετήσει το UTRAN ως σύστημα τρίτης γενιάς. Επίσης, πολλές άλλες αμερικανικές εταιρίες έχουν υιοθετήσει την τεχνολογία GSM και κατά συνέπεια το μέλλον τους, όσον αφορά την τρίτη γενιά, έχει συνδεθεί με το UTRAN. Από την άλλη πλευρά, το CDMA2000 έχει το προβάδισμα στην Άπω Ανατολή.

2.3 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

2.3.1 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 [64].

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 [64].

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], [19].

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 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.

2.3.2 3GPP Long Term Evolution

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 [65].

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 [65], [68], [79].

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, ξεκινώντας μέσα στο 2010.

Συγκεντρωτικά, η χρονολογική εξέλιξη των 3GPP κυψελωτών προτύπων, ξεκινώντας από τα κινητά δίκτυα 3G έως και τα αντίστοιχα δίκτυα επόμενης γενιάς LTE, απεικονίζεται στην Εικόνα 3. 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 [86].

Εικόνα 3. Χρονολογική εξέλιξη κινητών δικτύων επόμενης γενιάς από το 3G έως το LTE

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS

Το ΣΥΣΤΗΜΑ 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. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν τα χαρακτηριστικά, η δομή και η λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος στο οποίο θα εστιάσει κυρίως η παρούσα διδακτορική διατριβή, ως κύριο εκπρόσωπο των τεχνολογιών τρίτης γενιάς. Επίσης στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά η αρχιτεκτονική και οι λειτουργικότητες του συστήματος UMTS.

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μετάβαση ενός δικτύου GSM σε ένα δίκτυο UMTS είναι ιδιαίτερα ομαλή. Αυτή η εξέλιξη είναι ακόμα απλούστερη αν στο δίκτυο GSM έχει ενσωματωθεί και η τεχνολογία GPRS. Τα συστήματα GSM σταδιακά ενσωμάτωσαν πολλά χαρακτηριστικά τα οποία είναι συμβατά με τις απαιτήσεις του UMTS. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του UMTS και εξετάζει το κατά πόσο υπάρχει συμβατότητα με τις λειτουργίες του GSM.

Όπως δείχνει ο Πίνακας 1, ένα δίκτυο GSM με όλες τις προσθήκες και τις βελτιώσεις προσεγγίζει ένα δίκτυο UMTS. Τα μόνα χαρακτηριστικά του UMTS τα οποία δεν καλύπτονται από ένα δίκτυο GSM οφείλονται στην πιο ευέλικτη διεπαφή CDMA που χρησιμοποιεί στον αέρα, η οποία μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα διαφορετικούς τύπους φορέα. Επίσης, το UMTS μπορεί να υποστηρίξει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης που όμως δεν απέχουν πολύ από τους ρυθμούς μετάδοσης που υποστηρίζουν τα δίκτυα GSM της γενιάς 2.5 [72].

Χαρακτηριστικά του UMTS	Συμβατότητα του GSM
Μικρές και άνετες φορητές συσκευές	Ναι
Οπουδήποτε και κάθε στιγμή (συμβατότητα με οικιακά ασύρματα δίκτυα)	Ναι (picocells, GSM office)
Οπουδήποτε (συμβατότητα με δορυφορικά δίκτυα)	Ναι
Διεισδυτικότητα σε κτίρια, υπόγεια κ.α.	Ναι
Ομιλία υψηλής ποιότητας	Ναι
Παγκόσμια περιαγωγή	Ναι
Υπηρεσίες νοήμονος δικτύου	Ναι
Υπηρεσίες Δεδομένων	Ναι (GPRS)
Υποστήριξη υψηλής πυκνότητας χρηστών	Ναι (ιεραρχίες κυψελών)
Πολυμέσα, ψυχαγωγία	Ναι (HSCSD)
Εναλλαγή μεταξύ φορέων πραγματικού χρόνου και όχι	Όχι
Υπηρεσίες ρυθμών μετάδοσης άνω των 200 Kbps	Όχι

Πίνακας 1. Τα χαρακτηριστικά του UMTS και η συμβατότητα του GSM

3.2 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ UMTS

Η Εικόνα 4 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS σε υψηλό επίπεδο. Σε αυτό το κεφάλαιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής θα περιγραφούν όλες οι συνιστώσες που παρουσιάζονται στην Εικόνα 4, καθώς και οι μεταξύ τους διεπαφές.

Εικόνα 4. Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο

3.2.1 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 [18], [65], [67]. Το UE αποτελείται από δύο τμήματα:

- Το Mobile Equipment: αποτελεί το hardware της φορητής συσκευής. Ωστόσο, η συσκευή από μόνη της δε μπορεί να παρέχει καμία υπηρεσία.
- Την κάρτα Universal Subscriber Identity Module (USIM): πρόκειται για μία κάρτα η οποία περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες προκειμένου να είναι δυνατή η πρόσβαση στο δίκτυο UMTS και η ταυτοποίηση από αυτό. Η κάρτα USIM είναι μία κάρτα αντίστοιχη της κάρτας SIM των δικτύων GSM. Όμως, ενώ η χωρητικότητα μίας κάρτας SIM είναι 8 ή 32 Kbytes, η χωρητικότητα της κάρτας USIM είναι τέτοια ώστε να μπορεί να αποθηκεύει προσωπικά δεδομένα της τάξης των Mbytes.

3.2.2 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 5 απεικονίζει τη δομή του UTRAN.

Εικόνα 5. Η δομή του UTRAN

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 5, 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 συνδέσμων 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 5). Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία είναι υλοποιημένη με δίκτυο Asynchronous Transfer Mode (ATM).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, 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) [18], [84].

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 6.

Εικόνα 6. RAs και URAs

3.2.3 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. Το CN διαιρείται σε δύο πεδία: το πεδίο μεταγωγής κυκλώματος (CS) και το πεδίο μεταγωγής πακέτων (PS). Ας σημειωθεί εδώ ότι στην παρούσα διδακτορική διατριβή θα εστιάσουμε στο πεδίο PS.

Όσον αφορά το πεδίο CS, αυτό περιλαμβάνει τους εξής κόμβους:

- **Mobile Services Switching Center (MSC):** ο κόμβος MSC αποτελεί έναν κόμβο μεταγωγής ο οποίος δρομολογεί τα δεδομένα των υπηρεσιών μεταγωγής κυκλώματος εντός του δικτύου UMTS. Κάθε κόμβος MSC διαχειρίζεται πολλά RNCs τα οποία συνδέονται σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-CS. Επίσης, είναι συνδεδεμένος με τις βάσεις δεδομένων του δικτύου όπως τη βάση δεδομένων Home Location Register (HLR) και τη Visitor Location Register (VLR). Τέλος, μία άλλη πολύ χρήσιμη λειτουργία του κόμβου MSC είναι η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών για τις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος.
- **Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC):** Ο κόμβος GMSC είναι συνδεδεμένος με τους κόμβους MSC. Η λειτουργία του είναι να διασυνδέει το δίκτυο UMTS με άλλα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος όπως PSTN και ISDN.
- **Visitor Location Register (VLR):** Ο κόμβος VLR είναι μία βάση δεδομένων. Συνήθως κάθε VLR αντιστοιχεί σε έναν MSC. Η βάση VLR αποθηκεύει προσωρινή πληροφορία σχετικά με την ταυτοποίηση και την ασφάλεια καθώς και άλλες χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με όλους τους χρήστες που διαχειρίζεται κάθε δεδομένη στιγμή ο αντίστοιχος MSC. Η βάση VLR λαμβάνει την αρχική πληροφορία από τη βάση HLR και αναλαμβάνει να την ενημερώσει για τυχόν μεταβολές στα δεδομένα της. Όλες οι συναλλαγές μεταξύ VLR και HLR γίνονται μέσω ενός MSC.

Όσον αφορά το πεδίο PS, αυτό αποτελείται από τους παρακάτω κόμβους. Αξίζει να επισημανθεί η αντιστοιχία που υπάρχει με τους κόμβους του πεδίου CS.

- **Serving GPRS Support Node (SGSN):** Ο SGSN αποτελεί τον αντίστοιχο κόμβο του MSC στο πεδίο CS. Αυτό σημαίνει ότι αναλαμβάνει τη δρομολόγηση δεδομένων των υπηρεσιών μεταγωγής πακέτων εντός του δικτύου UMTS. Επιπλέον, διαχειρίζεται τους κόμβους RNCs οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-PS. Επίσης, αλληλεπιδρά με βάσεις δεδομένων, όπως η βάση HLR. Τέλος, ο κόμβος SGSN είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών για τις υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων.
- **Gateway GPRS Support Node (GGSN):** Πρόκειται για έναν κόμβο αντίστοιχο του GMSC του πεδίου CS. Διασυνδέει τους κόμβους SGSNs με εξωτερικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων όπως το X.25 και το Internet.

Τέλος, υπάρχουν ορισμένοι κόμβοι του CN οι οποίοι είναι κοινοί, δηλαδή τους χρησιμοποιούν και τα δύο πεδία. Παρακάτω, αναφέρονται οι δύο σημαντικότεροι από αυτούς:

Εικόνα 7. Η δομή του CN

- Home Location Register (HLR): Πρόκειται για μία βάση δεδομένων η οποία αποθηκεύει δεδομένα των χρηστών τα οποία μένουν σχετικά σταθερά στο χρόνο. Αυτά τα δεδομένα είναι αναγνωριστικά, πληροφορίες για τις υπηρεσίες του δικτύου στις οποίες συμμετέχει ο συνδρομητής κ.α.
- Authentication Center (AuC): Αποτελεί έναν κόμβο που είναι συσχετισμένος με έναν HLR. Ο κόμβος αυτός αποθηκεύει πληροφορίες ταυτοποίησης και κρυπτογράφησης για τους συνδρομητές. Οι πληροφορίες αυτές φορτώνονται στον κόμβο κατά την έναρξη της συνδρομής από το χρήστη.

Η Εικόνα 7 δείχνει τη δομή του CN. Εκτός από τους κόμβους που προαναφέρθηκαν, στην εικόνα αυτή σημειώνονται οι διεπαφές μεταξύ των κόμβων του CN [10], [65].

3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΕΠΑΦΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν οι βασικότερες διεπαφές του δικτύου UMTS. Επίσης, για κάθε διεπαφή θα παρουσιαστούν τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και σηματοδότησης που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία των κόμβων που αλληλεπιδρούν. Η ανάλυση που θα ακολουθήσει θα εστιαστεί στο πεδίο PS το οποίο είναι και το πεδίο που θα μας απασχολήσει από το σημείο αυτό και έπειτα.

3.3.1 Η Διεπαφή Uu

Η ασύρματη διεπαφή είναι πάντοτε η πιο κρίσιμη διεπαφή κατά το σχεδιασμό των πρωτοκόλλων ενός κινητού δικτύου. Για το UMTS, η διεπαφή Uu μεταξύ του Node B και του UE, έχει υλοποιηθεί με την αρχιτεκτονική που απεικονίζει η Εικόνα 8. Όπως φαίνεται, έχουν προσδιοριστεί τα επίπεδα πρωτοκόλλων που αντιστοιχούν στο επίπεδο φυσικού μέσου, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων καθώς και το επίπεδο δικτύου [18].

Εικόνα 8. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu

Το επίπεδο φυσικού μέσου (1ο επίπεδο στο μοντέλο διασυνδέσεων OSI) είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των δεδομένων μέσω της ασύρματης διεπαφής. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 8, για το επίπεδο αυτό οι προδιαγραφές του UMTS καθορίζουν τη χρήση των τεχνολογιών FDD και TDD του WCDMA.

Όσον αφορά το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (2ο επίπεδο), αυτό περιέχει τέσσερα υπό-επίπεδα. Τα δύο πρώτα υπό-επίπεδα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Το πρώτο υπό-επίπεδο χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Medium Access Control (MAC) [20]. Το πρωτόκολλο MAC βρίσκεται αμέσως μετά το φυσικό επίπεδο. Χρησιμοποιεί λογικά κανάλια και τα αντιστοιχίζει σε κανάλια μεταφοράς για την επικοινωνία του φυσικού επιπέδου με τα υψηλότερα επίπεδα. Επίσης, το πρωτόκολλο αυτό διαχειρίζεται τις προτεραιότητες μεταξύ των UEs, όπως επίσης και τις προτεραιότητες μεταξύ των ροών δεδομένων που αφορούν ένα συγκεκριμένο UE. Άλλες λειτουργίες που εκτελεί το πρωτόκολλο MAC είναι ο έλεγχος των κινήσεων, η κρυπτογράφηση, η πολυπλεξία κ.α. Το δεύτερο πρωτόκολλο που συναντάμε στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων της διεπαφής Uu είναι το Radio Link Control (RLC). Το πρωτόκολλο αυτό είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση και παρακολούθηση της μεταφοράς δεδομένων καθώς και για τις ρυθμίσεις QoS.

Τα επόμενα δύο πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται μόνο για τη μεταφορά πληροφορίας και όχι για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι το Packet Data Convergence Protocol (PDCP) και το Broadcast Control (BMC) [21]. Το πρώτο είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή των δεδομένων που παρέχουν τα πραγματικά πρωτόκολλα δεδομένων των πιο πάνω επιπέδων, σε ασύρματα πρωτόκολλα. Το PDCP προς το παρόν υποστηρίζει τα πρωτόκολλα IPv4 και IPv6 και μπορεί εύκολα να επεκταθεί προκειμένου να υποστηρίξει περισσότερα. Το πρωτόκολλο BMC είναι υπεύθυνο για τις υπηρεσίες broadcast και multicast μετάδοσης.

3.3.2 Η Διεπαφή Iub

Η διεπαφή Iub είναι αυτή που διασυνδέει τους κόμβους RNC με τους Node Bs. Η Εικόνα 9 δείχνει την ιεραρχία των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διεπαφής [25]. Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία είναι ενσύρματη και, κατά συνέπεια, το επίπεδο φυσικού μέσου μπορεί να υλοποιηθεί από πρωτόκολλα όπως το ETSI STM-1, STM-4, SONET STS-3c, ITU STS-1 κ.α.

Πάνω από το επίπεδο αυτό, στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο ATM. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιείται σε όλες τις ενσύρματες διεπαφές του δικτύου UMTS. Αυτό γιατί αποτελεί ένα πανίσχυρο πρωτόκολλο που μπορεί να χειρίζεται όλους τους τύπους κινήσεων. Για την ακρίβεια, το ATM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύγχρονες αλλά και για ασύγχρονες κινήσεις όπως επίσης και για κινήσεις μεταγωγής πακέτων αλλά και κυκλώματος.

Όπως δείχνει η Εικόνα 9, πάνω από το επίπεδο του ATM χρησιμοποιούνται τα πρωτόκολλα ATM Adaptation Layer (AAL) 2 και 5. Το AAL2 χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου όπως επίσης και για τη μεταφορά πληροφορίας. Το AAL5 χρησιμοποιείται μόνο για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Τα πρωτόκολλα αυτά αναλαμβάνουν την επεξεργασία των δεδομένων από τα υψηλότερα επίπεδα προκειμένου να μπορούν να μεταδοθούν από το επίπεδο ATM.

Στο αμέσως υψηλότερο υπό-επίπεδο συναντούμε δύο άλλα πρωτόκολλα. Πρόκειται για το User Plane Framing Protocol (UPFP) και Service Specific Connection-Oriented Protocol (SSCOP). Το πρώτο πρωτόκολλο βρίσκεται πάνω από το AAL2 και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Αντίθετα, το πρωτόκολλο SSCOP τοποθετείται πάνω από το AAL5. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που παρέχει αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων παράλληλα με συντήρηση της σύνδεσης και έλεγχο ροής. Η χρήση του στη διεπαφή Iub σχετίζεται με τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 9, στα ανώτερα υπό-επίπεδα του επιπέδου ζεύξης δεδομένων συναντούμε το πρωτόκολλο Service Specific Coordination Function for Support of Signaling at the User-Network Interface (SSCF-UNI) καθώς και τα ήδη γνωστά πρωτόκολλα MAC, RLC, RRC, και PDCP. Τέλος, το πρωτόκολλο Node B Application Part (NBAP) χρησιμοποιείται προκειμένου να δίνεται η δυνατότητα στον RNC να διαχειρίζεται κάθε Node B που έχει συνδεθεί σε αυτόν [25].

Εικόνα 9. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iub

3.3.3 Η Διεπαφή Iur

Η διεπαφή Iur διασυνδέει δύο RNCs. Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία εισήχθη στα συστήματα UMTS, ενώ στα συστήματα GSM δεν υπήρχε άμεση σύνδεση μεταξύ των αντίστοιχων κόμβων. Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Ειδικότερα, όσον αφορά τα δεδομένα ελέγχου, αυτά σχετίζονται με τη διαχείριση των ασύρματων πόρων καθώς και με τις διαδικασίες του handover και του Serving RNS (SRNS) relocation. Η ιεραρχία των πρωτοκόλλων που υλοποιούν τη διεπαφή Iur φαίνεται στην Εικόνα 10.

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 10, η ιεραρχία των πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας δε διαφέρει από τη διεπαφή Iub. Όσον αφορά τα δεδομένα ελέγχου έχουμε τη χρήση αρκετών νέων πρωτοκόλλων σε σχέση με τις προηγούμενες διεπαφές. Καταρχήν, η Εικόνα 10 δείχνει ότι χρησιμοποιείται ο συνδυασμός Internet Protocol (IP) / User Datagram Protocol (UDP) ακριβώς πάνω από το επίπεδο του AAL5. Πρόκειται για την υλοποίηση του «IP over ATM» κατά την οποία η πληροφορία του IP καταμερίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να μεταδοθεί πάνω από το ATM. Επιπλέον, τα υπόλοιπα τέσσερα νέα πρωτόκολλα ελέγχου και σηματοδότησης είναι: το Message Transfer Part Level 3 (MTP3-b) για τον έλεγχο της δρομολόγησης των μηνυμάτων, το MTP3 User Adaptation Layer (M3UA), το Signaling Connection Control Part (SCCP) και το Radio Network Sublayer Application Part (RNSAP). Ειδικότερα για το RNSAP, πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο παρέχει όλες τις λειτουργίες για τη διαχείριση των ασύρματων πόρων, για τις μετρήσεις πάνω σε αυτούς και για την υποστήριξη των διαδικασιών του handover και SRNS relocation [25].

Εικόνα 10. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iur

3.3.4 Η Διεπαφή Iu-PS

Η παρούσα παράγραφος παρουσιάζει την ιεραρχία των πρωτοκόλλων όσον αφορά τη διεπαφή Iu-PS. Η διεπαφή Iu-PS είναι, για το πεδίο PS, ο σύνδεσμος όχι μόνο των RNCs με τους κόμβους SGSN αλλά και μεταξύ των δύο δομικών στοιχείων του UMTS, του UTRAN και του CN. Το βασικότερο πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων ελέγχου που χρησιμοποιείται πάνω από αυτή τη διεπαφή είναι το Radio Access Network Application Part (RANAP) το οποίο απεικονίζεται μεταξύ των άλλων στην Εικόνα 11.

Το RANAP είναι το πρωτόκολλο που εξασφαλίζει τη σηματοδότηση μεταξύ του UTRAN και του CN. Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει υπηρεσίες που σχετίζονται με τη διαδικασία SRNS relocation, τη διαχείριση ροής και συμφόρησης της διεπαφής Iu-PS, τον εντοπισμό της θέσης κάθε UE καθώς και τη διαχείριση σφαλμάτων γενικότερα [24]. Προκειμένου να μπορεί να εκτελεί τις πιο πάνω λειτουργίες διαχείρισης, το πρωτόκολλο RANAP διαθέτει και τις αντίστοιχες δυνατότητες για εποπτεία και αναφορά της κατάστασης του συστήματος. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν οι λειτουργίες κρυπτογράφησης που παρέχει το συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Μέσω της διεπαφής Iu-PS ανταλλάσσονται οι πληροφορίες κρυπτογράφησης μεταξύ UTRAN και CN προκειμένου τα δεδομένα που ανταλλάσσονται να είναι προστατευμένα από τυχόν απόπειρα υποκλοπής.

Εικόνα 11. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iu-PS

3.3.5 Οι Υπόλοιπες Διεπαφές

Οι υπόλοιπες διεπαφές του δικτύου UMTS περιλαμβάνουν τις επιμέρους διεπαφές του CN. Μεταξύ αυτών, οι πιο σημαντικές είναι: η διεπαφή Gn η οποία διασυνδέει τους κόμβους SGSN και GGSN καθώς και η Gi η οποία συνδέει τους κόμβους GGSN με τους εξωτερικούς κόμβους μεταγωγής πακέτων. Όσον αφορά τη διεπαφή Gi, αυτή αποτελεί τη σύνδεση μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και των εξωτερικών δικτύων μεταφοράς δεδομένων. Οι διεπαφές αυτές δεν έχουν κάτι ιδιαίτερο στην αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων τους συγκριτικά με οποιοδήποτε ενσύρματο δίκτυο μεταφοράς δεδομένων. Για την ακρίβεια, χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IP πάνω από το ATM, καθώς και πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων όπως το Transmission Control Protocol (TCP) και το UDP. Στο σημείο αυτό πρέπει να διαχωρίσουμε τα δύο επίπεδα IP που εμφανίζονται. Το χαμηλότερο επίπεδο IP αναφέρεται στη μεταφορά σηματοδότησης μεταξύ των κόμβων του συστήματος UMTS. Αντίθετα, το υψηλότερο αναφέρεται στη μεταφορά των δεδομένων για τις εφαρμογές του χρήστη. Για το λόγο αυτό, μόνο το υψηλότερο επίπεδο IP είναι ορατό στα εξωτερικά IP δίκτυα.

Η Εικόνα 12 απεικονίζει τη συνολική αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας στο UMTS δίκτυο. Οι υπηρεσίες στις οποίες αντιστοιχεί η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αφορούν στη μεταγωγή πακέτων, δηλαδή στο πεδίο PS του δικτύου. Οι συνδέσεις στο σχήμα απεικονίζονται με βέλη. Αυτό που έχει σημασία είναι η αποκατάσταση των συνδέσεων από άκρο σε άκρο, όπως φαίνονται στο πάνω μέρος της εικόνας. Οι συνδέσεις αυτές πρακτικά αποτελούνται από επιμέρους συνδέσεις μεταξύ των κόμβων του συστήματος, οι οποίες σημειώνονται με μικρότερα βέλη [18], [20], [21], [24], [25], [65].

Εικόνα 12. Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας

3.4 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.

3.4.1 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 [65]. Ο Πίνακας 2 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 2. Τα λογικά κανάλια του UTRAN

3.4.2 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 [65], [67].

	Αφιερωμένα κανάλια	Κοινά κανάλια		
	DCH	HS-DSCH	FACH	RACH
Ανερχόμενος / κατερχόμενος σύνδεσμος	Και οι δύο	Κατερχόμενος	Κατερχόμενος	Ανερχόμενος
Χρήση κώδικα	Σύμφωνα με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης	Κοινός κώδικας 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
Ενδεικνύομενη 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 3. Οι ιδιότητες των καναλιών μεταφοράς

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 [37], [36].

Ο Πίνακας 3 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 4. Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN

Ο Πίνακας 4, παρουσιάζει συνοπτικά όλα τα κανάλια μεταφοράς που χρησιμοποιούνται στο UTRAN καθώς και τη λειτουργία τους.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.3.1, ο ρόλος του πρωτοκόλλου MAC είναι να αντιστοιχίζει τα λογικά κανάλια σε κανάλια μεταφοράς. Οι συγκεκριμένες αντιστοιχίες που υπάρχουν μεταξύ των λογικών και των καναλιών μεταφοράς, όσον αφορά τους κατερχόμενους και τους ανερχόμενους συνδέσμους, απεικονίζονται στην Εικόνα 13 [67], [70].

Εικόνα 13. Η αντιστοιχία λογικών καναλιών σε κανάλια μεταφοράς

3.4.3 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 χρονοσχισμές. Στη συνέχεια οι χρονοσχισμές μοιράζονται στον ανερχόμενο και τον κατερχόμενο σύνδεσμο. 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 [67]. Στην Εικόνα 14 παρουσιάζεται η αντιστοιχία όλων των καναλιών του UMTS που χρησιμοποιούνται στην downlink κατεύθυνση.

Εικόνα 14. Αντιστοιχίση καναλιών για την downlink κατεύθυνση

3.5 HANDOVERS ΣΤΟ UMTS

Όπως είναι γνωστό, τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να διατηρούν τις συνδέσεις τους καθώς κινούνται από μία κυψέλη σε μία άλλη. Αυτή η διαδικασία η οποία μεταφέρει τη σύνδεση από τον ένα Node B στον άλλο, λέγεται handover. Τα handovers στο CDMA (συστήματα UMTS) διαφέρουν κατά πολύ από τα handovers στο TDMA (συστήματα GSM). Αυτό γιατί στο UMTS, αντίθετα με το GSM, όλα τα UEs χρησιμοποιούν διαρκώς το ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν οι βασικοί τύποι handover.

3.5.1 Softer και Soft Handover

Κατά τη διάρκεια ενός soft handover, το UE είναι συνδεδεμένο ταυτόχρονα σε περισσότερους από έναν Node Bs. Για την ακρίβεια, δέχεται τις μεταδόσεις δύο ή περισσότερων Node Bs. Επειδή οι μεταδόσεις αυτές γίνονται στην ίδια συχνότητα, ένα UE τις αντιλαμβάνεται σαν αλληλοσυμπληρούμενα τμήματα της ίδιας πληροφορίας. Το μόνο που διαφέρει σε κάθε τμήμα είναι ο κώδικας διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται σε κάθε μετάδοση. Όταν η σύνδεση με έναν από τους Node Bs δεν είναι απαραίτητη, η αντίστοιχη σύνδεση μπορεί να εγκαταλειφθεί. Το softer handover είναι ένα handover μεταξύ δύο τομέων της ίδιας κυψέλης. Η περίπτωση A στην Εικόνα 15 απεικονίζει ένα softer handover. Από την πλευρά του UE, το softer handover είναι μία άλλη περίπτωση soft handover. Από την πλευρά του κινητού

δικτύου, πρόκειται για μία εσωτερική διαδικασία του εμπλεκόμενου Node B. Ο κόμβος RNC που ελέγχει τον Node B δε συμμετέχει στη διαδικασία, με αποτέλεσμα την οικονομία στη δέσμευση της χωρητικότητας της διεπαφής Iub [84].

Η διαδικασία του soft handover εκτελείται στα όρια μεταξύ των κυψελών. Με τη διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η αδιάλειπτη παροχή της υπηρεσίας, αφού η ένταση του σήματος που λαμβάνει το UE είναι μεγαλύτερη από αυτή που θα λάμβανε αν χρησιμοποιούνταν μόνο ένας ασύρματος σύνδεσμος. Χωρίς τη χρήση του soft handover ο Node B θα έπρεπε να μεταδίδει με μεγαλύτερη ένταση προκειμένου να φτάσει το UE. Το γεγονός αυτό, θα προκαλούσε αύξηση της παρεμβολής [77].

Προκειμένου η χρήση των soft handovers να γίνεται με αποδοτικότητα, το δίκτυο διαθέτει ένα μηχανισμό ο οποίος κάνει τη διαχείριση των handovers. Για το σκοπό αυτό γίνονται μετρήσεις στους ανερχόμενους συνδέσμους, ενώ για τους κατερχόμενους συνδέσμους τα αποτελέσματα λαμβάνονται από τα UEs. Οι εμπλεκόμενες κυψέλες διαχωρίζονται σε τρία σύνολα: το active set, το monitored set και το detected set. Σε κάθε σύνολο αντιστοιχούν κάποιες απαιτήσεις ως προς τις μετρήσεις που του γίνονται. Το active set περιέχει τους Node Bs που αναμειγνύονται σε ένα soft handover με ένα UE. Όταν η ένταση του σήματος ενός Node B ξεπερνά κάποιο κατώφλι, ο συγκεκριμένος Node B προστίθεται στο active set. Φυσικά υπάρχει αντίστοιχο κατώφλι για την απόρριψη ενός Node B. Το monitored set περιέχει κυψέλες που συνορεύουν με την κυψέλη στο οποίο βρίσκεται το UE, και οι οποίες είναι υποψήφιες για handover. Φυσικά από το monitored set εξαιρούνται οι Node Bs που έχουν ήδη προστεθεί στο active set, αν υπάρχει. Το UE πρέπει να παρακολουθεί την ένταση του σήματος από τους Node Bs του monitored set σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Τέλος, το detected set περιέχει όλους τους Node Bs από τους οποίους το UE λαμβάνει σήμα, και οι οποίοι δε συνορεύουν με την κυψέλη στην οποία βρίσκεται το UE τη συγκεκριμένη στιγμή [11].

Εικόνα 15. Οι δυνατές περιπτώσεις softer και soft handover

Ανάλογα με το πού βρίσκεται τοπολογικά ο νέος Node B σε σχέση με τον αρχικό, υπάρχουν οι εξής τύποι soft handover:

- **Inter-Node B/intra-RNS handover:** Αυτός ο τύπος handover εκτελείται όταν το UE μετακινείται από μία κυψέλη ενός Node B σε μία κυψέλη άλλου Node B ο οποίος ανήκει στο ίδιο RNS με τον αρχικό (περίπτωση Β στην Εικόνα 15).
- **Inter-Node B/inter-RNS/intra-SGSN:** Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από μία κυψέλη ενός Node B στην κυψέλη ενός άλλου Node B ο οποίος ανήκει σε διαφορετικό RNS σε σχέση με τον αρχικό. Συνεπώς, οι Node Bs ελέγχονται από διαφορετικούς RNCs οι οποίοι όμως συνδέονται με τον ίδιο SGSN (περίπτωση Γ στην Εικόνα 15).
- **Inter-Node B/inter-RNS/inter-SGSN:** Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από μία κυψέλη ενός Node B στην κυψέλη ενός άλλου Node B ο οποίος ανήκει σε διαφορετικό RNS σε σχέση με τον αρχικό. Επιπλέον, οι αντίστοιχοι RNCs συνδέονται με διαφορετικούς SGSNs (περίπτωση Δ στην Εικόνα 15).

Ένα σημείο που αξίζει να αναφερθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά στις περιπτώσεις που ένα inter-RNS handover λαμβάνει χώρα. Ο σκοπός του soft handover είναι να απαλλάξει τις διεπαφές Iu-PS καθώς και αυτές του CN από την αποστολή της ίδιας πληροφορίας. Επίσης, ένας άλλος στόχος του soft handover είναι να απαλλάξει το CN από τη συμμετοχή του στη διαδικασία του handover, κάτι το οποίο ίσχυε στα συστήματα GSM. Για το σκοπό αυτό, στην περίπτωση που ένα inter-RNS handover εκτελείται, ο αρχικός RNC είναι ο μόνος RNC που διατηρεί σύνδεση με το CN. Ο συγκεκριμένος RNC ονομάζεται Serving RNC (SRNC) και είναι ο κόμβος που μεταδίδει τα δεδομένα της κίνησης προς το UE, στους υπόλοιπους RNC. Οι υπόλοιποι RNCs ονομάζονται Drift RNCs (DRNCs). Η προώθηση των δεδομένων από τον SRNC προς τους DRNCs γίνεται μέσω της διεπαφής Iur. Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για πρώτη φορά στα συστήματα UMTS, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.3.3 που περιγράφει τη διεπαφή Iur.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των softer και soft handovers σε ένα UMTS δίκτυο είναι πολλά. Το σημαντικότερο είναι ότι η ποιότητα της επικοινωνίας διατηρείται υψηλή αφού το UE λαμβάνει ταυτόχρονα την ίδια πληροφορία από περισσότερες της μίας κεραίες. Επιπλέον, δεν υπάρχουν διακοπές στην επικοινωνία, λόγω του τερματισμού της σύνδεσης με μία κεραία. Αντίθετα, η μετάβαση από τη μία κυψέλη στην άλλη γίνεται ομαλά, αφού το UE διατηρεί σύνδεση με τουλάχιστον μία κεραία σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι τα ίδια δεδομένα φτάνουν στο UE δύο ή περισσότερες φορές, με αποτέλεσμα ο έλεγχος λάθους να είναι απλός και να μην χρειάζεται αναμετάδοση των πακέτων. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται το overhead που προσδίδει η υψηλή συχνότητα λαθών και γίνεται οικονομία στους ενεργειακούς πόρους του δικτύου αλλά και του UE. Ένας άλλος παράγοντας που συντελεί στην οικονομία ενέργειας είναι το γεγονός ότι υπάρχουν περισσότερες κεραίες που μεταδίδουν στο ίδιο UE, κάθε κεραία μπορεί να διατηρεί ένα σχετικά χαμηλό επίπεδο έντασης του σήματος. Αντίθετα, αν ήταν η μοναδική κεραία που συνδέεται με το απομακρυσμένο UE, τότε θα έπρεπε να μεταδίδει με υψηλή ένταση, με αποτέλεσμα να κάνει παρεμβολές και να βλάπτει την υγεία του πληθυσμού. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τεχνική του soft handover απαλείφει το φαινόμενο ping-pong. Κατά το φαινόμενο αυτό, ένα UE που βρίσκεται ανάμεσα από δύο κεραίες συνδέεται εναλλάξ τότε με τη μία και τότε με την άλλη, μειώνοντας κατά πολύ την ποιότητα της επικοινωνίας του.

Το μοναδικό μειονέκτημα των softer και soft handover είναι ότι είναι πολύπλοκες διαδικασίες που απαιτούν μεγάλο κόστος υλοποίησης. Αυτό γιατί απαιτείται η προσθήκη στους κόμβους του UTRAN, όχι μόνο επιπλέον λογισμικού, αλλά και υλικού. Επιπλέον, ανάλογες μετατροπές πρέπει να γίνουν και στον εξοπλισμό του χρήστη [84].

3.5.2 Hard Handover

Το hard handover είναι η τεχνική που ακολουθείται στα συστήματα GSM. Κατά τη διάρκεια ενός hard handover, η ασύρματη συχνότητα που χρησιμοποιεί το UE αλλάζει. Πιο συγκεκριμένα, το UE παύει να χρησιμοποιεί την αρχική συχνότητα, στη συνέχεια μετακινείται σε διαφορετική συχνότητα και ξεκινά να λειτουργεί στη συχνότητα αυτή. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα κενό επικοινωνίας μεταξύ του UE και του κινητού δικτύου.

Στα συστήματα CDMA, το hard handover είναι δύσκολο στην υλοποίηση. Αυτό γιατί δε χρησιμοποιούνται χρονοσχισμές, επομένως, κάθε UE δέχεται και μεταδίδει ασύρματη πληροφορία σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Γι' αυτό το λόγο δεν υπάρχουν ελεύθερες χρονοσχισμές προκειμένου το UE να κάνει μετρήσεις σε άλλη συχνότητα. Επειδή όμως αυτές οι μετρήσεις είναι απαραίτητες για την εκτέλεση του hard handover, το δίκτυο δε μπορεί να κάνει σωστή εκτίμηση της κυψέλης η οποία είναι καταλληλότερη για σύνδεση με το UE. Κατά συνέπεια, τα hard handovers χρησιμοποιούνται όταν, για κάποιο λόγο, η συχνότητα λειτουργίας του UE πρέπει να αλλάξει ή όταν δεν υπάρχει διεπαφή Iur μεταξύ δύο RNCs ώστε να μπορεί να εκτελεστεί ένα soft handover. Πάντως, είναι γεγονός ότι η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις [65].

3.5.3 Intersystem Handovers

Τα intersystem handovers είναι handovers μεταξύ δύο διαφορετικών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης. Προς το παρόν, το 3GPP έχει θέσει τις προδιαγραφές για intersystem handovers μεταξύ συστημάτων GSM και UMTS. Κατά συνέπεια, υπάρχουν δύο τύποι intersystem handover: το handover από UMTS σε GSM και το handover από GSM σε UMTS. Η υποστήριξη της διαδικασίας αυτής είναι απαραίτητη διότι τα δίκτυα UMTS μπορεί να μην έχουν μεγάλη περιοχή κάλυψης. Επομένως, οι χρήστες των δικτύων UMTS θα εξυπηρετούνται σε μεγάλο βαθμό από δίκτυα πρόσβασης του GSM. Προκειμένου να είναι δυνατή η πραγματοποίηση ενός intersystem handover, θα πρέπει να υπάρχει ένα UE που υποστηρίζει και τα δύο συστήματα.

Τα intersystem handovers αποτελούν διαδικασίες οι οποίες είναι εξαιρετικά πολύπλοκες, επειδή κατά τη διάρκειά τους δημιουργούνται πολλά και δύσκολα προβλήματα. Το πρώτο πρόβλημα που δημιουργείται είναι το πώς το UE θα γνωρίζει τη συχνότητα εκπομπής της νέας κυψέλης (για ένα handover προς το GSM) ή τον κώδικα που χρησιμοποιεί η κυψέλη του UTRAN. Η λύση που προτάθηκε από το 3GPP και υιοθετήθηκε από τη βιομηχανία ήταν η αποστολή αυτής της πληροφορίας από την αρχική κυψέλη. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ο υπολογισμός της έντασης του σήματος στις υποψήφιες κυψέλες προκειμένου να επιλεγεί το κατάλληλο για το intersystem handover. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο δέκτες στο UE ή να δημιουργηθούν κάποιες χρονοσχισμές, προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις. Τέλος, ένα άλλο πρόβλημα είναι η ραγδαία μείωση του

ρυθμού μετάδοσης στην περίπτωση του handover από UMTS προς GSM. Είναι δυνατό να συμβεί το ενδεχόμενο ένας χρήστης ενώ λαμβάνει δεδομένα από το UTRAN με ρυθμό μετάδοσης που προσεγγίζει τα 2 Mbps, μετά την πραγματοποίηση του handover να λαμβάνει μόνο ένα μικρό ποσοστό από τον αρχικό ρυθμό μετάδοσης [65].

3.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ

Η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών στο UMTS γίνεται από δύο διαδικασίες/μηχανισμούς οι οποίοι ονομάζονται Mobility Management (MM) και Radio Resource Control (RRC) (Εικόνα 16). Ο μηχανισμός Packet MM (PMM) διαχειρίζεται την κινητικότητα των χρηστών στο επίπεδο του CN ενώ ο μηχανισμός RRC στο επίπεδο του UTRAN. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι παραπάνω μηχανισμοί ισχύουν για την PS λειτουργία του UMTS δικτύου στην οποία και επικεντρώνεται η παρούσα διδακτορική διατριβή. Κάθε κινητός χρήστης μπορεί να βρίσκεται σύμφωνα με το μηχανισμό PMM σε δύο διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας: PMM idle και PMM connected. Αντίθετα, ο κινητός χρήστης όσον αφορά το μηχανισμό RRC μπορεί να βρίσκεται σε μια από τις παρακάτω καταστάσεις: RRC idle, RRC cell connected και RRC URA connected. Περισσότερα για τους δύο παραπάνω μηχανισμούς μπορείτε να βρείτε στις αναφορές [12], [22] και [90].

Εικόνα 16. PMM και RRC μηχανισμοί

Όταν δεν υπάρχει μετάδοση δεδομένων μεταξύ του CN και του κινητού χρήστη (UE), ο χρήστης βρίσκεται στην κατάσταση PMM idle και RRC idle (Εικόνα 16). Σε αυτή την περίπτωση το UTRAN δεν έχει καμιά πληροφορία για το συγκεκριμένο UE ενώ ο μόνος κόμβος που διαθέτει πληροφορίες για το συγκεκριμένο UE είναι ο κόμβος SGSN (RA level tracking). Κατά τη διαδικασία ενεργοποίησης μιας PS σύνδεσης μεταξύ του UE και του SGSN (PS Signaling), ο κινητός χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση PMM connected (περίπτωση T1 στην Εικόνα 16 (1)). Αμέσως μετά λαμβάνει χώρα η εγκατάσταση της σύνδεσης για τη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ του UE και RNC στο επίπεδο του UTRAN και ο κινητός χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση RRC cell connected (περίπτωση T1 στην Εικόνα 16 (2)). Σε αυτή την

περίπτωση ο κόμβος RNC διαθέτει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και τη θέση του συγκεκριμένου UE. Μόνο σε αυτή την κατάσταση (PMM connected/RRC cell connected) μπορούν να μεταφερθούν δεδομένα στον κινητό χρήστη.

Αν ο χρήστης ενώ βρίσκεται στην κατάσταση PMM connected/RRC cell connected σταματήσει να λαμβάνει ή να στέλνει δεδομένα για ένα χρονικό διάστημα η RRC κατάστασή του αλλάζει από cell connected σε URA connected (περίπτωση T2 στην Εικόνα 16 (2)). Και σε αυτή την περίπτωση ο κόμβος RNC διαθέτει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και τη θέση του συγκεκριμένου UE. Αν μετά από αυτό το χρονικό διάστημα ο χρήστης στείλει ή λάβει εκ νέου δεδομένα η RRC κατάστασή του αλλάζει σε cell connected (περίπτωση T3 στην Εικόνα 16 (2)). Επιπρόσθετα, αν ο χρήστης βρίσκεται στην κατάσταση PMM connected/RRC URA connected και μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος εξακολουθεί να μη στέλνει ή δέχεται δεδομένα η σύνδεσή του με το UTRAN διακόπτεται και μεταβαίνει στην κατάσταση PMM connected/RRC idle αρχικά (περίπτωση T4 στην Εικόνα 16 (2)) και τελικά μεταβαίνει στην κατάσταση PMM idle/RRC idle (περίπτωση T4 στην Εικόνα 16 (1)) [12], [22], [90].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ HSPA

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.

4.1 ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΗΣ HSPA ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε, το HSPA αποτελείται από δύο διακριτές, επιμέρους τεχνολογίες, τις HSDPA και HSUPA για τον κατερχόμενο και τον ανερχόμενο σύνδεσμο αντίστοιχα.. Η τεχνολογία HSDPA, προτάθηκε στην έκδοση 5 του 3GPP στάνταρ, το Μάρτιο του 2002. Παράλληλα, η τεχνολογία HSUPA προτυποποιήθηκε αρχικά στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ, το Δεκέμβριο του 2004. Η πρώτη εμπορική διάθεση του HSDPA πραγματοποιήθηκε προς το τέλος του 2005, ενώ του HSUPA το κατά τη διάρκεια του 2007. Η Εικόνα 17 απεικονίζει την πορεία προτυποποίησης και εμπορικής διάθεσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών [64], [65].

Εικόνα 17. Πορεία προτυποποίησης και εμπορικής διάθεσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών

Εικόνα 18. Εξέλιξη των ρυθμών μετάδοσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών

Η σημαντικότητα της τεχνολογίας HSPA γίνεται εύκολα αντιληπτή αν αναλογιστεί κανείς την ιδιαίτερη αναβάθμιση που αυτή παρέχει, κυρίως στον κατερχόμενο σύνδεσμο, αφού μέσω του HSDPA υποστηρίζονται ρυθμοί μετάδοσης θεωρητικά έως και 14.4 Mbps ανά χρήστη, σύμφωνα με τις αρχικές προδιαγραφές. Στην πραγματικότητα, ωστόσο, σε πρώτο στάδιο ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων έφθανε τα 1.8 Mbps, ενώ κατά τη διάρκεια των ετών 2006 και 2007 οι ρυθμοί αυτοί αυξήθηκαν σταδιακά στα 3.6 Mbps και 7.2 Mbps. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων του HSDPA αναμένεται να αγγίξει (και να ξεπεράσει κατά πολύ) τα 10 Mbps τα αμέσως επόμενα έτη.

Αναφορικά με τον ανερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, το HSUPA παρέχει τη δυνατότητα υποστήριξης μέχρι και 5.8 Mbps μέσω ενός αφιερωμένου uplink καναλιού. Ωστόσο, οι αρχικές ταχύτητες φθάνουν αρχικά τα 1-2 Mbps και σε μεταγενέστερη φάση προβλέπεται η επίτευξη ταχύτητας της τάξης των 3-4 Mbps. Η Εικόνα 18 απεικονίζει γραφικά την εξέλιξη των ρυθμών μετάδοσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών [64], [65].

4.2 HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS

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).

4.2.1 Διαμοιραζόμενο Κανάλι Μεταφοράς HS-DSCH

Μέσω του HSDPA, το UMTS δίκτυο επεκτείνεται με μία σειρά νέων, αναβαθμισμένων καναλιών μεταφοράς και ελέγχου. Το κυριότερο κανάλι, ωστόσο, είναι το HS-DSCH διαμοιραζόμενο κανάλι μεταφοράς. Η χρήση του διαμοιραζόμενου αυτού καναλιού (shared channel), συνίσταται στο ότι οι κώδικες καναλιού και η ισχύς εκπομπής σε μια κυψέλη θεωρούνται μια κοινή πηγή που μοιράζεται δυναμικά μεταξύ των χρηστών στο πεδίο του χρόνου και του κώδικα (βλ.

Εικόνα 19 και Εικόνα 20). Οι διαθέσιμοι κώδικες για το HS-DSCH είναι 15, ενώ η κατανομή των διαμοιραζόμενων πόρων πραγματοποιείται κάθε 2 ms [75].

Η χωρητικότητα μιας κυψέλης διαμοιράζεται στους χρήστες ανάλογα με τη διαχείριση των χρηστών (user prioritization, προγραμματισμός (scheduling): Round-Robin, Proportional Fair, κοκ.), το προφίλ της ζεύξης τους (HSDPA ή Release '99 χρήστες), τις δυνατότητες κάθε κινητής συσκευής, τις συνθήκες της ασύρματης ζεύξης κάθε χρήστη καθώς και άλλους παράγοντες.

Οι ρυθμοί μετάδοσης που μπορούν να επιτευχθούν μέσω του HS-DSCH είναι της τάξης των 1.8 Mbps, 3.6 Mbps, 7.2 Mbps μέχρι και 14.4 Mbps για τον κατερχόμενο σύνδεσμο. Στην πραγματικότητα, το HSDPA διπλασιάζει τη χωρητικότητα της ασύρματης διεπαφής και παρέχει σχεδόν δεκαπλάσιους ρυθμούς μετάδοσης συγκριτικά με το UMTS.

Η αυξημένη απόδοση του HS-DSCH βασίζεται κατά κύριο λόγο σε τεχνικές όπως το Adaptive Modulation and Coding (AMC), στη χρήση μικρότερου Transmission Time Interval (TTI) ίσο με 2 ms (σε αντίθεση με τα 10-80 ms του UMTS), στην υποστήριξη Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) καθώς και στη χρήση γρήγορης δρομολόγησης (Fast Scheduling). Οι παραπάνω τεχνικές περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Εικόνα 19. Διαμοίραση κωδίκων καναλιού για το HS-DSCH

Εικόνα 20. Διαμοίραση πόρων στο πεδίο του χρόνου για το HS-DSCH

Εκτός, όμως, από τη σημαντική αύξηση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων, το HSDPA βελτιστοποιεί τη φασματική απόδοση (spectral efficiency) των συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ρυθμοαπόδοση και κατά συνέπεια να αυξάνεται η χωρητικότητα των δικτύων όσον αφορά την εξυπηρέτηση χρηστών, που επιχειρούν την πρόσβαση σε υπηρεσίες δεδομένων. Ένα ακόμη σημαντικό

πλεονέκτημα του HSDPA έναντι των υπολοίπων τεχνολογιών, είναι η χαμηλή καθυστέρηση (low latency), η οποία κυμαίνεται μεταξύ 100 και 200 χιλιοστών του δευτερολέπτου.

4.2.1.1 Adaptive Modulation and Coding

Η μέγιστη δυνατή απόδοση που επιτυγχάνει το HS-DSCH οφείλεται σε ένα μεγάλο βαθμό στη χρήση προσαρμοζόμενης διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (Adaptive Modulation and Coding). Ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι και ειδικότερα ανάλογα με την στιγμιαία τιμή του λόγου σήματος προς παρεμβολή, χρησιμοποιείται το κατάλληλο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης δεδομένων. Η επιλογή διαμόρφωσης γίνεται ανάμεσα στην Quadrature Phase-Shift Keying (QPSK), την 16 QAM ή ακόμη και στην 64 QAM διαμόρφωση, για την μεγιστοποίηση του ρυθμού μετάδοσης του κατερχόμενου συνδέσμου. Η QPSK διαμόρφωση χρησιμοποιεί 2 bits/σύμβολο ενώ η 16 QAM και η 64 QAM διαμόρφωση 4 bits/σύμβολο και 6 bits/σύμβολο αντίστοιχα, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 21 [65].

Πιο συγκεκριμένα, η διαμόρφωση υψηλής τάξης, όπως η 16 QAM, μπορεί να επιφέρει καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης συγκριτικά με την QPSK διαμόρφωση. Παράλληλα, όμως, η 16 QAM διαμόρφωση απαιτεί υψηλότερο λόγο σήματος προς θόρυβο. Κατά συνέπεια, όταν οι συνθήκες καναλιού είναι καλές ευνοείται η χρήση 16 QAM διαμόρφωσης, ενώ στην αντίθετη περίπτωση γίνεται χρήση της QPSK διαμόρφωσης. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι μπορεί να γίνει χρήση της 64 QAM διαμόρφωσης όταν επικρατούν βέλτιστες συνθήκες καναλιού.

Η ιδιαιτερότητα αυτή της χρήσης πολλαπλών σχημάτων διαμόρφωσης δικαιολογεί το γεγονός ότι το HS-DSCH είναι μάλλον rate-controlled (διαθέτει έλεγχο ρυθμού) και όχι power-controlled κανάλι μεταφοράς, αφού ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καθορίζεται από τις στιγμιαίες συνθήκες κάθε φορά και κατά συνέπεια στο αντίστοιχο επιλεγόμενο σχήμα διαμόρφωσης (Εικόνα 22).

Εικόνα 21. Σχήματα διαμόρφωσης QPSK, 16-QAM και 64-QAM

Εικόνα 22. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καθορίζεται από τις στιγμιαίες συνθήκες καναλιού

Επίσης, ο Πίνακας 5 παρουσιάζει τους επιτεύξιμους ρυθμούς μετάδοσης ανάλογα με την διαμόρφωση και την κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται.

Διαμόρφωση	Spreading factor	Code rate	Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων		
			5 κώδικες	10 κώδικες	15 κώδικες
QPSK	16	1/4	600 Kbps	1.2 Mbps	1.8 Mbps
	16	2/4	1.2 Mbps	2.4 Mbps	3.6 Mbps
	16	3/4	1.8 Mbps	3.6 Mbps	5.3 Mbps
	16	4/4	2.4 Mbps	4.8 Mbps	7.2 Mbps
16 QAM	16	2/4	2.4 Mbps	4.8 Mbps	7.2 Mbps
	16	3/4	3.6 Mbps	7.2 Mbps	10.7 Mbps
64 QAM	16	3/4	5.25 Mbps	10.50 Mbps	15.75 Mbps

Πίνακας 5. Επιτεύξιμοι ρυθμοί μετάδοσης ανάλογα με την διαμόρφωση

4.2.1.2 Hybrid Automatic Repeat Request

Η τεχνική fast Hybrid Automatic Repeat Request που εφαρμόζεται στο HS-DSCH, επιτυγχάνει τη μείωση του χρόνου επαναμετάδοσης των χαμένων πακέτων/δεδομένων. Τα δεδομένα διατηρούνται σε καταχωρητή στο σταθμό βάσης (Node B). Αν για κάποιο πακέτο το κινητό τερματικό δεν αποστείλει επιβεβαίωση ορθής παράδοσης (acknowledgment, ACK), το πακέτο θεωρείται χαμένο. Σε αυτήν την περίπτωση τα δεδομένα επανεκπέμπονται από τον σταθμό βάσης και ο χρήστης συνδυάζει όλα τα μπλοκ δεδομένων από προηγούμενες λήψεις (soft combining), αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες να αποκωδικοποιήσει επιτυχώς το μήνυμα. Κατά συνέπεια, έχουμε μειωμένη καθυστέρηση μετάδοσης (round trip delay) και βελτιωμένη απόδοση. Σχηματικά, η Εικόνα 23 απεικονίζει τη διαδικασία επαναμετάδοσης χαμένων δεδομένων [65].

Εικόνα 23. HARQ - Διαδικασία επαναμετάδοσης χαμένων δεδομένων

4.2.1.3 Fast Scheduling

Σημαντικό ρόλο στην επίτευξη υψηλής απόδοσης του HSDPA δικτύου διαδραματίζει η επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου δρομολόγησης (scheduler), ιδιαίτερα σε ένα δίκτυο με υψηλό φόρτο εργασίας. Το HS-DSCH βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην τεχνική ταχείας δρομολόγησης κίνησης (fast scheduling). Ο αλγόριθμος fast scheduling αποφασίζει σε κάθε TTI (δηλαδή κάθε 2 ms), σε συνεργασία με το AMC, σε ποιόν/ποιους χρήστη/χρήστες θα αποστείλει πακέτα δεδομένων.

Σημειώνεται ότι μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη χωρητικότητα όταν χρησιμοποιηθεί η λεγόμενη «channel-dependent» δρομολόγηση. Σε αυτή την περίπτωση, λόγω της μεγάλης διαφοροποίησης των συνθηκών σε μία κυψέλη, υπάρχει σχεδόν πάντα ένας χρήστης του οποίου η ποιότητα καναλιού είναι βέλτιστη. Το κέρδος που προκύπτει από τη μετάδοση δεδομένων σε χρήστες με ιδανικές συνθήκες αποκαλείται macro-diversity gain και το κέρδος είναι μεγαλύτερο όσο περισσότεροι είναι οι εξυπηρετούμενοι χρήστες. Συνεπώς, σε αντίθεση με την παραδοσιακή αντίληψη ότι η εξασθένηση σήματος (fading) είναι ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο και πρέπει να αντιμετωπίζεται, στο HSDPA το fading είναι άκρως επιθυμητό και πρέπει να αξιοποιείται. Το γεγονός αυτό μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό από την Εικόνα 24.

Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή ανακύπτει το ζήτημα της δικαιοσύνης ανάμεσα στους χρήστες, καθώς ενθαρρύνεται η μετάδοση σε χρήστες με ευνοϊκές συνθήκες έτσι ώστε να αυξάνεται η συνολική χωρητικότητα του δικτύου. Κάθε αλγόριθμος δρομολόγησης κίνησης αξιολογεί με διαφορετική βαρύτητα τα παραπάνω δεδομένα και κινείται ανάμεσα στην επίτευξη υψηλής απόδοσης για το δίκτυο και στη δικαιοσύνη ανάμεσα στους χρήστες.

Εικόνα 24. Δρομολόγηση χρηστών με ευνοϊκές συνθήκες για αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου

4.2.2 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).

4.2.2.1 Handover Control

Οι RRM αλγόριθμοι στο HSDPA επιτρέπουν μόνο hard handover και intersystem handover (βλ. παράγραφο 3.5). 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 (βλ. παράγραφο 3.6).

4.2.2.2 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.

Όπως χαρακτηριστικά απεικονίζει και ο Πίνακας 5, 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.

4.2.2.3 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.

4.2.2.4 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).

4.2.2.5 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.

4.2.3 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 TTΙ. Σε κάθε TTΙ 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.

4.2.3.1 Δρομολογητής Βασισμένος αποκλειστικά στην Ποιότητα του Καναλιού (C/I scheduler)

Ο αλγόριθμος C/I (C over 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 TTΙ 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 TTΙ 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 κοκ. 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.

4.2.3.2 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.

4.2.3.3 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.

4.2.3.4 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 αδειάζουν, 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.

4.2.3.5 Δρομολογητής Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service scheduler - QoSS)

Ο αλγόριθμος QoSS 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 ένας 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.

4.3 HIGH SPEED UPLINK PACKET ACCESS

Η τεχνολογία HSUPA βασίζεται στο σχήμα πρόσβασης WCDMA, χρησιμοποιεί το σχήμα αμφιδρόμησης FDD και λειτουργεί στην μπάνα 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.

4.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά HSUPA Τεχνολογίας

Σταχυολογώντας, τα βασικότερα χαρακτηριστικά του HSUPA είναι τα ακόλουθα:

- Υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων, μικρότερες χρονικές καθυστερήσεις, πιο αποδοτική χρήση του φάσματος.
- Νέο σύστημα προγραμματισμού στο Node B.
- HSUPA τερματικά που υποστηρίζουν HSDPA.
- Κανάλια παρόμοια με το HSDPA, αλλά χρησιμοποιούν ένα ειδικό, μη διαμοιραζόμενο κανάλι.
- Σε αντίθεση με το HSDPA, δεν χρησιμοποιείται το Adaptive Modulation.
- Έξι κατηγορίες για το HSUPA σε αντίθεση με τις δώδεκα για το HSDPA.

Όπως με το HSDPA, το HSUPA έχει στόχο να αυξήσει την χωρητικότητα μειώνοντας ταυτόχρονα τις καθυστερήσεις. Μια σειρά από βελτιώσεις που έχουν εισαχθεί για να επιτευχθεί αυτό, συμπεριλαμβανομένου και ενός ειδικού uplink καναλιού μεταφοράς (E-DCH), το οποίο λειτουργεί σε συνδυασμό με ένα νέο μηχανισμό προγραμματισμού που βρίσκεται στο Node B. Όπως με το HSDPA, το HARQ και η χρήση TTI ίσου με 2 ms χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την ταχύτητα του uplink καναλιού. Προσοχή έχει δοθεί στα πρότυπα για τον περιορισμό της πολυπλοκότητας του uplink καναλιού, εξασφαλίζοντας ότι οι πρακτικές εφαρμογές είναι δυνατές.

Επίσης, οι βασικότερες αλλαγές στο φυσικό επίπεδο εντοπίζονται στην εισαγωγή ενός ενισχυμένου καναλιού στον ανερχόμενο σύνδεσμο, του E-DCH, ενώ παράλληλα διατηρείται και το κανάλι DCH της Release '99 έκδοσης του 3GPP. Οι ιδιότητες του E-DCH καναλιού μεταφοράς είναι:

- Νέα φυσικά κανάλια: E-DPDCH και E-DPCCH. Πιλοτικά σύμβολα που ανακτώνται από το E-DPCCH χρησιμοποιούνται από τον δέκτη για να βοηθήσουν την αποκωδικοποίηση του E-DPDCH, το οποίο μεταφέρει το E-DCH κανάλι μεταφοράς δεδομένων.
- Το E-DPCCH επίσης μεταφέρει το E-TFCI (E-DCH πρότυπο μεταφοράς με συνδυασμό δείκτη), το RSN (Retransmission Sequence Number) και ένα «χαρούμενο» bit, το οποίο χρησιμοποιείται για να δηλώσει αν το UE είναι ικανοποιημένο με τους πόρους που του χορηγούνται.
- Ταχύτητες δεδομένων έως και 5.76 Mbps μπορεί να επιτευχθούν με διαφοροποίηση του Spreading Factor και του αριθμού των κωδικών που χρησιμοποιούνται στα κανάλια.
- Τόσο 2 ms όσο και 10 ms TTI είναι διαθέσιμα σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Ένα 2 ms TTI επιτρέπει αποδοτικότερο έλεγχο και μεταφορά ενός προσαρμοσμένου μεγέθους block.
- Ένα block μεταφοράς αποστέλλεται ανά TTI.

Σημειώνεται ότι υπάρχει μόνο ένα E-DCH ανά UE, και ότι το DCH περιορίζεται σε 64 Kbps οπότε το E-DCH εκκινεί. Σε αντίθεση με το HSDPA, το HSUPA δεν κάνει χρήση της κωδικοποίησης AMC. Για να υποστηριχθεί το ενισχυμένο uplink κανάλι, εισάγονται τρία νέα downlink κανάλια σηματοδότησης:

- **E-HICH - E-DCH HARQ κανάλι δεικτοδότησης.** Αυτό το downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται από το HARQ για να βεβαιώνει τις E-DCH μεταδόσεις από τον UE.
- **E-AGCH - E-DCH Absolute Grant Channel.** Αυτό το διαμοιραζόμενο downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται για να υποδείξει στο UE πόσα δεδομένα μπορούν να σταλούν στο uplink κανάλι επιτρέποντας να προσδιορίσει το E-DCH TFC (Traffic Format Combination) και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ.
- **E-RGCH - E-DCH Relative Grant Channel.** Αυτό το διαμοιραζόμενο downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται για να αυξήσει ή να μειώσει τους πόρους του uplink καναλιού σε σύγκριση με αυτούς που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν.

Για να καταστεί το uplink κανάλι ανθεκτικό σε λάθη σήματος, μπορεί να ζητηθεί από τον κόμβο Node B αναμετάδοση ελαττωματικών πακέτων, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο HARQ. Αυτός ο μηχανισμός «stop and wait» στηρίζεται σε βεβαιώσεις / αρνητικές βεβαιώσεις, οι οποίες ανατροφοδοτούν το UE σχετικά με το νέο E-HICH κανάλι. Το πρωτόκολλο αυτό, που βρίσκεται στο Node B και όχι στον κόμβο RNC, μπορεί να εξασφαλίσει ταχεία ανάκτηση των χαμένων ή κατεστραμμένων πακέτων.

4.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ HSPA ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

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.

4.5 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΗΝ HSPA ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

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 25.

Εικόνα 25. Υπηρεσίες με τη χρήση HSPA τεχνολογίας

4.6 HSPA+: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

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 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.

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). 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).

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.

4.7 3GPP LONG TERM EVOLUTION

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 εύρους 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 [86].

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, ξεκινώντας γύρω στο 2010. Γραφικά, η χρονική εξέλιξη των δύο ανταγωνιστικών προτύπων (3GPP και 802.16) απεικονίζεται στην Εικόνα 26.

Εικόνα 26. Η εξέλιξη των κινητών ευρυζωνικών standards LTE και WiMAX

4.7.1 Απαιτήσεις για το LTE

Το LTE εστιάζει αποκλειστικά στη βελτιστοποίηση υποστήριξης και μετάδοσης packet-switched εφαρμογών, 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. Οι βασικότερες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το πρότυπο LTE σταχυολογούνται στη συνέχεια [68], [79]:

- Εύρος Ζώνης: 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.
- Ρυθμοί Μετάδοσης: Επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στον κατερχόμενο και 50 Mbps στον ανερχόμενο σύνδεσμο για εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz.
- Mode Λειτουργίας: Λειτουργία του LTE τόσο σε FDD όσο και TDD mode.
- Ρυθμοαπόδοση: Επίτευξη 3-4 φορές μεγαλύτερης μέσης ρυθμοαπόδοσης χρήστη ανά MHz στον κατερχόμενο σύνδεσμο και αντίστοιχα 2-3 φορές μεγαλύτερης για τον ανερχόμενο σύνδεσμο συγκριτικά με τις εκδόσεις 6 και 7 του 3GPP στάνταρ (HSDPA και HSUPA).
- Αποδοτικότητα φάσματος: Επίτευξη 2-3 φορές μεγαλύτερης αποδοτικότητας φάσματος σε σχέση με την έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ (HSDPA).
- Καθυστέρηση: Σημαντική μείωση της round-trip καθυστέρησης από το χρήστη έως το σταθμό βάσης στα 5 ms - 10 ms.
- Κινητικότητα: Δυνατότητα βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος για χαμηλές ταχύτητες κίνησης των χρηστών (0-15 χλμ/ώρα) καθώς και δυνατότητα υποστήριξης χρηστών που κινούνται σε πολύ υψηλές ταχύτητες.
- Διαλειτουργικότητα: Δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας με μη-3GPP πρότυπα επικοινωνιών καθώς και με τα υπάρχοντα UTRAN/GERAN (GSM/EDGE

Radio Access Network) συστήματα κινητών επικοινωνιών. Επίσης, υποστήριξη δυνατότητας handover από και προς τα συστήματα αυτά.

- Ποιότητα Υπηρεσίας: Υποστήριξη από άκρο σε άκρο ποιότητας υπηρεσίας (QoS), για την υποστήριξη απαιτητικών σε QoS υπηρεσιών όπως είναι οι VoIP εφαρμογές.

4.7.2 Βασικές Τεχνικές Μετάδοσης Πληροφορίας στο LTE

Για την επίτευξη των παραπάνω απαιτήσεων είναι προφανές ότι το LTE πρέπει να βασιστεί σε βέλτιστες τεχνολογίες μετάδοσης πληροφορίας στο ασύρματο τμήμα του δικτύου πρόσβασης. Μία από τις κύριες τεχνολογίες αυτές που υιοθετεί το LTE είναι το OFDM. Κύριος λόγος υιοθέτησης του OFDM ως μοντέλου διαμόρφωσης για το LTE είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένησης σήματος και παρεμβολών [68], [86].

Ειδικότερα, για την περίπτωση της μετάδοσης δεδομένων στον κατερχόμενο σύνδεσμο, η OFDM τεχνολογία διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο, και είναι αυτή που προτείνεται από το 3GPP ως η πλέον κατάλληλη τεχνική. Η OFDM αποτελεί μία εξ' ολοκλήρου ψηφιακή προσέγγιση πολυπλεξίας πληροφορίας, η οποία κάνει χρήση του Fast Fourier Transform (FFT) για να διαχωρίσει το σήμα σε μικρού εύρου ζώνης επικαλυπτόμενα κανάλια. Τα κανάλια αυτά χαρακτηρίζονται από την κοινή ιδιότητα της μεταξύ τους ορθογωνιότητας, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση φάσματος.

Παράλληλα, για τον ανερχόμενο σύνδεσμο, στο LTE προτείνεται η χρήση της τεχνολογίας Single Carrier OFDM (SC-OFDM). Στο σημείο αυτό, το LTE διαφοροποιείται από το πρότυπο WiMAX, το οποίο χρησιμοποιεί την OFDMA τεχνική για τον ανερχόμενο σύνδεσμο. Η OFDMA τεχνική, παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά της, μπορεί να αποβεί ανασταλτικός παράγοντας για τη μπαταρία των κινητών συσκευών των χρηστών, καθώς απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ισχύος. Για το λόγο αυτό, στο LTE υιοθετείται η SC-OFDM τεχνική. Η SC-OFDM τεχνική παρουσιάζει ιδιαίτερα καλή απόδοση, αφού έχει και πολύ υψηλό λόγο Peak-to-Average Ratio (PAR) σήματος. Ο λόγος PAR είναι πολύ κρίσιμη μετρική για τον ανερχόμενο σύνδεσμο, και σχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση ισχύος. Επιπλέον, η SC-OFDM τεχνική επιτρέπει υψηλή απόδοση και μικρή πολυπλοκότητα υλοποίησης της κεραίας του σταθμού βάσης. Εν γένει, η SC-OFDM τεχνική επιφέρει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στον ανερχόμενο σύνδεσμο, κυρίως όταν ο χρήστης βρίσκεται κοντά στο σταθμό βάσης.

Τέλος, μια ακόμη τεχνολογία που υπόσχεται ακόμη μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αυξημένη κάλυψη δικτύου και χωρητικότητα στο LTE είναι η MIMO τεχνική. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία MIMO συνίσταται στην ύπαρξη πολλαπλών κεραιών (κεραιοσυστημάτων) τόσο στον πομπό-σταθμό βάσης όσο και στο δέκτη-συσκευή του χρήστη. Για την περίπτωση του LTE, σε πρώτη φάση η ύπαρξη MIMO κεραιοσυστημάτων 2x2 (δύο κεραίες στο σταθμό βάσης και δύο κεραίες στη συσκευή του χρήστη) θεωρείται απαραίτητο στοιχείο για την επίτευξη υψηλής απόδοσης. Σε μεταγενέστερη φάση ανάπτυξης είναι δυνατόν να γίνει χρήση συστημάτων MIMO 4x4. Στο MIMO διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Το Spatial Multiplexing (στο οποίο η πληροφορία διαχωρίζεται σε

stream τα οποία μεταδίδονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές κεραίες) και το Transmit Diversity [79].

4.7.3 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 κ.ο.κ [65], [68], [79].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ MBMS

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 πανεκπομπής (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 διδακτορικής διατριβής περιγράφεται το είδος, οι βασικές αρχές καθώς και η αρχιτεκτονική αυτής της υπηρεσίας. Επίσης, αναφέρονται και αναλύονται οι φάσεις παροχής της υπηρεσίας MBMS. Επιπρόσθετα, τίγονται 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.

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η υπηρεσία MBMS είναι μία υπηρεσία που εντάχθηκε στις προδιαγραφές του 3GPP σχετικά πρόσφατα (Release 6) [86]. Μέσω αυτής της υπηρεσίας, οι συνδρομητές των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν υπηρεσίες που παρέχουν πολυμεσικά δεδομένα. Για παράδειγμα, τα αθλητικά νέα είναι πληροφορία που αφορά πολλούς χρήστες και η οποία μπορεί να ενσωματώσει πολυμεσικό περιεχόμενο. Επιπλέον, πρόκειται για ένα είδος πληροφορίας η οποία ενδιαφέρει τους χρήστες όταν είναι πρόσφατη. Συνεπώς, θα πρέπει να αποσταλεί έγκαιρα και ταυτόχρονα σε όλους τους χρήστες που επιθυμούν να λάβουν τη συγκεκριμένη υπηρεσία.

Από την πλευρά της εταιρίας κινητής τηλεφωνίας, η αντιγραφή της ίδιας πληροφορίας και η αποστολή της ξεχωριστά σε κάθε χρήστη, θα ήταν σπατάλη των πόρων του δικτύου. Αντίθετα, μία οικονομικότερη λύση θα ήταν η αποστολή των πολυμεσικών δεδομένων μία μόνο φορά πάνω από ένα σύνδεσμο του δικτύου. Όταν τα δεδομένα εκπέμπονται σε όλους τους χρήστες του δικτύου, τότε η μετάδοση γίνεται broadcast. Όσον αφορά την περίπτωση που τα πολυμεσικά δεδομένα αποστέλλονται μόνο στους χρήστες που έχουν γίνει συνδρομητές της υπηρεσίας, τότε γίνεται χρήση multicast μετάδοσης. Κατά συνέπεια, η υπηρεσία MBMS είναι μία PTM υπηρεσία μονής κατεύθυνσης (από τον εξυπηρετητή προς τους χρήστες), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως broadcast είτε ως multicast [8], [67].

Η Εικόνα 27 απεικονίζει γραφικά το χρονοδιάγραμμα εξέλιξης της MBMS υπηρεσίας στα διαδοχικά πρότυπα του 3GPP standard. Από την εικόνα παρατηρείται ότι το 3GPP θεωρεί την MBMS υπηρεσία κρίσιμη για την εξέλιξη των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς, αφού αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι τόσο του HSPA (Release 8) όσο και του μελλοντικού LTE (Release 9). Υπενθυμίζεται ότι στόχος της διδακτορικής αυτής διατριβής είναι ο αποτελεσματικός έλεγχος ισχύος κατά τη μετάδοση πολυμεσικών MBMS υπηρεσιών σε δίκτυα HSPA και LTE, γεγονός που βρίσκεται σε απόλυτη συμφωνία με το χρονοδιάγραμμα και την πορεία εξέλιξης του 3GPP. Πιο συγκεκριμένα, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 27, η μετάδοση «MBMS over HSPA» και «MBMS over LTE» αποτελεί μέρος των εκδόσεων 8.0 και 9.0 του MBMS προτύπου.

Εικόνα 27. Εξέλιξη της MBMS υπηρεσίας

5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

Όπως φάνηκε από την προηγούμενη παράγραφο, το 3GPP [86] έχει ορίσει δύο λειτουργίες για την υπηρεσία MBMS: τη λειτουργία multicast και τη λειτουργία broadcast. Στις δύο επόμενες παραγράφους περιγράφεται κάθε μία από τις λειτουργίες αυτές.

5.2.1 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 [8], [9].

5.2.2 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, που περιγράφηκε στην παράγραφο 5.1. 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 [8], [9].

5.3 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ MBMS

Η δομή του δικτύου UMTS για την υπηρεσία MBMS, απεικονίζεται στην Εικόνα 28. 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 28, για την υποστήριξη της υπηρεσίας MBMS, ένας νέος κόμβος έχει εισαχθεί στο δίκτυο. Πρόκειται για τον κόμβο Broadcast / Multicast Service Center (BM-SC). Στο υπόλοιπο της παραγράφου, θα περιγραφούν αναλυτικά οι λειτουργίες του κάθε κόμβου που συμμετέχει στην παροχή της υπηρεσίας MBMS [2], [8], [9], [13].

- **BM-SC:** Ο κόμβος BM-SC είναι υπεύθυνος για την παροχή της υπηρεσίας MBMS. Πρόκειται για μία λειτουργική οντότητα που πρέπει να υπάρχει για κάθε υπηρεσία MBMS. Ουσιαστικά, είναι το σημείο εισόδου των μεταδόσεων στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Κατά συνέπεια, σε αυτόν τον κόμβο πέφτει το βάρος της εγκατάστασης και του χρονοπρογραμματισμού των απαραίτητων συνδέσεων, προκειμένου να γίνει σωστή παράδοση του περιεχομένου των MBMS μεταδόσεων. Αυτό σημαίνει ότι ο κόμβος αυτός αναλαμβάνει να δεσμεύσει τους απαραίτητους πόρους λίγο πριν την εκκίνηση των συνόδων και να τους αποδεσμεύσει αφού οι σύνοδοι τερματιστούν. Μία άλλη λειτουργία του κόμβου αυτού είναι ο έλεγχος και η ταυτοποίηση εξωτερικών παρόχων,

προκειμένου να τους επιτραπεί η μετάδοση multicast δεδομένων εντός του UMTS δικτύου. Ταυτόχρονα, ο κόμβος BM-SC εξασφαλίζει την ακεραιότητα των μεταδιδόμενων δεδομένων και καταγράφει τις μεταδόσεις των παρόχων καθώς και άλλες χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις χρεώσεις. Μία άλλη αρμοδιότητα του BM-SC είναι η ενημέρωση του κόμβου GGSN σχετικά με τις παραμέτρους της μετάδοσης. Μερικές πιθανές παράμετροι της μετάδοσης είναι το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας και η περιοχή διανομής. Τέλος, ο κόμβος BM-SC αναλαμβάνει τη λειτουργία του Service Announcement. Αυτό σημαίνει ότι έχει την ευθύνη της πληροφόρησης του κάθε χρήστη σχετικά με το περιεχόμενο και τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας. Τέτοιου είδους χαρακτηριστικά είναι η κωδικοποίηση του ήχου και της εικόνας που θα μεταδοθούν, η ώρα μετάδοσης, οι σχετικές διευθύνσεις κ.α.

Εικόνα 28. Η αρχιτεκτονική της υπηρεσίας MBMS

- GGSN: Ο κόμβος GGSN είναι σε θέση, κατόπιν ειδοποίησης από τον BM-SC, να δημιουργεί άμεσα τις συνδέσεις για τη μεταφορά multicast δεδομένων προς τους χρήστες. Επίσης, ένας άλλος σημαντικός ρόλος του κόμβου GGSN είναι να λειτουργεί ως σημείο διασύνδεσης του κινητού δικτύου με τη multicast κίνηση δεδομένων. Για την ακρίβεια, ο GGSN λαμβάνει τη multicast κίνηση και τη δρομολογεί στις κατάλληλες GPRS Tunneling Protocol (GTP) συνόδους (GTP tunnels) που έχει προηγουμένως δημιουργήσει. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η κίνηση των multicast πακέτων δεν πρέπει πάντα να προωθείται σε όλους τους κόμβους SGSN του δικτύου. Αντίθετα, θα πρέπει να προωθείται μόνο προς

αυτούς που εξυπηρετούν χρήστες οι οποίοι συμμετέχουν στο αντίστοιχο multicast group.

- **SGSN:** Ο ρόλος του κόμβου SGSN στην αρχιτεκτονική του MBMS είναι να εκτελεί διαδικασίες ελέγχου του δικτύου προκειμένου να γίνονται σωστά οι μεταδόσεις προς το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης UTRAN. Κατά συνέπεια, αποτελεί τον κόμβο του CN που υποστηρίζει τις διάφορες διαδικασίες οι οποίες σχετίζονται με την κινητικότητα χρηστών. Τέτοιου είδους διαδικασίες είναι η intra-SGSN και inter-SGSN relocation. Ταυτόχρονα, είναι σε θέση να παρακολουθεί και να καταγράφει τις χρεώσεις που σχετίζονται με την υπηρεσία MBMS. Τέλος, ο κόμβος SGSN, έπειτα από κατάλληλη σηματοδότηση με τον GGSN, δημιουργεί και τερματίζει τις GTP συνόδους που αφορούν τη μετάδοση κάποιας multicast υπηρεσίας πάνω από τις διεπαφές Iu-PS και Gn.
- **UTRAN:** Το δίκτυο αυτό είναι υπεύθυνο για την παράδοση των multicast δεδομένων στους χρήστες που ανήκουν στο αντίστοιχο multicast group. Όπως θα δούμε και στην παράγραφο 5.7, αξιολογεί χαρακτηριστικά της μετάδοσης (ρυθμός μετάδοσης, πλήθος χρηστών, κινητικότητα χρηστών κ.α.) και κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις προκειμένου να επιτυγχάνεται κάθε φορά η αποδοτικότερη χρήση των πόρων του δικτύου. Επειδή οι multicast μεταδόσεις μπορούν να ξεκινούν και να τερματίζονται διαρκώς, το δίκτυο UTRAN είναι σε θέση να εξυπηρετεί την εκκίνηση και τον τερματισμό τέτοιου είδους μεταδόσεων από το CN. Επιπλέον, το UTRAN θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να διανέμει σε πολλαπλούς χρήστες multicast δεδομένα που εισέρχονται μόνο μία φορά σε αυτό. Ταυτόχρονα, οι απώλειες πληροφορίας σε περιπτώσεις κινητικότητας των χρηστών και αλλαγής του σημείου πρόσβασης στο UTRAN, θα πρέπει να είναι περιορισμένες.
- **UE:** Όσον αφορά τον εξοπλισμό του χρήστη, αυτός υποστηρίζει λειτουργίες για την ενεργοποίηση / απενεργοποίηση των MBMS υπηρεσιών. Από τη στιγμή που κάποια υπηρεσία ενεργοποιείται, δε χρειάζεται επιπλέον αίτηση του χρήστη προκειμένου να ξεκινήσει να λαμβάνει τα δεδομένα της υπηρεσίας. Παρόλα αυτά, ο χρήστης ειδοποιείται όταν επίκειται λήψη δεδομένων που σχετίζονται με την υπηρεσία MBMS. Επιπλέον, το UE παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη, ταυτόχρονα με την υπηρεσία MBMS, να μπορεί να εκτελεί και άλλες υπηρεσίες όπως πραγματοποίηση κλήσεων, αποστολή και λήψη μηνυμάτων κ.α. Μία άλλη σημαντική λειτουργία του UE είναι η αναγνώριση των συνόδων. Με τον όρο αναγνώριση των συνόδων, εννοούμε τη δυνατότητα του εξοπλισμού του χρήστη να αναγνωρίζει μία επικείμενη MBMS μετάδοση και αν χρειάζεται, να την απορρίπτει. Υπάρχουν διάφοροι πιθανοί λόγοι για τους οποίους ένα UE μπορεί να απορρίψει μία μετάδοση. Ο πιο πιθανός από αυτούς τους λόγους, είναι αυτή η μετάδοση να έχει ήδη παραληφθεί από το συγκεκριμένο UE. Τέλος, μέσα στις αρμοδιότητες του UE είναι και η εκτέλεση λειτουργιών ασφάλειας που είναι ειδικά σχεδιασμένες για multicast υπηρεσίες.

5.4 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 29 και Εικόνα 30), στις οποίες παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα multicast μετάδοσης χωρίς και με την υποστήριξη του MBMS, αντίστοιχα.

Εικόνα 29. UMTS multicast χωρίς την υποστήριξη του MBMS

Σύμφωνα με την Εικόνα 29, όταν έχουμε multicast μετάδοση, τα δεδομένα πολλαπλασιάζονται και αποστέλλονται σε όλες τις διεπαφές της αρχιτεκτονικής τόσες 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 30. UMTS multicast με την υποστήριξη του MBMS

Αντίθετα, όταν υποστηρίζεται το MBMS όπως παρατηρούμε από την Εικόνα 30, 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.

5.5 ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ MBMS

Στην παρούσα παράγραφο θα περιγραφούν αναλυτικά οι φάσεις της παροχής της υπηρεσίας MBMS. Η Εικόνα 31 απεικονίζει σχηματικά τις φάσεις της broadcast λειτουργίας, ενώ η Εικόνα 32 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.

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). Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα οι συγκεκριμένες φάσεις.

Εικόνα 31. Οι φάσεις της broadcast λειτουργίας

Εικόνα 32. Οι φάσεις της multicast λειτουργίας

5.5.1 Subscription

Η φάση Subscription περιλαμβάνει τη διαδικασία κατά την οποία ο χρήστης εγγράφεται στην υπηρεσία MBMS. Πρόκειται για μία διαδικασία που είναι απαραίτητη κατά τη multicast λειτουργία της υπηρεσίας MBMS. Αντίθετα, δε χρησιμοποιείται στη broadcast λειτουργία. Η εκτέλεση της φάσης Subscription από το χρήστη, σημαίνει ότι αυτός έχει ήδη αποφασίσει ότι θέλει να λαμβάνει κατά βούληση multicast δεδομένα από τη συγκεκριμένη υπηρεσία. Για το σκοπό αυτό, επικοινωνεί με τον πάροχο της υπηρεσίας προκειμένου να συμφωνήσει τους όρους και τις συνθήκες της συνδρομής του. Με τον όρο συνδρομή, εννοούμε μία συμφωνία που συνδέει τον πάροχο με τον ενδιαφερόμενο χρήστη και ορίζει λεπτομερειακά τις παραμέτρους της σχέσης τους. Τέτοιου είδους παράμετροι είναι ο ρυθμός μετάδοσης για τη συγκεκριμένη υπηρεσία καθώς και το επίπεδο ποιότητας της υπηρεσίας. Όλες οι παράμετροι της εγγραφής αποθηκεύονται από τον πάροχο στον κόμβο BM-SC. Με αυτόν τον τρόπο, όταν ο χρήστης ζητήσει από το δίκτυο να λάβει τη συμφωνηθείσα υπηρεσία, τα στοιχεία αυτά να είναι δυνατόν να προσπελαστούν και να ελεγχθούν. Με βάση αυτά τα αποθηκευμένα δεδομένα, ο χρήστης θα εξυπηρετηθεί στις επόμενες φάσεις της παροχής της υπηρεσίας MBMS [13].

5.5.2 Service Announcement

Η φάση Service Announcement χρησιμοποιείται τόσο στη λειτουργία broadcast όσο και στη multicast. Πρόκειται για το στάδιο κατά το οποίο ο χρήστης λαμβάνει ανακοινώσεις για μία ή περισσότερες MBMS υπηρεσίες. Οι υπηρεσίες αυτές μπορούν να προσφέρονται είτε από την ίδια την εταιρία κινητής τηλεφωνίας είτε από εξωτερικούς παρόχους υπηρεσιών. Οι ανακοινώσεις που αποστέλλονται έχουν σκοπό να κατατοπίσουν το χρήστη όσον αφορά τα είδη και τα χαρακτηριστικά των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η διαδικασία αυτή γίνεται για κάθε υπηρεσία ξεχωριστά και απευθύνεται είτε σε εγγεγραμμένους χρήστες (για την ενημέρωσή τους) είτε σε μη εγγεγραμμένους (για την εγγραφή τους). Οι ανακοινώσεις αυτές μπορεί να περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας, τις παραμέτρους της (όπως, για παράδειγμα, πότε ξεκινούν οι σύνοδοί της) καθώς και τρόπους εγγραφής και ενεργοποίησης. Αυτές οι πληροφορίες είναι δυνατό να παρέχονται στους χρήστες με διάφορους τρόπους όπως μηνύματα SMS ή MMS, μεταδόσεις MBMS σε λειτουργία broadcast ή multicast, από διευθύνσεις στο Internet κ.α. [13], [27].

5.5.3 Joining

Η φάση Joining περιλαμβάνει την ενεργοποίηση της υπηρεσίας MBMS από το χρήστη. Πρόκειται για μία φάση η οποία περιλαμβάνεται στη λειτουργία multicast και όχι στη broadcast. Για την ακρίβεια, μέσω της διαδικασίας Joining ένας συνδρομητής συμμετέχει, δηλαδή γίνεται μέλος, ενός multicast group. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης ειδοποιεί το δίκτυο ότι επιθυμεί να λαμβάνει τα multicast δεδομένα της συγκεκριμένης υπηρεσίας MBMS.

Η φάση Joining ενεργοποιεί μία σειρά ενεργειών και ανταλλαγών μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων που απαρτίζουν το μονοπάτι μεταξύ του UE και του κόμβου BM-SC. Η συνολική διαδικασία απαρτίζεται από δύο επιμέρους στάδια. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την εκδήλωση του ενδιαφέροντος από το χρήστη να συμμετάσχει σε

κάποια υπηρεσία. Ο χρήστης προσδιορίζει κατάλληλα τη συγκεκριμένη υπηρεσία προς το δίκτυο μέσω, για παράδειγμα, της IP multicast διεύθυνσης που χρησιμοποιεί. Έπειτα, στο δεύτερο στάδιο, το δίκτυο αναλαμβάνει να δεσμεύσει τους απαραίτητους πόρους προκειμένου να είναι δυνατή η μετάδοση των multicast δεδομένων προς το χρήστη [13].

5.5.4 Session Start

Η φάση Session Start αναφέρεται στο χρονικό σημείο κατά το οποίο ο κόμβος BM-SC είναι έτοιμος για την αποστολή δεδομένων. Πρόκειται για μία διαδικασία η οποία ενυπάρχει και στις δύο λειτουργίες της υπηρεσίας MBMS (broadcast και multicast). Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η φάση Session Start λαμβάνει χώρα ανεξάρτητα από την ενεργοποίηση της υπηρεσίας από το χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι ένας συγκεκριμένος χρήστης μπορεί να εκτελέσει τη φάση Joining πριν ή μετά από μία Session Start. Ουσιαστικά, η σημαντικότερη λειτουργία της διαδικασίας Session Start είναι η ενεργοποίηση της δέσμευσης των απαραίτητων πόρων προκειμένου να μπορεί να εκτελεστεί η φάση Data Transfer. Στο σημείο αυτό οι εμπλεκόμενοι GGSN και SGSN κόμβοι πληροφορούνται για κάποιες παραμέτρους της υπηρεσίας όπως η ποιότητα υπηρεσίας και η περιοχή κάλυψης της υπηρεσίας. Επίσης, οι κόμβοι RNC που εξυπηρετούν ενδιαφερόμενους χρήστες, ενημερώνονται σχετικά [8], [13].

5.5.5 MBMS Notification

Η MBMS Notification είναι η φάση κατά την οποία το δίκτυο ειδοποιεί τα UEs σχετικά με την επικείμενη εκκίνηση αποστολής MBMS δεδομένων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διαδικασία αυτή μπορεί να ενημερώνει τους χρήστες σχετικά με αποστολές δεδομένων που είναι ήδη σε εξέλιξη. Πρόκειται για μία διαδικασία που, συχνά, είναι απαραίτητη τόσο στη broadcast όσο και στη multicast λειτουργία. Παρόλα αυτά, υπάρχουν περιπτώσεις που η συγκεκριμένη φάση μπορεί να παραληφθεί. Μία τέτοια περίπτωση είναι αυτή κατά την οποία η φάση Data Transfer (αναλύεται στην επόμενη παράγραφο) έχει ενσωματωμένη σηματοδότηση που ειδοποιεί και προετοιμάζει το χρήστη για την επικείμενη μετάδοση δεδομένων. Πάντως, σε κάθε περίπτωση, τα μηνύματα της MBMS Notification θα πρέπει να μεταδίδονται σε όλους τους κόμβους του μονοπατιού από τον GGSN μέχρι και τον τελικό χρήστη που θα λάβει την υπηρεσία [13].

5.5.6 Data Transfer

Η Data Transfer είναι κύρια φάση της παροχής υπηρεσίας MBMS. Όπως είναι αναμενόμενο, αποτελεί μία διαδικασία που εκτελείται και στις δύο λειτουργίες του MBMS (multicast και broadcast). Σε αυτή τη φάση, οι πόροι του δικτύου που έχουν προηγουμένως δεσμευθεί, χρησιμοποιούνται προκειμένου να μεταφερθούν δεδομένα προς τον τελικό χρήστη. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν την πληροφορία για την οποία ενδιαφέρεται ο συνδρομητής και η οποία σχετίζεται με την παρεχόμενη υπηρεσία [13].

5.5.7 Session Stop

Η φάση Session Stop λαμβάνει χώρα κατά τη χρονική στιγμή που ο κόμβος BM-SC αποφασίσει ότι, για κάποια περίοδο, η αποστολή δεδομένων που σχετίζονται με

κάποια υπηρεσία MBMS θα σταματήσει. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η συγκεκριμένη χρονική περίοδος παύσης της μετάδοσης, θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη. Για την ακρίβεια η παύση θα πρέπει να έχει τέτοια διάρκεια ώστε να δικαιολογείται η αποδέσμευση των πόρων του δικτύου, που χρησιμοποιούνται από την αντίστοιχη σύνοδο. Η φάση Session Stop χρησιμοποιείται τόσο στη broadcast όσο και τη multicast λειτουργία. Πρόκειται ουσιαστικά για την αντίστροφη διαδικασία της Session Start. Οι διαφορές είναι ότι τα μηνύματα που αποστέλλονται ειδοποιούν όχι για επικείμενη έναρξη, αλλά για επικείμενη λήξη της μετάδοσης δεδομένων για την υπηρεσία. Αυτό σημαίνει ότι, αντί για τη δέσμευση πόρων του δικτύου, λαμβάνει χώρα αποδέσμευση των πόρων που έχουν ήδη δεσμευθεί κατά τη φάση Session Start [13].

5.5.8 Leaving

Η φάση Leaving λαμβάνει χώρα μόνο κατά τη multicast λειτουργία της υπηρεσίας MBMS. Πρόκειται για μία διαδικασία την οποία μπορεί να εκτελέσει ένας χρήστης που συμμετέχει ήδη σε κάποια multicast υπηρεσία. Αυτό σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος χρήστης έχει προηγουμένως εκτελέσει τη φάση Joining προκειμένου να ενταχθεί στο αντίστοιχο multicast group. Κατά τη φάση Leaving, ενεργοποιείται ο μηχανισμός διαγραφής του χρήστη από το συγκεκριμένο multicast group. Κατά συνέπεια, μετά το πέρας τις διαδικασίας Leaving ο χρήστης σταματά να λαμβάνει τα multicast δεδομένα που προέρχονται από τη συγκεκριμένη υπηρεσία [13].

5.6 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 PTP 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 στις διεπαφές Gn και Iu, ενώ δεύτερη χρησιμοποιεί τη multicast μορφή του πρωτοκόλλου. Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφούν οι δύο αρχιτεκτονικές [2], [66].

5.6.1 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 33 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 εξηγείται στην Εικόνα 33, 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 33. Οι σύνοδοι 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].

5.6.2 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 υποστηρίξουν IP multicast.

Εικόνα 34. Οι σύνοδοι GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP multicast

Η Εικόνα 34 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 μέσω της διεπαφής Iu-PS.

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], [66].

5.7 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 [54], [73].

Εικόνα 35. 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 35. 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.

5.7.1 Μετάδοση Point-To-Point

Η μετάδοση PTP χρησιμοποιεί αφιερωμένα κανάλια για τη μετάδοση των δεδομένων στο UTRAN. Κάθε αφιερωμένο κανάλι, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 3.4, 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 [23].

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 κατώφλι κάτω από το οποίο η χρήση PTP μετάδοσης είναι αποδοτικότερη, είναι 7-15 ενεργοί χρήστες ανά κυψέλη [54].
- 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 [35].
- 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. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.5.1, 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 [57].

5.7.2 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 3.4, 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], [23].

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 [54]. 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 [54].

5.7.3 Η Χρήση της Διεπαφής Iur

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστεί ένας προβληματισμός που έχει προκύψει σχετικά με τη χρήση της διεπαφής Iur κατά τη multicast μετάδοση δεδομένων [2]. Ας θεωρήσουμε το σενάριο που απεικονίζεται στην Εικόνα 36. Στην περίπτωση αυτή υποθέτουμε ότι το UE1 ανήκει σε ένα multicast group και εξυπηρετείται από έναν DRNC μέσω της διεπαφής Iur. Το συγκεκριμένο RNC αποτελεί ταυτόχρονα το SRNC για κάποια άλλα UEs που ανήκουν στις κυψέλες που ελέγχει. Ας υποθέσουμε ότι ένα τέτοιο UE είναι το UE2. Επίσης, θεωρούμε ότι το UE2 ανήκει στο εξεταζόμενο multicast group. Στην περίπτωση αυτή, υπάρχουν δύο μονοπάτια που μπορούν να οδηγήσουν τα multicast δεδομένα προς το UE1:

- Το πρώτο μονοπάτι είναι αυτό που απεικονίζεται με την ενιαία γραμμή στην Εικόνα 36. Πρόκειται για το μονοπάτι που διέρχεται από τον SRNC, τη διεπαφή Iur και τον DRNC. Ο τελευταίος RNC λαμβάνει δύο φορές την ίδια ροή δεδομένων: από τη διεπαφή Iu καθώς και από την Iur. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να επιλέξει ποια από τις δύο ροές θα μεταδώσει στα UEs. Παρόλα αυτά, καθώς οι χρήστες κινούνται, ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν την υπηρεσία, η επιλογή της κατάλληλης διεπαφής μπορεί να μεταβάλλεται διαρκώς. Επομένως, απαιτείται ένας μηχανισμός ο οποίος, σε κάθε χρονική στιγμή, θα έχει τη δυνατότητα να παρέχει την κατάλληλη διεπαφή.
- Το δεύτερο μονοπάτι είναι αυτό που απεικονίζεται με τη διακεκομμένη γραμμή. Στην περίπτωση αυτή κάθε RNC δέχεται τα δεδομένα απευθείας μέσω της διεπαφής Iu. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται σε όλους τους multicast χρήστες που ανήκουν στις κυψέλες που ελέγχονται από το συγκεκριμένο RNC. Η μετάδοση γίνεται προς όλα τα UEs του multicast group, ανεξάρτητα από το αν χρησιμοποιούν το RNC ως SRNC ή ως DRNC. Συνεπώς,

με την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής, η διεπαφή Iur δε χρησιμοποιείται για τη μετάδοση multicast δεδομένων.

Εικόνα 36. Οι πιθανές επιλογές μονοπατιών προς το UE1

5.8 ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

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 [28].

5.8.1 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 [28]. 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.

5.8.2 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 ανακτή τα MBMS δεδομένα που λαμβάνει [28].

5.9 ΈΛΕΓΧΟΣ 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.

5.9.1 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 [67], [81].

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 37 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 κάλυψης του τελευταίου να μειωθεί δραματικά¹.

Εικόνα 37. Near-far πρόβλημα στον ανερχόμενο σύνδεσμο [65]

¹ Περισσότερα για το near-far πρόβλημα υπάρχουν στη βιβλιογραφική αναφορά [77]

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 [61], [65].

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 [61], [65].

5.9.2 Μέθοδοι Ελέγχου Ισχύος στο UMTS

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι ελέγχου ισχύος στο UMTS:

- Η μέθοδος open-loop power control.
- Η closed-loop power control.
- Η outer-loop power control.

Οι τρεις αυτές μέθοδοι παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

5.9.2.1 Open Loop Power Control

Ο μηχανισμός open loop power control (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 λειτουργίας². 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 open-loop power control μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά.

5.9.2.2 Fast Closed Loop Power Control

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

Στον ανερχόμενο σύνδεσμο όταν χρησιμοποιείται η τεχνική closed loop power control, 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

² Περισσότερα για τις μπάστες συχνοτήτων υπάρχουν στη βιβλιογραφική αναφορά [15].

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 closed loop power control 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.

5.9.2.3 Outer Loop Power Control

Η τρίτη μέθοδος ελέγχου ισχύος, η outer loop power control, προσδιορίζει το target SIR , που αναφέρθηκε παραπάνω. Καθορίζει το στόχο για το fast power control 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.

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

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) [61], [65], [67].

Σε 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 [67]. 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 [65].

5.9.3 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 fast power control είναι αποδοτικός για να ελεγχθεί η παρεμβολή και να αυξηθεί η χωρητικότητα στα κυψελωτά συστήματα.

Στις PTP μεταδόσεις (βλ. παράγραφο 5.7.1) 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 fading 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 5.7.2) 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 [74].

5.9.4 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 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 [65], [69], [74].

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 διδακτορικής διατριβής.

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 Mechanism³ [23]. 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 [74].

Στη συνέχεια της διδακτορικής αυτή διατριβής αντιμετωπίζονται τα παραπάνω δύο προβλήματα. Συγκεκριμένα, προτείνεται η χρήση ενός δυναμικού τρόπου ανάθεσης καναλιών μεταφοράς για τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών ενώ παράλληλα διερευνούνται και τα πλεονεκτήματα του HS-DSCH που το καθιστούν απαραίτητο στο MBMS.

5.9.5 Περιβάλλοντα Προσομοίωσης

Για τον αποτελεσματικό έλεγχο ισχύος και κατ' επέκταση για την ανάλυση και την επιλογή του βέλτιστου καναλιού πολυεμπομπής σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς μελετώνται οι περιπτώσεις δύο διαφορετικών περιβαλλόντων προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται οι περιπτώσεις των μακροκυψελών (macrocells) και των μικροκυψελών (microcells). Κάθε περιβάλλον μοντελοποίησης προσομοιώνει διαφορετικές περιοχές. Κάθε περιοχή έχει συγκεκριμένα μορφολογικά και πολεοδομικά χαρακτηριστικά, άρα και διαφορετικά γνωρίσματα ισχύος. Τα περιβάλλοντα προσομοίωσης περιγράφονται διεξοδικά στις αμέσως επόμενες παραγράφους.

³ Περισσότερα για τον μηχανισμό MBMS Counting Mechanism στην παράγραφο 9.2.1.

5.9.5.1 Macrocell Περιβάλλον

Τα macrocell περιβάλλοντα χαρακτηρίζονται από ευρείες κυψέλες και υψηλές τιμές ισχύος σε αστικές και ημιαστικές περιοχές με κεραιές στις οροφές των κτιρίων. Εν γένει, οι macrocell κυψέλες χωρίζονται σε μικρές και μεγάλες ανάλογα με το αν η απόσταση μεταξύ του χρήστη και της κεραίας είναι μικρότερη από 2 km.

Η εξασθένιση σε macrocell περιβάλλοντα συμβαίνει εξαιτίας των μεγάλων αποστάσεων που διανύει το σήμα κατά την μετάδοσή του. Ακόμη, το σήμα έχει απώλειες λόγω των διαθλάσεων και των ανακλάσεων που υπόκειται κατά την μετάδοσή του στο έδαφος και σε άλλα μεγάλα εμπόδια. Εξαιτίας των δύο παραπάνω στοιχείων είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της περιοχής όπου βρίσκεται μία μακροκυψέλη. Τέτοια γνωρίσματα μπορεί να είναι το μέσο υψόμετρο της περιοχής, το μέγεθος των μεγάλων εμποδίων που μπορεί να βρεθούν στο μονοπάτι μετάδοσης του σήματος καθώς, το ύψος της βλάστησης, κοκ.

Γραφικά, η τοπολογία ενός macrocell περιβάλλοντος απεικονίζεται στην Εικόνα 38. Πιο συγκεκριμένα, αποτελείται από 18 γειτονικές εξαγωνικές κυψέλες.

Περαιτέρω, κάθε κυψέλη μπορεί να διαιρεθεί σε τομείς (sectors). Στις περισσότερες περιπτώσεις συναντώνται τρεις (3) τομείς ανά κυψέλη. Η διαίρεση αυτή καλείται sectorization και χρησιμοποιείται κυρίως για να αυξηθεί η χωρητικότητα των κυψελών ενώ συγχρόνως διευρύνεται η περιοχή κάλυψης υπηρεσιών. Η βελτίωση αυτή είναι αποτέλεσμα της χρήσης πολλών κατευθυντικών κεραιών (directional antennas), που έχουν αυξημένο κέρδος έναντι μίας πολυκατευθυντικής (omni) κεραίας. Πολυκατευθυντικές κεραιές χρησιμοποιούνται κύρια σε μη αστικές περιοχές (στο κέντρο μίας κυψέλης) των οποίων η ακτίνα είναι αρκετά μεγάλη και δεν υπάρχει μεγάλη πυκνότητα χρηστών.

Εικόνα 38. Macrocell περιβάλλον

Στα macrocell περιβάλλοντα οι κεραιές τοποθετούνται κατά κύριο λόγο στις κορυφές κτιρίων και η ισχύς μετάδοσης είναι υψηλή. Μια τυπική τιμή της συνολικής ισχύος ενός Node B σε μία μακροκυψέλη είναι 43 dBm ή διαφορετικά 20 Watt. Η απόσταση μεταξύ των κεραιών (site to site distance) είναι συνήθως 1 km και η ακτίνα μίας μακροκυψέλης είναι 577 m (για την περίπτωση των τριών τομέων ανά κυψέλη) [6].

Όσον αφορά το path loss πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιείται το τροποποιημένο μοντέλο υπολογισμού απωλειών του Okumura-Hata [5]. Ειδικότερα το μοντέλο για τον υπολογισμό του path loss δίνεται από την Εξίσωση 2.

$$L_p(dB) = 40 \cdot (1 - 4 \cdot 10^{-3} \Delta h_b) \log_{10} d - 18 \log_{10} \Delta h_b + 21 \log_{10} f + 80$$

Εξίσωση 2. Μοντέλο υπολογισμού path loss - macrocell

όπου d είναι η απόσταση (σε km) μεταξύ του Node B και του χρήστη, f η συχνότητα φέρουσας (σε MHz) και Δh_b είναι το ύψος (σε m) της κεραίας του Node B από την οροφή ενός μεσαίου ύψους κτιρίου. Τυπικές τιμές για τις προηγούμενες παραμέτρους είναι $\Delta h_b = 15$ m, $f = 2000$ MHz. Έτσι προκύπτει η τελική Εξίσωση 3:

$$L_p(dB) = 128.1 + 37.6 \cdot \log_{10} d$$

Εξίσωση 3. Τύπος υπολογισμού path loss - macrocell

Πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ ορισμένοι χρήστες που βρίσκονται στα όρια της κυψέλης χρειάζονται περισσότερη ισχύ, οι χρήστες που βρίσκονται κοντά στο Node B απαιτούν αρκετά λιγότερη ισχύ. Η διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και τη μέση τιμή του path loss είναι περίπου 6 dB [65].

Ο Πίνακας 6 απεικονίζει τις βασικές παραμέτρους προσομοίωσης για ένα macrocell 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	$L_p(dB) = 128.1 + 37.6 \cdot \log_{10} d$ (Modified Okumura-Hata)

Πίνακας 6. Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης - macrocell

5.9.5.2 Microcell Περιβάλλον

Τα microcell περιβάλλοντα χαρακτηρίζονται από μικρές σε έκταση περιοχές. Αναπτύσσονται κυρίως σε αστικές περιοχές στα κέντρα πόλεων με υψηλή χωρητικότητα. Συγκεκριμένα, ένα microcell περιβάλλον έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Το μέγεθος των κυψελών είναι μικρό. Συνήθως η απόσταση από την κεραία μπορεί να είναι από 0.1 μέχρι 1 km.
- Υπάρχει μεγάλη εξασθένηση του σήματος λόγω ανακλάσεων, διαθλάσεων και περιθλάσεων που υπόκειται το σήμα λόγω των κτιρίων αλλά και εξαιτίας άλλων φαινομένων όπως του wave tunneling μέσα στους δρόμους και της παρεμβολής των κτιρίων.
- Η απαιτούμενη ενέργεια για τη διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι μικρή.
- Το ύψος των κεραιών δεν ξεπερνά το ύψος των ψηλότερων κτιρίων.
- Χαρακτηρίζονται από μικρές τιμές ισχύος εκπομπής.

Γραφικά, η τοπολογία ενός microcell περιβάλλοντος απεικονίζεται στην Εικόνα 39. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το Manhattan Grid περιβάλλον που όπως είναι γνωστό προσομοιώνει καλύτερα τις αστικές περιοχές, ενώ αποτελείται από συνολικά 72 γειτονικές μικροκυψέλες.

Εικόνα 39. Microcell περιβάλλον

Οι διαστάσεις των κτιρίων θεωρείται ότι είναι 75 m πλάτος και 12 m σε μέσο ύψος. Επιπλέον, θεωρείται πως η απόσταση μεταξύ των κτιρίων είναι 90 m και το πλάτος των δρόμων 15 m.

Στα microcell περιβάλλοντα χρησιμοποιούνται πολυκατευθυντικές κεραίες, οι οποίες τοποθετούνται σε ύψος μικρότερο από το ύψος των ψηλότερων κτιρίων, οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερη απομόνωση μεταξύ γειτονικών κυψελών και επομένως σε μικρότερη παρεμβολή. Κατά συνέπεια, ο παράγοντας ορθογωνιότητας είναι μικρότερος (0: τέλεια ορθογωνιότητα) σε ένα microcell σε σχέση με ένα macrocell περιβάλλον. Μια τυπική τιμή της συνολικής ισχύος ενός Node B σε μία μικροκυψέλη είναι 33 dBm ή διαφορετικά 2 Watt. Επιπλέον, λόγω της θέσης των κεραιών, η περιοχή κάλυψής τους είναι μικρότερη συγκριτικά με ένα macrocell περιβάλλον [6].

Αναφορικά με το path loss πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιείται το Walfish-Ikegami μοντέλο υπολογισμού απωλειών [5]. Ειδικότερα το μοντέλο για τον υπολογισμό του path loss δίνεται από την Εξίσωση 4.

$$L = 20 \cdot \log_{10} \frac{4\pi d_n}{\lambda} \quad \text{Εξίσωση 4. Μοντέλο υπολογισμού path loss - microcell}$$

όπου d είναι η απόσταση (σε m) μεταξύ του Node B και του χρήστη. Ειδικότερα, για την περίπτωση του microcell περιβάλλοντος η τελική εξίσωση υπολογισμού path loss δίνεται από την Εξίσωση 5:

$$L_p(dB) = 128.1 + 37.6 \cdot \log_{10} d \quad \text{Εξίσωση 5. Τύπος υπολογισμού path loss - microcell}$$

Ο Πίνακας 7 απεικονίζει τις βασικές παραμέτρους για ένα microcell περιβάλλον.

Παράμετρος	Τιμή
Τύπος κυψελών	Manhattan grid
Πλήθος κυψελών	72
Πλάτος κτιρίου: Πλάτος δρόμου: Απόσταση μεταξύ κτιρίων	75m : 15m : 90m
Απόσταση μεταξύ κεραιών σε ευθεία γραμμή	360m (4 blocks)
Μέγιστη ισχύς εκπομπής	2 Watt (33 dBm)
Ισχύς εκπομπής κοινών καναλιών ελέγχου	0.1 Watt (27 dBm)
Background θόρυβος	-100 dBm
Παράγοντας ορθογωνιότητας (0: τέλεια ορθογωνιότητα)	0.1
Path loss model	$L_p(dB) = 128.1 + 37.6 \cdot \log_{10} d$ (Walfish-Ikegami)

Πίνακας 7. Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης - microcell

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει μια αναλυτική παρουσίαση της ερευνητικής περιοχής του ελέγχου ισχύος σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Επίσης, θα αναφερθούν λεπτομερειακά οι εργασίες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής και θα παρουσιαστούν τα σημεία εκείνα τα οποία διαφοροποιούν τους μηχανισμούς ή τεχνικές που αναπτύχθηκαν στις εν λόγω εργασίες με τους αντίστοιχους μηχανισμούς ή τεχνικές που προτείνονται στην παρούσα διδακτορική διατριβή.

Για λόγους ορθότερης παρουσίασης των σχετικών εργασιών θα χωρίσουμε την ερευνητική περιοχή της παρούσας διδακτορικής διατριβής σε τρεις υποπεριοχές οι οποίες και παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια.

- Κατανομή ισχύος καναλιών πολυεκπομπής⁴,
- Τεχνικές μείωσης ισχύος,
- Μηχανισμοί επιλογής καναλιών πολυεκπομπής.

Ωστόσο, για λόγους ευκολότερης ανάγνωσης, μια σχετικά συνοπτική περιγραφή των σχετικών εργασιών θα παρουσιάζεται στη συνέχεια σε κάθε κεφάλαιο της παρούσας διατριβής.

6.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ

Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστούν ποικίλες αναφορές και ερευνητικά αποτελέσματα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία σχετικά με την κατανομή ισχύος των καναλιών πολυεκπομπής κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών.

Η άποψη που έχει κυριαρχήσει σχετικά με την υποστήριξη multicast μετάδοσης είναι η χρησιμοποίηση των υπαρχόντων καναλιών μεταφοράς με μικρές διαφοροποιήσεις. Τα κανάλια μεταφοράς του UMTS και της τεχνολογίας HSPA που είναι διαθέσιμα στο downlink 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, αυτό εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών του multicast group, τον τύπο υπηρεσίας καθώς και από την ποιότητα υπηρεσιών 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 σταθμού βάσης και η παρεμβολή. Με βάση τα παραπάνω μπορούν να τεθούν δύο σημαντικά ερωτήματα:

- Μπορεί πράγματι ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών, για έναν ορισμένο αριθμό χρηστών ένα κανάλι πολυεκπομπής να έχει μικρότερες απαιτήσεις σε

⁴ Ως κανάλια πολυεκπομπής ορίζονται τα κανάλια μεταφοράς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση multicast δεδομένων.

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;

Το Κεφάλαιο 7 θα επιχειρήσει να δώσει απαντήσεις στα δύο αυτά ερωτήματα. Έτσι, αντικείμενο του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι η μελέτη της κατανομή ισχύος για τα διαθέσιμα κανάλια πολυεκπομπής καθώς και η εύρεση του ιδανικού σημείου εναλλαγής μεταξύ τους.

Στο Κεφάλαιο 7 αρχικά θα πραγματοποιηθεί μελέτη για την κατανομή ισχύος του καναλιού FACH. Το FACH κανάλι υποστηρίζει μόνο open loop power control ή σταθερή ποσότητα ισχύος και όχι fast power control, αφού δεν υπάρχει κάποιο κανάλι επιστροφής (feedback channel) [74]. Επίσης, σύμφωνα με τις εργασίες [57] και [69], 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.

Έτσι, σύμφωνα με την εργασία [33] το 40% περίπου της συνολικής ισχύος ενός σταθμού βάσης πρέπει να ανατεθεί σε μια 64 Kbps MBMS υπηρεσία εάν απαιτείται πλήρης κάλυψη της κυψέλης. Αντίστοιχα, για την πλήρη κάλυψη μίας κυψέλης με μία 128 Kbps υπηρεσία θα πρέπει να ανατεθεί περίπου το 80% της συνολικής ισχύος του Node B. Ωστόσο, αναθέτοντας μεγάλο ποσοστό ισχύος για το FACH προκύπτει σπατάλη ισχύος, μείωση της αποδοτικότητας και αύξηση της παρεμβολής. Αντίθετα, η ανάθεση μικρότερου ποσοστού ισχύος οδηγεί σε υψηλό ρυθμό σφαλμάτων σε συγκεκριμένες περιοχές της κυψέλης και κατά συνέπεια σε μείωση της συνολικής κάλυψης της κυψέλης και σε επιπλέον σπατάλη πόρων για τη διόρθωση των σφαλμάτων [59]. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει πως η μετάδοση MBMS υπηρεσιών με το FACH μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα απαιτητική από τη στιγμή που η συνολική χωρητικότητα του συστήματος προσδιορίζεται από τους πόρους ισχύος. Σε κάθε περίπτωση, η χρήση ενός FACH αποτελεί μια λύση για την υλοποίηση του multicasting στο UMTS. Από τη στιγμή μάλιστα που υπάρχει ανάγκη για 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 τόσο στους άλλους χρήστες της συγκεκριμένης κυψέλης όσο και στις γειτονικές κυψέλες.

Από την άλλη μεριά 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. Έτσι, στο Κεφάλαιο 7 θα προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε το ποσοστό της ισχύος που πρέπει να ανατεθεί από το Node B για τους χρήστες που χρησιμοποιούν τα DCHs τόσο σε macrocell όσο και σε microcell περιβάλλοντα ως συνάρτηση:

- Του αριθμού των χρηστών που εξυπηρετούνται από το Node B.
- Της απόστασής των χρηστών από το σταθμό βάσης.
- Του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων από το σταθμό βάσης.
- Του απαιτούμενου E_b/N_0 για κάθε χρήστη.

Αναλυτική παρουσίαση του τρόπου και του βαθμού που οι παραπάνω παράμετροι επηρεάζουν την ισχύ εκπομπής του σταθμού βάσης όταν ο τελευταίος χρησιμοποιεί πολλαπλά DCHs για την εξυπηρέτηση των χρηστών παρουσιάζεται στις εργασίες [46] και [47]. Από τις δύο αυτές εργασίες μπορεί να παρατηρηθεί πως η χρήση DCHs μπορεί ανάλογα με τον αριθμό των χρηστών να έχει χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος από το FACH. Επομένως, σε ορισμένες περιπτώσεις και χωρίς αυτές να αποτελούν τον κανόνα, το DCH μπορεί να είναι πιο αποδοτικό κανάλι μεταφοράς από άποψη κατανάλωσης ισχύος για τη μετάδοση των MBMS δεδομένων συγκριτικά με το FACH.

Το HS-DSCH είναι ένα διαμοιραζόμενο κανάλι μεταφοράς και δε διαθέτει έλεγχο ισχύος αλλά έλεγχο ρυθμού. Πρόκειται δηλαδή για ένα rate-controlled και όχι power-controlled κανάλι. Στο Κεφάλαιο 7 θα αναλυθούν οι δύο μέθοδοι ανάθεσης ισχύος που υποστηρίζει το HS-DSCH, ενώ παράλληλα, θα προταθεί ένας αποδοτικός, δυναμικά προσαρμοζόμενος τρόπος κατανομής ισχύος για το κανάλι HS-DSCH που εξασφαλίζει βέλτιστο έλεγχο ισχύος.

Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως η ισχύς που ανατίθεται στο HS-DSCH κανάλι έχει ως κάτω όριο τα 2 Watt, ίση δηλαδή με την ισχύ του Common Pilot Channel (CPICH). Ειδικότερα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα επίπεδο ισχύος 3 Watt ή ένα επίπεδο ισχύος 7 Watt [64]. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την εργασία [76] η ισχύς που πρέπει να ανατεθεί από το Node B για το HS-DSCH είναι σταθερή και κυμαίνεται από 3 έως 9 Watt. Έτσι, κατά την εξυπηρέτηση των χρηστών με μία MBMS υπηρεσία, το HS-DSCH μπορεί να εξασφαλίσει σημαντικούς πόρους ισχύος στους σταθμούς βάσης.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να πούμε πως ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών, για έναν ορισμένο αριθμό χρηστών ένα κανάλι μπορεί να έχει μικρότερες απαιτήσεις σε ισχύ από ένα άλλο ενώ για ένα διαφορετικό αριθμό χρηστών να ισχύει το αντίστροφο. Επομένως, θα πρέπει να βρεθούν τα κατάλληλα σημεία εναλλαγής μεταξύ των διαθέσιμων για MBMS καναλιών μεταφοράς.

Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες και προσομοιώσεις οι οποίες εστιάζουν στο όριο εναλλαγής μεταξύ αφιερωμένων και κοινών καναλιών προκειμένου να εξοικονομηθούν πόροι ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών. Στην εργασία [74] υποστηρίζεται ότι για ένα FACH με ισχύ μετάδοσης 4 Watt, το σημείο εναλλαγής από πολλαπλά DCHs σε ένα FACH είναι περίπου 7 χρήστες ανά κυψέλη, ενώ στην εργασία [89] το αντίστοιχο όριο εναλλαγής είναι 5 χρήστες. Ωστόσο, μόνο η πληροφορία για τον αριθμό χρηστών σε μία κυψέλη δεν είναι επαρκής για την επιλογή του κατάλληλου καναλιού μεταφοράς στη συγκεκριμένη κυψέλη. Για την απόφαση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η συνολική ισχύς που απαιτείται σε κάθε μία περίπτωση. Μια ενδιαφέρουσα εργασία υπό αυτές τις προϋποθέσεις παρουσιάζεται στην εργασία [53], στην οποία προτείνεται το σημείο εναλλαγής (βασισμένο στην κατανάλωση ισχύος) μεταξύ DCHs και FACH να είναι 5 χρήστες.

Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί πως καμία από τις παραπάνω εργασίες δε λαμβάνει υπόψη την τεχνολογία HSDPA για τη μετάδοση των MBMS δεδομένων. Η τεχνολογία HSDPA είναι μια τεχνολογία που αποδεδειγμένα μπορεί να εμπλουτίσει το MBMS με ευρυζωνικά χαρακτηριστικά. Παράλληλα, η εισαγωγή του HS-DSCH ως κανάλι για τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών μπορεί να αλλάξει δραματικά τα παραπάνω σημεία εναλλαγής. Στόχος του Κεφαλαίου 7 είναι επομένως ο προσδιορισμός των σημείων εναλλαγής όλων των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς,

στόχος που με τη σειρά του θα εξασφαλίσει μειωμένη κατανάλωση ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών.

6.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Για την επιτυχή υποστήριξη του MBMS από το UMTS, επιβάλλεται η μείωση της κατανάλωσης ισχύος δεδομένου ότι οι απαιτήσεις σε ισχύ των MBMS υπηρεσιών είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι/τεχνικές προς αυτή την κατεύθυνση, ωστόσο, στο Κεφάλαιο 8 εξετάζονται έξι από αυτές, οι οποίες είναι οι:

- Η τεχνική Dynamic Power Setting (DPS). Υποθέτει ότι χρησιμοποιώντας την πληροφορία του path loss των MBMS χρηστών σε μία κυψέλη μπορεί να προσαρμοστεί η ισχύς εκπομπής του FACH με βάση το «χειρότερο» χρήστη και επομένως το FACH δε θα πρέπει αναγκαστικά να καλύπτει ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης. Έτσι, εάν το path loss των χρηστών είναι κατά κάποιο τρόπο γνωστό στο σταθμό βάσης, η ισχύς εκπομπής του FACH δε χρειάζεται να καλύπτει ολόκληρη την κυψέλη, αλλά μόνο την περιοχή όπου βρίσκονται χρήστες που ζητούν την MBMS υπηρεσία [31], [34], [58]. Η τεχνική DPS μπορεί να εξοικονομήσει στο σταθμό βάσης έως και 3.1 Watt (ή 15.5% των συνολικών πόρων ισχύος) κατά την μετάδοση της 32 Kbps υπηρεσίας. Το αντίστοιχο κέρδος ισχύος αυξάνεται στα 6.2 Watt (ή 31% των συνολικών πόρων ισχύος) για μία 64 Kbps υπηρεσία και στα 13.4 Watt (67% των συνολικών πόρων ισχύος) για μία 128 Kbps MBMS υπηρεσία.
- Η τεχνική Longer TTI and Space Diversity (LTTI). Ένας εναλλακτικός τρόπος για τον περιορισμό της ισχύος στην περίπτωση που δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιος αλγόριθμος ελέγχου ισχύος είναι η χρήση των τεχνικών interleaving και transmit diversity. Με αυτές τις τεχνικές αυξάνεται το λαμβανόμενο E_b/N_0 και έτσι απαιτείται λιγότερη ισχύς. Πιο συγκεκριμένα, κάνοντας χρήση μεγαλύτερου TTI (από τα 20 στα 80 ms) και transmit diversity (π.χ. της τεχνικής Space Time Transmit Diversity - STTD) μπορεί να υπάρξει κέρδος ισχύος κατά τις μεταδόσεις με το FACH που φτάνει μέχρι και τα 6.5 dB [26], [29], [30].
- Η τεχνική Macro Diversity Combining (MDC). Η κύρια ιδέα γύρω από αυτή την τεχνική 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. Ωστόσο, η εφαρμογή της τεχνικής αυτής μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση που τα επίπεδα ισχύος ενός συγκεκριμένου Node B είναι υψηλά, ενώ αντίστοιχα τα επίπεδα ισχύος των γειτονικών Node Bs είναι χαμηλά [53].
- Η τεχνική Rate Splitting (RS). Προϋποθέτει ότι η ροή των MBMS δεδομένων είναι βαθμωτή και επομένως μπορεί να χωριστεί σε περισσότερες ροές με διαφορετικά QoS χαρακτηριστικά. Από τις ροές αυτές, μόνο η σημαντικότερη 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 βρίσκονται κοντά στο Node B

μπορούν να τις λάβουν για να βελτιώσουν την ποιότητα της βασικής MBMS ροής. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής μπορεί να εξασφαλίσει 1.8 Watt (ή 9%) των πόρων ισχύος ενός σταθμού βάσης [31].

- Η τεχνική Mixed usage of DCHs and FACH (MDF). Η συνδυασμένη χρήση αφιερωμένων και κοινών καναλιών μπορεί να επιφέρει μια μείωση στην εκπεμπόμενη ισχύ του Node B. Στην περίπτωση που ο αριθμός και η θέση των χρηστών μπορούν να ανιχνευτούν από το σταθμό βάσης, μπορεί να επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος καναλιού (για μικρό αριθμό χρηστών χρήση αφιερωμένων καναλιών και για μεγάλο αριθμό χρηστών κοινό κανάλι). Ωστόσο, η διαφορά στην κατανάλωση ισχύος όταν χρησιμοποιείται μόνο FACH κανάλι και όταν χρησιμοποιείται συνδυασμός FACH και DCH καναλιών μειώνεται όσο αυξάνεται το πλήθος των χρηστών. Σύμφωνα με την εργασία [32], η συνδυασμένη χρήση αφιερωμένων και κοινών καναλιών παρέχει μικρή βελτίωση και είναι αποδοτική μόνο για μικρό πλήθος χρηστών (μικρότερο των 5).
- Η τεχνική Efficient Channel Selection (ECS). Σαν τεχνική έχει προκαλέσει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας. Σχετίζεται με την επιλογή του πιο αποδοτικού από άποψη ισχύος καναλιού μεταφοράς για τη μετάδοση μίας MBMS συνόδου. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, αν ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ισχύ εκπομπής του σταθμού βάσης 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. Βέβαια, η τεχνική αυτή προϋποθέτει πως τα σημεία εναλλαγής μεταξύ των διαθέσιμων καναλιών έχουν προκαθοριστεί με ακρίβεια [46], [47].

Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως στο Κεφάλαιο 8 εξετάζεται εκτός από τις παραπάνω τεχνικές και η απόδοση της συνδυασμένης/ταυτόχρονης χρήσης τους. Όπως θα φανεί, η ταυτόχρονη εφαρμογή των τεχνικών μείωσης ισχύος μπορεί να εξασφαλίσει ακόμα μικρότερη κατανάλωση ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών.

Παράλληλα, το Κεφάλαιο 8 κάνει μία πρώτη αναφορά στον τρόπο με τον οποίο το 3GPP έχει προτείνει να λαμβάνει χώρα η εναλλαγή μεταξύ των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς. Συγκεκριμένα, 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» [23]. Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει τη μετάδοση ενός μόνο καναλιού μεταφοράς (PTP ή PTM) σε μία κυψέλη κάθε χρονική στιγμή, ενώ η απόφαση σχετικά με όριο εναλλαγής μεταξύ των καναλιών λαμβάνεται από τον κόμβο RNC και βασίζεται αποκλειστικά στον αριθμό των MBMS χρηστών που εξυπηρετούνται.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι για τον υπολογισμό του σημείου εναλλαγής, το 3GPP δεν έχει λάβει υπόψη τις διαθέσιμες τεχνικές μείωσης ισχύος καθώς και την τεχνολογία HSDPA. Η ενσωμάτωση στο MBMS των συγκεκριμένων τεχνικών όσο και της τεχνολογίας HSDPA τονίζει την ανάγκη για τον καθορισμό νέων, πιο ρεαλιστικών σημείων εναλλαγής. Ο καθορισμός των νέων αυτών σημείων εναλλαγής μαζί με τη μελέτη και αξιολόγηση των τεχνικών μείωσης ισχύος αποτελούν το βασικό στόχο του Κεφαλαίου 8.

6.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ

Ως μηχανισμοί επιλογής καναλιών πολυεκπομπής αναφέρονται οι μηχανισμοί εκείνοι που είναι υπεύθυνοι για την εναλλαγή μεταξύ των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών. Από το 3GPP έχουν προταθεί τρεις τέτοιοι μηχανισμοί κάθε ένας από τους οποίους έχει διαφορετική λειτουργία και απόδοση.

Αναλυτικά, από το 3GPP έχουν προταθεί οι ακόλουθοι μηχανισμοί:

- Μηχανισμός «MBMS Counting Mechanism (TS 25.346)» [23]. Ο μηχανισμός TS 25.346 αποτελεί την επικρατέστερη και πιο διαδεδομένη προσέγγιση για εναλλαγή μεταξύ των PTM (δηλαδή του FACH) και PTP (πολλαπλά DCHs) καναλιών μεταφοράς. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην απλότητα εφαρμογής και λειτουργίας του. Σύμφωνα με αυτόν τον μηχανισμό, ένα μόνο κανάλι μεταφοράς (PTP ή PTM) μπορεί να μεταδίδεται σε μία κυψέλη κάθε χρονική στιγμή. Η απόφαση σχετικά με όριο εναλλαγής μεταξύ των PTP και PTM καναλιών εξαρτάται από τον εκάστοτε πάροχο MBMS υπηρεσιών, αν και συνίσταται το όριο αυτό να βασίζεται στον αριθμό των MBMS χρηστών που εξυπηρετούνται. Έτσι, όταν ο αριθμός χρηστών σε μία κυψέλη υπερβεί το προκαθορισμένο όριο θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μία εναλλαγή από PTP σε PTM κανάλια.
- Μηχανισμός «MBMS PTP/PTM Switching Algorithm (TR 25.922)» [4]. Ο μηχανισμός αυτός, όπως και ο TS 25.346, υποθέτει ότι κάθε χρονική στιγμή σε μία κυψέλη μπορεί να μεταδίδεται ένα μόνο κανάλι μεταφοράς. Ωστόσο, αντίθετα με τον TS 25.346, για την επιλογή του καταλληλότερου καναλιού μεταφοράς ακολουθεί μια προσέγγιση που βασίζεται στην ισχύ. Απώτερος στόχος του μηχανισμού αυτού είναι η ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων ισχύος του σταθμού βάσης κατά τη διάρκεια των MBMS μεταδόσεων. Παράλληλα, ο TR 25.922 επιτρέπεται εκτός από τη χρήση του DCH καναλιού μεταφοράς και η χρήση του HS-DSCH. Έτσι, κάθε χρονική στιγμή συγκρίνεται η στάθμη ισχύος των PTP (DCH ή HS-DSCH) και των PTM (FACH) καναλιών πολυεκπομπής και επιλέγεται η περίπτωση που εξασφαλίζει τις χαμηλότερες απαιτήσεις σε ισχύ.
- Μηχανισμός που προτάθηκε στο 3GPP TSG-RAN R1-021240 [32]. Ο τρόπος λειτουργίας του μηχανισμού αυτού στηρίζεται στην τεχνική μείωσης ισχύος MDF. Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση, το FACH χρησιμοποιείται για να καλύψει το εσωτερικό τμήμα μίας κυψέλης και παρέχει την υπηρεσία MBMS στους χρήστες που βρίσκονται σε αυτό το τμήμα. Οι χρήστες που βρίσκονται στο εξωτερικό τμήμα της κυψέλης εξυπηρετούνται με τη χρήση πολλαπλών DCHs. Κατά τον τρόπο αυτό, η συνολική κατανάλωση ισχύος, συμπεριλαμβανομένου του FACH και των αφιερωμένων καναλιών, είναι το άθροισμα της ισχύος που απαιτεί το FACH για να καλύψει το εσωτερικό τμήμα της κυψέλης και της ισχύος που απαιτείται ώστε να εξυπηρετηθούν οι χρήστες στο εξωτερικό τμήμα της κυψέλης με DCHs.

Βέβαια, κάθε ένας από τους μηχανισμούς που έχει προτείνει το 3GPP επιφέρει και ορισμένα μειονεκτήματα. Έτσι, ο μηχανισμός TS 25.346 δεν λαμβάνει υπόψη την κινητικότητα και την τρέχουσα θέση των χρηστών και επομένως δεν αποτελεί μία

ρεαλιστική προσέγγιση. Ο μηχανισμός TR 25.922 δεν υποστηρίζει την τεχνική DPS κατά τις μεταδόσεις με το FACH με αποτέλεσμα όταν χρησιμοποιείται το FACH, θα πρέπει να καλύπτει ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης, γεγονός που σε γενικές γραμμές οδηγεί σε σπατάλη των περιορισμένων πόρων ισχύος. Τέλος, ο μηχανισμός που προτάθηκε στο 3GPP TSG-RAN R1-021240 δεν υποστηρίζει την τεχνολογία HSDPA (δεδομένου ότι δεν υποστηρίζει μεταδόσεις με το κανάλι HS-DSCH), μία τεχνολογία που αποδεδειγμένα μπορεί να εμπλουτίσει το MBMS με ευρυζωνικά χαρακτηριστικά.

Λαμβάνοντας υπόψη τα μειονεκτήματα των προαναφερθέντων μηχανισμών επιλογής καναλιών πολυεκπομπής, στόχος του Κεφαλαίου 9 είναι να προτείνει ένα βελτιωμένο, πιο αποδοτικό μηχανισμό. Ο μηχανισμός που προτάθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής ονομάζεται MBMS Channel Assignment Mechanism (MCAM). Η λογική του MCAM βασίζεται στην επιλογή του καναλιού μεταφοράς ή στην επιλογή του συνδυασμού καναλιών μεταφοράς (PTP ή/και PTM) που εξασφαλίζει τις μικρότερες απαιτήσεις σε ισχύ. Έτσι, ο MCAM αναθέτει δυναμικά το καταλληλότερο κανάλι μεταφοράς ή τον καταλληλότερο συνδυασμό καναλιών μεταφοράς, με απώτερο σκοπό τον αποδοτικότερο έλεγχο των πόρων ισχύος ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Σε αντίθεση με τις 3GPP προσεγγίσεις, ο MCAM επεκτείνει το πλήθος των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς με την ενσωμάτωση του καναλιού HS-DSCH. Παράλληλα, η υποστήριξη της MIMO τεχνικής (η οποία δεν υποστηρίζεται από κανέναν άλλο μηχανισμό) για το κανάλι αυτό μπορεί να βελτιώσει ακόμη περισσότερο την απόδοση του μηχανισμού. Ωστόσο, το πιο αξιοσημείωτο πλεονέκτημα του MCAM είναι ότι διαφοροποιείται ουσιαστικά από τις 3GPP προσεγγίσεις δεδομένου ότι προσαρμόζεται στις απαιτήσεις των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς για ταυτόχρονη παροχή πολλαπλών πολυμεσικών συνόδων. Επομένως, ο νέος αυτός μηχανισμός μπορεί να επιτρέψει τη μαζική μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων σε πληθώρα κινητών χρηστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΚΑΤΑΝΟΜΗ
ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ
ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ

Το κεφάλαιο αυτό είναι αφιερωμένο 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.

7.1 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 8 παρουσιάζει τυπικές τιμές της κατανομής ισχύος για τα κοινά αυτά κανάλια στην περίπτωση ενός macrocell περιβάλλοντος [65].

Όπως μπορεί να φανεί από τον πίνακα αυτόν, 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 [33], [65].

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 8. Τιμές ισχύος για κοινά κανάλια [65]

7.2 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 [14]. Ο Πίνακας 9 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 9. Χρήσιμη ορολογία

7.2.1 Geometry Factor

Ο λόγος *CNIR* (carrier to noise and interference ratio) ή Geometry Factor (*G*) όπως αποκαλείται διαφορετικά, δίνεται από τη σχέση: $CNIR = G = \frac{\hat{I}_{or}}{I_{oc} + N_t}$.

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 40. 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 40, για την περίπτωση τόσο του macrocell όσο και του microcell. Ο Πίνακας 10 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 10. Αντίστοιχία περιοχής κάλυψης και τιμής G

7.2.2 Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio

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, όπως παρουσιάστηκε και στην ενότητα 4.2.1 [64]. Η τιμή του $SINR$ για ένα single-antenna Rake receiver υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 6.

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

Εξίσωση 6. 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 ($p = 0$ 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 41 [64].

Εικόνα 41. Πραγματική ρυθμοαπόδοση κυψέλης ανάλογα με το $SINR$

Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 41, 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 κωδικών, δηλαδή 15. Εναλλακτικά, μπορεί να ειπωθεί ότι όσο οι HS-PDSCH κωδικοί αυξάνονται, για την επίτευξη μίας συγκεκριμένης ρυθμοαπόδοσης απαιτείται μικρότερη τιμή $SINR$.

7.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΟ FACH

Το FACH κανάλι υποστηρίζει μόνο open loop power control ή σταθερή ποσότητα ισχύος και όχι fast power control, αφού δεν υπάρχει κάποιο κανάλι επιστροφής (return/feedback channel) [74].

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 (fixed) 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 [57], [69].

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 [59].

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.

7.3.1 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 3.4).

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_{or} . Η σχέση αυτή, υποδεικνύει την ισχύ που πρέπει να κατανεμηθεί για μία MBMS υπηρεσία ώστε να επιτευχθεί μία συγκεκριμένη τιμή BLER στο δέκτη-χρήστη.

E_c/I_{or}	%Tx	E_c/I_{or}	%Tx	E_c/I_{or}	%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 11. Μετατροπή E_c/I_{or} (dB) σε ποσοστό εκπεμπόμενης ισχύος (%)

Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει τη σχέση ανάμεσα στην τιμή του E_c/I_{or} και του ποσοστού εκπεμπόμενης ισχύος από το Node B [26].

Ακολουθώντας, παρουσιάζεται η απόδοση του S-CCPCH (σχέση μεταξύ BLER και E_c/I_{or}) για τα μοντέλα κινητικότητας Pedestrian B, Vehicular A και Case 2 τα οποία περιγράφονται στις αναφορές [6], [7] 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 12 παρουσιάζει τις βασικές παραμέτρους της μελέτης προσομοίωσης μόνο για την περίπτωση ενός macrocell περιβάλλοντος. Φυσικά, αντίστοιχες τιμές παραμέτρων υπάρχουν και για την περίπτωση ενός microcell περιβάλλοντος, ωστόσο δεν αναφέρονται.

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 (Ior/Ioc)	-3 dB, -6 dB
Channel estimation	Enabled
Power Control	Disabled
Channel	Case 2, 3 km/h [7] Pedestrian B, 3 km/h [7] Vehicular-A. 3 km/h [6]

Πίνακας 12. Πίνακας παραμέτρων για 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 TTI και η χρήση ή όχι τεχνικών diversity (όπως παραδείγματος χάριν η STTD). 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 [26], [75]. 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 ισχύος όταν μεταδίδονται MBMS υπηρεσίες σε ένα FACH κανάλι μεταφοράς, ενώ στη συνέχεια, περιγράφεται η σχέση μεταξύ της περιοχής κάλυψης και της εκπεμπόμενης ισχύος.

7.3.1.1 Σχέση Εκπεμπόμενης Ισχύος FACH και BLER

Η Εικόνα 42 και η Εικόνα 43 παρουσιάζουν την σχέση ανάμεσα στο BLER και στην εκπεμπόμενη ισχύ (εκφραζόμενη ως E_c/I_{or}) για 95% κάλυψη και για τα Vehicular A (3 km/h) και Pedestrian B (3 km/h) κανάλια αντίστοιχα [82]. 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.

Εικόνα 42. BLER σε συνάρτηση με το E_c/I_{or} (Vehicular A, 3 km/h, $G=-6$ dB)

Εικόνα 43. BLER σε συνάρτηση με το E_c/I_{or} (Pedestrian B, 3 km/h, $G=-6$ dB)

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.

7.3.1.2 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 44 απεικονίζει τα επίπεδα ισχύος για διαφορετικά ποσοστά κάλυψης μίας μακροκυψέλης για Vehicular A (3 km/h), χωρίς να λαμβάνεται υπόψη κάποια τεχνική diversity [26], [53].

Εικόνα 44. Ποσοστό ισχύος σε συνάρτηση με την 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 13. 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	-6 dB	34.7%	19.5%
32 Kbps	80 ms	-6 dB	20.9%	14.5%
64 Kbps	20 ms	-6 dB	66.1%	37.2%
64 Kbps	80 ms	-6 dB	38.0%	26.3%

Πίνακας 14. 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 15. 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_{0f} για διαφορετικά TTI και με χρήση ή χωρίς STTD στην Εικόνα 45.

Εικόνα 45. BLER σε σχέση με E_c/I_{or} - Pedestrian B 3 km/h

7.3.2 Soft και Selection Combining

Ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να συμβάλλει 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 combining, οι soft combining και selection combining τα οποία 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 κυνέλη ξεχωριστά και σε κάθε TTI επιλέγει κάποιο (εάν υπάρχουν) από τα σωστά αποκωδικοποιημένα block δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία στα υψηλότερα επίπεδα.

Ο Πίνακας 16 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 κυνέλης, BLER 1% και για το μοντέλο Vehicular A, 3 km/h [26].

Κάλυψη @ 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 16. Απαιτούμενη ισχύς με και χωρίς soft combining Vehicular A

7.3.3 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 [69], [74].

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 [65].

7.4 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 απόστασή 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 7 υπολογίζει τη συνολική ισχύ που ανατίθεται από το Node B για όλους τους DCH χρήστες, ενώ η Εξίσωση 8 την ισχύ που ανατίθεται από το Node B ξεχωριστά για ένα μόνο DCH χρήστη [77].

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

Εξίσωση 7. Συνολική ισχύς για DCH χρήστες

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

Εξίσωση 8. 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 [65].

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 9.

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

Εξίσωση 9. 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 [77].

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.

7.4.1 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. Οι βασικές παράμετροι ενός macrocell περιβάλλοντος παρουσιάζονται στην παράγραφο 5.9.5.1.

7.4.1.1 Σχέση DCH Ισχύος και Απόστασης από το Node B

Στην Εικόνα 46 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 46. Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και απόστασης από το Node B

Υπενθυμίζεται, ότι όπως παρουσιάζει ο Πίνακας 6 (παράγραφος 5.9.5.1), 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.

7.4.1.2 Σχέση DCH Ισχύος και E_b/N_0

Παρόμοια, η Εικόνα 47 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 47. Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και E_b/N_0

7.4.1.3 Σχέση DCH Ισχύος και Ρυθμού Μετάδοσης

Η Εικόνα 48 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 48. Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και ρυθμού μετάδοσης

7.4.1.4 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 P_T σύμφωνα με την Εξίσωση 9.

Η Εικόνα 49 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 49. Macrocell - Σχέση DCH ισχύος και εκπεμπόμενης ισχύος γειτονικών κυψελών

7.4.2 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.

Οι βασικές παράμετροι ενός microcell περιβάλλοντος παρουσιάζονται στην παράγραφο 5.9.5.2.

7.4.2.1 Σχέση DCH Ισχύος και Απόστασης από το Node B

Στην Εικόνα 50 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 κατανεμηθεί 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 50. Microcell - Σχέση DCH ισχύος και απόστασης από το Node B

7.4.2.2 Σχέση DCH Ισχύος και E_b/N_0

Η Εικόνα 51 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 51. Microcell - Σχέση DCH ισχύος και E_b/N_0

7.4.2.3 Σχέση DCH Ισχύος και Ρυθμού Μετάδοσης

Παρόμοια, η Εικόνα 52 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 52. Microcell - Σχέση DCH ισχύος και ρυθμού μετάδοσης

7.4.2.4 Σχέση DCH Ισχύος και Εκπεμπόμενης Ισχύος Γειτονικών Κυψελών

Η Εικόνα 53 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 53. Microcell - Σχέση DCH ισχύος και εκπεμπόμενης ισχύος γειτονικών κυψελών

7.5 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 [55], [78].

7.5.1 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 54) 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 54 [64].

Εικόνα 54. Μέθοδος μεταβλητής ανάθεσης HS-DSCH ισχύος

Στη δεύτερη μέθοδο ανάθεσης ισχύος (Εικόνα 55) 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) [64]. Γενικά, η ισχύς που ανατίθεται από το Node B είναι σταθερή και κυμαίνεται από 3 έως 9 Watt [64], [65], [76].

Εικόνα 55. Μέθοδος σταθερής ανάθεσης HS-DSCH ισχύος

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι ο έλεγχος ρυθμού (rate control) πραγματοποιείται μέσω της διαδικασίας Link Adaptation (ή rate adaptation) και της χρήσης των τεχνικών AMC και HARQ. Το Node B καθορίζει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων βασισμένο στην τιμή της παραμέτρου Channel Quality Indicator (CQI) που εκπέμπει κάθε τερματικό χρήστη στο uplink κανάλι ελέγχου που συσχετίζεται με το HS-DSCH. Ο ρυθμός αυτός προσαρμόζεται τροποποιώντας το σχήμα διαμόρφωσης και τον αριθμό των HS-PDSCH κωδίκων [64], [75].

7.5.2 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 διδακτορικής διατριβής 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 7.2.

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

1. Αρχικά, πρέπει να οριστεί η απαιτούμενη MBMS ρυθμοαπόδοση 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 ρυθμοαπόδοση πρέπει να καθοριστεί η τιμή του $SINR$ που αντιστοιχεί στη ρυθμοαπόδοση αυτή με βάση την Εικόνα 41. 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 10 [64].

$$P_{HS-DSCH} \geq SINR[p - G^{-1}] \frac{P_{own}}{SF_{16}} \quad \text{Εξίσωση 10. Υπολογισμός HS-DSCH ισχύος}$$

Σε κάθε περίπτωση, ωστόσο, η ισχύς που ανατίθεται στο HS-DSCH κανάλι δε μπορεί να είναι μικρότερη από τα 2 Watt (33 dBm), 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 [45], [46], [47], [51].

7.5.3 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 56. Διάγραμμα (M, N) MIMO συστήματος

Αποδεικνύεται ότι η χωρητικότητα καναλιού ενός συστήματος κεραίας που χρησιμοποιεί M κεραίες μετάδοσης και N κεραίες λήψης (Εικόνα 56) είναι περίπου $n = \min(M, N)$ φορές μεγαλύτερη από το σύστημα απλής κεραίας για καθορισμένο εύρος ζώνης και καθορισμένη συνολική ισχύ μετάδοσης [63], [80].

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 [91]. Πιο συγκεκριμένα, όταν υποστηρίζεται η MIMO τεχνική, διαφορετικές ροές MBMS δεδομένων αποστέλλονται ταυτόχρονα από κάθε μία από τις κεραίες.

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 57. Μεταγενέστερες, βέβαια, φάσεις του LTE προβλέπεται ότι θα υποστηρίζουν MIMO 4x4 κεραίες.

Εικόνα 57. 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 [68]. 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.

7.6 ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ

Στις γραφικές που θα ακολουθήσουν απεικονίζονται οι στάθμες ισχύος των καναλιών πολυεκπομπής DCH, FACH και HS-DSCH κατά τη μετάδοση μίας MBMS υπηρεσίας για τις περιπτώσεις των macro και microcell περιβαλλόντων. Στόχος της παράλληλης αυτής σχεδίασης είναι να καθοριστεί το αποδοτικότερο από άποψη κατανάλωσης ισχύος κανάλι μεταφοράς για τη μετάδοση των MBMS δεδομένων [46].

Οι βασικές παράμετροι προσομοίωσης για τις περιπτώσεις του macrocell και του microcell είναι αυτές που αναφέρει ο Πίνακας 6 και ο Πίνακας 7 αντίστοιχα, ενώ αναφέρουμε πως για τις περιπτώσεις του HS-DSCH και του FACH επιλέγεται η μέθοδος σταθερής ανάθεσης ισχύος.

7.6.1.1 Απόδοση στο Macrocell Περιβάλλον

Όπως έγινε κατανοητό από τις προηγούμενες παραγράφους του συγκεκριμένου κεφαλαίου, η ισχύς του Node B που απαιτείται για τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι η απόσταση των χρηστών από το σταθμό βάσης, ο ρυθμός μετάδοσης της MBMS υπηρεσίας καθώς και το κανάλι πολυεκπομπής που χρησιμοποιείται. Η παράγραφος αυτή παρουσιάζει αποτελέσματα προσομοίωσης προκειμένου να συγκριθεί η ισχύς που απαιτείται με τα κανάλια DCH, FACH και HS-DSCH για την μετάδοση μίας MBMS υπηρεσίας σε μία macrocell κυψέλη στο σύστημα.

Εικόνα 58. Macrocell - Ισχύς καναλιών πολυεκπομπής συναρτήσει της απόστασης από το Node B

Συγκεκριμένα, στην Εικόνα 58 εμφανίζονται οι στάθμες ισχύος των καναλιών πολυεκπομπής συναρτήσει του αριθμού των UEs για διαφορετικές κατανομές UEs. Σύμφωνα με την Εικόνα 58 και την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παράγραφο 7.4, για την περίπτωση του DCH, όσο πιο μακριά από το σταθμό βάσης βρίσκονται οι χρήστες τόσο περισσότερη ισχύς πρέπει να καταναλωθεί από το Node B για την επιτυχή εξυπηρέτηση των χρηστών αυτών. Ταυτόχρονα, η Εικόνα 58 φανερώνει πως για να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ισχύος θα πρέπει να γίνει μία εναλλαγή από DCHs σε FACH ή HS-DSCH καθώς αυξάνεται ο αριθμός των

χρηστών. Παραδείγματος χάριν, το σημείο εναλλαγής μεταξύ DCHs και FACH για μια 64 Kbps υπηρεσία και για περιοχή κάλυψης 75% είναι 14 χρήστες ενώ για 95% κάλυψη είναι 9 χρήστες. Για αριθμό χρηστών μεγαλύτερο από το όριο εναλλαγής, το FACH είναι το πιο κατάλληλο κανάλι για τη μετάδοση των multicast δεδομένων. Από την άλλη μεριά, για 75% κάλυψη το σημείο εναλλαγής μεταξύ DCH και HS-DSCH είναι 19 χρήστες ενώ για 95% κάλυψη 8 χρήστες. Το γεγονός αυτό φανερώνει πως τα όρια εναλλαγής μειώνονται δραστικά καθώς η απόσταση των χρηστών από το σταθμό βάσης αυξάνεται.

Όμοια, η Εικόνα 59 δείχνει ότι όσο αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης της MBMS υπηρεσίας αυξάνονται και οι απαιτήσεις σε ισχύ. Οι καμπύλες στην Εικόνα 59 αντιστοιχούν στη χειρότερη περίπτωση όπου απαιτείται 95% κάλυψη. Με βάση τα παραπάνω, η Εικόνα 59 απεικονίζει τον αντίκτυπο του ρυθμού μετάδοσης της MBMS υπηρεσίας στην κατανάλωση ισχύος και στα σημεία εναλλαγής μεταξύ DCHs και FACH ή HS-DSCH. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε πως για μία 128 Kbps MBMS υπηρεσία, η υψηλή κατανάλωση ισχύος καθιστά τη χρήση των DCH και FACH απαγορευτική, ακόμη και για μικρό αριθμό χρηστών. Ειδικότερα για την περίπτωση του FACH, η διάθεση 15.8 Watt από τα συνολικά 20 Watt του Node B για μια και μόνο υπηρεσία θα μειώσει δραματικά τη διαθέσιμη για τις υπόλοιπες εφαρμογές ισχύ (π.χ. φωνητικές κλήσεις). Λαμβάνοντας υπόψη αυτήν την παρατήρηση, το καταλληλότερο κανάλι για τη μετάδοση υπηρεσιών με τόσο υψηλούς ρυθμούς είναι το HS-DSCH, σύμφωνα και με την Εικόνα 59.

Εικόνα 59. Macrocell - Ισχύς καναλιών πολυεκπομπής συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης

Τέλος, για την περίπτωση του macrocell περιβάλλοντος θα εξεταστεί ένα πιο ρεαλιστικό σενάριο, σύμφωνα με το οποίο σε ένα τμήμα του συστήματος υπάρχουν κινούμενοι και στατικοί χρήστες. Συγκεκριμένα, υποθέτουμε πως οι στατικοί χρήστες κατανέμονται ομοιόμορφα στην τοπολογία ενώ ο κινούμενος χρήστης ακολουθεί την πορεία που παρουσιάζεται στην Εικόνα 60. Έτσι, τη χρονική στιγμή 0 sec, ο κινούμενος χρήστης ξεκινά την πορεία του από το σημείο «Start» για να καταλήξει στο τέλος της προσομοίωσης στο σημείο «End», όπως φαίνεται στην Εικόνα 60. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής αυτής, ο κινούμενος χρήστης διέρχεται διαδοχικά

από την περιοχή κάλυψης 6 διαφορετικών macrocells, που εξυπηρετούνται από τους σταθμούς βάσης BS1 έως BS6.

Εικόνα 60. Macrocell - Πορεία κινούμενου χρήστη

Η Εικόνα 61 εμφανίζει την ισχύ μετάδοσης (όταν χρησιμοποιούνται DCHs, FACH και HS-DSCH κανάλια) κάθε σταθμού βάσης που εξυπηρετεί τον κινούμενο χρήστη (και τους αντίστοιχους στατικούς χρήστες) κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Για παράδειγμα, κατά το χρονικό διάστημα $t1$ έως $t2$, ο χρήστης εξυπηρετείται από τον BS2. Αξίζει να αναφέρουμε ότι τη χρονική στιγμή $t1$ και $t2$ ο χρήστης βρίσκεται στα όρια του BS2 και επομένως όταν ο χρήστης εξυπηρετείται με DCH η ισχύς μετάδοσης του BS2 λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της (Εικόνα 61). Από την άλλη μεριά, όταν ο χρήστης κινείται στο εσωτερικό της περιοχής κάλυψης του BS2 (χρονικό διάστημα μεταξύ $t1$ και $t2$), η απόστασή του από το BS2 αρχικά μειώνεται, σε κάποιο σημείο ελαχιστοποιείται, και από τα σημείο εκείνο και μετά αυξάνεται (βλ. Εικόνα 60). Σύμφωνα με την Εικόνα 61, η ισχύς μετάδοσης του BS2 όταν χρησιμοποιεί DCH μεταβάλλεται με παρόμοιο τρόπο.

Εικόνα 61. Macrocell - Ισχύς μετάδοσης του Node B που εξυπηρετεί τον κινούμενο χρήστη

Μελετώντας πιο προσεκτικά την Εικόνα 61, μπορούμε να βγάλουμε ορισμένα σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την επιλογή του αποδοτικότερου, από άποψη κατανάλωσης ισχύος, καναλιού πολυεκπομπής. Όπως είναι λογικό κάθε χρονική

στιγμή θα πρέπει να επιλέγεται το κανάλι που απαιτεί τους λιγότερους πόρους ισχύος. Δεδομένου ότι η ισχύς μετάδοσης των FACH και HS-DSCH είναι σταθερή, μπορούμε να διακρίνουμε τις τρεις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Στην πρώτη περίπτωση, η ισχύς που καταναλώνει ο σταθμός βάσης χρησιμοποιώντας πολλαπλά DCHs είναι μικρότερη συγκριτικά με την περίπτωση των FACH και HS-DSCH καναλιών. Στο παραπάνω σενάριο η περίπτωση αυτή εμφανίζεται όταν ο κινούμενος χρήστης (και οι στατικοί χρήστες της συγκεκριμένης κυψέλης) εξυπηρετείται από τους BS1, BS3, BS4 και BS6. Σε αυτή την περίπτωση το αποδοτικότερο κανάλι για τη μετάδοση της multicast υπηρεσίας είναι το DCH.
- Στη δεύτερη περίπτωση, η ισχύς που καταναλώνει ο σταθμός βάσης χρησιμοποιώντας πολλαπλά DCHs είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με την περίπτωση των FACH και HS-DSCH καναλιών. Στο σενάριο που εξετάζεται η περίπτωση αυτή εμφανίζεται όταν ο χρήστης εξυπηρετείται από τον BS2. Σε αυτή την περίπτωση το αποδοτικότερο κανάλι για τη μετάδοση των MBMS δεδομένων είναι το FACH ή το HS-DSCH.
- Στην τρίτη περίπτωση, ανάλογα με τη θέση του κινούμενου χρήστη στην κυψέλη, η ισχύς που καταναλώνει ο σταθμός βάσης χρησιμοποιώντας πολλαπλά DCHs είναι άλλοτε υψηλότερη και άλλοτε χαμηλότερη συγκριτικά με την περίπτωση των FACH και HS-DSCH καναλιών (π.χ. όταν ο χρήστης εξυπηρετείται από τον BS5). Στην περίπτωση αυτή, η πιο αποδοτική λύση θα ήταν η εξυπηρέτηση του κινούμενου χρήστη με FACH ή HS-DSCH όταν αυτός εισέρχεται ή εξέρχεται από τη συγκεκριμένη κυψέλη και η χρήση πολλαπλών DCHs όταν βρίσκεται κοντά στο σταθμό βάσης. Ωστόσο, η απόδοση της περίπτωσης αυτής θα πρέπει κάθε φορά να εξετάζεται αφού η εναλλαγή καναλιών σε τόσο σύντομα χρονικά διαστήματα μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα ping-pong.

7.6.1.2 Απόδοση στο Microcell Περιβάλλον

Οι παράγοντες που εξετάστηκαν στην περίπτωση του macrocell περιβάλλοντος θα εξεταστούν και στην περίπτωση του microcell, όπου η εξασθένηση του σήματος λόγω ανακλάσεων, διαθλάσεων και περιθλάσεων είναι μεγαλύτερη και επομένως είναι υψηλότερες οι απαιτήσεις σε E_b/N_0 .

Εικόνα 62. Microcell - Ισχύς καναλιών πολυεκπομπής συναρτήσει της απόστασης από το Node B

Εικόνα 63. Microcell - Ισχύς καναλιών πολυεκπομπής συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης

Όπως και στην περίπτωση του macrocell περιβάλλοντος έτσι και στην περίπτωση του microcell εξετάζεται το πως η περιοχή κάλυψης και ο ρυθμός μετάδοσης επηρεάζει τη συνολική ισχύ μετάδοσης του σταθμού βάσης, ανάλογα με το κανάλι πολυεκπομπής που χρησιμοποιείται (Εικόνα 62 και Εικόνα 63 αντίστοιχα). Παράλληλα, οι δύο εικόνες παρουσιάζουν την επίδραση που έχουν οι προαναφερθείσες παράμετροι στην επιλογή του πιο αποδοτικού καναλιού μεταφοράς. Μία πιο προσεκτική εξέταση των εικόνων αποκαλύπτει ότι για μικρό αριθμό χρηστών, το πιο κατάλληλο κανάλι για τη μετάδοση των multicast δεδομένων είναι το DCH. Σε γενικές γραμμές, η αύξηση της περιοχής κάλυψης και του ρυθμού μετάδοσης προκαλεί μείωση στον αριθμό των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετηθεί αποτελεσματικά από πολλαπλά DCHs και επομένως στα όρια εναλλαγής μεταξύ DCHs και FACH ή HS-DSCH.

Εικόνα 64. Microcell - Πορεία κινούμενου χρήστη

Εικόνα 65. Microcell - Ισχύς μετάδοσης του Node B που εξυπηρετεί τον κινούμενο χρήστη

Για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων εξετάζεται όπως και στην περίπτωση του macrocell περιβάλλοντος ένα σενάριο στο οποίο υπάρχουν στατικοί χρήστες και ένας κινούμενος χρήστης. Η διαδρομή του κινούμενου χρήστη παρουσιάζεται στην Εικόνα 64, ενώ η Εικόνα 65 παρουσιάζει την ισχύ μετάδοσης (όταν χρησιμοποιούνται DCH, FACH ή HS-DSCH) κάθε σταθμού βάσης που εξυπηρετεί τον κινούμενο χρήστη κατά τη διάρκεια της διαδρομής του.

Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά του macrocell περιβάλλοντος. Έτσι, κάθε χρονική στιγμή επιλέγεται για την εξυπηρέτηση των χρηστών το κανάλι μεταφοράς που απαιτεί τους λιγότερους πόρους ισχύος. Παραδείγματος χάριν, κατά το χρονικό διάστημα t1-t2 και t3-t4 όπου ο κινούμενος χρήστης βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης του BS3, το πιο αποδοτικό κανάλι για την εξυπηρέτησή του (καθώς και για την εξυπηρέτηση των υπόλοιπων χρηστών στη συγκεκριμένη κυψέλη) είναι το DCH, το

οποίο εξασφαλίζει μειωμένη κατανάλωση ισχύος. Με τον ίδιο τρόπο επιλέγονται τα κανάλια μεταφοράς κατά τα υπόλοιπα χρονικά διαστήματα.

7.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύσαμε την κατανομή ισχύος των καναλιών πολυεκπομπής DCH, FACH και HS-DSCH. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίσαμε τις τιμές ισχύος που κάθε ένα κανάλι απαιτεί προκειμένου να μεταδώσει αποτελεσματικά μία MBMS multicast υπηρεσία στους χρήστες μίας κυψέλης. Παράλληλα, ερευνήσαμε την επίδραση αρκετών παραγόντων (όπως οι απαιτήσεις QoS, η κατανομή και η κίνηση των χρηστών, κοκ.) στην ισχύ μετάδοσης του Node B τόσο σε macrocell όσο και σε microcell περιβάλλοντα και δώσαμε έμφαση στο βαθμό επίδρασης κάθε παράγοντα στην ισχύ μετάδοσης του Node B. Τέλος, αξιολογήσαμε την απόδοση, από άποψη ισχύος, κάθε ενός καναλιού πολυεκπομπής για τη μετάδοση των MBMS δεδομένων σε μία κυψέλη.

Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν δύο πολύ ενδιαφέροντα πράγματα. Αρχικά, έγινε κατανοητό πως οι MBMS υπηρεσίες είναι πολύ απαιτητικές και προκειμένου να γίνει εφικτή η μετάδοσή τους θα πρέπει να εξοικονομηθούν σημαντικοί πόροι ισχύος. Συγκεκριμένα, όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο αυτό, για τη μετάδοση μίας MBMS υπηρεσίας με ρυθμό μετάδοσης 128 Kbps σε ολόκληρη την κυψέλη απαιτούνται συνολικά 15.8 Watt όταν χρησιμοποιείται το FACH σαν κανάλι μεταφοράς. Σαν ποσοστό, τα 15.8 Watt αντιστοιχούν στο 79% των συνολικών πόρων ισχύος του σταθμού βάσης. Γίνεται επομένως κατανοητό ότι η μετάδοση MBMS υπηρεσιών με τόσο υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης καθίσταται δύσκολη έως και αδύνατη. Ο περιορισμός αυτός οδήγησε στην ανάπτυξη τεχνικών που είναι ικανές να μειώσουν τα επίπεδα ισχύος κατά τις MBMS μεταδόσεις. Τέτοιες τεχνικές αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο της διδακτορικής διατριβής.

Δεύτερον, με βάση τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου κεφαλαίου μπορεί κάποιος να ισχυριστεί ότι και τα τρία κανάλια μεταφοράς (DCH, FACH, HS-DSCH) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να μεταδώσουν αποτελεσματικά MBMS υπηρεσίες, ανάλογα βέβαια με τον αριθμό και τις απαιτήσεις των χρηστών που επιθυμούν τις υπηρεσίες. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η συνολικά απαιτούμενη ισχύς για MBMS υπηρεσίες, θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας μηχανισμός που θα είναι υπεύθυνος για την εναλλαγή μεταξύ των καναλιών⁵. Ο μηχανισμός αυτός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις τεχνικές μείωσης ισχύος, να επιτρέπει τη μετάδοση MBMS δεδομένων με όλα τα διαθέσιμα κανάλια μεταφοράς (DCH, FACH και HS-DSCH) και να βασίζει την επιλογή των σημείων εναλλαγής στην ισχύ που κάθε κανάλι μεταφοράς απαιτεί. Σχετικοί μηχανισμοί έχουν ήδη αναπτυχθεί από το 3GPP, ωστόσο μία βελτιωμένη έκδοσή τους παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 9 της διδακτορικής διατριβής.

⁵ Σε αντίστοιχα συμπεράσματα (δηλαδή στην ανάγκη ανάπτυξης ενός μηχανισμού εναλλαγής καναλιών πολυεκπομπής) κατηλήγουμε αν λάβουμε υπόψη το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος (και όχι μόνο την ισχύ) σε όλες τις διεπαφές του δικτύου για τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών όταν χρησιμοποιούμε το εκάστοτε κανάλι πολυεκπομπής [51].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια 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 κεφάλαιο της διδακτορικής διατριβής εξετάζονται έξι συνολικά τεχνικές μείωσης ισχύος, η εφαρμογή των οποίων μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικά ποσά ισχύος.

Πιο αναλυτικά, 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. Τέλος, παρουσιάζονται δύο σενάρια προσομοίωσης μέσω των οποίων γίνονται αντιληπτά τα πλεονεκτήματα που είναι σε θέση να προσφέρει ο συνδυασμός των συγκεκριμένων τεχνικών μείωσης ισχύος.

8.1 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 [53]. 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 «ισοδυναμούν» 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)» [23]. 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.

8.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΚΠΙΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

8.2.1 *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 καλύπτει 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 [58].

Τα παραπάνω παρουσιάζονται στην Εικόνα 66, 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 66. Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της DPS (RL: Radio Link)

8.2.2 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 [26], [30].

Η Εικόνα 67 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 67. Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της LTΤΙ

Παράλληλα, ο Πίνακας 17 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 67 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 (%)	TTI (ms)	Απαιτούμενη Ισχύς (Watt)
50	20 - χωρίς STTD	3.2
	20 - με STTD	2.2
	80 - χωρίς STTD	2.5
	80 - με STTD	1.6
95	20 - χωρίς STTD	11.8
	20 - με STTD	7.0
	80 - χωρίς STTD	7.6
	80 - με STTD	5.4

Πίνακας 17. Ενδεικτικές στάθμες ισχύος του FACH με χρήση της LTΤΙ

8.2.3 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 [53].

Εικόνα 68. Ισχύς εκπομπής FACH με χρήση της MDC

Η Εικόνα 68 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 18 παρουσιάζει ορισμένες ενδεικτικές στάθμες ισχύος του FACH με την εφαρμογή της τεχνικής MDC που εξάγονται από την Εικόνα 68.

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.

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 18. Ενδεικτικές στάθμες ισχύος του FACH με χρήση της MDC

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.

8.2.4 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 [31].

Στο σενάριο που παρουσιάζεται στην Εικόνα 69, 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 69 απεικονίζει τον τρόπο που λειτουργεί αυτή η τεχνική, από άποψη επιλογής καναλιών και κάλυψης της κυψέλης.

Εικόνα 69. 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.

8.2.5 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 70 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 70. 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 71 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.

Εικόνα 71. Ισχύς εκπομπής του Node B με χρήση της MDF

Παράλληλα, στην Εικόνα 71 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 71 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 κυσέλη με ένα FACH. Επομένως, είναι πιο αποδοτικό από άποψη ισχύος να χρησιμοποιηθεί ένα FACH που θα καλύψει το 95% της κυσέλης. 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 κυσέλης εξυπηρετούνται με DCHs, η μετάβασή τους σε μία γειτονική κυσέλη θα είναι ομαλότερη, δεδομένου ότι η MBMS υπηρεσία θα παρέχεται αδιάλειπτα.

8.2.6 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 [46], [47]. 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 72. 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 72a), ενώ στη δεύτερη το 95% της κυσέλης

(Εικόνα 72b). 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 72 μπορούμε να συμπεράνουμε τα παρακάτω:

- Για 50% κάλυψη (Εικόνα 72a): 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 72b): 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 72, όταν χρησιμοποιείται το DCH ως κανάλι μεταφοράς, η αρχική τιμή της ισχύος εκπομπής είναι 1 Watt [77]. Η τιμή αυτή ισούται με την ισχύ που ανατίθεται για τα κοινά κανάλια ελέγχου (όρος P_p στην Εξίσωση 7) και προστίθεται στον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος όταν χρησιμοποιείται το κανάλι DCH. Σύμφωνα με την Εξίσωση 7, 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 7.5.1.

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 19. Ενδεικτικά σημεία εναλλαγής καναλιών

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, ο Πίνακας 19 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 [46]. 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.

Αξιίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι μία εκτενής αναφορά για τις τεχνικές μείωσης της εκπεμπόμενης ισχύος μπορεί να βρεθεί στις αναφορές [38], [39], [42].

8.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά αποτελέσματα προσομοίωσης που αφορούν το συνδυασμό των τεχνικών που εξετάστηκαν με κύριο στόχο να προσδιοριστεί το επιπλέον κέρδος ισχύος και να τονιστεί η χρησιμότητα του συνδυασμού τους. Πιο αναλυτικά στην παράγραφο 8.3.1 εξετάζεται ο συνδυασμός των τεχνικών DPS, LTTI και MDC που εξασφαλίζουν μειωμένη κατανάλωση ισχύος κατά τις PTM μεταδόσεις, ενώ στην παράγραφο 8.3.2 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 6 (παράγραφος 5.9.5.1). Ο Πίνακας 20 παρουσιάζει κάποιες επιπλέον παραμέτρους προσομοίωσης για τα σενάρια που αφορούν το συνδυασμό των τεχνικών μείωσης ισχύος [1], [5], [6], [65].

Παράμετρος	Τιμή
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 20. Επιπλέον παράμετροι προσομοίωσης για το συνδυασμό των τεχνικών μείωσης ισχύος

8.3.1 Συνδυασμός των Τεχνικών DPS, LTTI και MDC

Η συγκεκριμένη παράγραφος παρουσιάζει αποτελέσματα προσομοίωσης 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 73. 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 73. 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 73).

Εικόνα 73. Διαδρομή του κινούμενου χρήστη σύμφωνα με το σενάριο

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 8.2.1, 8.2.2 και 8.2.3, 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.

Οι πρώτες έξι γραφικές παραστάσεις στην Εικόνα 74 απεικονίζουν την ισχύ μετάδοσης του FACH (συνεχής γραμμή στην Εικόνα 74) 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 εφαρμόζονταν 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 74 παρατηρούμε ότι στη περίπτωση που δεν εφαρμόζονταν 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 74. 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 74) 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 74 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 73 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 8.2.3, η χρήση της τεχνικής MDC δεν συνεπάγεται απαραίτητα μικρότερη συνολική κατανάλωση ισχύος. Πράγματι, όπως φαίνεται στην έβδομη (κάτω) γραφική παράσταση στην Εικόνα 74, 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 τεχνικής MDC την έχει ο κόμβος RNC. Θα εξηγήσουμε την παραπάνω δήλωση μέσω ενός πρόσθετου σεναρίου στην Εικόνα 73. 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.

8.3.2 Συνδυασμός των Τεχνικών 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.

Εικόνα 75. Ακολουθία βημάτων του σεναρίου

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 75 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 75, 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 75). 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 75). Με άλλα λόγια, ο 27^{ος} χρήστης που λαμβάνει την υπηρεσία είναι ο χρήστης που παρουσιάζεται πρώτος στα όρια της κυψέλης. Από εκείνη τη χρονική στιγμή, ο πληθυσμός του 1^{ου} group παραμένει σταθερός ενώ ο πληθυσμός του 2^{ου} group σταδιακά αυξάνεται. Το σενάριο ολοκληρώνεται όταν ο συνολικός αριθμός των χρηστών φτάσει τους 40 χρήστες (26 στο 1^ο group και 14 στο 2^ο).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 76. Η έντονη γραμμή παρουσιάζει τη συνολική ισχύ μετάδοσης του σταθμού βάσης όταν συνδυαστούν οι τρεις παραπάνω τεχνικές. Στην Εικόνα 76, 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 76 εμφανίζεται με τη λεζάντα: FACH(95% Cov, 64Kbps). Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 76, 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). 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.).

Εικόνα 76. Ισχύς εκπομπής του Node B με το συνδυασμό των τεχνικών RS, MDF και ECS

- Η βελτιωμένη απόδοση του συνδυασμού συγκριτικά με την περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο η τεχνική RS, εμφανίζεται στην Εικόνα 76 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 8.2.4), 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 72a στην παράγραφο 8.2.6). Ο συνδυασμός σύμφωνα με την Εικόνα 76 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 76, 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.

8.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ

Στις προηγούμενες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου μελετήσαμε τεχνικές που έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν την ισχύ των Node Bs κατά τη μετάδοση MBMS συνόδων και εξετάσαμε τα ποσά ισχύος που θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν με την εφαρμογή κάθε μίας τεχνικής. Στη συνέχεια, εξετάσαμε δύο σενάρια μέσω των οποίων έγινε κατανοητό πως ο επιλεκτικός συνδυασμός των τεχνικών μπορεί να επιφέρει επιπρόσθετα κέρδη ισχύος. Η παράγραφος αυτή, έχει ως στόχο να καθορίσει ένα σχήμα που θα καλύπτει αποτελεσματικά όλα τα πιθανά σενάρια. Για τον καθορισμό του σχήματος θα θεωρήσουμε τον αριθμό των «inner part» χρηστών ως κύρια παράμετρο (βλ. παράγραφο 8.2.5). Αναλυτικότερα, θα καθορίσουμε ποια είναι η πιο αποδοτική τεχνική ανάλογα με τον αριθμό των «outer part» χρηστών, καθώς ο αριθμός των «inner part» χρηστών μεταβάλλεται.

Προκειμένου να καθοριστεί με ακρίβεια το σχήμα πρέπει να διευκρινιστεί ένα τελευταίο σημείο. Από την Εικόνα 72b και την Εικόνα 76 μπορεί να παρατηρηθεί ότι η ισχύς μετάδοσης του FACH είναι σταθερή και υψηλότερη από την επίσης σταθερή ισχύ μετάδοσης του καναλιού HS-DSCH. Από αυτή την παρατήρηση προκύπτει μια λογική ερώτηση. Γιατί να χρησιμοποιείται το FACH για τη μετάδοση multicast δεδομένων εφόσον το HS-DSCH είναι πιο «αποδοτικό» από άποψη ισχύος;

Εικόνα 77. HS-DSCH εναντίον FACH

Ο καλύτερος τρόπος να απαντηθεί αυτή η ερώτηση, δεδομένου ότι το HS-DSCH είναι ένα rate-controlled και όχι power-controlled κανάλι (βλ. παράγραφο 7.5), είναι να εξετάσουμε τη ρυθμοαπόδοση ανά χρήστη του κάθε καναλιού πολυεκπομπής, ενώ η ισχύς τους παραμένει σε σχετικά ίδια επίπεδα. Στην Εικόνα 77 η ισχύς μετάδοσης του FACH έχει τεθεί στα 7.6 Watt και του HS-DSCH στα 7 Watt. Ο σταθμός βάσης διαθέτοντας 7.6 Watt σε ένα FACH μπορεί να εξυπηρετήσει μια 64 Kbps MBMS υπηρεσία ανεξάρτητα από τον αριθμό και τη θέση των χρηστών. Από την άλλη μεριά, η διάθεση 7 Watt σε HS-DSCH επιτρέπει στο σταθμό βάσης να υποστηρίξει MBMS υπηρεσίες με ποικίλους ρυθμούς μετάδοσης ανάλογα όμως με τον αριθμό των χρηστών. Παραδείγματος χάριν, στην Εικόνα 77 για να υποστηριχτεί μία 64 Kbps υπηρεσία θα πρέπει ο αριθμός των χρηστών να είναι μικρότερος από 35. Για περισσότερους από 35 χρήστες, η ρυθμοαπόδοση ανά χρήστη μειώνεται και επομένως κανένας χρήστης δεν μπορεί να λάβει όλα τα 64 Kbps της υπηρεσίας.

Αυτό που μπορεί να φανεί από την Εικόνα 77 είναι πως για μικρό αριθμό χρηστών, το HS-DSCH υπερτερεί έναντι του FACH. Αν και η ισχύς τους παραμένει σε σχετικά παρόμοια επίπεδα, το πρώτο μπορεί να υποστηρίξει υπηρεσίες με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (ανάλογα με τον αριθμό των χρηστών). Ωστόσο, για μεγάλο πληθυσμό χρηστών, το FACH είναι το πιο κατάλληλο κανάλι για τη μετάδοση των multicast δεδομένων, δεδομένου ότι μπορεί να εξυπηρετήσει όλους τους χρήστες χωρίς να απαιτεί επιπλέον πόρους ισχύος. Με άλλα λόγια, ο σταθμός βάσης θα πρέπει να εξετάζει τόσο την απαιτούμενη ισχύ όσο και τη ρυθμοαπόδοση ανά χρήστη για να αναθέσει το κανάλι που είναι κατάλληλο για τη μετάδοση των MBMS δεδομένων.

«Inner part» χρήστες	«Outer part» χρήστες	Αποδοτικό κανάλι/τεχνική
1 έως 4	≤ 7	DCH κανάλι
	8 έως 30	HS-DSCH κανάλι
	> 30	Τεχνική RS
5 έως 17	≤ 6	DCH κανάλι
	7 έως 12	HS-DSCH κανάλι
	> 12	Τεχνική RS
17 +	≤ 5	Τεχνική MDF
	> 5	Τεχνική RS

Πίνακας 21. Σημεία εναλλαγής και αποδοτικές τεχνικές συναρτήσεων των «inner part» χρηστών

Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω ανάλυση και τα αποτελέσματα των προηγούμενων παραγράφων μπορούμε να εξάγουμε το σχήμα εναλλαγής που παρουσιάζει ο Πίνακας 21. Ο αριθμός των «inner part» χρηστών και των σημείων εναλλαγής (ή αλλιώς του αριθμού των «outer part» χρηστών) που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα, αναφέρονται στη χειρότερη περίπτωση, όπου οι «outer part» χρήστες βρίσκονται ακριβώς στα όρια της κυψέλης και οι «inner part» χρήστες στη μισή απόσταση. Έχοντας καλύψει τη χειρότερη περίπτωση είναι προφανές ότι μπορεί να καλυφθεί οποιαδήποτε άλλη περίπτωση με κάποια μικρή επιβάρυνση στην

απαιτούμενη ισχύ. Αυτή είναι μία υποχώρηση που πρέπει να γίνει προκειμένου να διατηρηθεί το σχήμα σε πλήρη συμφωνία με τις προδιαγραφές που έχει θέσει το 3GPP.

Όπως αναφέραμε στην εισαγωγή του κεφαλαίου, ο μηχανισμός TS 25.346 που έχει προταθεί από το 3GPP αποτελεί ένα προκαθορισμένο και εύκολα υλοποιήσιμο σχήμα εναλλαγής μεταξύ των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς, το οποίο βασίζεται στον αριθμό των MBMS χρηστών που εξυπηρετούνται (τα όρια εναλλαγής του TS 25.346 έχουν υπολογιστεί με βάση τη χειρότερη περίπτωση). Ο Πίνακας 21 αποτελεί μια εναλλακτική και βελτιωμένη προσέγγιση του TS 25.346, η οποία ενσωματώνει αρκετές τεχνικές μείωσης της εκπεμπόμενης ισχύος ενώ ταυτόχρονα, είναι σταθερή, εύκολη να εφαρμοστεί και προσφέρει όπως ο TS 25.346 ένα προκαθορισμένο σχήμα σημείων εναλλαγής.

8.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο της διδακτορικής διατριβής εντοπίσαμε δύο από τα πιο «ενοχλητικά» προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη μετάδοση μίας MBMS υπηρεσίας. Αρχικά, τα υψηλά σταθερά επίπεδα ισχύος όταν ανατίθεται το FACH ως κανάλι μεταφοράς για την παράδοση της MBMS υπηρεσίας και στη συνέχεια τη δυσκολία καθορισμού των κατάλληλων σημείων εναλλαγής μεταξύ των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς. Για την επίλυση των δύο αυτών προβλημάτων προτείναμε έξι διαφορετικές τεχνικές. Αυτές οι τεχνικές, που ουσιαστικά είναι σε θέση να μειώσουν την ισχύ εκπομπής των σταθμών βάσης, μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν λεπτομερώς, ενώ παράλληλα προσδιορίστηκε το κέρδος ισχύος που η κάθε μία μπορεί να επιφέρει. Επιπρόσθετα, εξετάσαμε δύο διαφορετικά σενάρια στα οποία λάμβανε χώρα συνδυασμός των τεχνικών. Τα συγκεκριμένα σενάρια αποκάλυψαν το πρόσθετο κέρδος ισχύος που μπορεί να επιφέρει ο συνδυασμός των τεχνικών και οδήγησε στον προσδιορισμό των κατάλληλων σημείων εναλλαγής μεταξύ των καναλιών DCH, FACH και HS-DSCH ή του συνδυασμού τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ
ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ
ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΕΚΠΟΜΠΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αναλύονται εκτενώς οι μηχανισμοί που έχουν προταθεί από το 3GPP για την επιλογή του κατάλληλου καναλιού πολυεκπομπής (ή του κατάλληλου συνδυασμού καναλιών) για κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά ο μηχανισμός επιλογής καναλιών πολυεκπομπής που προτάθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, τον οποίο ονομάζουμε MBMS Channel Assignment Mechanism (ή χάριν συντομίας «MCAM»), καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του.

Κύριος στόχος του προτεινόμενου μηχανισμού είναι ο αποδοτικός έλεγχος ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών. Η λογική του MCAM βασίζεται στην επιλογή του καναλιού μεταφοράς ή στην επιλογή του συνδυασμού καναλιών μεταφοράς (PTP ή/και PTM) που εξασφαλίζει τις μικρότερες απαιτήσεις σε ισχύ. Με άλλα λόγια, ο μηχανισμός στοχεύει στην εξοικονόμηση πόρων ισχύος που όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια αποτελεί τον πιο περιορισμένο πόρο στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών. Πρόκειται δηλαδή για έναν power-based μηχανισμό επιλογής καναλιού/καναλιών μεταφοράς MBMS υπηρεσιών. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, πως σε αντίθεση με τις περισσότερες 3GPP προσεγγίσεις, ο MCAM αναθέτει δυναμικά το καταλληλότερο κανάλι μεταφοράς ή τον καταλληλότερο συνδυασμό καναλιών μεταφοράς, με απώτερο σκοπό πάντα τον αποδοτικότερο έλεγχο των πόρων ισχύος ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς.

Επιπρόσθετα, σε αντίθεση με τις 3GPP προσεγγίσεις, όπως αυτές παρουσιάζονται στις αναφορές [4], [23] και [32], ο MCAM επεκτείνεται το πλήθος των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς με την ενσωμάτωση του καναλιού HS-DSCH. Ειδικότερα, η υποστήριξη της MIMO τεχνικής για το κανάλι αυτό μπορεί να βελτιώσει ακόμη περισσότερο την απόδοση του μηχανισμού. Ωστόσο, το πιο αξιοσημείωτο πλεονέκτημα του MCAM είναι ότι διαφοροποιείται ουσιαστικά από τις 3GPP προσεγγίσεις δεδομένου ότι προσαρμόζεται στις απαιτήσεις των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς για ταυτόχρονη παροχή πολλαπλών πολυμεσικών συνόδων. Επομένως, ο νέος αυτός μηχανισμός υπόσχεται βελτιωμένη απόδοση, μείωση της καταναλισκόμενης ισχύος και κατά συνέπεια αύξηση της χωρητικότητας των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς. Το γεγονός αυτό μπορεί να επιτρέψει τη μαζική μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων σε πληθώρα κινητών χρηστών.

Συμπερασματικά, η απόδοση του προτεινόμενου μηχανισμού επιλογής καναλιών κρίνεται αισθητά βελτιωμένη συγκριτικά με τους υπάρχοντες μηχανισμούς κυρίως για τρεις βασικούς λόγους. Αρχικά διότι πραγματοποιεί βέλτιστο έλεγχο ισχύος με την επιλογή ενός ή περισσότερων καναλιών πολυεκπομπής. Στη συνέχεια, διότι ενσωματώνει βασικά ευρυζωνικά γνωρίσματα με την χρήση του καναλιού μεταφοράς HS-DSCH και τρίτον, διότι ο μηχανισμός αυτός συμμορφώνεται απόλυτα με τις ανάγκες και τις αυξημένες απαιτήσεις που χαρακτηρίζουν τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς όπως είναι τα δίκτυα HSPA και σε μεταγενέστερη φάση τα δίκτυα LTE, επιτρέποντας την ταυτόχρονη μετάδοση πολλαπλών MBMS συνόδων.

9.1 ΚΙΝΗΤΡΑ / ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ MIMO

Η τεχνολογία MIMO θεωρείται σημείο κλειδί και θεμελιώδες συστατικό για τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών επόμενης γενιάς και μπορεί να αυξήσει δραματικά τη χωρητικότητά τους. Έτσι, η τεχνολογία MIMO έχει προσελκύσει την προσοχή στις ασύρματες επικοινωνίες, δεδομένου ότι έχει τη δυνατότητα να προσφέρει σημαντικές αυξήσεις στο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και στην εμβέλεια των συνδέσμων, χωρίς μάλιστα να απαιτεί κάποιο πρόσθετο εύρος ζώνης ή επιπλέον ισχύ μετάδοσης. Το γεγονός αυτό επιτυγχάνεται μέσω της βελτιωμένης απόδοσης του φάσματος (περισσότερα bit/sec/Hz) και της αυξημένης αξιοπιστίας των συνδέσμων. Εξαιτίας των προτερημάτων αυτών, έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια το ερευνητικό ενδιαφέρον γύρω από την τεχνολογία MIMO. Τα προτερήματα αυτά αποτέλεσαν ουσιαστικά και το κίνητρο για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας αυτής στον προτεινόμενο μηχανισμό.

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει πειραματικά αποτελέσματα σχετικά με τις βελτιώσεις που επιτυγχάνονται μέσω της υποστήριξης της τεχνολογίας MIMO. Πιο συγκεκριμένα, στην Εικόνα 78, Εικόνα 79 και Εικόνα 80 παρουσιάζεται η κατανομή ισχύος για όλα τα διαθέσιμα κανάλια μεταφοράς και για περιοχές κάλυψης 60%, 80% και 100% των κυψελών αντίστοιχα. Αναλυτικά, στις εικόνες αυτές παρουσιάζονται τα επίπεδα ισχύος για τα κανάλια μεταφοράς DCH, HS-DSCH (με και χωρίς την υποστήριξη της τεχνολογίας MIMO) και FACH. Το σενάριο εξετάζει τη μετάδοση μίας 64 Kbps MBMS συνόδου σε μία κυψέλη, στην οποία οι χρήστες υποτίθεται ότι βρίσκονται σε group (διαφορετικού κάθε φορά πληθυσμού), τοποθετημένα στα όρια των ανωτέρω περιοχών κάλυψης ανάλογα με την περίπτωση που εξετάζεται.

Εικόνα 78. Κατανομή ισχύος για μία 64 Kbps MBMS υπηρεσία με 60% κάλυψη

Εικόνα 79. Κατανομή ισχύος για μία 64 Kbps MBMS υπηρεσία με 80% κάλυψη

Εικόνα 80. Κατανομή ισχύος για μία 64 Kbps MBMS υπηρεσία με 100% κάλυψη

Ειδικότερα, στην Εικόνα 78 απεικονίζεται η κατανομή ισχύος για τα διαθέσιμα κανάλια πολυεκπομπής όταν η επιθυμητή περιοχή κάλυψης είναι ίση με το 60% της έκτασης της κυψέλης (το group των χρηστών βρίσκεται σε απόσταση 60% της ακτίνας της κυψέλης). Στην γραφική αυτή παρατηρούμε ότι για λιγότερους από 10 multicast χρήστες ενδείκνυται η χρήση του DCH καναλιού, δεδομένου ότι το κανάλι αυτό εξασφαλίζει μικρότερη κατανάλωση ισχύος συγκριτικά με τα υπόλοιπα κανάλια. Για πλήθος χρηστών 10-17 και χωρίς την υποστήριξη του MIMO, η χρήση του HS-DSCH είναι η ιδανικότερη επιλογή. Ωστόσο, όταν υποστηρίζεται το MIMO το παραπάνω άνω όριο ανέρχεται στους 20 χρήστες. Συνολικά, προτιμάται η χρήση του HS-DSCH με MIMO για 10 έως 20 χρήστες. Για ακόμη περισσότερους χρήστες η χρήση του FACH είναι η βέλτιστη επιλογή.

Παρόμοια αποτελέσματα εξάγονται και για τις περιπτώσεις όπου η επιθυμητή περιοχή κάλυψης ισούται με το 80% και 100% της έκτασης της κυψέλης. Στην Εικόνα 79, για επιθυμητή κάλυψη 80%, η χρήση του DCH είναι πιο αποδοτική, από

την άποψη κατανάλωσης ισχύος, για εξυπηρέτηση έως και 4 χρηστών. Για 4 έως 14 χρήστες επιλέγεται το HS-DSCH (με MIMO) ενώ για περισσότερους χρήστες το FACH. Στην Εικόνα 80, για 100% κάλυψη, η χρήση του HS-DSCH (με MIMO) είναι η ιδανικότερη επιλογή όταν εξυπηρετούνται μέχρι και 9 multicast χρήστες, ενώ για περισσότερους επιλέγεται το FACH κανάλι μεταφοράς. Στην περίπτωση αυτή, η χρήση του DCH δεν ενδείκνυται σε καμία περίπτωση, αφού το HS-DSCH υπερτερεί σε όλες τις περιπτώσεις έναντι του DCH.

Από τις παραπάνω εικόνες μπορούν να εξαχθούν όλα τα προτερήματα της αξιοποίησης της MIMO τεχνολογίας, μέσω της σύγκρισης των τιμών ισχύος ανάμεσα στο HS-DSCH χωρίς MIMO και στο HS-DSCH με MIMO. Εν γένει, αποτελεί κοινή διαπίστωση ότι η υποστήριξη του MIMO μπορεί να συμβάλει ακόμη περισσότερο στην καλύτερη αξιοποίηση των πόρων ισχύος. Η χρήση του MIMO εξασφαλίζει ακόμη μικρότερη κατανάλωση ισχύος από το σταθμό βάσης και ως εκ τούτου οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση της διαθέσιμης χωρητικότητας του δικτύου. Επίσης, η χρήση του HS-DSCH (με MIMO) τείνει να αυξάνει το όριο εναλλαγής μεταξύ των PTP και PTM καναλιών μεταφοράς.

9.2 ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υπάρχουν δύο κύριες ερευνητικές κατευθύνσεις σχετικά με την επιλογή των καναλιών μεταφοράς κατά την παροχή MBMS υπηρεσιών. Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μόνο κανάλι μεταφοράς (PTP ή PTM) σε μία κυψέλη προκειμένου να εξυπηρετήσει τους multicast χρήστες (χαρακτηριστικές αυτής της κατεύθυνσης είναι οι εργασίες [49], [52] και [83]). Σε αυτήν την περίπτωση, τίθεται ένα κατώτατο όριο εναλλαγής που ουσιαστικά καθορίζει πότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάθε κανάλι. Το όριο αυτό εναλλαγής εξαρτάται είτε από τον αριθμό των χρηστών που επιθυμούν να λάβουν τη δεδομένη MBMS υπηρεσία, είτε από την κατανάλωση ισχύος των διαθέσιμων καναλιών πολυεκπομπής.

Από την άλλη μεριά, η δεύτερη προσέγγιση επιτρέπει την ταυτόχρονη χρήση και μετάδοση PTP και PTM καναλιών μεταφοράς. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, αρχικά καθορίζεται ο συνδυασμός των καναλιών μεταφοράς που εξασφαλίζει την ελάχιστη κατανάλωση ισχύος και στη συνέχεια αφιερωμένα και κοινά κανάλια μεταφοράς μεταδίδονται παράλληλα προκειμένου να εξυπηρετήσουν τους multicast χρήστες σε μία κυψέλη. Στις ακόλουθες παραγράφους παρουσιάζουμε τους πιο αντιπροσωπευτικούς 3GPP μηχανισμούς επιλογής καναλιών μεταφοράς κάθε μιας από τις δύο ερευνητικές κατευθύνσεις.

9.2.1 Μηχανισμός «MBMS Counting Mechanism (TS 25.346)»

Ο μηχανισμός «MBMS Counting Mechanism (TS 25.346)⁶» που έχει προταθεί από το 3GPP αποτελεί την επικρατέστερη και πιο διαδεδομένη προσέγγιση για εναλλαγή μεταξύ των PTM (δηλαδή του FACH) και PTP (πολλαπλά DCHs) καναλιών πολυεκπομπής. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην απλότητα εφαρμογής και λειτουργίας του [23]. Σύμφωνα με αυτόν τον μηχανισμό, ένα μόνο κανάλι μεταφοράς (PTP ή PTM) μπορεί να μεταδίδεται σε μία κυψέλη κάθε χρονική στιγμή.

⁶ Ο μηχανισμός «MBMS Counting Mechanism» εφεξής θα καλείται χάριν συντομίας «TS 25.346»

Η απόφαση σχετικά με όριο εναλλαγής μεταξύ των PTP και PTM καναλιών εξαρτάται από τον εκάστοτε πάροχο MBMS υπηρεσιών, αν και συνίσταται το όριο αυτό να βασίζεται στον αριθμό των MBMS χρηστών που εξυπηρετούνται. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να πραγματοποιείται μία εναλλαγή από PTP σε PTM κανάλια, όταν ο αριθμός χρηστών σε μία κυψέλη υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο (σημείο εναλλαγής). Υποθέτοντας ότι το κατώτατο όριο είναι 8 UEs (μία μέση τιμή του κατώτατου ορίου που προτείνεται στην πλειοψηφία των σχετικών ερευνητικών εργασιών), ο μηχανισμός TS 25.346 θα δώσει εντολή στο Node B να μεταπηδήσει από DCH σε FACH (δεδομένου ότι το κανάλι HS-DSCH δεν υποστηρίζεται από το μηχανισμό) όταν ο αριθμός των χρηστών υπερβεί αυτό το κατώτατο όριο.

Η Εικόνα 81 παρουσιάζει τη λειτουργία του TS 25.346 μέσω ενός υποθετικού σεναρίου. Σύμφωνα με το σενάριο, σε μία macrocell κυψέλη του συστήματος παρέχεται μία MBMS υπηρεσία ρυθμού μετάδοσης 64 Kbps. Τη χρονική στιγμή 0 sec, την υπηρεσία λαμβάνουν τέσσερις συνολικά χρήστες, ενώ δύο χρήστες αιτούνται και λαμβάνουν την υπηρεσία κάθε 5 sec. Όλοι οι χρήστες εμφανίζονται σε τυχαίες αρχικές θέσεις και στη συνέχεια κινούνται τυχαία εντός της κυψέλης με ταχύτητα 3 km/h. Από την Εικόνα 81 παρατηρούμε πως αρχικά (μέχρι τη χρονική στιγμή 15 sec) ο μηχανισμός επιλέγει πολλαπλά DCHs προκειμένου να εξυπηρετήσει τον μικρό αριθμό χρηστών. Τη χρονική στιγμή 15 sec και υποθέτοντας ότι το κατώτατο όριο εναλλαγής μεταξύ DCH και FACH είναι 8 χρήστες, ο μηχανισμός TS 25.346 θα δώσει εντολή στο Node B να μεταπηδήσει από DCH σε FACH αφού τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή ο αριθμός των χρηστών υπερβαίνει το προκαθορισμένο κατώτατο όριο. Από εκείνη τη χρονική στιγμή έως το τέλος της εξομοίωσης χρησιμοποιείται ένα FACH που καλύπτει ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης (απαιτώντας συνολικά 7.6 Watt). Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι πως ο μηχανισμός TS 25.346 στο υποθετικό σενάριο κατά τη μεταπήδηση από DCH σε FACH, οδηγεί σε μια σπατάλη ισχύος που αγγίζει τα 6 Watt, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 81.

Εικόνα 81. Λειτουργία και στάθμες ισχύος του μηχανισμού TS 25.346

Συμπερασματικά, ο μηχανισμός TS 25.346 παρέχει μια μη ρεαλιστική προσέγγιση επειδή η κινητικότητα και η τρέχουσα θέση των χρηστών δεν λαμβάνονται υπόψη. Επιπλέον, σημαντικό μειονέκτημα του μηχανισμού αποτελεί το γεγονός ότι δεν

υποστηρίζει την τεχνική DPS κατά τις μεταδόσεις με το FACH. Επομένως, όταν χρησιμοποιείται, το FACH θα πρέπει να καλύπτει ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης, γεγονός που σε γενικές γραμμές οδηγεί σε σπατάλη των περιορισμένων πόρων ισχύος. Τέλος, ο TS 25.346 δεν υποστηρίζει την τεχνολογία HSDPA (δεδομένου ότι δεν υποστηρίζει μεταδόσεις με το κανάλι HS-DSCH), μια τεχνολογία που αποδεδειγμένα μπορεί να εμπλουτίσει το MBMS με ευρυζωνικά χαρακτηριστικά.

9.2.2 Μηχανισμός «MBMS PTP/PTM Switching Algorithm (TR 25.922)»

Ο μηχανισμός «MBMS PTP/PTM Switching Algorithm (TR 25.922)⁷» που έχει προταθεί από το 3GPP [4], υποθέτει όπως ο μηχανισμός TS 25.346 ότι κάθε χρονική στιγμή σε μία κυψέλη μπορεί να μεταδίδεται ένα μόνο κανάλι μεταφοράς. Ωστόσο, αντίθετα με το TS 25.346, για την επιλογή του καταλληλότερου καναλιού μεταφοράς ακολουθεί μια προσέγγιση που βασίζεται στην ισχύ. Ανώτερος στόχος του μηχανισμού αυτού είναι η ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων ισχύος του Node B κατά τη διάρκεια των MBMS μεταδόσεων.

Στον TR 25.922, επιτρέπεται εκτός από τη χρήση του DCH καναλιού μεταφοράς και η χρήση του HS-DSCH. Εντούτοις, η περιορισμένη χρήση είτε του DCH είτε του HS-DSCH για τις PTP μεταδόσεις μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες ισχύος. Και στις δύο περιπτώσεις, συγκρίνεται η στάθμη ισχύος των PTP (DCH ή HS-DSCH, δεδομένου ότι η εναλλαγή μεταξύ των δύο παραπάνω καναλιών δεν υποστηρίζεται από τον μηχανισμό) και η στάθμη ισχύος των PTM (FACH) καναλιών μεταφοράς και επιλέγεται η περίπτωση που εξασφαλίζει τις χαμηλότερες απαιτήσεις σε ισχύ. Γενικά, για μικρούς αριθμούς multicast χρηστών ευνοούνται και επιλέγονται τα PTP κανάλια. Καθώς ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται, η χρήση των PTM καναλιών γίνεται επιτακτική.

Εικόνα 82. Λειτουργία και στάθμες ισχύος του μηχανισμού TR 25.922

⁷ Ο μηχανισμός «MBMS PTP/PTM Switching Algorithm» εφεξής θα καλείται χάριν συντομίας «TR 25.922»

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της λειτουργίας αυτού του μηχανισμού παρουσιάζεται στην Εικόνα 82. Το σενάριο που εξετάζεται είναι για λόγους σύγκρισης το ίδιο με αυτό που εξετάστηκε για τον μηχανισμό TS 25.346. Επιπρόσθετα, στο συγκεκριμένο σενάριο υποθέτουμε πως ο TR 25.922 υποστηρίζει μόνο το DCH στις PTP μεταδόσεις. Σύμφωνα με την Εικόνα 82, για το μικρό αριθμό χρηστών (μέχρι τη χρονική στιγμή 60 sec) το DCH προτιμάται αντί του FACH δεδομένου ότι καταναλώνει λιγότερη ισχύ. Ο αριθμός των χρηστών που λαμβάνουν την 64 Kbps MBMS υπηρεσία συνεχώς αυξάνεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η συνολικά απαιτούμενη ισχύς για την εξυπηρέτηση των χρηστών με πολλαπλά DCHs. Έτσι, τη χρονική στιγμή 60 sec η ισχύς που απαιτεί το FACH για την εξυπηρέτηση των χρηστών είναι μικρότερη από την ισχύ που απαιτεί το DCH με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα μία εναλλαγή από DCH σε FACH. Το FACH σε αυτό το μηχανισμό, όπως και στον TS 25.346, καλύπτει υποχρεωτικά ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης (απαιτώντας 7.6 Watt).

Συμπερασματικά, αναφέρουμε πως αν και ο μηχανισμός TR 25.922 ξεπερνά πολλά μειονεκτήματα του TS 25.346 (υποστηρίζει HS-DSCH μεταδόσεις και επιλέγει το κανάλι μεταφοράς δυναμικά, βασιζόμενο στην κατανάλωση ισχύος και όχι βασιζόμενο σε κάποιο προκαθορισμένο/μη ρεαλιστικό όριο όπως ο TS 25.346), το γεγονός ότι δεν υποστηρίζει την τεχνική DPS κρίνεται σαν το μεγαλύτερο μειονέκτημά του, δεδομένου ότι μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση ισχύος κατά τις PTM μεταδόσεις.

9.2.3 Μηχανισμός που προτάθηκε στο 3GPP TSG-RAN R1-021240

Οι δύο παραπάνω μηχανισμοί επιτρέπουν τη μετάδοση ενός μόνο καναλιού μεταφοράς ανά χρονική στιγμή και ανά κυψέλη. Στην εργασία [32], παρουσιάζεται μια εναλλακτική ιδέα, η οποία βασίζεται στην ταυτόχρονη/συνδυασμένη χρήση PTP και PTM καναλιών μεταφοράς για τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών. Συγκεκριμένα, η προσέγγιση αυτή εξετάζει τη συνδυασμένη χρήση πολλαπλών DCHs και FACH για τη μετάδοση MBMS δεδομένων πάνω από τις διεπαφές του UTRAN.

Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση, το FACH χρησιμοποιείται για να καλύψει το εσωτερικό τμήμα μίας κυψέλης και παρέχει την υπηρεσία MBMS στους χρήστες που βρίσκονται σε αυτό το τμήμα. Οι χρήστες που βρίσκονται στο υπόλοιπο τμήμα της κυψέλης εξυπηρετούνται με τη χρήση πολλαπλών DCHs (για την κάλυψη του υπόλοιπου - εξωτερικού τμήματος της κυψέλης). Κατά τον τρόπο αυτό, η συνολική κατανάλωση ισχύος, συμπεριλαμβανομένου του FACH και των αφιερωμένων καναλιών, είναι το άθροισμα της ισχύος που απαιτεί το FACH για να καλύψει το εσωτερικό τμήμα της κυψέλης (η οποία εξαρτάται κυρίως από την περιοχή που καλύπτει σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε στην παράγραφο 7.3) και της ισχύος που απαιτείται ώστε να εξυπηρετηθούν οι χρήστες στο εξωτερικό τμήμα της κυψέλης με DCH (η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 7 στην παράγραφο 7.4).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του τρόπου λειτουργίας του μηχανισμού που προτάθηκε στο 3GPP TSG-RAN R1-021240 παρουσιάζεται στην Εικόνα 83. Το σενάριο είναι και σε αυτή την περίπτωση ίδιο με αυτό που εξετάστηκε για τον μηχανισμό TS 25.346. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι από τη χρονική στιγμή 50 sec και έπειτα, λαμβάνει χώρα ταυτόχρονη μετάδοση PTP και PTM καναλιών

μεταφοράς. Παράλληλα, ο μηχανισμός υποστηρίζει την τεχνική DPS, επιτρέποντας στο FACH να καλύψει δυναμικά ένα μόνο τμήμα της κυψέλης.

Εικόνα 83. Λειτουργία και στάθμες ισχύος του μηχανισμού 3GPP TSG-RAN R1-021240

Αξιίζει βέβαια να σημειωθεί, όπως αποσαφηνίζεται στην εργασία [32], πως αυτή η προσέγγιση είναι ευεργετική μόνο όταν ο αριθμός των χρηστών στο εξωτερικό τμήμα της κυψέλης (που ουσιαστικά εξυπηρετείται με πολλαπλά DCHs) είναι εξαιρετικά μικρός (μικρότερος από 5 UEs). Το γεγονός αυτό συνιστά πως η χρήση DCHs σε συνδυασμό με FACH για την παροχή MBMS υπηρεσιών είναι μάλλον περιορισμένη σε σενάρια που αφορούν πραγματικά κινητά δίκτυα επικοινωνιών.

9.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ «MBMS CHANNEL ASSIGNMENT MECHANISM»

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειώσουμε πως κανένας από τους μηχανισμούς που εξετάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους δεν λαμβάνει υπόψη τη δυνατότητα του Node B να υποστηρίζει πολλαπλές ταυτόχρονες MBMS συνόδους. Οι MBMS μεταδόσεις έχουν σε γενικές γραμμές ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις ισχύος και καταναλώνουν ένα μεγάλο ποσοστό των διαθέσιμων πόρων ισχύος. Συνεπώς, ο αριθμός των παράλληλων MBMS συνόδων που ένας σταθμός βάσης μπορεί να υποστηρίξει είναι περιορισμένος και η επιλογή του κατάλληλου καναλιού μεταφοράς για μία MBMS υπηρεσία πρέπει να πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη και τις υπόλοιπες υπάρχουσες MBMS συνόδους στην αντίστοιχη κυψέλη.

Προς αυτήν την κατεύθυνση, η ενότητα αυτή παρουσιάζει έναν μηχανισμό ελέγχου ισχύος (τον οποίο ονομάζουμε MBMS Channel Assignment Mechanism ή χάριν συντομίας «MCAM») που θεωρεί τη στάθμη ισχύος μετάδοσης του Node B ως βασικό κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου καναλιού μεταφοράς. Συγκριτικά με τις 3GPP προσεγγίσεις, επιτυγχάνονται οι παρακάτω στόχοι:

- Σε πρώτο επίπεδο, ο μηχανισμός που προτείνεται καθίσταται πιο ρεαλιστικός και περισσότερος προσαρμόσιμος στη δυναμική φύση των ασύρματων δικτύων,

αφού πρώτον, υιοθετεί ένα κριτήριο εναλλαγής μεταξύ των καναλιών μεταφοράς που βασίζεται στην κατανάλωση ισχύος και δεύτερον, επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση περισσότερων του ενός καναλιών μεταφοράς.

- Σε δεύτερο επίπεδο, ο προτεινόμενος μηχανισμός (MCAM) συμβάλλει στους RRM μηχανισμούς του UMTS παρουσιάζοντας ένα καινοτόμο σχέδιο για το MBMS που χρησιμοποιεί βέλτιστα τους διαθέσιμους πόρους ισχύος.
- Σε τρίτο επίπεδο, ένα σημαντικό πλεονέκτημα του MCAM είναι η δυνατότητα που παρέχει ώστε να εξασφαλίζεται η συνοχή των υπηρεσιών στο σύστημα όταν μεταδίδονται πολλαπλές παράλληλες MBMS υπηρεσίες.

Σχετικά με το τελευταίο πλεονέκτημα του MCAM, αξίζει να σημειώσουμε πως ο αριθμός των παράλληλων MBMS συνόδων που ένας σταθμός βάσης θα μπορούσε να υποστηρίξει εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Ταξινομούμε αυτές τις παραμέτρους σε τρεις κατηγορίες:

- Παράμετροι που σχετίζονται με τους χρήστες.
- Παράμετροι που σχετίζονται με την MBMS σύνοδο.
- Παράμετροι που σχετίζονται με τον πάροχο.

Παράμετροι που σχετίζονται με τους χρήστες θεωρούνται παράμετροι όπως οι αποστάσεις των χρηστών από τους σταθμούς βάσης και οι QoS παράμετροι των χρηστών. Ο αριθμός των ενεργών MBMS συνόδων ανά κυψέλη, ο αριθμός των UEs ανά MBMS σύνοδο και ανά κυψέλη και οι ρυθμοί μετάδοσης των MBMS υπηρεσιών είναι μερικές από τις παραμέτρους που σχετίζονται με την MBMS σύνοδο. Τέλος, το ποσοστό των διαθέσιμων πόρων ισχύος των σταθμών βάσης που θα μπορούσε να διατεθεί για MBMS μεταδόσεις είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος που σχετίζεται με τον πάροχο. Όλες αυτές οι παράμετροι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την μετάδοση των MBMS υπηρεσιών ώστε να είναι εφικτός ο αποδοτικός έλεγχος ισχύος.

Όσον αφορά τον προτεινόμενο μηχανισμό, το λογικό διάγραμμα του οποίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 84, αποτελείται από τέσσερις διακριτές, λειτουργικές φάσεις, όπως φαίνονται παρακάτω:

- *Φάση Αρχικοποίησης (Initialization Phase).*
- *Φάση Ανάκτησης Παραμέτρων (Parameter Retrieval Phase).*
- *Φάση Επιλογής Καναλιών (Radio Bearer Selection Phase).*
- *Φάση Ανάθεσης Καναλιών (Radio Bearer Assignment Phase).*

9.3.1 Φάση Αρχικοποίησης

Η *Φάση Αρχικοποίησης* (Εικόνα 84) είναι υπεύθυνη για την έναρξη του μηχανισμού όταν ένας χρήστης εκφράσει το ενδιαφέρον του για τη λήψη μιας MBMS υπηρεσίας. Με άλλα λόγια, ο μηχανισμός αρχίζει όταν ο πρώτος χρήστης στο σύστημα ζητά την πρώτη MBMS υπηρεσία σε μία κυψέλη του συστήματος.

Εικόνα 84. Λογικό διάγραμμα του MCAM

9.3.2 Φάση Ανάκτησης Παραμέτρων

Η Φάση Ανάκτησης Παραμέτρων είναι υπεύθυνη για την ανάκτηση των παραμέτρων των MBMS χρηστών και MBMS υπηρεσιών σε μία κυψέλη. Σε αυτήν την φάση, ο μηχανισμός απαιτεί για την ορθή λειτουργία του δύο από τους τρεις τύπους παραμέτρων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο: τις παραμέτρους που σχετίζονται με τους χρήστες και τις παραμέτρους που σχετίζονται με την MBMS σύνοδο.

Σχετικά με τις παραμέτρους που σχετίζονται με την MBMS σύνοδο, για τη λειτουργία του, ο μηχανισμός χρειάζεται πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των ενεργών MBMS συνόδων ανά κυψέλη, τον αριθμό χρηστών ανά MBMS σύνοδο και το ρυθμό μετάδοσης κάθε MBMS συνόδο. Όλες αυτές οι πληροφορίες ανακτώνται από τον κόμβο BM-SC (βλ. παράγραφο 5.3) της MBMS αρχιτεκτονικής.

Οι παράμετροι που σχετίζονται με τους χρήστες ανακτώνται από τους χρήστες μέσω uplink καναλιών. Πιο συγκεκριμένα, οι σχετιζόμενες με τους χρήστες πληροφορίες αναφέρονται στην απόσταση των χρηστών από το Node B καθώς και την απαιτούμενη ποιότητας υπηρεσίας για κάθε ένα χρήστη, εκφρασμένη από την παράμετρο E_b/N_0 ή το $SINR$. Προκειμένου να ανακτηθούν αυτές οι παράμετροι, ο κόμβος RNC εκπέμπει ένα μήνυμα σε όλους τους χρήστες που λαμβάνουν μία συγκεκριμένη MBMS υπηρεσία και στη συνέχεια κάθε χρήστης αποκρίνεται σε αυτό το μήνυμα, επιστρέφοντας στο Node B (μέσω uplink καναλιών) ένα μήνυμα που υποδεικνύει την ποιότητα του σήματος και τη θέση του.

9.3.3 Φάση Επιλογής Καναλιών

Ο ρόλος της *Φάσης Επιλογής Καναλιών* έγκειται στο να επιλέγει το κατάλληλο κανάλι πολυεκπομπής ή τον κατάλληλο συνδυασμό καναλιών πολυεκπομπής για κάθε MBMS σύνοδο σε κάθε κυψέλη του δικτύου. Οι κρισιμότερες λειτουργίες της φάσης αυτής εκτελούνται από τον *Αλγόριθμο Επιλογής Καναλιών*⁸ (Channels Selection Algorithm block στην Εικόνα 84). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος επιλέγει το συνδυασμό των PTP και PTM καναλιών μεταφοράς που ελαχιστοποιούν την ισχύ μετάδοσης του σταθμού βάσης σε οποιαδήποτε κυψέλη του δικτύου στην οποία βρίσκονται multicast χρήστες. Πιο συγκεκριμένα, ο *Αλγόριθμος Επιλογής Καναλιών* εκτελείται σε δύο βήματα:

- Στο πρώτο βήμα (*Define PTM Coverage* στην Εικόνα 84), ο αλγόριθμος υπολογίζει τη βέλτιστη περιοχή κάλυψη του FACH για οποιαδήποτε MBMS σύνοδο στην κυψέλη και για την κατανομή των χρηστών που έχει υπολογιστεί από τη *Φάση Ανάκτησης Παραμέτρων*. Η περιοχή κάλυψης του FACH θα καλείται εφεξής «inner part» (ή εσωτερικό τμήμα) της κυψέλης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 85.
- Στο δεύτερο βήμα (*Find PTP Combination*), ο μηχανισμός αποφασίζει ποιο PTP κανάλι ή ποιος συνδυασμός PTP καναλιών θα καλύψει το υπόλοιπο τμήμα της κυψέλης (το οποίο θα καλείται εφεξής «outer part» - Εικόνα 85).

Εικόνα 85. Ζώνες της κυψέλης

Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί πως τα δύο αυτά βήματα επαναλαμβάνονται για κάθε MBMS σύνοδο της αντίστοιχης κυψέλης. Στο υπόλοιπο τμήμα της παραγράφου παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος λειτουργίας της *Φάσης Επιλογής Καναλιών*.

⁸ Ο ψευδοκώδικας του *Αλγόριθμου Επιλογής Καναλιών* παρουσιάζεται στην Εικόνα 86.

```

% Mechanism for PTP and PTM Bearers Combination

% Define PTM Coverage (Estimate FACH coverage)

Define cell radius
% Divide the cell in 10 zones and calculate their radius
For i=1 to 10
    Calculate Radius Zi
    % Compute the less power demanding CC
    Min Power = P(CC1)
    Selected Zone = Z0
    For j=2 to 21
        Calculate P(CCj)
        if P(CCj) < Min Power then
            Min Power = P(CCj)
            % Find FACH coverage
            Selected Zone = Z  $\left\lceil \frac{j}{2} - 1 \right\rceil$ 

Return Min Power, Selected Zone
%-----
-
% Find PTP Combination (PTP bearers for outer part)

% Compute the less power demanding PTP_CC
Outer Part Min Power = P(PTP_CC1)
Selected PTP_CC = 1
For i= 2 to 2*(10- Selected Zone)
    Calculate P(PTP_CCi)
    if P(PTP_CCi) < Outer Part Min Power then
        Outer Part Min Power = P(PTP_CCi)
        % Find the PTP_CC with min power
        Selected PTP_CC =i
Return Outer Part Min Power, Selected PTP_CC

```

Εικόνα 86. Ψευδοκώδικας του Αλγόριθμου Επιλογής Καναλιών

9.3.3.1 Υπολογισμός Περιοχής Κάλυψης του FACH (Define PTM Coverage)

Προκειμένου να εκτιμηθεί η βέλτιστη περιοχή κάλυψης του FACH (για οποιαδήποτε MBMS σύνοδο στην κυψέλη) στο βήμα *Define PTM Coverage*, ο *Αλγόριθμος Επιλογής Καναλιών* χωρίζει αρχικά την κυψέλη σε δέκα ζώνες ($Z1$ έως $Z10$). Κάθε ζώνη Z_i ($i = 1, 2, \dots, 10$) αναφέρεται σε έναν κύκλο με ακτίνα ίση με $10i\%$ της ακτίνας της κυψέλης. Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος διατρέχει όλες τις ζώνες και υπολογίζει τη συνολική ισχύ μετάδοσης του σταθμού βάσης για τους 21 ακόλουθους σχηματισμούς καναλιών μεταφοράς (transport Channel Configurations, εφεξής χάριν συντομίας «CC»):

- CC1: Το FACH δεν χρησιμοποιείται. Όλοι οι χρήστες της συγκεκριμένης MBMS συνόδου στην κυψέλη εξυπηρετούνται DCHs.
- CC2: Το FACH δεν χρησιμοποιείται. Όλοι οι χρήστες της συγκεκριμένης MBMS συνόδου στην κυψέλη εξυπηρετούνται HS-DSCHs (με ή χωρίς MIMO, ανάλογα με τον αν ο μηχανισμός υποστηρίζει την τεχνολογία MIMO ή όχι).
- CC3: FACH για τους χρήστες έως τη ζώνη $Z1$. Οι υπόλοιποι χρήστες εξυπηρετούνται με DCHs.
- CC4: FACH για τους χρήστες έως τη ζώνη $Z1$. Οι υπόλοιποι χρήστες εξυπηρετούνται με HS-DSCHs (με ή χωρίς MIMO).
-
- CC19: FACH για τους χρήστες έως τη ζώνη $Z9$. Οι υπόλοιποι χρήστες εξυπηρετούνται με DCHs
- CC20: FACH για τους χρήστες έως τη ζώνη $Z9$. Οι υπόλοιποι χρήστες εξυπηρετούνται με HS-DSCHs (με ή χωρίς MIMO).
- CC21: FACH για όλους τους χρήστες (έως τη ζώνη $Z10$). Τα DCHs και HS-DSCHs δεν χρησιμοποιούνται.

Το CC που επιφέρει τη μικρότερη κατανάλωση ισχύος υποδεικνύει την περιοχή κάλυψης του FACH και καθορίζει το «inner part» της κυψέλης. Η διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως εκτελείται ταυτόχρονα για οποιαδήποτε MBMS σύνοδο στην κυψέλη. Κατά τον τρόπο αυτό, η έξοδος του βήματος *Define PTM Coverage* είναι ουσιαστικά η περιοχή κάλυψης του FACH για οποιαδήποτε MBMS σύνοδο στην κυψέλη. Όλη η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται στον ψευδοκώδικα στην Εικόνα 86.

9.3.3.2 Υπολογισμός Συνδυασμού PTP Καναλιών (Find PTP Combination)

Έχοντας καθορίσει την κατάλληλη περιοχή κάλυψης του FACH για οποιαδήποτε MBMS σύνοδο στην κυψέλη, ο αλγόριθμος προχωράει στο βήμα *Find PTP Combination* (βλ. Εικόνα 84), το οποίο καθορίζει για κάθε MBMS σύνοδο τον κατάλληλο συνδυασμό PTP καναλιών που θα καλύψει τους MBMS χρήστες που βρίσκονται στο «outer part» της κυψέλης.

Η διαδικασία υπολογισμού του κατάλληλου συνδυασμού PTP καναλιών είναι παρόμοια με τη διαδικασία που περιγράφεται στο βήμα *Define PTM Coverage*. Έτσι, ο *Αλγόριθμος Επιλογής Καναλιών* διατρέχει όλες τις ζώνες στο εξωτερικό τμήμα της

κυψέλης και υπολογίζει τη συνολική ισχύ μετάδοσης του Node B που απαιτείται προκειμένου να καλυφθούν όλοι οι χρήστες στο «outer part» αποκλειστικά με PTP κανάλια. Η πρώτη ζώνη του εξωτερικού τμήματος είναι η $Z(inner\ part+1)$, επομένως ο αλγόριθμος θα πρέπει να υπολογίσει τους ακόλουθους σχηματισμούς PTP καναλιών μεταφοράς (εφεξής PTP_CC):

- PTP_CC1 : DCHs για τους «outer part» χρήστες έως τη ζώνη $Z(inner\ part+1)$. Οι υπόλοιποι χρήστες (έως τη ζώνη $Z10$) εξυπηρετούνται με HS-DSCHs (με ή χωρίς MIMO).
- PTP_CC2 : DCHs για τους «outer part» χρήστες έως τη ζώνη $Z(inner\ part+2)$. Οι υπόλοιποι χρήστες εξυπηρετούνται με HS-DSCHs (με ή χωρίς MIMO).
-
- $PTP_CC(10-inner\ part)$: Όλοι οι MBMS χρήστες του εξωτερικού τμήματος της κυψέλης εξυπηρετούνται με DCHs. Το HS-DSCH δεν χρησιμοποιείται.
- $PTP_CC(10-inner\ part+1)$: HS-DSCHs (με ή χωρίς MIMO) για τους «outer part» χρήστες έως τη ζώνη $Z(inner\ part+1)$. Οι υπόλοιποι χρήστες (έως τη ζώνη $Z10$) εξυπηρετούνται με DCHs.
- $PTP_CC(10-inner\ part+2)$: HS-DSCHs (με ή χωρίς MIMO) για τους «outer part» χρήστες έως τη ζώνη $Z(inner\ part+2)$. Οι υπόλοιποι χρήστες εξυπηρετούνται με DCHs.
-
- $PTP_CC(2*(10-inner\ part))$: Όλοι οι MBMS χρήστες του εξωτερικού τμήματος της κυψέλης εξυπηρετούνται με HS-DSCHs (με ή χωρίς MIMO). Το DCH δεν χρησιμοποιείται.

Αφού πραγματοποιηθούν οι παραπάνω υπολογισμοί, τα διαφορετικά PTP_CCs συγκρίνονται και το PTP_CC που εξασφαλίζει τη χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος καθορίζει το συνδυασμό των PTP καναλιών μεταφοράς για το εξωτερικό τμήμα της κυψέλης και για τη συγκεκριμένη MBMS σύνοδο.

Σε κάθε περίπτωση, η συνολική έξοδος του *Αλγόριθμου Επιλογής Καναλιών* είναι ο συνδυασμός των PTM και PTP καναλιών που καταναλώνουν τους λιγότερους πόρους ισχύος μεταξύ όλων των δυνατών συνδυασμών⁹ στην αντίστοιχη κυψέλη.

9.3.3.3 Πολυπλεξία FACH (FACH Multiplexing)

Στην περίπτωση του FACH υπάρχει ένα ακόμη βήμα στο μηχανισμό, το οποίο στην Εικόνα 84 αναφέρεται ως *FACH Multiplexing* (Πολυπλεξία FACH). Έτσι, κατά την εκτέλεση του μηχανισμού, όταν οι MBMS σύνοδοι σε μία κυψέλη που απαιτούν FACH είναι περισσότερες από μία, τότε αυτά τα FACHs θα πρέπει να πολυπλεχθούν πάνω σε ένα S-CCPCH, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 87 [16], [17], [60]. Μετά

⁹ Για την ακρίβεια, ο αλγόριθμος δεν εξετάζει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς PTP και PTM καναλιών, δεδομένου ότι στο βήμα *Define PTM Coverage* όπου υπολογίζεται η περιοχή κάλυψης του FACH, το εξωτερικό τμήμα της κυψέλης στους CC σχηματισμούς καλύπτεται μόνο από ένα PTP κανάλι κάθε φορά, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο συνδυασμός τους (κάτι που γίνεται βέβαια στο βήμα *Find PTP combination*). Το γεγονός αυτό κρίθηκε αναγκαίο προκειμένου να μειωθεί η ήδη αυξημένη συνολική πολυπλοκότητα του μηχανισμού, ενώ παράλληλα δεν επηρεάζει την έξοδο του *Αλγόριθμου Επιλογής Καναλιών*.

από τη διαδικασία πολυπλεξίας, υπολογίζεται η χωρητικότητα του S-CCPCH και με βάση τον υπολογισμό αυτό, υπολογίζεται η συνολική ισχύς που απαιτείται για τα κοινά κανάλια ($P_{FACH,total}$) στο αντίστοιχο Node B.

Στην Εικόνα 87 εξετάζονται δύο διαφορετικές διαδικασίες πολυπλεξίας καναλιών. Η πρώτη, ονομάζεται πολυπλεξία FACH σε ένα επίπεδο (Εικόνα 87a) και βασίζεται στην ένα-προς-ένα χαρτογράφηση μεταξύ MBMS συνόδων (MBMS point-to-multipoint Traffic Channels - MTCHs) και FACHs. Η δεύτερη διαδικασία, η οποία ονομάζεται πολυπλεξία FACH σε δύο επίπεδα (Εικόνα 87b), έχει ως κύριο στόχο την περαιτέρω βελτίωση της διαδικασίας πολυπλεξίας. Στην περίπτωση αυτή, πολλαπλά MTCHs μπορούν να πολυπλεχθούν σε ένα FACH, όπως φαίνεται ξεκάθαρα και στην Εικόνα 87b. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διδακτορικής διατριβής εξετάζουμε και αξιολογούμε και τις δύο διαδικασίες.

Εικόνα 87. Πολυπλεξία FACH σε (a) ένα επίπεδο, (b) δύο επίπεδα

9.3.3.4 Υπολογισμός Συνολικής Ισχύος

Η τελευταία ενέργεια που εκτελείται στη *Φάση Επιλογής Καναλιών* είναι ο υπολογισμός της συνολικής ισχύος (P_{total}) που απαιτεί το Node B προκειμένου να υποστηρίξει όλες τις MBMS συνόδους σε κάθε κυψέλη του δικτύου. Η συνολική ισχύς κάθε μίας συνόδου, όπως γίνεται αντιληπτό εξαρτάται από το συνδυασμό καναλιών που έχει επιλεγεί. Ωστόσο, σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι τα κανάλια που έχουν επιλεγεί, δεν έχουν ακόμη ανατεθεί στις MBMS συνόδους. Η συγκεκριμένη ενέργεια εκτελείται στην επόμενη φάση του μηχανισμού.

9.3.4 Φάση Ανάθεσης Καναλιών

Κατά τη διάρκεια της *Φάσης Ανάθεσης Καναλιών*, η συνολική ισχύς P_{total} που απαιτεί ο σταθμός βάσης προκειμένου να υποστηρίξει όλες τις MBMS συνόδους σε κάθε κυψέλη του δικτύου συγκρίνεται με την ισχύ που κάθε πάροχος κινητών δικτύων είναι διατεθειμένος να προσφέρει προκειμένου να εξυπηρετούνται MBMS υπηρεσίες (η ισχύς αυτή ορίζεται ως P_{MBMS}). Προφανώς, η P_{MBMS} αποτελεί την τρίτη κατηγορία παραμέτρων, γνωστές ως παράμετροι που σχετίζονται με τον πάροχο (βλ. παράγραφο 9.3). Διακρίνουμε τις παρακάτω δύο περιπτώσεις:

- $P_{total} < P_{MBMS}$: ο συνδυασμός καναλιών που έχει επιλεγεί στη *Φάση Επιλογής Καναλιών* ανατίθεται στις MBMS συνόδους και η μεταφορά των MBMS δεδομένων ξεκινά.

- $P_{total} > P_{MBMS}$: θα πρέπει να εφαρμοστεί μία διαδικασία επαναπροσδιορισμού των συνόδων, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι στο σταθμό βάσης ώστε να εξυπηρετηθούν όλες οι MBMS σύνοδοι στην κυψέλη.

Ειδικότερα, στην δεύτερη περίπτωση προτείνονται και συνίστανται τρία πιθανά γεγονότα επαναπροσδιορισμού των συνόδων:

- Τη μείωση του ρυθμού μετάδοσης μιας MBMS συνόδου.
- Την παύση μίας MBMS συνόδου για ένα μικρό χρονικό διάστημα.
- Την ακύρωση μίας MBMS συνόδου.

Η πολιτική First Come First Served (FCFS) είναι η απλούστερη και πιο δίκαιη πολιτική που ο μηχανισμός θα μπορούσε να υιοθετήσει προκειμένου να εκτελεσθούν τα τρία αυτά γεγονότα επαναπροσδιορισμού των συνόδων. Ακολουθώντας την πολιτική FCFS και εξετάζοντας τη διαθέσιμη ισχύ, ο μηχανισμός εκτελεί το βέλτιστο γεγονός στις πιο πρόσφατες MBMS συνόδους. Γίνεται κατανοητό πως το πόσο δραστικά θα είναι τα μέτρα που θα ληφθούν από το μηχανισμό εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τη διαθέσιμη ισχύ. Έτσι, σε περίπτωση που είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί μία διαδικασία επαναπροσδιορισμού, εάν η μείωση του ρυθμού μετάδοσης της MBMS συνόδου που ενεργοποιήθηκε χρονικά τελευταία δεν μπορεί να εξασφαλίσει αρκετούς πόρους ισχύος ώστε να ισχύει $P_{total} < P_{MBMS}$, τότε η μετάδοση της συνόδου αυτής διακόπτεται προσωρινά, ενώ αν δεν έχουν εξασφαλιστεί πόροι ισχύος εντός ενός εύλογου χρονικού διαστήματος τότε η συγκεκριμένη MBMS σύνοδος ακυρώνεται.

9.3.5 Περιοδικός Έλεγχος

Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω αναφέρεται σε ένα δυναμικό μοντέλο, δεδομένου ότι οι χρήστες του συστήματος θεωρούνται ότι κινούνται, ενώ παράλληλα ο αριθμός των MBMS συνόδων μπορεί να αλλάζει. Επομένως, ο προτεινόμενος μηχανισμός θα πρέπει ανά τακτά χρονικά διαστήματα να πραγματοποιεί ελέγχους (η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως periodic check στην Εικόνα 84) ώστε να υπολογίζονται εκ νέου οι παράμετροι που σχετίζονται με τους χρήστες και με τις MBMS συνόδους (βλ. παράγραφο 9.3).

Παράλληλα, κατά τον περιοδικό έλεγχο εξετάζονται διάφορα σενάρια-γεγονότα που μπορούν να συμβούν κατά τη μετάδοση μίας multicast υπηρεσίας και επηρεάζουν την εκπεμπόμενη ισχύ και κατά συνέπεια την επιλογή του καταλληλότερου συνδυασμού καναλιών μεταφοράς. Τα πιθανά αυτά γεγονότα είναι:

- Μία νέα αίτηση λήψης multicast υπηρεσίας από κάποιον νέο χρήστη.
- Ο τερματισμός λήψης μίας multicast υπηρεσίας από κάποιον χρήστη.
- Τυχόντα φαινόμενα εξασθένησης σήματος.

Με άλλα λόγια, ο περιοδικός έλεγχος είναι απαραίτητος ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση της απόδοσης του MCAM σε υψηλά επίπεδα και καθ' όλη τη διάρκεια μετάδοσης των MBMS υπηρεσιών.

Αξίζει βέβαια να σημειωθεί πως ο περιοδικός υπολογισμός των παραμέτρων αυξάνει τη συνολική πολυπλοκότητα του μηχανισμού και μειώνει το εύρος ζώνης καθώς οι πληροφορίες (π.χ. για την θέση των χρηστών) μεταφέρονται μέσω uplink καναλιών. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει πως ένα μέρος του εύρους ζώνης στην uplink

κατεύθυνση θα πρέπει να διατεθεί για τη μετάδοση αυτών των πληροφοριών, με αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής χωρητικότητας του συστήματος.

9.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ MCAM

Στην ενότητα αυτή αξιολογείται η απόδοση του MCAM για την επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού καναλιών πολυεκπομπής και κατ' επέκταση για τον αποτελεσματικό έλεγχο ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών. Για την καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών του MCAM, παρουσιάζεται και αναλύεται η απόδοσή του σε τέσσερις φάσεις.

Αρχικά, στην υποενότητα 9.4.1 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας της πιο κρίσιμης φάσης του MCAM, της *Φάσης Επιλογής Καναλιών* (RB Selection Phase στην Εικόνα 84). Υπενθυμίζουμε πως ο ρόλος της συγκεκριμένης φάσης έγκειται στο να επιλέγει το κατάλληλο κανάλι μεταφοράς ή τον κατάλληλο συνδυασμό καναλιών μεταφοράς για κάθε MBMS σύνοδο σε κάθε κυψέλη του δικτύου. Έτσι, στόχος της συγκεκριμένης υποενότητας είναι η αξιολόγηση της δυνατότητας του μηχανισμού να επιλέγει τον αποδοτικότερο συνδυασμό καναλιών μεταφοράς για τη μετάδοση μιας MBMS συνόδου.

Στην αμέσως επόμενη υποενότητα, την υποενότητα 9.4.2, πραγματοποιείται μία άμεση σύγκριση ανάμεσα στον MCAM και την υπάρχουσα μορφή του μηχανισμού TS 25.346. Σκοπός της σύγκρισης αυτής είναι να αναδειχτεί το γεγονός ότι η χρήση του HS-DSCH καναλιού στις προδιαγραφές του MBMS στάνταρ και ιδιαίτερα της τεχνολογίας MIMO, μπορεί να βελτιώσει δραματικά την κατανάλωση των περιορισμένων και «ακριβών» πόρων ισχύος σε κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς.

Στην υποενότητα 9.4.3 γίνεται μία σύγκριση των πόρων ισχύος και της πολυπλοκότητας μεταξύ του προτεινόμενου μηχανισμού και των μηχανισμών επιλογής καναλιών που έχουν προταθεί από το 3GPP. Κύριος στόχος της συγκεκριμένης ενότητας είναι αρχικά να τονίσει τα προτερήματα του MCAM και παράλληλα να αναδείξει τα κέρδη ισχύος και χωρητικότητας που μπορεί να εξασφαλίσει.

Όπως είναι κατανοητό, ο αριθμός των παράλληλων MBMS συνόδων που ένας σταθμός βάσης μπορεί να υποστηρίξει είναι περιορισμένος. Με βάση τον παραπάνω συλλογισμό, το πιο αξιοσημείωτο πλεονέκτημα του προτεινόμενου μηχανισμού είναι ότι διαφοροποιεί ουσιαστικά από τις 3GPP προσεγγίσεις δεδομένου ότι προσαρμόζεται στις απαιτήσεις των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς για ταυτόχρονη παροχή πολλαπλών πολυμεσικών συνόδων. Προς αυτή την κατεύθυνση, στόχος της υποενότητας 9.4.4 είναι να παρουσιάσει την ικανότητα του MCAM να χειρίζεται πολλαπλές παράλληλες MBMS συνόδους.

Η αξιολόγηση του μηχανισμού αφορά την περίπτωση του macrocell περιβάλλοντος. Επομένως, οι βασικές παράμετροι προσομοίωσης είναι αυτές που αναφέρει ο Πίνακας 6 στην παράγραφο 5.9.5.1. Ο Πίνακας 22 παρουσιάζει κάποιες επιπλέον παραμέτρους προσομοίωσης για τα σενάρια που θα ακολουθήσουν [1], [5], [6], [26], [65]. Επίσης, αν δε δηλώνεται διαφορετικά, θεωρείται η μετάδοση μίας 64 Kbps MBMS υπηρεσίας.

Παράμετρος	Τιμή
Διαθέσιμη Ισχύς εκπομπής MBMS υπηρεσιών	10 Watt
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 22. Επιπλέον παράμετροι για την αξιολόγηση του MCAM

9.4.1 Έλεγχος Λειτουργίας της Φάση Επιλογής Καναλιών

Η παράγραφος αυτή παρουσιάζει αποτελέσματα προσομοίωσης σχετικά με τη λειτουργία της κυριότερης φάσης του MCAM, τη *Φάση Επιλογής Καναλιών*. Συγκεκριμένα, αξιολογούμε τη δυνατότητα του μηχανισμού να επιλέγει τον αποδοτικότερο συνδυασμό καναλιών πολυεκπομπής για τη μετάδοση μιας 64 Kbps MBMS συνόδου.

Ο Πίνακας 23 παρουσιάζει την κατανομή των χρηστών στην κυψέλη κατά τη διάρκεια των 250 sec της προσομοίωσης. Για να γίνει πιο κατανοητό το παράδειγμα έχουμε χωρίσει το συνολικό χρονικό διάστημα της προσομοίωσης σε πέντε μικρότερα χρονικά διαστήματα. Έτσι, ο Πίνακας 23 καθορίζει τον πληθυσμό των χρηστών ανά ζώνη για κάθε χρονικό διάστημα (π.χ. το χρονικό διάστημα 201-250 sec υπάρχουν 20 χρήστες στη ζώνη Z6, 2 στη Z7 και 4 στη Z9)¹⁰. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης οι χρήστες κινούνται τυχαία με ταχύτητα 3 km/h, παραμένουν ωστόσο στα όρια της ζώνης που βρίσκονται. Η μοναδική εξαίρεση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια τη χρονική περίοδο 151-200 sec, όταν το group των 20 UEs κινείται προς τα σύνορα της κυψέλης, μεταπηδώντας σταδιακά από τη ζώνη Z4 στη ζώνη Z6.

Χρόνος (sec)	Κατανομή χρηστών ανά ζώνη									
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10
1-50	10	20	-	-	2	-	-	8	2	-
51-100	5	10	15	-	-	-	-	3	-	-
101-150	3	8	9	14	-	-	-	2	-	-
151-200	-	-	-	20	20	20	-	-	-	-
201-250	-	-	-	-	-	20	2	-	4	-

Πίνακας 23. Κατανομή χρηστών

¹⁰ Αναλυτική παρουσίαση για τις ζώνες στις οποίες χωρίζεται η κυψέλη γίνεται στην ενότητα 9.3.3.

Αρχικά θα εξετάσουμε τη λειτουργία του βήματος *Define PTM Coverage* του MCAM. Η Εικόνα 88 απεικονίζει τους σχηματισμούς καναλιών μεταφοράς που υπολογίζονται όταν ο *Αλγόριθμος Επιλογής Καναλιών* διατρέξει τις ζώνες για πρώτη φορά, τη χρονική στιγμή 1 sec (για την ακρίβεια στην Εικόνα 88 παρουσιάζονται 22 CCs, ωστόσο οι δύο τελευταίοι CCs αντιστοιχούν στην ίδια περίπτωση, δηλ. στην περίπτωση FACH με κάλυψη 100%). Με βάση τις τιμές αυτές, ο αλγόριθμος υπολογίζει τη βέλτιστη περιοχή κάλυψης για τα PTM κανάλια και επομένως, την ισχύ που απαιτείται για το FACH. Ειδικότερα, παρατηρώντας την Εικόνα 88 μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι ο CC που αντιστοιχεί στο συνδυασμό του FACH με κάλυψη 20% (για το εσωτερικό τμήμα της κυψέλης) και DCH (για τους χρήστες στο εξωτερικό τμήμα) εξασφαλίζει τη χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος. Επομένως, για τη δεδομένη χρονική στιγμή, η ισχύς του FACH τίθεται σε ένα επίπεδο ικανό να καλύψει το 20% της περιοχής της κυψέλης. Οι *PTP_CCs* ανιχνεύονται με παρόμοιο τρόπο προκειμένου να καθοριστεί ο κατάλληλος συνδυασμός των PTP καναλιών στο υπόλοιπο τμήμα της κυψέλης.

Εικόνα 88. Σχηματισμοί καναλιών μεταφοράς τη χρονική στιγμή 1 sec

Όσον αφορά την κατανάλωση ισχύος (Εικόνα 89), κατά τη διάρκεια των πρώτων 50 sec της προσομοίωσης η ισχύς μετάδοσης του FACH τίθεται στο 1.6 Watt, τιμή που αντιστοιχεί σε περιοχή κάλυψης 20% της κυψέλης, προκειμένου να καλυφθεί το εσωτερικό τμήμα («inner part») και να εξυπηρετηθούν οι χρήστες που βρίσκονται στις ζώνες Z1 και Z2. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιούνται και τα δύο PTP κανάλια μεταφοράς (HS-DSCH και DCH) για την κάλυψη του εξωτερικού τμήματος και την εξυπηρέτηση των χρηστών στις υπόλοιπες ζώνες. Κατά συνέπεια, στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα έχουμε μια συνδυασμένη χρήση και των τριών καναλιών πολυεκπομπής, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 89. Κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 51-150 sec, παρατηρούμε ότι από τα PTP κανάλια χρησιμοποιείται μόνο το DCH, ενώ για το χρονικό διάστημα 151-200 sec τα MBMS δεδομένα μεταδίδονται μόνο από PTM κανάλια (FACH με χρήση DPS). Τέλος, κατά τη διάρκεια του τελευταίου τμήματος της προσομοίωσης, σύμφωνα με την Εικόνα 89, ο βέλτιστος συνδυασμός καναλιών περιλαμβάνει FACH με κάλυψη 60% και HS-DSCH για τους υπόλοιπους 6 χρήστες που βρίσκονται στις ζώνες Z7 και Z9.

Εικόνα 89. Στάθμες ισχύος των διαθέσιμων καναλιών μεταφοράς

Στόχος του παραπάνω σεναρίου ήταν να παρουσιάσει τη διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συνδυασμού καναλιών μεταφοράς κατά τη διάρκεια της *Φάσης Επιλογής Καναλιών*. Γενικά, η ανάλυση αποκαλύπτει ότι κάθε χρονική στιγμή επιλέγεται για την μετάδοση των MBMS δεδομένων ο συνδυασμός καναλιών που ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ισχύος.

9.4.2 Εξοικονόμηση Ισχύος μέσω της Τεχνολογίας MIMO

Τα πλεονεκτήματα και η εξοικονόμηση ισχύος με την τεχνολογία MIMO μπορούν να κατανοηθούν πιο εύκολα μέσω της σύγκρισης του MCAM με τον επικρατέστερο μηχανισμό που μηχανισμό έχει προταθεί από το 3GPP, τον TS 25.346. Για να γίνει πιο ρεαλιστική η σύγκριση, κατά τη μετάδοση μίας MBMS υπηρεσίας λαμβάνονται υπόψη και εξετάζονται τόσο θέματα που αφορούν την κινητικότητα των χρηστών όσο και το πλήθος τους. Παράλληλα, μέσα από την επίδειξη των αποτελεσμάτων αυτής της υποενοτήτας αναδεικνύονται όλα τα προτερήματα του προτεινόμενου μηχανισμού και τα κέρδη ισχύος και χωρητικότητας που μπορεί να εξασφαλίσει κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών.

Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται ότι ο TS 25.346 κάνει χρήση μόνο των DCH και FACH καναλιών πολυεκπομπής, ενώ δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη το κανάλι HS-DSCH. Επίσης, ο TS 25.346 χρησιμοποιεί ως κριτήριο για την εναλλαγή ανάμεσα στο DCH και το FACH το πλήθος των εξυπηρετούμενων multicast χρηστών. Για ένα macrocell περιβάλλον, ένα τέτοιο όριο είναι οι 8 χρήστες σύμφωνα με όσα υπάρχουν στην βιβλιογραφία και παρουσιάστηκαν αναλυτικά στην παράγραφο 9.2.1. Επίσης, λόγω του ότι στην περίπτωση του FACH δεν υπάρχει κάποιος δυναμικός τρόπος ελέγχου της μέγιστης δυνατής κάλυψης, το FACH εκπέμπει σε τιμή ισχύος τέτοια ώστε να καλύψει το 100% της κυψέλης (δηλαδή σε 7.6 Watt).

Για την ταυτόχρονη αξιολόγηση των δύο μηχανισμών προσομοιώνεται ένα ρεαλιστικό σενάριο το οποίο περιλαμβάνει τόσο κινητικότητα των χρηστών όσο και μεταβαλλόμενο πλήθος εξυπηρετούμενων χρηστών. Το σενάριο προσομοίωσης

θεωρεί την ύπαρξη ενός μόνο μικρού τμήματος ενός macrocell περιβάλλοντος και όχι ολόκληρης της τοπολογίας. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται δύο γειτονικές κυψέλες, οι οποίες αποκαλούνται αντίστοιχα source cell και target cell. Σχηματικά, η εικόνα του υπό εξέταση τμήματος του δικτύου απεικονίζεται στην Εικόνα 90.

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με το σενάριο αυτό, στο source cell υπάρχουν 14 multicast χρήστες (τοποθετημένοι στο 90% της κυψέλης), ενώ στο target cell 6 multicast χρήστες (Εικόνα 90). Ακόμη, θεωρείται η μετάδοση μίας 64 Kbps MBMS υπηρεσίας με χρονική διάρκεια 2000 sec. Αρχικά, και για τα πρώτα 200 sec του σεναρίου, οι χρήστες και στις δύο κυψέλες είναι ακίνητοι. Κατά το χρονικό διάστημα 201-2000 sec ένα group 10 χρηστών από το source cell που βρίσκονται στα όρια της κυψέλης κινείται προς το target cell, όπως απεικονίζει η Εικόνα 90. Οι υπόλοιποι χρήστες συνεχίζουν να παραμένουν ακίνητοι.

Εικόνα 90. Τοπολογία προσομοίωσης

Η Εικόνα 91a και η Εικόνα 92a απεικονίζουν τα επίπεδα εκπεμπόμενης ισχύος των Node Bs, όπως παράγονται από τη *Φάση Επιλογής Καναλιών* του MCAM, για τα source cell και target cell αντίστοιχα. Παράλληλα, η Εικόνα 91b και η Εικόνα 92b απεικονίζουν την ισχύ που τελικά καταναλώνει κάθε ένας από τους δύο μηχανισμούς. Έτσι, για τον προτεινόμενο μηχανισμό (στις εικόνες αναφέρεται ως «Proposed Mechanism») η ισχύς αυτή αντιστοιχεί στην ισχύ εκπομπής του επιλεγμένου καναλιού (ο συνδυασμός καναλιών δεν εφαρμόζεται δεδομένου ότι οι χρήστες κινούνται σαν ένα group) από τη *Φάση Επιλογής Καναλιών*, ενώ για τον μηχανισμό TS 25.346 στην ισχύ είτε του DCH υπολογισμένη σύμφωνα με την ενότητα 7.4 (για λιγότερους από 8 χρήστες) είτε του FACH που ισοδυναμεί με 7.6 Watt (για περισσότερους από 8 χρήστες).

Εικόνα 91. Source Cell: (a) Λειτουργικότητα του MCAM, (b) Σύγκριση MCAM και TS 25.346

Εικόνα 92. Target Cell: (a) Λειτουργικότητα του MCAM, (b) Σύγκριση MCAM και TS 25.346

Για την ευκολότερη κατανόηση της σύγκριση των μηχανισμών, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων διαχωρίζεται σε τρεις διακριτές χρονικές ενότητες.

0-200 sec:

- Στο χρονικό αυτό διάστημα όλοι οι χρήστες και των δύο γειτονικών κυψελών παραμένουν ακίνητοι. Σύμφωνα με τον MCAM, για το source cell επιλέγεται η μετάδοση των MBMS δεδομένων μέσω του FACH καναλιού με ισχύ ίση με 6.4 Watt για 90% κάλυψη κυψέλης (Εικόνα 91a). Αντίθετα, ο TS 25.346 χρησιμοποιεί το FACH με ισχύ ίση με 7.6 Watt για εξασφάλιση 100% κάλυψης, αφού δε λαμβάνει υπόψη την τοποθεσία των χρηστών μέσα στην κυψέλη. Κατά συνέπεια, ο προτεινόμενος μηχανισμός εξασφαλίζει ένα κέρδος ισχύος της τάξης του 1.2 Watt (Εικόνα 91b).
- Στο ίδιο αυτό χρονικό διάστημα, στο target cell και οι δύο μηχανισμοί χρησιμοποιούν PTP κανάλια για την παροχή της υπηρεσίας στους χρήστες. Ωστόσο, σύμφωνα με τον MCAM γίνεται χρήση του HS-DSCH, σε αντίθεση με τον μηχανισμό TS 25.346 που κάνει χρήση του DCH. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μία περαιτέρω εξασφάλιση πόρων ισχύος που αγγίζει το 1 Watt, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 92b.

201-1341 sec:

- Στο χρονικό αυτό διάστημα, ένα group 10 χρηστών, που αρχικά βρίσκεται στο 90% του source cell, ξεκινά να κινείται προς την κατεύθυνση του target cell (Εικόνα 90). Τη χρονική στιγμή 1341 sec ξεπερνά τα όρια του source cell και εισέρχεται στην περιοχή κάλυψης του target cell. Παράλληλα, στο διάστημα αυτό οι υπόλοιποι χρήστες παραμένουν στις αρχικές τους θέσεις.
- Αναφορικά με το source cell μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις. Ο MCAM είναι ικανός να αντιλαμβάνεται την κινητικότητα των χρηστών και δυναμικά να υπολογίζει την απαιτούμενη ισχύ. Κατ' επέκταση μπορεί να επιλέγει σε κάθε χρονική στιγμή το κατάλληλο κανάλι μεταφοράς. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να επιτυγχάνει βέλτιστο έλεγχο ισχύος σε όλη τη διάρκεια μετάδοσης της υπηρεσίας. Έτσι λοιπόν, όταν οι κινούμενοι χρήστες πλησιάζουν το σταθμό βάσης του source cell, ο MCAM επιλέγει τη χρήση PTP καναλιών (DCH και HS-DSCH) αφού αυτά έχουν μικρότερη κατανάλωση ισχύος από το FACH, ακόμη και για μεγάλο πλήθος χρηστών. Ταυτόχρονα, όταν οι χρήστες κινούνται κοντά στα όρια της κυψέλης η ιδανικότερη επιλογή είναι η χρήση του FACH. Αντίθετα, ο TS 25.346 δε μπορεί να αντιληφθεί την κινητικότητα των χρηστών και στατικά αναθέτει το FACH κανάλι μεταφοράς βασιζόμενος στο γεγονός ότι το πλήθος χρηστών είναι μεγαλύτερο από 8 χρήστες. Κατά συνέπεια, όπως απεικονίζει η Εικόνα 91b ο TS 25.346 οδηγεί σε μία μεγάλη σπατάλη ισχύος με μέγιστη τιμή ίση με 5.6 Watt, ενώ στην καλύτερη περίπτωση εξασφαλίζει την ίδια κατανάλωση ισχύος με τον προτεινόμενο μηχανισμό (προς το τέλος του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος όπου το group χρηστών πλησιάζει στα σύνορα των δύο κυψελών).
- Για την περίπτωση του target cell, στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα οι δύο μηχανισμοί διατηρούν τα κανάλια μεταφοράς του πρώτου χρονικού διαστήματος έχουν ακριβώς την ίδια συμπεριφορά (HS-DSCH στην περίπτωση του MCAM και DCH στην περίπτωση του TS 25.346), αφού η κατανομή και το πλήθος των χρηστών δεν έχουν μεταβληθεί.
- Αυτό που αξίζει να σημειωθεί για το εν λόγω χρονικό διάστημα είναι το γεγονός ότι η χρήση της τεχνολογίας MIMO κατά τις HS-DSCH μεταδόσεις μπορεί να επιφέρει ένα επιπρόσθετο κέρδος ισχύος. Πράγματι, παρατηρώντας την εικόνα Εικόνα 91b, παρατηρούμε πως στο μεγαλύτερο μέρος του χρονικού διαστήματος 201-1341 sec, ο MCAM επιλέγει για την εξυπηρέτηση των χρηστών το HS-DSCH κανάλι μεταφοράς εξασφαλίζοντας σημαντικούς πόρους ισχύος. Το κέρδος μάλιστα σε ισχύ είναι ακόμη μεγαλύτερο ότι το HS-DSCH υποστηρίζει την τεχνολογία MIMO.

1341-2000 sec:

- Τη χρονική στιγμή 1341 sec οι κινούμενοι χρήστες εισέρχονται στην περιοχή κάλυψης του target cell. Έτσι, πλέον, το source cell εξυπηρετεί 4 χρήστες και το target cell 16 multicast χρήστες.
- Στο χρονικό αυτό διάστημα και για την περίπτωση του source cell, οι δύο μηχανισμοί κάνουν χρήση πολλαπλών DCH καναλιών και έχουν πανομοιότυπη απόδοση από πλευράς κατανάλωσης ισχύος (Εικόνα 91b). Ωστόσο, στο target cell οι δύο μηχανισμοί έχουν διαφορετική συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα, ο TS 25.346 αναθέτει την εξυπηρέτηση των χρηστών σε ένα FACH κανάλι με ισχύ 7.6 Watt, αφού τώρα οι χρήστες είναι περισσότεροι από 8. Αντίθετα, ο

MCAM επιτελεί καλύτερο έλεγχο του συστήματος, λαμβάνει υπόψη την κινητικότητα των χρηστών και με δυναμικό τρόπο επιλέγει το κατάλληλο κανάλι πολυεκπομπής. Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό και από την Εικόνα 92b ο προτεινόμενος μηχανισμός υπερτερεί έναντι του TS 25.346 και οδηγεί σε καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων ισχύος.

Συμπερασματικά, όπως προκύπτει από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις ο MCAM που συνδυάζει τη χρήση του HS-DSCH (με ή χωρίς MIMO) και τη χρήση ενός power-based σχήματος εναλλαγής καναλιών, επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση και επιτελεί βέλτιστο έλεγχο ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών. Ιδιαίτερα, η υποστήριξη της τεχνολογίας MIMO κατά τις HS-DSCH μεταδόσεις μπορεί να επιφέρει επιπλέον κέρδος ισχύος, βελτιώνοντας ακόμη περισσότερο την απόδοση του προτεινόμενου μηχανισμού. Επιπρόσθετες, αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας και απόδοσης του προτεινόμενου μηχανισμού (MCAM) μπορούν να βρεθούν και στις αναφορές [40], [41], [42], [44], [48], [49], [50] και [52].

9.4.3 Σύγκριση με τους 3GPP Μηχανισμούς

Στην υποενότητα αυτή, μέσω ενός σεναρίου πραγματοποιείται σύγκριση των καταναλισκόμενων πόρων ισχύος και της πολυπλοκότητας μεταξύ του MCAM και των μηχανισμών επιλογής καναλιών πολυεκπομπής που έχουν προταθεί από το 3GPP.

Το σενάριο διαρκεί για 200 sec και για λόγους καλύτερης κατανόησης μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερα χρονικά διαστήματα, ανάλογα με τον αριθμό και την κατανομή των MBMS χρηστών (Πίνακας 24). Σύμφωνα με το σενάριο, μία 64 Kbps MBMS υπηρεσία πρέπει να παραδοθεί σε ένα group χρηστών, των οποίων η αρχική θέση για κάθε χρονικό διάστημα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. Παραδείγματος χάριν, για το χρονικό διάστημα 0-50 sec, την υπηρεσία λαμβάνουν 25 χρήστες που απέχουν από το Node B απόσταση ίση με το 50% της ακτίνας της κυψέλης και 7 χρήστες σε απόσταση 80% της ακτίνας της κυψέλης. Παράλληλα, ο Πίνακας 24 παρουσιάζει τον μηχανισμό που έχει την καλύτερη επίδοση από άποψη ισχύος για κάθε ένα χρονικό διάστημα.

Χρόνος (sec)	Αριθμός Χρηστών	Κάλυψη (%)	Καλύτερη Απόδοση
0-50	25	50	MCAM
	7	80	
51-100	25	50	R1-02-1240 και MCAM
	2	80	
101-150	17	50	TR 25.922 (HS-DSCH) και MCAM
151-200	4	50	Όλοι εκτός του TR 25.922 (HS-DSCH)

Πίνακας 24. Αριθμός χρηστών και κάλυψη ανά χρονική περίοδο

Εικόνα 93. Σύγκριση (α) κατανάλωσης ισχύος και (β) πολυπλοκότητας μεταξύ των μηχανισμών

Αντίστοιχα, η Εικόνα 93a απεικονίζει τα επίπεδα ισχύος των υπό εξέταση μηχανισμών επιλογής καναλιών πολυεκπομπής. Από μία πρώτη ματιά μπορεί κάποιος να παρατηρήσει πως την καλύτερη επίδοση, ή αλλιώς τη χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος, έχουν ο προτεινόμενος μηχανισμός και ο μηχανισμός που προτάθηκε στο 3GPP TSG-RAN R1-021240. Θα εξετάσουμε σαν παράδειγμα την κατανάλωση ισχύος κάθε μηχανισμού για το χρονικό διάστημα 0-50 sec και κατ' αντιστοιχία από την Εικόνα 93a υπολογίζεται η κατανάλωση ισχύος για τα υπόλοιπα χρονικά διαστήματα.

- TS 25.346: Υποθέτουμε ότι το όριο εναλλαγής μεταξύ DCH και FACH στο μηχανισμό TS 25.346 είναι 8 χρήστες. Στο σενάριο που εξετάζουμε, για το χρονικό διάστημα 0-50 sec, ο συνολικός αριθμός των χρηστών στην κυψέλη είναι 32 (Πίνακας 24). Επομένως, ο TS 25.346 θα χρησιμοποιήσει για την κάλυψη της κυψέλης και την εξυπηρέτηση και των 32 χρηστών ένα FACH με ισχύ εκπομπής 7.6 Watt.
- TR 25.922: Το πλήθος των χρηστών στο χρονικό αυτό διάστημα ευνοεί τη χρήση ενός FACH προκειμένου να εξυπηρετηθούν όλοι οι χρήστες της κυψέλης. Ωστόσο, όπως και ο μηχανισμός TS 25.346, ο TR 25.922 δεν υποστηρίζει την τεχνική DPS όταν χρησιμοποιείται το FACH με αποτέλεσμα να έχει τις ίδιες απαιτήσεις ισχύος με τον TS 25.346 (δηλαδή 7.6 Watt) για το χρονικό διάστημα 0-50 sec.
- Μηχανισμός που προτάθηκε στο 3GPP TSG-RAN R1-021240: Ο μηχανισμός αυτός, σύμφωνα με τα όσα παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 9.2.3, επιτρέπει τη μικτή χρήση DCHs και FACH, ενώ παράλληλα υποστηρίζει την τεχνική DPS. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 93a, για το αρχικό χρονικό διάστημα απαιτούνται 4.8 Watt προκειμένου να εξυπηρετηθούν όλοι οι χρήστες της κυψέλης. Η μείωση της απαιτούμενης ισχύος συγκριτικά με τους δύο προηγούμενους μηχανισμούς προέρχεται από την εφαρμογή της τεχνικής DPS.

Έτσι, σύμφωνα με την τεχνική αυτή, ο μηχανισμός δεν είναι ανάγκη να καλύψει με FACH ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης, αλλά θα πρέπει να καλύψει δυναμικά την περιοχή όπου βρίσκεται ο χρήστης με το χειρότερο path loss (με άλλα λόγια ο πιο απομακρυσμένος από το Node B χρήστης). Στην περίπτωση μας, ο χρήστης αυτός βρίσκεται στα όρια της ζώνης Z8 και επομένως το FACH θα πρέπει να καλύψει το 80% της περιοχής της κυψέλης (απαιτώντας 4.8 Watt).

- Προτεινόμενος μηχανισμός (MCAM): Τέλος, η Εικόνα 93a παρουσιάζει την ισχύ που απαιτείται από τον προτεινόμενο μηχανισμό για το σενάριο που εξετάζεται. Για το χρονικό διάστημα 0-50 sec, η έξοδος του *Αλγορίθμου Επιλογής Καναλιών* (Channels Selection Algorithm στην Εικόνα 84) προδιαγράφει ότι οι χρήστες μέχρι τη ζώνη Z5 θα πρέπει να εξυπηρετούνται από ένα FACH. Επιπρόσθετα, ο αποδοτικότερος συνδυασμός PTP καναλιών για το εξωτερικό τμήμα της κυψέλης είναι η χρήση του HS-DSCH καναλιού (που ενσωματώνει την τεχνολογία MIMO) για την εξυπηρέτηση των 7 χρηστών που βρίσκονται στη ζώνη Z8. Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο MCAM απαιτεί συνολικά 4.4 Watt προκειμένου να παρέχει την MBMS υπηρεσία σε όλους τους χρήστες της κυψέλης. Επομένως, ο προτεινόμενος μηχανισμός εξασφαλίζει μειωμένη κατανάλωση ισχύος συγκριτικά με τους 3GPP μηχανισμούς. Συγκεκριμένα, για την περίοδο 0-50 sec, ο MCAM μπορεί να εξοικονομήσει ένα σημαντικό ποσό ισχύος, που κυμαίνεται από 0.4 έως 3.2 Watt (ή αλλιώς 2% έως 16% των συνολικών πόρων ισχύος του Node B) έναντι των 3GPP προσεγγίσεων.

Από την άλλη μεριά, η Εικόνα 93b παρουσιάζει τα υπολογιστικό κόστος που κάθε μηχανισμός επιφέρει (αριθμός πράξεων / επαναλήψεων που απαιτούνται για τον υπολογισμό της ισχύος και την ανάθεση των καναλιών πολυεκπομπής) για το σενάριο που εξετάζεται.

Σύμφωνα με την εικόνα αυτή, ο μηχανισμός TS 25.346 έχει τη χαμηλότερη πολυπλοκότητα και το μικρότερο υπολογιστικό κόστος (ο αριθμός πράξεων / επαναλήψεων είναι σταθερός και ίσος με τη μονάδα), ουσιαστικά επειδή απαιτεί μόνο τον αριθμό των εξυπηρετούμενων MBMS χρηστών προκειμένου να ορίσει και να αναθέσει το κατάλληλο κανάλι μεταφοράς. Αντίθετα, οι υπόλοιπες προσεγγίσεις έχουν υψηλότερο υπολογιστικό κόστος εξαιτίας του γεγονότος ότι πρέπει να ανακτούν ανά τακτά χρονικά διαστήματα τις παραμέτρους των υπαρχόντων MBMS χρηστών. Επιπλέον, οι προσεγγίσεις αυτές πρέπει να υπολογίσουν την κατανάλωση ισχύος των καναλιών μεταφοράς που υποστηρίζουν και βασισμένες σε αυτόν τον υπολογισμό να αναθέσουν το κατάλληλο κανάλι, γεγονός που αυξάνει ακόμη περισσότερο την πολυπλοκότητα.

Το γεγονός ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός υποστηρίζει όλα τα διαθέσιμα κανάλια πολυεκπομπής και εξετάζει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς μεταξύ αυτών των καναλιών εξηγεί γιατί επιφέρει υψηλότερο κόστος από τις υπόλοιπες προσεγγίσεις. Σε κάθε περίπτωση, μπορούμε να αναφέρουμε πως τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον αποτελεσματικό έλεγχο ισχύος αντισταθμίζουν τα όποια ζητήματα πολυπλοκότητας. Και αυτό γιατί οι πιο περιορισμένοι πόροι στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών είναι οι πόροι ισχύος.

9.4.4 Χειρισμός Παράλληλων MBMS συνόδων

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του μηχανισμού MCAM είναι η δυνατότητα που παρέχει για αποδοτικό χειρισμό πολλαπλών παράλληλων MBMS συνόδων.

Προκειμένου να αξιολογηθεί αυτή η ικανότητα, στη συγκεκριμένη παράγραφο εξετάζεται ένα σενάριο προσομοίωσης όπου πολλαπλές MBMS υπηρεσίες μεταδίδονται παράλληλα σε διάφορα group χρηστών που βρίσκονται σε μία κυψέλη του συστήματος. Συγκεκριμένα, υποθέτουμε ότι σε μία κυψέλη υπάρχουν τέσσερις ομάδες χρηστών οι οποίες λαμβάνουν τέσσερις διαφορετικές MBMS υπηρεσίες με χαρακτηριστικά όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ο Πίνακας 25 παρουσιάζει επίσης για κάθε χρονικό διάστημα, το κατάλληλο κανάλι πολυεκπομπής (όσον αφορά την κατανάλωση ισχύος) ή τον κατάλληλο συνδυασμό καναλιών προκειμένου να εξυπηρετηθεί το εκάστοτε group χρηστών.

Παράλληλα, η Εικόνα 94 παρουσιάζει την κατανάλωση ισχύος κάθε MBMS συνόδου καθώς επίσης και τη συνολική ισχύ που απαιτεί ο μηχανισμός MCAM για να υποστηρίξει τη μετάδοση όλων των υπηρεσιών στους multicast χρήστες της αντίστοιχης κυψέλης.

A/A Υπηρεσίας	Διάρκεια (sec)	Ρυθμός (Kbps)	Αριθμός Χρηστών	Μέγιστη Κάλυψη (%)	Κανάλι(α)
1	0 - 600	64	10	80%	HS-DSCH
2	50 - 600	64	22 + 6	20%+50%	FACH και DCH
3	100 - 150	64	2 έως 13	60%	DCH
	151 - 300	64	14 έως 19	60%	HS-DSCH
	301 - 600	64	20 έως 27	60%	FACH
4	150 - 560	64	7	70%	DCH
	561 - 600	32	7	80%	DCH

Πίνακας 25. Οι υποθέσεις του σεναρίου

Σχετικά με τις MBMS συνόδους έχουμε τα παρακάτω:

- Όπως παρουσιάζει τόσο ο Πίνακας 25 όσο και η Εικόνα 94, οι χρήστες της 1^{ης} MBMS συνόδου εξυπηρετούνται καθ' όλη τη διάρκεια παροχής της υπηρεσίας με το κανάλι μεταφοράς HS-DSCH (το οποίο υποστηρίζει την τεχνολογία MIMO), λόγω του σχετικά μικρού πληθυσμού του πρώτου group.
- Στο χρόνο προσομοίωσης 50 sec, ξεκινά η 2^η MBMS υπηρεσία (Εικόνα 94). Τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ο μηχανισμός MCAM, μέσω της *Φάσης Επιλογής Καναλιών*, επιλέγει το συνδυασμό των καναλιών FACH (για τους 22 «inner part» χρήστες) και DCHs (για τους 6 «outer part» χρήστες) ως τον αποδοτικότερο συνδυασμό καναλιών μεταφοράς για τη μετάδοση της MBMS κυκλοφορίας.

Εικόνα 94. Στάθμες ισχύος για τις MBMS συνόδους

- Η παροχή της 3^{ης} MBMS υπηρεσίας ξεκινά τη χρονική στιγμή 100 sec. Τη δεδομένη χρονική στιγμή της προσομοίωσης, το τρίτο group αποτελείται από δύο μόνο χρήστες. Κατά συνέπεια, ο MCAM επιλέγει πολλαπλά DCHs για την παροχή αυτής της υπηρεσίας. Στη συνέχεια, ο αριθμός χρηστών του τρίτου group διαδοχικά αυξάνεται, φθάνοντας τους 13 χρήστες τη χρονική στιγμή 150 sec, τους 19 χρήστες τη χρονική στιγμή 300 sec και τους 27 χρήστες στο τέλος της προσομοίωσης. Η αύξηση αυτή στον αριθμό των χρηστών αναγκάζει το μηχανισμό να εκτελέσει μία εναλλαγή από DCH σε HS-DSCH στο χρόνο προσομοίωσης 151 sec και ακόμη μία από HS-DSCH σε FACH στο χρόνο προσομοίωσης 301 sec. Ο μηχανισμός εξασφαλίζει μέσω των εναλλαγών αυτών την αποδοτική χρήση των πόρων ισχύος του Node B.
- Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι από τη χρονική στιγμή 300 sec μέχρι το τέλος της προσομοίωσης, οι MBMS υπηρεσίες 2 και 3 υιοθετούν FACHs για τη μεταφορά των MBMS δεδομένων στους χρήστες (Πίνακας 25). Κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, η χρήση δύο παράλληλων FACHs αναγκάζει το μηχανισμό να ενεργοποιήσει τη διαδικασία *FACH Multiplexing* (Πολυπλεξία FACH) στη *Φάση Επιλογής Καναλιών*. Συνεπώς, χρησιμοποιείται ένα S-CCPCH με ρυθμό μετάδοσης 128 Kbps πάνω στο οποίο πολυπλέκονται οι MBMS υπηρεσίες 2 και 3. Επιπλέον, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 94 η συνολική απαιτούμενη ισχύς P_{total} είναι μικρότερη από τη διαθέσιμη από τον πάροχο ισχύ P_{MBMS} , γεγονός που μεταφράζεται σε επιτυχή ανάθεση των επιλεγμένων καναλιών και σε αποδοτική παροχή τριών παράλληλων συνόδων.
- Στο χρόνο προσομοίωσης 150 sec ενεργοποιείται η 4^η MBMS υπηρεσία, η οποία προορίζεται για ένα group που αποτελείται από επτά μέλη. Από το μηχανισμό επιλέγεται το κανάλι DCH για την εξυπηρέτηση του multicast group. Επιπρόσθετα, τη δεδομένη χρονική στιγμή, το P_{total} παραμένει μικρότερο από το P_{MBMS} , γεγονός που επιτρέπει την αποδοχή και μετάδοση της 4^{ης} υπηρεσίας. Επομένως, από τη χρονική στιγμή 150 sec μέχρι το τέλος της προσομοίωσης,

τέσσερις παράλληλες συνόδους «τρέχουν» στο σύστημα και ο μηχανισμός MCAM τις χειρίζεται αποτελεσματικά.

- Ωστόσο, οι χρήστες του 4^{ου} multicast group απομακρύνονται από το σταθμό βάσης και κινούνται προς τα όρια της κυψέλης, γεγονός που οδηγεί σε συνεχή αύξηση της ισχύος P_{total} . Η συνεχής αυτή αύξηση έχει ως αποτέλεσμα τη χρονική στιγμή 560 sec η απαιτούμενη ισχύς P_{total} να υπερβαίνει την τιμή της P_{MBMS} (Εικόνα 94). Κατά συνέπεια, ο μηχανισμός ενεργοποιεί ένα γεγονός επαναπροσδιορισμού των συνόδων (όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 9.3.4), αναγκάζοντας την 4^η MBMS (ακολουθώντας την πολιτική FCFS) να ελαττώσει το ρυθμό μετάδοσης από τα 64 Kbps στα 32 Kbps προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποδοτική και αδιάλειπτη παροχή τεσσάρων παράλληλων MBMS συνόδων. Η μείωση του ρυθμού μετάδοσης της 4^{ης} MBMS υπηρεσίας θεωρείται ως ένα αρκετά δραστικό αλλά απαραίτητο μέτρο. Και αυτό γιατί οι χρήστες που λαμβάνουν τη συγκεκριμένη υπηρεσία θα παρατηρήσουν μια σχετικά μικρή μείωση της ποιότητας, η οποία ωστόσο θα επιτρέπει τη συνεχή παροχή της υπηρεσίας.

Εάν ένα group χρηστών εξέφραζε το ενδιαφέρον του για μία νέα MBMS υπηρεσία, θα έπρεπε να περιμένει ώσπου να εξασφαλιστούν από το σύστημα οι απαραίτητοι πόροι ισχύος. Σύμφωνα με τη διαδικασία επαναπροσδιορισμού των συνόδων, αρχικά ο μηχανισμός θα είχε προχωρήσει στην παύση και στη συνέχεια στην ακύρωση της νέας υπηρεσίας (εάν το χρονικό διάστημα της παύσης γινόταν μεγάλο) εφόσον δεν ήταν δυνατόν να εξασφαλιστούν οι απαραίτητοι πόροι ισχύος.

Ένα ακόμη βήμα του μηχανισμού στο οποίο πρέπει να δοθεί έμφαση είναι το βήμα *FACH Multiplexing* (Πολυπλεξία FACH) στη *Φάση Επιλογής Καναλιών*. Για την αξιολόγηση του βήματος αυτού θα εξετάσουμε το σενάριο προσομοίωσης που παρουσιάζει ο Πίνακας 26. Παράλληλα, υποθέτουμε ότι ο αριθμός και η κατανομή των χρηστών στην κυψέλη είναι τέτοιος ώστε να ευνοείται η χρήση των καναλιών FACH για την μετάδοση των τριών MBMS συνόδων.

A/A υπηρεσίας	Διάρκεια (sec)	Ρυθμός μετάδοσης MTCH (Kbps)	Κανάλι που επιλέγεται
1	0-500	64	FACH
2	0-500	32	FACH
3	0-500	32	FACH

Πίνακας 26. Σενάριο προσομοίωσης για την πολυπλεξία FACH

Η απόδοση της πολυπλεξίας FACH σε ένα και δύο επίπεδα (βλ. παράγραφο 9.3.3) για το συγκεκριμένο σενάριο παρουσιάζεται στην Εικόνα 95. Σύμφωνα με την Εικόνα 95, τρεις MBMS υπηρεσίες χαρτογραφούνται σε S-CCPCHs χρησιμοποιώντας την πολυπλεξία ενός (Εικόνα 95a) και δύο (Εικόνα 95b) επιπέδων. Αρχικά, οι τρεις υπηρεσίες χαρτογραφούνται σε τρία MTCHs με ρυθμό μετάδοσης ίσο με της αντίστοιχης υπηρεσίας. Στη συνέχεια τα λογικά κανάλια (MTCHs) χαρτογραφούνται σε κανάλια μεταφοράς (FACHs). Στην περίπτωση της πολυπλεξίας σε ένα επίπεδο, για τη χαρτογράφηση των MTCHs σε FACHs εάν ο ρυθμός μετάδοσης του MTCH δεν ταιριάζει με το ρυθμό μετάδοσης του αντίστοιχου FACH, σπαταλιέται πλεονασματική χωρητικότητα στα FACHs, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 95a. Από την άλλη μεριά στην περίπτωση της πολυπλεξίας σε δύο επίπεδα, δεν είναι

ανάγκη να σπαταληθεί αυτή η χωρητικότητα δεδομένου ότι μπορούν να πολυπλεχθούν δύο ή περισσότερα MTCHs σε ένα FACH με κατάλληλο ρυθμό μετάδοσης. Τέλος, υποθέτοντας ότι η διαθέσιμη χωρητικότητα μετάδοσης των S-CCPCHs είναι 128 Kbps, σύμφωνα με την Εικόνα 95 τα FACHs πολυπλέκονται σε S-CCPCH στο φυσικό επίπεδο.

Εικόνα 95. Αξιολόγηση πολυπλεξίας FACH σε: (a) ένα επίπεδο (b) δύο επίπεδα

Παρατηρώντας την Εικόνα 95 βλέπουμε πως προκειμένου να μεταδοθούν τα δεδομένα για τις τρεις MBMS υπηρεσίες στους κινητούς χρήστες, η πολυπλεξία σε δύο επίπεδα απαιτεί ακριβώς τη μισή χωρητικότητα (δηλαδή μισό εύρος ζώνης) και τους μισούς πόρους ισχύος συγκριτικά με την περίπτωση της πολυπλεξίας σε ένα επίπεδο. Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε πως το πρόβλημα με την πολυπλεξία σε ένα επίπεδο έγκειται στη σπατάλη χωρητικότητας των καναλιών μεταφοράς όταν ο ρυθμός μετάδοσης του λογικού καναλιού δεν ταιριάζει με το ρυθμό μετάδοσης του αντίστοιχου καναλιού μεταφοράς, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί στην ανεπαρκή χρήση των πόρων ισχύος.

Από τα σενάρια που περιγράφηκαν και αναλύθηκαν στην παράγραφο αυτή φαίνεται η δυνατότητα του μηχανισμού MCAM να χειρίζεται πολλαπλές παράλληλες MBMS συνόδους που μεταδίδονται σε μία κυψέλη. Αυτό είναι το πιο αξιοσημείωτο πλεονέκτημα του μηχανισμού και κύριο στοιχείο που τον διαφοροποιεί από τις 3GPP προσεγγίσεις. Ο Πίνακας 27 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της σύγκρισης όλων των μηχανισμών που περιγράφηκαν και αναλύθηκαν στο συγκεκριμένο κεφάλαιο. Το κύριο συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός υπερτερεί συγκριτικά με τις υπόλοιπες προσεγγίσεις από την άποψη κατανάλωσης ισχύος, δεδομένου ότι είναι σε θέση να εξοικονομήσει σημαντικά ποσά ισχύος. Συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των υπόλοιπων μηχανισμών ακολουθώντας μία μέθοδο που βασίζεται στο συνδυασμό των καναλιών πολυεκπομπής ώστε να κατανέμει βέλτιστα τους πόρους ισχύος των σταθμών βάσης. Ακόμα κι αν η πολυπλοκότητα του προτεινόμενου μηχανισμού είναι υψηλότερη από την πολυπλοκότητα των υπόλοιπων μηχανισμών, τα οφέλη από τη βέλτιστη κατανομή ισχύος αντισταθμίζουν τα ζητήματα πολυπλοκότητας που προκύπτουν. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται ακόμη περισσότερο από το γεγονός ότι τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών διαθέτουν περιορισμένους πόρους ισχύος, γεγονός που με τη σειρά του υποδηλώνει πως οι στρατηγικές μείωσης της ισχύος είναι βασικής σπουδαιότητας προκειμένου να επιτευχθεί όσο το δυνατόν υψηλότερη χωρητικότητα.

Μηχανισμός	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
TS 25.346	<ul style="list-style-type: none"> - Χαμηλή πολυπλοκότητα - Εύκολη υλοποίηση - Προτυποποιημένος από 3GPP 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλή κατανάλωση ισχύος - Δεν υποστηρίζει κινητικότητα χρηστών - Δεν υποστηρίζει το HS-DSCH - Δεν υποστηρίζει το MIMO - Δεν υποστηρίζει την τεχνική DPS
TR 25.922	<ul style="list-style-type: none"> - Υποστηρίζει όλα τα κανάλια - Προτυποποιημένος από 3GPP 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλή κατανάλωση ισχύος - Δεν επιτρέπει την εναλλαγή μεταξύ HS-DSCH and DCH - Δεν υποστηρίζει το MIMO - Δεν υποστηρίζει την τεχνική DPS
R1-02-1240	<ul style="list-style-type: none"> - Χαμηλή κατανάλωση ισχύος - Υποστηρίζει τη συνδυασμένη χρήση FACH και DCH - Υποστηρίζει την τεχνική DPS 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλή πολυπλοκότητα - Δεν έχει προτυποποιηθεί - Δεν υποστηρίζει το HS-DSCH - Δεν υποστηρίζει το MIMO
MCAM Προτεινόμενος Μηχανισμός	<ul style="list-style-type: none"> - Χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος - Υποστηρίζει τη συνδυασμένη χρήση όλων των καναλιών - Υποστηρίζει την τεχνική DPS - Υποστηρίζει την τεχνολογία MIMO - Υποστηρίζει την ταυτόχρονη μετάδοση πολλαπλών MBMS συνόδων 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλή πολυπλοκότητα - Δεν έχει προτυποποιηθεί (Νέος Μηχανισμός)

Πίνακας 27. Σύγκριση των μηχανισμών

9.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο της διδακτορικής διατριβής εξετάσαμε τους μηχανισμούς επιλογής καναλιών πολυεκπομπής που έχουν προταθεί από το 3GPP και προτείναμε έναν καινοτόμο μηχανισμό για την αποδοτική επιλογή καναλιών μεταφοράς κατά τη διάρκεια των MBMS μεταδόσεων σε δίκτυα επόμενης γενιάς. Ο προτεινόμενος μηχανισμός, ο MCAM, έχει ως κύριο στόχο τον αποδοτικό έλεγχο ισχύος κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών. Προς αυτή την κατεύθυνση, επιλέγει το κανάλι μεταφοράς ή το συνδυασμό καναλιών μεταφοράς που εξασφαλίζει τις μικρότερες απαιτήσεις σε ισχύ. Επιπλέον, ο MCAM διαμοιράζει αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πόρους ισχύος του δικτύου σε παράλληλες MBMS συνόδους και εκμεταλλεύεται την τεχνολογία MIMO ώστε να αξιοποιήσει περαιτέρω τους διαθέσιμους πόρους ισχύος. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αποδεικνύουν ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός υπερτερεί των 3GPP προσεγγίσεων, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για την ενσωμάτωσή του στο MBMS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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 εύρους 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 διδακτορική διατριβή επικεντρώθηκε στη μελέτη και ανάλυση της multicast μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων σε κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Προς αυτή την κατεύθυνση αρχικά είναι 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 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, 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 διδακτορικής διατριβής 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 διδακτορική διατριβή 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.

Επιπρόσθετα, αξιολογήθηκε η απόδοση, από άποψη ισχύος, κάθε ενός καναλιού πολυεκπομπής για τη μετάδοση των MBMS δεδομένων σε μία κυψέλη.

Η ανάλυση αποκάλυψε δύο πολύ ενδιαφέροντα. Αρχικά, έγινε κατανοητό πως οι MBMS υπηρεσίες είναι πολύ απαιτητικές και προκειμένου να γίνει εφικτή η μετάδοσή τους θα πρέπει να εξοικονομηθεί μεγάλο μέρος των πόρων ισχύος.

Συγκεκριμένα, για τη μετάδοση μίας MBMS υπηρεσίας με ρυθμό μετάδοσης 128 Kbps σε ολόκληρη την κυψέλη απαιτούνται συνολικά 15.8 Watt όταν χρησιμοποιείται το FACH σαν κανάλι μεταφοράς. Σαν ποσοστό, τα 15.8 Watt αντιστοιχούν στο 79% των συνολικών πόρων ισχύος του σταθμού βάσης. Γίνεται επομένως κατανοητό ότι η μετάδοση MBMS υπηρεσιών με τόσο υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης καθίσταται δύσκολη έως και αδύνατη. Ο περιορισμός αυτός οδήγησε με τη σειρά του στην ανάπτυξη τεχνικών που είναι ικανές να μειώσουν τα επίπεδα ισχύος κατά τις MBMS μεταδόσεις.

Δεύτερον, με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής καθίσταται σαφές ότι και τα τρία κανάλια μεταφοράς (DCH, FACH, HS-DSCH) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να μεταδώσουν αποτελεσματικά MBMS υπηρεσίες. Έτσι, ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών, για έναν ορισμένο αριθμό χρηστών ένα κανάλι μπορεί να έχει μικρότερες απαιτήσεις σε ισχύ από ένα άλλο ενώ για ένα διαφορετικό αριθμό χρηστών να ισχύει το αντίστροφο. Δεδομένου βέβαια ότι η ισχύς μετάδοσης των καναλιών μεταφοράς FACH και HS-DSCH μπορεί να είναι σταθερή, διακρίνουμε τις τρεις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Στην πρώτη περίπτωση, η ισχύς που καταναλώνει ο σταθμός βάσης χρησιμοποιώντας πολλαπλά DCHs είναι μικρότερη συγκριτικά με την περίπτωση των FACH και HS-DSCH καναλιών. Σε αυτή την περίπτωση το αποδοτικότερο κανάλι για τη μετάδοση της multicast υπηρεσίας είναι το DCH.
- Στη δεύτερη περίπτωση, η ισχύς που καταναλώνει ο σταθμός βάσης χρησιμοποιώντας πολλαπλά DCHs είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με την περίπτωση των FACH και HS-DSCH καναλιών. Σε αυτή την περίπτωση το αποδοτικότερο κανάλι για τη μετάδοση των multicast δεδομένων είναι το FACH ή το HS-DSCH.
- Στην τρίτη περίπτωση, ανάλογα με τη θέση του κινούμενου χρήστη στην κυψέλη, η ισχύς που καταναλώνει ο σταθμός βάσης χρησιμοποιώντας πολλαπλά DCHs είναι άλλοτε υψηλότερη και άλλοτε χαμηλότερη συγκριτικά με την περίπτωση των FACH και HS-DSCH καναλιών. Στην περίπτωση αυτή, η πιο αποδοτική λύση θα ήταν η εξυπηρέτηση του κινούμενου χρήστη με FACH ή HS-DSCH όταν αυτός εισέρχεται ή εξέρχεται από τη συγκεκριμένη κυψέλη και η χρήση πολλαπλών DCHs όταν βρίσκεται κοντά στο σταθμό βάσης.

Γίνεται επομένως κατανοητό πως για να ελαχιστοποιηθεί η συνολικά απαιτούμενη ισχύς κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών, θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας μηχανισμός που θα είναι υπεύθυνος για την εναλλαγή μεταξύ των καναλιών. Αν και σχετικοί μηχανισμοί έχουν ήδη αναπτυχθεί από το 3GPP, μία βελτιωμένη έκδοσή τους παρουσιάζεται στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

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 καλύπτει ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης μόνο εάν ένας ή περισσότεροι χρήστες είναι στα όρια της κυψέλης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διατριβής 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:
 - 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.

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 επιθυμείται 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 εκπέμπει 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.

Στα πλαίσια της διατριβής καθορίστηκε και ένα σχήμα που εξασφαλίζει την ανάθεση της πιο αποδοτικής τεχνικής ανάλογα με τον αριθμό των «outer part» χρηστών, καθώς ο αριθμός των «inner part» χρηστών μεταβάλλεται. Συγκεντρωτικά, το σχήμα αυτό παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

«Inner part» χρήστες	«Outer part» χρήστες	Αποδοτικό κανάλι/τεχνική
1 έως 4	≤ 7	DCH κανάλι
	8 έως 30	HS-DSCH κανάλι
	> 30	Τεχνική RS
5 έως 17	≤ 6	DCH κανάλι
	7 έως 12	HS-DSCH κανάλι
	> 12	Τεχνική RS
17 +	≤ 5	Τεχνική MDF
	> 5	Τεχνική RS

Το συγκεκριμένο σχήμα εναλλαγής καναλιών μεταφοράς αποτελεί μια εναλλακτική και βελτιωμένη προσέγγιση του TS 25.346, η οποία ενσωματώνει αρκετές τεχνικές μείωσης της εκπεμπόμενης ισχύος ενώ ταυτόχρονα, είναι σταθερή, εύκολη να εφαρμοστεί και προσφέρει όπως ο TS 25.346 ένα προκαθορισμένο σχήμα σημείων εναλλαγής.

Τέλος, στην παρούσα διδακτορική διατριβή παρουσιάζονται και αναλύονται οι μηχανισμοί που έχουν προταθεί από το 3GPP για την επιλογή του κατάλληλου καναλιού πολυεκπομπής για κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς, ενώ παράλληλα, παρουσιάζεται αναλυτικά ο μηχανισμός επιλογής καναλιών πολυεκπομπής που προτάθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής. Ο μηχανισμός αυτός καλείται MBMS Channel Assignment Mechanism (MCAM) και όπως παρουσιάστηκε μπορεί να εξασφαλίσει βελτιωμένη απόδοση σε σχέση με τους αντίστοιχους μηχανισμούς που έχουν προταθεί από το 3GPP, μείωση της καταναλισκόμενης ισχύος και κατά συνέπεια αύξηση της χωρητικότητας των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς. Παράλληλα, σε αντίθεση με τις 3GPP προσεγγίσεις (TS 25.346, TR 25.922 και μηχανισμό που προτάθηκε στο 3GPP TSG-RAN R1-021240), ο MCAM προσαρμόζεται στις αυξημένες απαιτήσεις των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς για ταυτόχρονη παροχή πολλαπλών πολυμεσικών συνόδων. Το γεγονός αυτό μπορεί να επιτρέψει τη μαζική μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων σε πληθώρα κινητών χρηστών, θέτοντας κατά τον τρόπο αυτό τον MCAM σαν έναν ισχυρό υποψήφιο για τη μετάδοση multicast υπηρεσιών στα κινητά δίκτυα επόμενης γενιάς.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα του προτεινόμενου μηχανισμού συγκριτικά με τις 3GPP προσεγγίσεις όπως παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν στην παρούσα διδακτορική διατριβή είναι τα ακόλουθα:

- Χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος.
- Υποστήριξη συνδυασμένης χρήσης όλων των καναλιών μεταφοράς.
- Υποστήριξη την τεχνική DPS.
- Υποστήριξη της τεχνολογία MIMO.
- Υποστήριξη την ταυτόχρονη μετάδοση πολλαπλών MBMS συνόδων.

Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα αυτά συνοδεύονται και από το μειονέκτημα της υψηλής πολυπλοκότητας του προτεινόμενου μηχανισμού συγκριτικά με τις 3GPP προσεγγίσεις. Το γεγονός αυτό όπως παρουσιάστηκε οφείλεται στο ότι ο

προτεινόμενος μηχανισμός υποστηρίζει όλα τα διαθέσιμα κανάλια πολυεκπομπής και εξετάζει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς μεταξύ αυτών των καναλιών. Σε κάθε περίπτωση, τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον αποτελεσματικό έλεγχο ισχύος αντισταθμίζουν τα ζητήματα πολυπλοκότητας που προκύπτουν. Και αυτό γιατί οι πιο περιορισμένοι πόροι στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών είναι οι πόροι ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η μελλοντική εργασία η οποία μπορεί να επιτελεστεί έχοντας σαν βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής θα μπορούσε να κινηθεί στους παρακάτω άξονες:

- Βελτιστοποίηση του προτεινόμενου μηχανισμού επιλογής καναλιών πολυεκπομπής.
- Μελέτη και αξιολόγηση της τεχνολογίας LTE.
- Μελέτη και αξιολόγηση παροχής MBMS υπηρεσιών πάνω από δίκτυα LTE.

Όσον αφορά τον πρώτο άξονα, η βελτιστοποίηση του μηχανισμού MCAM θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω των ακόλουθων υπο-αξόνων:

- Ενσωμάτωση στον MCAM όλων των τεχνικών μείωσης ισχύος. Βασικός στόχος για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του προτεινόμενου μηχανισμού αποτελεί η ενσωμάτωση σε αυτόν όλων των τεχνικών μείωσης ισχύος που μελετήθηκαν στη συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή. Η παρούσα μορφή και λειτουργία του MCAM λαμβάνει υπόψη τις τεχνικές μείωσης ισχύος DPS, LTTI, MDF και ECS. Αναλυτικά, η εφαρμογή της τεχνικής DPS επιτρέπει στο σταθμό βάσης να καθορίζει δυναμικά την ισχύ εκπομπής του FACH με βάση το path loss του πιο απομακρυσμένου από το σταθμό βάσης χρήστη. Η τεχνική LTTI είναι ήδη ενσωματωμένη στο μηχανισμό καθώς για την εξυπηρέτηση των χρηστών με το FACH κανάλι χρησιμοποιείται μεγάλο TTI, ίσο με 80 ms. Επίσης, ο προτεινόμενος μηχανισμός επιτρέπει την ταυτόχρονη/συνδυασμένη χρήση των καναλιών πολυεκπομπής. Έτσι, επιτρέπει εκτός από την ταυτόχρονη χρήση των DCH και FACH (τεχνική MDF) και την ταυτόχρονη μετάδοση των MBMS δεδομένων με το κανάλι HS-DSCH εξασφαλίζοντας επιπρόσθετους πόρους ισχύος στους σταθμούς βάσης. Τέλος, σε συμφωνία με την τεχνική ECS, ο μηχανισμός MCAM επιλέγει το πιο αποδοτικό από άποψη ισχύος κανάλι μεταφοράς ή συνδυασμό καναλιών μεταφοράς για τη μετάδοση μίας MBMS συνόδου. Παράλληλα, ο MCAM διαμοιράζει αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πόρους ισχύος του δικτύου σε παράλληλες MBMS συνόδους και εκμεταλλεύεται την τεχνολογία MIMO ώστε να αξιοποιήσει περαιτέρω τους διαθέσιμους πόρους ισχύος. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά του MCAM του επιτρέπουν να έχει βελτιωμένη απόδοση συγκριτικά με τους υπάρχοντες 3GPP μηχανισμούς επιλογής καναλιών πολυεκπομπής. Ωστόσο, στην παρούσα μορφή του MCAM δεν έχουν ενσωματωθεί οι τεχνικές μείωσης ισχύος MDC και RS (βλ. παράγραφο 8.2.3 και 8.2.4 αντίστοιχα), δύο τεχνικές που θα μπορούσαν να μειώσουν δραστικά την απαιτούμενη ισχύ κατά τη μετάδοση MBMS multicast υπηρεσιών. Εξίσου αποδοτικός είναι και ο συνδυασμός των δύο αυτών τεχνικών και επομένως βασικός μελλοντικός στόχος είναι η ενσωμάτωσή τους στον MCAM προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή του.
- Ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας του MCAM. Η ενσωμάτωση των τεχνικών μείωσης ισχύος και της τεχνολογίας MIMO, η δυνατότητα για ταυτόχρονη χρήση των διαθέσιμων καναλιών πολυεκπομπή, η δυνατότητα παροχής πολλαπλών ταυτόχρονων MBMS συνόδων καθώς και η ανάγκη ανάκτησης των παραμέτρων των υπαρχόντων MBMS χρηστών ανά τακτά χρονικά διαστήματα

οδηγούν σε ένα υψηλό υπολογιστικό κόστος του MCAM συγκριτικά με τις 3GPP προσεγγίσεις. Επιπρόσθετα, η ενσωμάτωση των τεχνικών μείωσης ισχύος MDC και RS αναμένεται να αυξήσει ακόμη περισσότερο το κόστος αυτό. Σε κάθε περίπτωση γίνεται κατανοητό πως τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον αποτελεσματικό έλεγχο ισχύος αντισταθμίζουν τα ζητήματα πολυπλοκότητας που προκύπτουν. Και αυτό γιατί οι πιο περιορισμένοι πόροι στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών είναι οι πόροι ισχύος. Ωστόσο, η μείωση της πολυπλοκότητας του MCAM κρίνεται ως ένα από τα βασικότερα στοιχεία για τη βελτίωση της απόδοσής του και για την ομαλή ενσωμάτωσή του στο MBMS. Βήματα προς αυτή την κατεύθυνση έχουν ήδη γίνει και έχουν ενσωματωθεί στην παρούσα μορφή του μηχανισμού. Έτσι, ο MCAM δεν εξετάζει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς PTP και PTM καναλιών, δεδομένου ότι στο βήμα *Define PTM Coverage* του αλγορίθμου όπου υπολογίζεται η περιοχή κάλυψης του FACH, το εξωτερικό τμήμα της κυψέλης στους CC σχηματισμούς καλύπτεται μόνο από ένα PTP κανάλι κάθε φορά, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο συνδυασμός τους. Το γεγονός αυτό που δεν επηρεάζει την έξοδο του *Αλγόριθμου Επιλογής Καναλιών* κρίθηκε αναγκαίο προκειμένου να μειωθεί η ήδη αυξημένη συνολική πολυπλοκότητα του μηχανισμού. Σε κάθε περίπτωση, η περαιτέρω μείωση του υπολογιστικού κόστους του MCAM κρίνεται επιτακτική.

- Αποφυγή ping-pong φαινομένων κατά την εναλλαγή καναλιών πολυεκπομπής.
Σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό, ένας χρήστης που κινείται κοντά στα όρια δύο ζωνών μίας κυψέλης (βλ. παράγραφο 9.3.3) μπορεί να βρίσκεται τότε στην περιοχή της μίας ζώνης και τότε στην περιοχή της άλλης, με αποτέλεσμα να υπάρχει το ενδεχόμενο ο μηχανισμός να επιλέγει μεταξύ δύο διαφορετικών συνδυασμών καναλιών σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Το γεγονός αυτό από τη μία μεριά αυξάνει το συνολικό υπολογιστικό κόστος του MCAM και από την άλλη μειώνει κατά πολύ την ποιότητα της επικοινωνίας του συγκεκριμένου χρήστη. Επομένως, μελλοντικός στόχος είναι να εξεταστεί η περίπτωση αυτή, αφού πρώτα μελετηθεί και εντοπιστεί το κατάλληλο χρονικό διάστημα για την εναλλαγή μεταξύ δύο συνδυασμών καναλιών. Με τον τρόπο αυτό θα αποφευχθούν τα φαινόμενα ping-pong και θα βελτιωθεί σημαντικά η απόδοση του MCAM.
- Υλοποίηση του MCAM στον εξομοιωτή Network Simulator 2 (ns-2). Ο μηχανισμός MCAM υλοποιήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού Matlab. Μελλοντικός στόχος είναι η μελέτη και αξιολόγηση του MCAM μέσω του εξομοιωτή ns-2. Συμπληρωματικά του ns-2 αναμένεται να χρησιμοποιηθεί η επέκταση Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions (EURANE). Πρόκειται για ένα πακέτο το οποίο αποτελείται από επεκτάσεις του ns-2 προκειμένου ο εξομοιωτής να υποστηρίζει τις λειτουργίες του UMTS συστήματος. Έτσι, ενώ ο ns-2 δεν έχει ενσωματωμένη υποστήριξη των τριών κόμβων του UTRAN, οι κόμβοι RNC, Node B και UE έχουν υλοποιηθεί στο EURANE. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι το EURANE υποστηρίζει τις λειτουργίες των καναλιών μεταφοράς που υποστηρίζει ο MCAM, και πιο συγκεκριμένα του FACH, του DCH και του HS-DSCH. Επομένως, με τη χρήση του εξομοιωτή ns-2 θα μπορούσαν να μετρηθούν εκτός από την απόδοση του μηχανισμού και άλλες παράμετροι, όπως οι καθυστερήσεις στις διεπαφές του UTRAN κατά τη μετάδοση MBMS υπηρεσιών. Η μέτρηση των παραμέτρων αυτών θα μπορούσε να οδηγήσει στην πρόταση νέων μέτρων για την περεταίρω βελτίωση της απόδοσης του MCAM.

Όσον αφορά τον δεύτερο άξονα, αξίζει να σημειώσουμε ότι παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+ προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3GPP προτυποποιεί την τεχνολογία LTE που αναμένεται να επικρατήσει την αμέσως επόμενη δεκαετία στην αγορά των κινητών επικοινωνιών. Το LTE στοχεύει στην επίτευξη ακόμη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρους ζώνης. Επομένως, η μελέτη και αξιολόγηση της τεχνολογίας LTE αποτελεί ένα βασικό άξονα γύρω από τον οποίο θα μπορούσε να κινηθεί η μελλοντική εργασία.

Συνοπτικά, αναφέρουμε στο σημείο αυτό πως το LTE εστιάζει αποκλειστικά στη βελτιστοποίηση υποστήριξης και μετάδοσης packet-switched εφαρμογών, όπως είναι οι πολυμεσικές εφαρμογές. Οι βασικότερες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το πρότυπο LTE είναι:

- Κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 5, 10, 15 και 20 MHz.
- Επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στον κατερχόμενο σύνδεσμο και 50 Mbps στον ανερχόμενο σύνδεσμο.
- Επίτευξη 3-4 φορές μεγαλύτερης μέσης ρυθμοαπόδοσης χρήστη ανά MHz στον κατερχόμενο σύνδεσμο και 2-3 φορές μεγαλύτερης για τον ανερχόμενο σύνδεσμο συγκριτικά με το HSDPA και HSUPA αντίστοιχα.
- Σημαντική μείωση της καθυστέρησης από το χρήστη έως το σταθμό βάσης στα 5ms-10ms.
- Υποστήριξη χρηστών που κινούνται σε πολύ υψηλές ταχύτητες.
- Υποστήριξη από άκρο σε άκρο ποιότητας υπηρεσίας για απαιτητικές εφαρμογές.

Για την επίτευξη των παραπάνω απαιτήσεων το LTE βασίζεται στο OFDM για την περίπτωση της μετάδοσης δεδομένων στον κατερχόμενο σύνδεσμο. Κύριος λόγος υιοθέτησης του OFDM ως μοντέλου διαμόρφωσης για το LTE είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένησης σήματος και παρεμβολών. Παράλληλα, για τον ανερχόμενο σύνδεσμο, στο LTE προτείνεται η χρήση της τεχνολογίας SC-OFDM που μπορεί να επιφέρει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, κυρίως όταν ο χρήστης βρίσκεται κοντά στο σταθμό βάσης. Γίνεται επομένως κατανοητό πως η μελέτη των δύο αυτών τεχνικών είναι μεγάλης σημασίας για την πλήρη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των LTE δικτύων.

Παράλληλα, μια ακόμη τεχνολογία που υπόσχεται ακόμη μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αυξημένη κάλυψη δικτύου και χωρητικότητα στο LTE είναι η τεχνολογία MIMO. Η τεχνολογία MIMO συνίσταται στην ύπαρξη πολλαπλών κεραιών τόσο στο σταθμό βάσης όσο και στη συσκευή του χρήστη. Για την περίπτωση του LTE, σε πρώτη φάση η ύπαρξη MIMO κεραιοσυστημάτων 2x2 (δύο κεραίες στο σταθμό βάσης και δύο κεραίες στη συσκευή του χρήστη) θεωρείται απαραίτητο στοιχείο για την επίτευξη υψηλής απόδοσης. Σε μεταγενέστερη φάση ανάπτυξης είναι δυνατόν να γίνει χρήση συστημάτων MIMO 4x4. Αν και η τεχνολογία αυτή εξετάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, η περεταίρω μελέτη της για τα δίκτυα LTE, δεδομένων των πλεονεκτημάτων που μπορεί να προσφέρει, είναι επιβεβλημένη. Η μελέτη αυτή θα επιτρέψει τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες. Παράλληλα, θα επιτρέψει την ταυτόχρονη παροχή υπηρεσιών ψηφιακού περιεχομένου και υπηρεσιών δεδομένων.

Τέλος, μελλοντική εργασία θα μπορούσε να αποτελέσει η μελέτη και αξιολόγηση παροχής MBMS υπηρεσιών πάνω από δίκτυα LTE. Το συγκεκριμένο θέμα κατέχει ίσως το μεγαλύτερο μερίδιο της μελλοντικής εργασίας καθώς θα επιτρέψει τη μετάδοση πλούσιων πολυμεσικών δεδομένων σε δίκτυα LTE, εξασφαλίζοντας παράλληλα την ομαλή και αποδοτική λειτουργία τους.

Το 3GPP εισήγαγε αρχικά το MBMS ως μία τεχνολογία μέσω της οποίας θα μπορούσε να μεταδώσει multicast και broadcast δεδομένα στους 3G/UMTS χρήστες. Το MBMS παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία από άλλα συστήματα διανομής, όπως παραδείγματος χάριν το Digital Video Broadcasting - Handheld (DVB-H), επειδή περιλαμβάνει ένα κανάλι επιστροφής και επομένως είναι σε θέση να αποστέλλει πληροφορίες είτε προς μια ομάδα χρηστών (multicast) είτε προς όλους τους χρήστες μίας κυψέλης (broadcast).

Στα πλαίσια των LTE συστημάτων, το MBMS θα εξελιχθεί στο e-MBMS (όπου το «e» αναφέρεται στο evolved, δηλαδή εξελιγμένο). Το e-MBMS στοχεύει στην παροχή multicast και broadcast υπηρεσιών, συνδυάζοντας ευελιξία και υψηλή αποδοτικότητα από την άποψη χρησιμοποίησης του φάσματος και εξασφαλίζοντας βελτιωμένη απόδοση συγκριτικά με το DVB-H από την άποψη της broadcast μετάδοσης. Τα παραπάνω θα επιτευχθούν μέσω της βελτιωμένης απόδοσης της ασύρματης διεπαφής, η οποία θα περιλάβει ένα νέο σχέδιο μετάδοσης, το αποκαλούμενο Multicast/Broadcast Single-Frequency Networking (MBSFN), με το οποίο το e-MBMS θα είναι σε θέση να μεταδώσει το ίδιο σήμα σε συγχρονισμένες γειτονικές κυψέλες.

Εικόνα 96. Εναλλακτικές μορφές της e-MBMS αρχιτεκτονικής

Εκτός από τις σημαντικές βελτιώσεις στην ασύρματη διεπαφή, το e-MBMS προβλέπει και μία σχετικά απλή αρχιτεκτονική. Οι εναλλακτικές προτεινόμενες μορφές της αρχιτεκτονικής του e-MBMS παρουσιάζονται στην Εικόνα 96. Ο κόμβος e-BM-SC (αντίστοιχος του κόμβου BM-SC στα UMTS δίκτυα) αποτελεί τον υπεύθυνο κόμβο για την εισαγωγή του πολυμεσικού περιεχομένου στο δίκτυο. Το e-MBMS GW αποτελεί τη «ρίζα» του δέντρου διανομής για το πολυμεσικό περιεχόμενο και χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των multicast/broadcast δεδομένων προς τους χρήστες μέσω του e-UTRAN. Στο e-UTRAN, οι e-Node Bs (με άλλα λόγια οι σταθμοί βάσης) συλλέγουν τις πληροφορίες που πρέπει να μεταδώσουν στους χρήστες μέσω της ασύρματης διεπαφής. Ο κόμβος Multi-cell/multicast Coordination

Entity (MCE) είναι νέος κόμβος που απαιτείται για το συντονισμό της μετάδοσης των συγχρονισμένων σημάτων που εκπέμπονται από διαφορετικές κυψέλες. Παράλληλα, ο κόμβος MCE αποφασίζει για τις λεπτομέρειες της διαμόρφωσης, όπως π.χ. το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 96, το e-MBMS GW χωρίζεται σε δύο μέρη: το Control Plane (CP) και το User Plane (UP). Επιπρόσθετα, έχουν καθοριστεί δύο διακριτές διεπαφές μεταξύ του e-MBMS GW και του e-UTRAN. Η διεπαφή M1, η οποία θα εκμεταλλεύεται το IP multicast για τη διανομή του πολυμεσικού περιεχομένου και προορίζεται για το UP και η διεπαφή M3 η οποία προορίζεται για το CP. Αναφέρουμε στο σημείο αυτό πως για την αρχιτεκτονική του e-MBMS έχουν προταθεί δύο εναλλακτικές μορφές, όπως άλλωστε παρουσιάζεται στην Εικόνα 96. Στην πρώτη μορφή (Εικόνα 96a) ο κόμβος MCE εντοπίζεται εντός του e-Node B, ενώ μια άλλη λύση που εξετάζεται από το 3GPP είναι η τοποθέτηση του MCE εκτός του e-Node B (Εικόνα 96b). Στη δεύτερη περίπτωση απαιτείται μία πρόσθετη διεπαφή (η M2) μεταξύ των κόμβων MCE και e-Node B.

Ειδικότερα, για το e-MBMS, εισάγονται οι ακόλουθοι ορισμοί:

- **MBSFN Synchronization Area (Περιοχή MBSFN Συγχρονισμού):** Μία περιοχή του δικτύου όπου όλα τα e-Node Bs μπορούν να είναι συγχρονισμένα και να εκτελούν MBSFN μεταδόσεις. Οι Περιοχές MBSFN Συγχρονισμού μπορούν να υποστηρίξουν μία ή περισσότερες MBSFN Περιοχές. Κάθε e-Node B μπορεί να ανήκει σε μία μόνο Περιοχή MBSFN Συγχρονισμού.
- **MBSFN Transmission (MBSFN Μετάδοση):** Μία τεχνική μετάδοσης που πραγματοποιείται με την ταυτόχρονη μετάδοση παρόμοιων κυματομορφών σε πολλαπλές κυψέλες. Ο χρήστης αντιλαμβάνεται μία MBSFN Μετάδοση από πολλαπλές κυψέλες της ίδιας MBSFN Περιοχής ως μία μετάδοση.
- **MBSFN Area (MBSFN Περιοχή):** Μία MBSFN Περιοχή αποτελείται από μία ομάδα κυψελών μέσα σε μία Περιοχή MBSFN Συγχρονισμού, οι οποίες συντονίζονται για να επιτύχουν μια MBSFN Μετάδοση. Όλες οι κυψέλες που ανήκουν σε μία MBSFN Περιοχή, εκτός από τις Εφεδρικές Κυψέλες MBSFN Περιοχής, συμβάλλουν στην MBSFN Μετάδοση και διαφημίζουν τη διαθεσιμότητά της. Μία κυψέλη σε μια Περιοχή MBSFN Συγχρονισμού ανήκει μόνο σε μια MBSFN Περιοχή για όλες τις e-MBMS υπηρεσίες.

Εικόνα 97. Ορισμοί στο e-MBMS

- **MBSFN Area Reserved Cell (Εφεδρική Κυψέλη MBSFN Περιοχής):** Μία κυψέλη μέσα σε μια MBSFN Περιοχή που δεν συμβάλλει στην MBSFN Μετάδοση. Η

κυψέλη αυτή επιτρέπεται να μεταδώσει άλλες υπηρεσίες αλλά χωρίς να χρησιμοποιεί τους πόρους ισχύος που έχουν διατεθεί για τη MBSFN Μετάδοση.

Στο e-UTRAN, οι e-MBMS υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται μέσω του MBSFN μόνο σε ένα επίπεδο συχνότητας που διαμοιράζεται με μη e-MBMS υπηρεσίες. Με άλλα λόγια μπορούν να παρέχονται σε ένα σύνολο κυψελών που υποστηρίζουν τόσο unicast όσο και e-MBMS μεταδόσεις. Οι κυψέλες αυτές, οι οποίες είναι σε θέση να εκτελέσουν e-MBMS μεταδόσεις ονομάζονται MBMS/Unicast-mixed κυψέλες.

Για τις MBMS/Unicast-mixed κυψέλες ισχύουν τα παρακάτω:

- Το Multicast Traffic Channel (MTCH) και το Multicast Control Channel (MCCH) αντιστοιχίζονται στο Multicast Channel (MCH) για τις PTM μεταδόσεις.
- Οι unicast και οι e-MBMS μεταδόσεις σε μία κυψέλη πραγματοποιούνται με ένα συντονισμένο τρόπο.

Παράλληλα, πολλαπλές e-MBMS υπηρεσίες μπορούν να αντιστοιχηθούν στο ίδιο MCH, ενώ ένα MCH περιέχει δεδομένα που ανήκουν μόνο σε μία MBSFN Περιοχή. Μια MBSFN Περιοχή μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα MCHs ενώ όλα τα MCHs έχουν την ίδια περιοχή κάλυψης.

Γενικότερα, όπως φαίνεται από την παραπάνω ανάλυση η μετάβαση από το MBMS στο e-MBMS είναι μία δύσκολη διαδικασία που απαιτεί εντατική μελέτη και προσεκτικό σχεδιασμό. Παρόλα αυτά, τα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογία e-MBMS στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς τονίζουν την ανάγκη για την περαιτέρω μελέτη της δυνατότητας παροχής MBMS υπηρεσιών πάνω από δίκτυα LTE.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΔΙΕΘΝΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

- [1] Alexiou, A., Bouras, C., **Kokkinos, V.**, & Rekkas, E. (2009). *An Improved Mechanism for Multiple MBMS Sessions Assignment in B3G Cellular Networks*. ACM/Springer Wireless Networks (WiNET), Springer Verlag (in print).
- [2] 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.
- [3] Alexiou, A., Bouras, C., & **Kokkinos, V.** (2009). *Evaluation of Different Power Saving Techniques for MBMS Services*. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Hindawi Publishing Corporation, vol. 2009, Article ID 785927.

ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΣΕ ΒΙΒΛΙΑ

- [1] Alexiou, A., Bouras, C., **Kokkinos, V.**, & Rekkas, E. (2009). *MBMS Multicast Mode of UMTS*. Selected Topics in Communication Networks and Distributed Systems, World Scientific.
- [2] Alexiou, A., Bouras, C., & **Kokkinos, V.** (2009). *Exploiting E-MBMS Performance in 4G Networks*. Wireless Network Traffic and Quality of Service Support: Trends and Standards, IGI Global.
- [3] Alexiou, A., Bouras, C., & **Kokkinos, V.** (2009). *Radio Resource Management Approaches for E-MBMS Transmissions towards LTE*. Evolved Cellular Network Planning and Optimization for UMTS and LTE, Auerbach Publications.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ

- [1] Alexiou, A., Bouras, C., & **Kokkinos, V.** (2009). *An Enhanced Mechanism for Efficient Assignment of Multiple MBMS Sessions towards LTE*. In Proceedings of 12th ACM/IEEE International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2009), Tenerife, Canary Islands, Spain, pp. 384-391.
- [2] 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.

- [3] Alexiou, A., Bouras, C., & **Kokkinos, V.** (2009). *An Enhanced MBMS Power Control Mechanism towards Long Term Evolution*. In Proceedings of Wireless Telecommunications Symposium (WTS 2009), Prague, Czech Republic.
- [4] Alexiou, A., Bouras, C., **Kokkinos, V.**, & Rekkas, E. (2009). *Optimal MBMS Power Allocation Exploiting MIMO in LTE Networks*. In Proceedings of 2009 IEEE 69th Vehicular Technology Conference (VTC2009 Spring), Barcelona, Spain.
- [5] Alexiou, A., Bouras, C., & **Kokkinos, V.** (2009). *An Efficient Mechanism for Power Control Optimization in MBMS Enabled UTRAN*. In Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2009), Budapest, Hungary.
- [6] Alexiou, A., Bouras, C., **Kokkinos, V.**, & Rekkas, E. (2008). *Evaluation of Different Radio Bearer Selection Approaches for MBMS in B3G Networks*. In Proceedings of 1st IFIP Wireless Days 2008, United Arab Emirates.
- [7] Alexiou, A., Bouras, C., **Kokkinos, V.**, & Rekkas, E. (2008). *A Novel Mechanism for Radio Capacity Maximization during MBMS transmission in B3G Networks*. In Proceedings of 11th ACM/IEEE International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2008), Vancouver, British Columbia, Canada, pp. 185-192.
- [8] Alexiou, A., Bouras, C., & **Kokkinos, V.** (2008). *Balancing between Power Optimization and Iub Efficiency in MBMS enabled UMTS Networks*. In Proceedings of 1st IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC 2008), Toulouse, France, pp. 355-368.
- [9] Alexiou, A., Bouras, C., **Kokkinos, V.**, & Rekkas, E. (2008). *Efficient Assignment of Multiple MBMS Sessions in B3G Networks*. In Proceedings of 2008 IEEE 68th Vehicular Technology Conference (VTC2008 Fall), Calgary, Canada, pp. 1-5.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Alexiou, A., Bouras, C., **Kokkinos, V.**, & Rekkas, E. (2007). *Evaluation of the multicast mode of MBMS*. In Proceedings of 18th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007), Athens, Greece.
- [14] 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.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟ ΑΛΛΟΥΣ ΕΡΕΥΝΗΤΕΣ

- [1] 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.
1. Aho, K., Kurjenniemi, J., Haikola, V., Callender, C., & Ristaniemi, T. (2007). *Multimedia Broadcast Multicast Service Performance and its Enhancements in WCDMA Networks*. Wireless Personal Communications Journal, Springer Verlag.
 2. Christophorou, C., & Pitsillides, A. (2008). *A New Approach for Efficient MBMS Service Provision in UTRAN*. In Proceedings of 2008 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2008), Marrakech, Morocco, pp. 356-361.
 3. Araniti, G., Iera, A., Molinaro, A., Raschellà, A., & Umberto, A. (2009). *SINR-based Transport Channel Selection for MBMS Applications*. In Proceedings of 2009 IEEE 69th Vehicular Technology Conference (VTC2009 Spring), Barcelona, Spain.
 4. Raschella, A., Araniti, G., Iera, A., & Molinaro, A. (2009). *High Altitude Platforms: Radio Resource Management Policy for MBMS Applications*. In Proceedings of Personal Satellite Services International Conference (PSATS 2009), Rome, Italy, pp. 85-93.
- [2] 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.
1. Christophorou, C., & Pitsillides, A. (2008). *A New Approach for Efficient MBMS Service Provision in UTRAN*. In Proceedings of 2008 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2008), Marrakech, Morocco, pp. 356-361.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΑΝΑΦΟΡΕΣ

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 25.922. (2007). *Radio resource management strategies*. Version 7.1.0.
- [5] 3GPP TR 25.942. (2008). *Radio Frequency (RF) system scenarios*. Version 8.0.0.
- [6] 3GPP TR 30.03U. (1998). *Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS*. Version 3.2.0.
- [7] 3GPP TS 21.101. (2009). *Technical Specifications and Technical Reports for a UTRAN-based 3GPP system*. Version 8.1.0.
- [8] 3GPP TS 22.146. (2008). *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Stage 1*. Version 9.0.0.
- [9] 3GPP TS 22.246. (2008). *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) user services; Stage 1*. Version 8.5.0.
- [10] 3GPP TS 23.002. (2009). *Network architecture*. Version 9.0.0.
- [11] 3GPP TS 23.009. (2009). *Handover procedures*. Version 8.1.0.
- [12] 3GPP TS 23.060. (2009). *General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 2*. Version 9.1.1.
- [13] 3GPP TS 23.246. (2009). *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description*. Version 9.1.0.
- [14] 3GPP TS 25.101. (2009). *User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)*. Version 9.0.0.
- [15] 3GPP TS 25.104. (2009). *Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD)*. Version 9.0.0.
- [16] 3GPP TS 25.211. (2009). *Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)*. Version 8.4.0.
- [17] 3GPP TS 25.212. (2009). *Multiplexing and channel coding (FDD)*. Version 8.5.0.
- [18] 3GPP TS 25.301. (2009). *Radio interface protocol architecture*. Version 8.5.0.
- [19] 3GPP TS 25.308. (2009). *High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall description; Stage 2*. Version 9.0.0.
- [20] 3GPP TS 25.321. (2009). *Medium Access Control (MAC) protocol specification*. Version 8.6.0.
- [21] 3GPP TS 25.322. (2009). *Radio Link Control (RLC) protocol specification*. Version 8.5.0.

- [22] 3GPP TS 25.331. (2009). *Radio Resource Control (RRC); Protocol specification*. Version 8.7.0.
- [23] 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.
- [24] 3GPP TS 25.413. (2009). *UTRAN Iu interface Radio Access Network Application Part (RANAP) signalling*. Version 8.3.0.
- [25] 3GPP TS 25.423. (2009). *UTRAN Iur interface Radio Network Subsystem Application Part (RNSAP) signalling*. Version 8.5.0.
- [26] 3GPP TS 25.803. (2005). *S-CCPCH performance for Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS)*. Version 6.0.0.
- [27] 3GPP TS 26.346. (2009). *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Protocols and codecs*. Version 8.3.0.
- [28] 3GPP TS 33.246. (2009). *3G Security; Security of Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS)*. Version 8.4.0.
- [29] 3GPP TSG-RAN WG1#28, R1-021224. (2002). *Power allocation for MBMS*.
- [30] 3GPP TSG-RAN WG1#28, R1-021234. (2002). *Evaluation of combining gains for MBMS (incl. STTD)*.
- [31] 3GPP TSG-RAN WG1#28, R1-021239. (2002). *MBMS Power Usage*.
- [32] 3GPP TSG-RAN WG1#28, R1-021240. (2002). *Power Usage for Mixed FACH and DCH for MBMS*.
- [33] 3GPP TSG-RAN WG2#29, R2-021669. (2002). *Considerations on power allocation for MBMS*.
- [34] 3GPP TSG-RAN WG2#31, R2-022110. (2002). *MBMS Power Usage*.
- [35] 3GPP TSG-RAN WGx#29 R1-021325. (2002). *Comparison of DSCH and FACH for MBMS*.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] 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.

- [40] Alexiou, A., Bouras, C., & Kokkinos, V. (2009). *An Efficient Mechanism for Power Control Optimization in MBMS Enabled UTRAN*. In Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2009), Budapest, Hungary.
- [41] Alexiou, A., Bouras, C., & Kokkinos, V. (2009). *An Enhanced Mechanism for Efficient Assignment of Multiple MBMS Sessions towards LTE*. In Proceedings of 12th ACM/IEEE International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2009), Tenerife, Canary Islands, Spain, pp. 384-391.
- [42] 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.
- [43] Alexiou, A., Bouras, C., & Kokkinos, V. (2009). *Evaluation of Different Power Saving Techniques for MBMS Services*. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Hindawi Publishing Corporation, vol. 2009, Article ID 785927.
- [44] Alexiou, A., Bouras, C., & Kokkinos, V. (2009). *Exploiting E-MBMS Performance in 4G Networks*. Wireless Network Traffic and Quality of Service Support: Trends and Standards, IGI Global.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] Alexiou, A., Bouras, C., Kokkinos, V., & Rekkas, E. (2008). *A Novel Mechanism for Radio Capacity Maximization during MBMS transmission in B3G Networks*. In Proceedings of 11th ACM/IEEE International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2008), Vancouver, British Columbia, Canada, pp. 185-192.
- [49] Alexiou, A., Bouras, C., Kokkinos, V., & Rekkas, E. (2008). *Efficient Assignment of Multiple MBMS Sessions in B3G Networks*. In Proceedings of 2008 IEEE 68th Vehicular Technology Conference (VTC2008 Fall), Calgary, Canada, pp. 1-5.
- [50] Alexiou, A., Bouras, C., Kokkinos, V., & Rekkas, E. (2009). *An Improved Mechanism for Multiple MBMS Sessions Assignment in B3G Cellular Networks*. ACM/Springer Wireless Networks (WiNET), Springer Verlag (in print).

- [51] 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.
- [52] Alexiou, A., Bouras, C., Kokkinos, V., & Rekkas, E. (2009). *Optimal MBMS Power Allocation Exploiting MIMO in LTE Networks*. In Proceedings of 2009 IEEE 69th Vehicular Technology Conference (VTC2009 Spring), Barcelona, Spain.
- [53] B-BONE project IST-2003-507607. *Final Results with combined enhancements of the Air Interface*. Deliverable of the project (D2.5).
- [54] 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.
- [55] Buddendick, H., Wölfle, G., Burger, S., & Wertz, P. (2004). *Simulator for Performance Analysis in UMTS FDD Network with HSDPA*. In Proceedings of 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2004), Barcelona, Spain.
- [56] Cai, J., & Goodman, D. (1997). *General Packet Radio Service in GSM*. IEEE Communications Magazine, pp. 122-131.
- [57] 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.
- [58] Chuah, P., Hu, T., & Luo, W. (2004). *UMTS Release 99/4 Airlink Enhancement for supporting MBMS Services*. In Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Communications (ICC 2004), Paris, France, pp. 3231-3235.
- [59] Czerepinski, P., Chapman, T., & Crause, J. (2004). *Coverage and planning aspects of MBMS in UTRAN*. In Proceedings of 5th IEE International Conference on 3G Mobile Communication Technologies (3G 2004), London, UK, pp. 529 - 533.
- [60] Du, H., Fan, L., & Evans, B. (2007). *Novel radio resource allocation strategy for multimedia content delivery over satellite multicast/broadcast systems*. Computer Communications, vol. 30, pp. 1870-1889.
- [61] Ericsson. (2006). *Estimation of Non-Orthogonality and Other-to-Own Cell Interference in a WCDMA Radio Network*. Technical Report.
- [62] Eylert, B. (2005). *The Mobile Multimedia Business: Requirements and Solutions*. John Wiley & Sons.
- [63] 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.
- [64] Holma, H., & Toskala, A. (2006). *HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications*. John Wiley & Sons.

- [65] Holma, H., & Toskala, A. (2007). *WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE*. 4th edition, John Wiley & Sons.
- [66] 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.
- [67] Korhonen, J. (2003). *Introduction to 3G Mobile Communications*. 2nd edition, Artech House.
- [68] Lescuyer, P., & Lucidarme, T. (2008). *Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS*. John Wiley & Sons.
- [69] Malkowski, C. (2003). *UTRAN Enhancements for Multicast*. In Proceedings of HyWiN workshop, Turin, Italy.
- [70] Nilsson, M. (1999). *Third Generation Radio Access Standards*. Ericsson Review, No. 3.
- [71] Nokia Telecommunications, white paper. (1999). *Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)*. Available at: <http://www.nokia.com/>.
- [72] Nortel. (2005). *GSM-UMTS Network Evolution Positioning Paper*.
- [73] 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.
- [74] OverDRiVE project IST-2001-35125. *Spectrum Efficient Multicast and Asymmetric Services in UMTS*.
- [75] 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.
- [76] Pedersen, K., Lootsma, T., Stottrup, M., Frederiksen, F., Kolding, T., & Mogensen, P. (2004). *Network Performance of Mixed Traffic on High Speed Downlink Packet Access and Dedicated Channels in WCDMA*. In Proceedings of IEEE 60th Vehicular Technology Conference 2004 (VTC2004-Fall), Los Angeles, CA, vol. 6, pp. 4496- 4500.
- [77] Perez-Romero, J., Sallent, O., Agusti, R., & Diaz-Guerra, M. (2005). *Radio Resource Management Strategies in UMTS*. John Wiley & Sons.
- [78] Qualcomm, white paper. (2004). *HSDPA for Improved Downlink Data Transfer*.
- [79] Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2009). *LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*. John Wiley & Sons.
- [80] Shui, D. (2000). *Wireless Communication Using Dual Antenna Arrays*. Kluwer Academic Publishers.
- [81] Silva, C., Souto, S., Cercas, C., Correia, A., & Rodrigues, J. (2003). *Characterization of Power Control for UMTS*. In Proceedings of International Symp. on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2003), Yokosuka, Japan, Vol. 2, pp. 443-447.

- [82] 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.
- [83] Soares, A., Correia, A., Silva, J., & Souto, N. (2006). *UE Counting Mechanism for MBMS Considering PTM Macro Diversity Combining Support in UMTS Networks*. In Proceedings of 9th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA 2006), Manaus, Brazil, pp. 361-365.
- [84] Spaniol, O. (2003). *Mobility Management in UMTS*. Datacommunication & Distributed Systems.
- [85] Tektronix. (2003). *W-CDMA/UMTS Wireless Networks*. Technical Brief.
- [86] Third Generation Partnership Project - 3GPP (<http://www.3gpp.org>).
- [87] Third Generation Partnership Project 2 - 3GPP2 (<http://www.3gpp2.org>).
- [88] UMTS Forum (<http://www.umts-forum.org/>).
- [89] Vriendt, J., Gomez Vinagre, I., & Van Ewijk, A. (2004). *Multimedia Broadcast and Multicast Services in 3G Mobile Networks*. Alcatel Telecommunication Review.
- [90] Yang, S., & Lin, Y. (2003). *Performance evaluation of location management in UMTS*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 52, no. 6, pp. 1603-1615.
- [91] Zihuai, L., Sorensen, B., & Mogensen, E. (2007). *Downlink SINR Distribution of Linearly Precoded Multiuser MIMO Systems*. IEEE Communications Letters, 11(11), pp. 850-852.
- [92] Βαρβαρίγος, Ε., & Μπερμπερίδης, Κ. (2004). *Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις*. Πανεπιστήμιο Πατρών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΑΚΡΩΝΥΜΑ

ΑΚΡΩΝΥΜΑ

Ακρώνυμο	Επεξήγηση
3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
8-PSK	Eight-Phase Shift Keying
AAL	ATM Adaptation Layer
ACK	Acknowledgement
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AuC	Authentication Center
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BLER	Block Error Ratio
BMC	Broadcast Control
BM-SC	Broadcast / Multicast Service Center
CC	Transport Channel Configurations
CCCH	Common Control Channel
CCPCH	Common Control Physical Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CNIR	Carrier to Noise and Interference Ratio
CP	Control Plane
CPCH	Common Packet Channel
CPICH	Common Pilot Channel
CQI	Channel Quality Indicator

CRC	Cyclic Redundancy Check
CRNC	Controlling RNC
CS	Circuit Switched
CTCH	Common Traffic Channel
D-AMPS	Digital AMPS
DCCH	Dedicated Control Channel
DCF	DRM Content Format
DCH	Dedicated Channel
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
DPCH	Dedicated Physical Channel
DPS	Dynamic Power Setting
DRM	Digital Rights Management
DRNC	Drift RNC
DSCH	Downlink Shared Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
DVB-H	Digital Video Broadcasting - Handheld
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
e-MBMS	Evolved - MBMS
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EURANE	Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions
FACH	Forward Access Channel
FCFS	First Come First Served
FCS	Fast Cell Selection
FDD	Frequency Division Duplex
FTP	File Transfer Protocol
FDMA	Frequency Division Multiple Access

FFT	Fast Fourier Transform
FThS	Fair Throughput scheduler
FTiS	Fair Time scheduler
G	Geometry Factor
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway MSC
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
HLR	Home Location Register
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
IMT-DS	IMT Direct Spread
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT	International Mobile Telephony
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
Kbps	Kilo bits per second
LTE	Long Term Evolution
LTTI	Longer TTI and Space Diversity
M3UA	MTP3 User Adaptation Layer
MAC	Medium Access Control

MBMS	Multimedia Broadcast / Multicast Service
Mbps	Mega bits per second
MBSFN	Multicast/Broadcast Single-Frequency Networking
MCAM	MBMS Channel Assignment Mechanism
MCCH	Multicast Control Channel
MCE	Multi-cell/multicast Coordination Entity
MCH	Multicast Channel
Mcps	Mega chips per second
MDC	Macro Diversity Combining
MDF	Mixed usage of DCHs and FACH
MIMO	Multiple Input-Multiple Output
MM	Mobility Management
MSC	Mobile Services Switching Center
MTCH	Multicast Traffic Channel
MTP3-b	Message Transfer Part Level 3
NBAP	Node B Application Part
NMT	Nordic Mobile Telephone
ns-2	Network Simulator 2
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OMA	Open Mobile Alliance
OSI	Open Systems Interconnection
PAR	Peak-to-Average Ratio
PCCH	Paging Control Channel
PCH	Paging Channel
PDA	Personal Digital Assistant
PDC	Personal Digital Cellular
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDN	Public Data Network
PDU	Protocol Data Unit

PMM	Packet MM
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
RANAP	Radio Access Network Application Part
RB	Radio Bearer
RL	Radio Link
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RNSAP	Radio Network Sublayer Application Part
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RS	Rate Splitting
RSN	Retransmission Sequence Number
RTP	Real-time Transport Protocol
SCCP	Signalling Connection Control Part
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
SRNC	Serving RNC
SRNS	Serving RNS
SRTTP	Secure RTP
SSCF-UNI	Service Specific Coordination Function for Support of Signalling at the User-Network Interface
SSCOP	Service Specific Connection-Oriented Protocol
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
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UP	User Plane
UPFP	User Plane Framing Protocol
URA	UTRAN Registration Area
USCH	Uplink Shared Channel
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access
UTRAN	UTRA Network
VLR	Visitor Location Register
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over IP
WCDMA	Wideband CDMA
WWW	World Wide Web

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

0-9

3GPP system: the telecommunication system standardised by the 3GPP consisting of a core network and a radio access network that may be either GERAN or UTRAN, or both.

A

Active set: Set of radio links simultaneously involved in a specific communication service between an UE and a UTRAN access point.

B

Base station (Node B): A base station is a network element in radio access network responsible for radio transmission and reception in one or more cells to or from the user equipment. A base station can have an integrated antenna or be connected to an antenna by feeder cables. In UTRAN it terminates the Iub interface towards the RNC.

Bearer: A information transmission path of defined capacity, delay and bit error rate, etc.

Bearer service: A type of telecommunication service that provides the capability of transmission of signals between access points.

Best effort service: A service model which provides minimal performance guarantees, allowing an unspecified variance in the measured performance criteria.

Broadcast: A value of the service attribute “communication configuration”, which denotes unidirectional distribution to all users (source: ITU-T I.113).

C

Call: a logical association between several users (this could be connection oriented or connection less).

Cell: Radio network object that can be uniquely identified by a User Equipment from a (cell) identification that is broadcasted over a geographical area from one UTRAN Access Point. A Cell is either FDD or TDD mode.

Common channel: A channel not dedicated to a specific UE.

Connected mode: Connected mode is the state of User Equipment switched on and an RRC connection established.

Connection: A communication channel between two or more end-points (e.g. terminal, server etc.).

Control channel: A logical channel that carries system control information.

Controlling RNC (CRNC): A role an RNC can take with respect to a specific set of UTRAN access points. There is only one Controlling RNC for any UTRAN access point. The Controlling RNC has the overall control of the logical resources of its UTRAN access points.

Core network (CN): An architectural term relating to the part of 3GPP System which is independent of the connection technology of the terminal (eg. radio, wired).

Coverage area (of a mobile cellular system): An area where mobile cellular services are provided by that mobile cellular system to the level required of that system.

D

Dedicated channel (DCH): A channel dedicated to a specific UE.

Downlink: Unidirectional radio link for the transmission of signals from a UTRAN access point to a UE. Also in general the direction from Network to UE.

G

GSM core network: refers in this specification to the GSM NSS and GPRS backbone infrastructure.

GSM/EDGE radio access network (GERAN): A conceptual term identifying that part of the network which consists of BSCs and BTSs between A/Gb or Iu and Um interfaces.

H

Handover: The transfer of a user's connection from one radio channel to another (can be the same or different cell).

Hard handover: Hard handover is a category of handover procedures where all the old radio links in the UE are abandoned before the new radio links are established.

I

Idle mode: The state of UE switched on but which does not have any established RRC connection.

Inter-cell handover: A handover between different cells. An inter-cell handover requires network connections to be altered.

Intersystem handover: Handover between networks using different radiosystems, e.g. UMTS - GSM.

Intracell handover: A handover within one sector or between different sectors of the same cell. An intracell handover does not require network connections to be altered.

Iu: Interconnection point between an RNC or a BSC and a 3G Core Network. It is also considered as a reference point.

Iub: Interface between an RNC and a Node B.

Iur: A logical interface between two RNC. Whilst logically representing a point to point link between RNC, the physical realisation may not be a point to point link.

L

Logical channel: A logical channel is an information stream dedicated to the transfer of a specific type of information over the radio interface. Logical Channels are provided on top of the MAC layer.

M

Macrocells: "Macrocells" are outdoor cells with a large cell radius.

Medium access control (MAC): A sub-layer of radio interface layer 2 providing unacknowledged data transfer service on logical channels and access to transport channels.

Microcells: “Microcells” are small cells.

Mobility: The ability for the user to communicate whilst moving independent of location.

Multicast service: A unidirectional PTM service in which a message is transmitted from a single source entity to all subscribers currently located within a geographical area. The message contains a group identifier indicating whether the message is of interest to all subscribers or to only the subset of subscribers belonging to a specific multicast group.

Multipoint: A value of the service attribute “communication configuration”, which denotes that the communication involves more than two network terminations (source: ITU-T I.113).

P

Packet data protocol (PDP): Any protocol which transmits data as discrete units known as packets, e.g., IP, or X.25.

Packet-switched (PS): Packet switching is a digital network communications method that groups all transmitted data, irrespective of content, type, or structure into suitably-sized blocks, called packets.

Paging: The act of seeking a User Equipment.

Physical channel: In FDD mode, a physical channel is defined by code, frequency and, in the uplink, relative phase (I/Q). In TDD mode, a physical channel is defined by code, frequency, and time-slot.

Picocells: “Picocells” are cells, mainly indoor cells, with a radius typically less than 50 metres.

Point-to-multipoint (PTM) service: A service type in which data is sent to “all service subscribers or a pre-defined subset of all subscribers” within an area defined by the Service Requester.

Point-to-point (PTP): A value of the service attribute “communication configuration”, which denotes that the communication involves only two network terminations.

Power control: The intelligent selection of transmit power in a communication system to achieve good performance within the system.

R

Radio access bearer: The service that the access stratum provides to the non-access stratum for transfer of user data between User Equipment and CN.

Radio access mode: Mode of the cell, FDD or TDD.

Radio access technology: UTRA, GERAN, etc.

Radio bearer (RB): The service provided by the Layer 2 for transfer of user data between User Equipment and UTRAN.

Radio interface: The “radio interface” is the tetherless interface between User Equipment and a UTRAN access point. This term encompasses all the functionality required to maintain such interfaces.

Radio link (RL): A “radio link” is a logical association between single User Equipment and a single UTRAN access point. Its physical realisation comprises one or more radio bearer transmissions.

Radio network controller (RNC): This equipment in the RNS is in charge of controlling the use and the integrity of the radio resources.

Radio network subsystem (RNS): Either a full network or only the access part of a UTRAN offering the allocation and the release of specific radio resources to establish means of connection in between an UE and the UTRAN. A Radio Network Subsystem is responsible for the resources and transmission/reception in a set of cells.

Radio resource control (RRC): A sublayer of radio interface Layer 3 existing in the control plane only which provides information transfer service to the non-access stratum. RRC is responsible for controlling the configuration of radio interface Layers 1 and 2.

Radio resource management (RRM): The system level control of co-channel interference and other radio transmission characteristics. RRM involves strategies and algorithms for controlling parameters such as transmit power, channel allocation, handover criteria, etc. The objective is to utilize the limited radio and network resources as efficiently as possible.

Radio system: the selected 2nd or 3rd generation radio access technology, eg UTRAN or GERAN.

Real time: Time, typically in number of seconds, to perform the on-line mechanism used for fraud control and cost control.

Release 99: A particular version of the 3GPP System standards produced by the 3GPP project. Also: Release 4, Release 5, Release 6 etc.

S

Sector: A “sector” is a sub-area of a cell. All sectors within one cell are served by the same base station. A radio link within a sector can be identified by a single logical identification belonging to that sector.

Serving RNS (SRNS): A role an RNS can take with respect to a specific connection between an UE and UTRAN. There is one Serving RNS for each UE that has a connection to UTRAN. The Serving RNS is in charge of the RRC connection between a UE and the UTRAN. The Serving RNS terminates the Iu for this connection.

Shared channel: A radio resource (transport channel or physical channel) that can be shared dynamically between several UEs.

Soft handover: Soft handover is a category of handover procedures where the radio links are added and abandoned in such manner that the UE always keeps at least one radio link to the UTRAN.

SRNS relocation: The change of Iu instance and transfer of the SRNS role to another RNS.

T

Throughput: A parameter describing service speed. The number of data bits successfully transferred in one direction between specified reference points per unit time (source: ITU-T I.113).

Traffic channel: A “traffic channel” is a logical channel which carries user information.

Transmission time interval (TTI): Transmission Time Interval is defined as the inter-arrival time of Transport Block Sets, i.e. the time it shall take to transmit a Transport Block Set.

Transport block: Transport Block is defined as the basic data unit exchanged between L1 and MAC. An equivalent term for Transport Block is “MAC PDU”.

Transport channel: The channels offered by the physical layer to Layer 2 for data transport between peer L1 entities are denoted as Transport Channels. Different types of transport channels are defined by how and with which characteristics data is transferred on the physical layer, e.g. whether using dedicated or common physical channels.

U

Universal subscriber identity module (USIM): An application residing on the UICC used for accessing services provided by mobile networks, which the application is able to register on with the appropriate security.

Universal terrestrial radio access network (UTRAN): UTRAN is a conceptual term identifying that part of the network which consists of RNCs and Node Bs between Iu and Uu interfaces.

Uplink: An “uplink” is a unidirectional radio link for the transmission of signals from a UE to a base station, from a Mobile Station to a mobile base station or from a mobile base station to a base station.

User Equipment (UE): A device allowing a user access to network services. For the purpose of 3GPP specifications the interface between the UE and the network is the radio interface. A User Equipment can be subdivided into a number of domains, the domains being separated by reference points. Currently defined domains are the USIM and ME Domains. The ME Domain can further be subdivided into several components showing the connectivity between multiple functional groups. These groups can be implemented in one or more hardware devices. An example of such connectivity is the TE - MT interface. Further, an occurrence of a User Equipment is an MS for GSM as defined in GSM TS 04.02.

UTRAN registration area (RA): The UTRAN Registration Area is an area covered by a number of cells. The URA is only internally known in the UTRAN.

Uu: The Radio interface between UTRAN and the User Equipment.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V: ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

EYPETHPIO

3

3G - Third Generation · vii, ix, 33, 34, 39, 40, 43, 65, 75, 87, 211, 224, 243
 3GPP - Third Generation Partnership Project · vii, ix, 27, 32, 35, 37, 38, 39, 43, 60, 65, 75, 76, 79, 80, 87, 99, 100, 119, 120, 155, 173, 177, 180, 193, 200, 211, 216, 221, 225, 243, 251

A

ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line · 36, 243
 AMC - Adaptive Modulation and Coding · 67, 68, 70, 71, 76, 143, 243
 ATM - Asynchronous Transfer Mode · 46, 50, 51, 53, 243

B

BLER - Block Error Rate · 106, 128, 129, 131, 133, 134, 136, 243
 BM-SC - Broadcast / Multicast Service Center · 89, 91, 94, 95, 102, 103, 186, 224, 243
 Broadcast · vii, 25, 49, 87, 88, 92, 95, 211, 224, 251

C

CDMA - Code Division Multiple Access · 32, 34, 35, 36, 57, 60, 104, 243
 CDMA2000 · 34, 35, 37
 CN - Core Network · 45, 47, 48, 52, 53, 59, 61, 65, 91, 96, 98, 243, 252
 CRNC - Controlling Radio Network Controller · 142, 244, 251

D

DCH - Dedicated Channel · 26, 55, 76, 100, 101, 107, 115, 116, 119, 120, 125, 128, 135, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 146, 148, 150, 152, 156, 161, 163, 164, 170, 178, 179, 180, 182, 183, 189, 190, 195, 196, 201, 203, 212, 221, 222, 244, 252
 Downlink - Κατερχόμενος Σύνδεσμος · 26, 37, 38, 39, 55, 56, 57, 58, 65, 67, 68, 71, 77, 79, 82, 104, 107, 115, 125, 135, 157, 212, 223, 252
 DPS - Dynamic Power Setting · viii, x, 118, 121, 156, 165, 182, 183, 184, 195, 201, 213, 221, 244
 DRNC - Drift Radio Network Controller · 59, 101, 244
 DSCH - Downlink Shared Channel · 55, 244

E

ECS - Efficient Channel Selection · 119, 163, 168, 215, 221, 244
 E-DCH - Enhanced Dedicated Channel · 75, 76, 244
 EDGE - Enhanced Data Rates for Global Evolution · 32, 36, 81, 244
 e-MBMS - evolved MBMS · 224, 225, 226, 244
 ETSI - European Telecommunications Standards Institute · 32, 33, 35, 36, 37, 49, 244

F

FACH - Forward Access Channel · 26, 55, 100, 101, 107, 115, 116, 118, 119, 120, 125, 128, 129, 131, 132, 135, 142, 146, 149, 150, 152, 155, 156, 157, 159, 161, 163, 166, 169, 171, 178, 179, 180, 182, 183, 187, 189, 190, 195, 196, 201, 203, 212, 221, 222, 244
 Fast Scheduling · 67, 70, 72, 73, 75

G

GERAN - GSM/EDGE Radio Access Network · 81, 89, 245, 252
 GGSN - Gateway GPRS Support Node · 47, 53, 90, 95, 96, 98, 102, 245
 GPRS - General Packet Radio Services · 32, 33, 37, 43, 98, 245
 GSM - Global System for Mobile Communications · 32, 33, 35, 37, 43, 44, 51, 59, 60, 89, 245, 252
 GTP - GPRS Tunneling Protocol · 90, 91, 97, 98, 245

H

Handover · 45, 46, 51, 55, 57, 58, 59, 60, 71, 72, 100, 106, 163, 252
 HARQ - Hybrid Automatic Repeat Request · 67, 69, 75, 76, 77, 143, 245
 HSDPA - High Speed Downlink Packet Access · 38, 39, 55, 65, 66, 67, 70, 71, 73, 75, 76, 117, 119, 121, 127, 142, 156, 182, 223, 245
 HS-DSCH - High-Speed Downlink Shared Channel · 26, 38, 55, 66, 67, 68, 71, 107, 115, 117, 120, 125, 127, 142, 143, 145, 146, 149, 150, 152, 156, 163, 164, 171, 177, 178, 179, 181, 182, 189, 190, 193, 195, 196, 202, 203, 212, 221, 222, 245
 HSPA - High Speed Packet Access · vii, ix, 26, 39, 63, 65, 77, 88, 108, 115, 145, 177, 211, 223, 245
 HSPA+ · 26, 38, 79
 HSUPA - High Speed Uplink Packet Access · 38, 39, 65, 66, 75, 76, 223, 245

I

IMT-2000 · 36, 43, 66, 75

L

LTE - Long Term Evolution · vii, ix, 26, 39, 80, 81, 82, 83, 88, 145, 177, 211, 221, 223, 226, 245
LTTI - Longer TTI and Space Diversity · 118, 157, 165, 214, 221, 245

M

Macrocell · 26, 32, 108, 109, 111, 116, 125, 127, 130, 132, 135, 137, 140, 146, 147, 150, 152, 165, 170, 181, 193, 196, 212, 252
MBMS - Multimedia Broadcast / Multicast Service · vii, ix, 26, 80, 83, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 95, 99, 100, 102, 103, 107, 115, 118, 120, 125, 129, 131, 135, 137, 138, 139, 143, 145, 146, 149, 152, 155, 160, 161, 163, 165, 169, 171, 177, 181, 182, 183, 184, 187, 189, 191, 193, 194, 200, 202, 207, 211, 221, 224, 226, 246
MBSFN - Multicast/Broadcast Single-Frequency Networking · 224, 225, 226, 246
MCAM - MBMS Channel Assignment Mechanism · viii, x, 27, 121, 177, 184, 193, 194, 198, 200, 202, 207, 216, 221, 222, 246
MDC - Macro Diversity Combining · viii, x, 118, 159, 165, 214, 221, 246
MDF - Mixed usage of DCHs and FACH · 119, 120, 161, 163, 168, 214, 221, 246
Microcell · 26, 32, 108, 111, 116, 127, 130, 135, 139, 146, 149, 150, 152, 212, 253
MIMO - Multiple Input-Multiple Output · 38, 77, 79, 82, 121, 144, 177, 178, 179, 189, 190, 193, 196, 199, 202, 203, 207, 216, 221, 223, 246
MM - Mobility Management · 61, 246
Multicast · vii, ix, 26, 49, 87, 89, 90, 92, 95, 96, 98, 101, 106, 115, 116, 120, 125, 128, 135, 137, 140, 147, 149, 152, 155, 164, 169, 171, 177, 179, 180, 182, 187, 192, 196, 203, 204, 211, 221, 224, 253

N

Node B · 46, 49, 57, 59, 69, 72, 73, 76, 105, 109, 111, 116, 118, 125, 129, 132, 133, 135, 137, 140, 142, 146, 148, 150, 151, 152, 155, 156, 159, 160, 161, 163, 168, 171, 181, 182, 184, 186, 190, 191, 197, 200, 204, 212, 222, 251

O

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing · 34, 36, 82, 223, 246

P

Packet MM · 61, 247

Picocell · 32, 44
PMM connected · 61
PMM idle · 61, 252
PTM - Point-to-Multipoint · 54, 87, 88, 96, 99, 100, 107, 108, 119, 120, 155, 165, 177, 180, 182, 183, 187, 195, 222, 226, 247, 253
PTP - Point-to-Point · 54, 96, 99, 107, 108, 119, 120, 155, 177, 180, 182, 183, 187, 189, 195, 199, 202, 222, 247, 253

Q

QAM - Quadrature Amplitude Modulation · 38, 68, 72, 79, 247
QPSK - Quadrature Phase-Shift Keying · 68, 72, 247

R

RA - Routing Area · 46, 61, 247, 255
RACH - Random Access Channel · 55, 247
RNC - Radio Network Controller · 46, 49, 51, 52, 58, 59, 60, 61, 77, 95, 97, 98, 101, 119, 155, 164, 168, 186, 222, 247, 251, 254
RNS - Radio Network Subsystem · 46, 59, 247, 254
RRC - Radio Resource Control · 61, 247, 254
RRC cell connected · 61, 251
RRC idle · 61
RRC URA connected · 61
RRM - Radio Resource Management · 71, 72, 185, 247, 254
RS - Rate Splitting · viii, x, 118, 160, 163, 168, 214, 221, 247

S

SC-OFDM - Single Carrier OFDM · 82, 223, 247
SGSN - Serving GPRS Support Node · 47, 52, 53, 59, 61, 91, 95, 96, 98, 247
SIR - Signal-to-Interference Ratio · 105, 106, 248
SRNC - Serving Radio Network Controller · 59, 101, 248
SRNS relocation · 51, 52, 254
STTD - Space Time Transmit Diversity · 118, 130, 131, 132, 133, 248

T

TCP - Transmission Control Protocol · 53, 248
TDMA - Time Division Multiple Access · 32, 34, 35, 36, 248
TTI - Transmission Time Interval · 67, 70, 71, 73, 74, 76, 118, 127, 130, 132, 133, 135, 157, 159, 166, 214, 221, 248, 255

U

UDP - User Datagram Protocol · 51, 53, 248
UE - User Equipment · 45, 46, 49, 52, 57, 59, 60, 61, 76, 91, 94, 95, 96, 99, 100, 101, 103, 105,

106, 116, 128, 135, 146, 181, 184, 185, 194, 222, 248, 251, 255
 UMTS - Universal Mobile Telecommunications System · vii, ix, 26, 33, 36, 37, 38, 39, 41, 43, 44, 47, 51, 53, 57, 60, 65, 67, 73, 77, 89, 90, 92, 97, 101, 103, 104, 105, 107, 115, 118, 128, 139, 185, 211, 222, 224, 248
 Uplink - Ανερχόμενος Σύνδεσμος · 37, 38, 39, 55, 56, 57, 58, 65, 75, 76, 79, 82, 104, 128, 186, 192, 223, 255
 URA - UTRAN Registration Area · 46, 248
 UTRAN - Universal Terrestrial Radio Access Network · 37, 45, 52, 54, 56, 60, 61, 65, 89, 91, 99, 100, 107, 183, 222, 248, 251, 255

W

WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access · 32, 34, 35, 37, 43, 45, 46, 49, 65, 66, 75, 100, 104, 105, 248

A

Διεπαφή Gn · 53, 91, 96, 97, 98
 Διεπαφή Iu · 45, 96, 101, 252
 Διεπαφή Iub · 46, 49, 50, 58, 99, 252
 Διεπαφή Iu-PS · 46, 52, 59, 91, 97, 98
 Διεπαφή Iur · 46, 51, 59, 60, 101, 252
 Διεπαφή Uu · 45, 48, 49, 99, 102, 255

E

Έλεγχος Ισχύος · vii, 26, 45, 55, 71, 87, 88, 100, 104, 105, 106, 107, 115, 116, 117, 118, 135, 142, 143, 177, 184, 193, 199, 200, 207, 211, 217, 222, 253
 Έλεγχος Ρυθμού · 68, 117, 142, 143

K

Κανάλια Μεταφοράς · viii, 26, 49, 54, 55, 56, 68, 73, 76, 107, 115, 117, 119, 120, 121, 125, 135, 137, 142, 143, 146, 150, 155, 162, 163, 164, 169, 177, 178, 182, 183, 184, 189, 190, 192, 193, 199, 202, 205, 212, 221, 255
 Κανάλια Πολυεκπομπής · 27, 108, 115, 116, 123, 125, 146, 147, 148, 150, 152, 163, 172, 177, 180, 187, 193, 194, 195, 196, 200, 202, 203, 212, 221

Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών · vii, 25, 29, 31, 37, 65, 75, 87, 91, 115, 121, 144, 155, 177, 178, 184, 193, 202, 206, 211, 222, 226
 Κινητικότητα Χρηστών · 31, 47, 61, 91, 100, 119, 120, 181, 196, 199, 223, 253

A

Λογικά Κανάλια · 49, 54, 56, 205, 252

M

Μηχανισμοί Επιλογής Καναλιών Πολυεκπομπής · viii, 27, 108, 115, 120, 121, 152, 175, 177, 200, 213, 216, 221
 Μηχανισμός MBMS Counting Mechanism (TS 25.346) · viii, 108, 119, 120, 156, 173, 180, 183, 193, 196, 201, 216
 Μηχανισμός MBMS PTP/PTM Switching Algorithm (TR 25.922) · 120, 182, 201, 216
 Μηχανισμός TSG-RAN R1-021240 · 120, 183, 201, 216

Π

Πολυμεσική Επικοινωνία · vii, 25, 38, 65, 78, 81, 87, 88, 91, 101, 121, 211, 223
 Πολυπλεξία FACH · 100, 190, 191, 204, 205, 206

Σ

Σημείο Εναλλαγής · 27, 108, 116, 117, 119, 147, 152, 164, 170, 171, 172, 181, 213, 216

T

Τεχνικές Μείωσης Ισχύος · viii, 27, 115, 118, 119, 152, 153, 155, 156, 165, 168, 171, 213, 221

Φ

Φυσικά Κανάλια · 54, 57, 126, 253