



# ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ*

*«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ»*

---

## MULTICAST ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

---

ΠΑΠΑΖΩΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

A.M. 419

*ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:*

*Μπούρας Χρήστος, Αναπληρωτής Καθηγητής*

*ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:*

*Βαρβαρίγος Εμμανουήλ, Καθηγητής*

*Μπερμπερίδης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής*

*Μπούρας Χρήστος, Αναπληρωτής Καθηγητής*

ΠΑΤΡΑ 2006



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί τον επίλογο των μεταπτυχιακών μου σπουδών στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης «Επιστήμη και Τεχνολογία Υπολογιστών» του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής. Το περιεχόμενο της εργασίας σχετίζεται με τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών τρίτης γενιάς και ιδιαίτερα με τη multicast μετάδοση δεδομένων στα δίκτυα αυτά.

Πριν την παρουσίαση της εργασίας αυτής, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με καθοδήγησαν, με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Σε αυτό το σημείο θέλω να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή Χρήστο Μπούρα για την καθοδήγησή του αλλά και διότι μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Δε θα μπορούσα βέβαια να μην ευχαριστήσω θερμά τον Αντώνη Αλεξίου, υποψήφιο διδάκτορα, ο οποίος με βοηθούσε και με συμβούλευε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ τους ερευνητές της Ερευνητικής Μονάδας 6 του ΕΑΙΤΥ για τη βοήθεια που μου προσέφεραν.

Ομοίως, θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Εμμανουήλ Βαρβαρίγο και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Κωνσταντίνο Μπερμπερίδη, για την τιμή που μου έκαναν να αποτελέσουν μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με στήριξαν στην προσπάθεια που κατέβαλλα τον τελευταίο χρόνο των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

*Πάτρα, 12 Ιουνίου 2006  
Ανδρέας Παπαζώης*



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι γεγονός ότι, τα τελευταία χρόνια, η χρήση των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς έχει αρχίσει να επεκτείνεται. Οι υπηρεσίες που απευθύνονται σε ομάδες χρηστών θα αποτελέσουν μία νέα κατηγορία προηγμένων υπηρεσιών προς στους κινητούς χρήστες. Στα συμβατικά ενσύρματα δίκτυα, η χρήση multicast μηχανισμών είναι αυτή που συνήθως ενδείκνυται για αυτή την κατηγορία υπηρεσιών. Ένας multicast μηχανισμός μεταδίδει τα δεδομένα μόνο μία φορά πάνω από κάθε σύνδεσμο που αποτελεί τμήμα των μονοπατιών προς τους προορισμούς. Είναι προφανής η αύξηση της απόδοσης που προσφέρει το multicasting καθώς ελαχιστοποιεί τη χρήση των πόρων του δικτύου. Επομένως, η εφαρμογή του multicasting σε ένα κινητό δίκτυο έχει αρκετά διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με την εφαρμογή του στο Internet. Κατά συνέπεια, δημιουργείται η ανάγκη για νέους μηχανισμούς οι οποίοι θα καλύψουν τις ιδιαιτερότητες των κινητών δικτύων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτείνεται ένας μηχανισμός που εκτελεί multicast μετάδοση δεδομένων στο σύστημα UMTS. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός εκμεταλλεύεται τη δένδρική τοπολογία των κινητών δικτύων και εισάγει τη χρήση των Routing Lists (RLs) στους κόμβους του UMTS. Η χρήση και η ενημέρωση των RLs γίνεται από τον προτεινόμενο μηχανισμό με τρόπο που παρουσιάζεται αναλυτικά. Επίσης, εξετάζονται διεξοδικά τα πιθανά σενάρια τα οποία περιλαμβάνουν όλες τις περιπτώσεις κινητικότητας των χρηστών. Ειδικότερα, εξετάζονται οι διάφοροι τύποι handover καθώς και η διαδικασία SRNS relocation. Τέλος, ο συγκεκριμένος μηχανισμός εξομοιώνεται στον network simulator ns-2. Μέσω της εξομοίωσης διερευνάται η ορθότητα του μηχανισμού καθώς και η αποδοτικότητά του.



## **ABSTRACT**

It is a matter of fact that the third generation cellular networks are being deployed all over the world. A set of new services which will be provided by these networks, are those who address to user groups. Wireline networks use multicast mechanisms for the provision of similar services. A multicast mechanism transmits the same data once over each link of the path from the source to the destinations. Obviously, multicasting leads to the efficient use of the network resources. Nevertheless, the adoption of this kind of mechanisms by a mobile network is quite complicated and new schemes are required.

In this master thesis, I present a mechanism for the multicast transmission of data in UMTS. This mechanism takes advantage of the tree topology of the examined networks and introduces the use of Routing Lists (RLs) in the nodes of UMTS. The use and the update of RLs are performed by the proposed mechanism and each step of these procedures is described in detail. Furthermore, I analyze the handling of special cases such as user mobility scenarios. Especially, the various handover types are examined along with the SRNS relocation procedure. Finally, I implement this approach in the ns-2 simulator. Through this simulation, I investigate the correctness and the efficiency of the proposed mechanism.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ .....</b>	<b>5</b>
2.1	Εισαγωγικά Στοιχεία .....	5
2.1.1	Η 1 <sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων .....	5
2.1.2	Η 2 <sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων .....	5
2.1.3	Η Γενιά 2,5 .....	6
2.1.4	Η 3 <sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων .....	7
2.1.5	Η Γενιά 3,5 .....	8
2.2	Πρότυπα .....	9
2.2.1	WCDMA .....	9
2.2.2	Προηγμένο TDMA .....	10
2.2.3	Υβριδικό CDMA/TDMA .....	11
2.2.4	OFDM .....	11
2.2.5	IMT-2000 .....	11
2.2.6	3GPP .....	12
<b>3</b>	<b>ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS .....</b>	<b>13</b>
3.1	Γενικά Χαρακτηριστικά .....	13
3.2	Η Δομή του UMTS .....	14
3.2.1	User Equipment .....	14
3.2.2	UTRAN .....	15
3.2.3	CN .....	16
3.3	Διεπαφές και Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων .....	18
3.3.1	Η Διεπαφή Uu .....	18
3.3.2	Η Διεπαφή Iub .....	19
3.3.3	Η Διεπαφή Iur .....	21
3.3.4	Η Διεπαφή Iu-PS .....	22
3.3.5	Οι Υπόλοιπες Διεπαφές .....	23
3.4	Τα Κανάλια του UTRAN .....	24
3.4.1	Λογικά Κανάλια .....	24
3.4.2	Κανάλια Μεταφοράς .....	25
3.4.3	Φυσικά Κανάλια .....	27
3.5	Μετάδοση Δεδομένων .....	27
3.5.1	PDP και GTP .....	27
3.5.2	Μετάδοση Πακέτων στο UTRAN .....	29
3.6	Τα Handovers στο UMTS .....	30
3.6.1	Softer και Soft Handover .....	31

3.6.2	SRNS Relocation .....	35
3.6.3	Hard Handover.....	37
3.6.4	Intersystem Handovers .....	37
<b>4</b>	<b>Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ MBMS.....</b>	<b>39</b>
4.1	Εισαγωγικά Στοιχεία .....	39
4.2	Περιγραφή της Υπηρεσίας.....	39
4.2.1	Λειτουργία Broadcast .....	39
4.2.2	Λειτουργία Multicast.....	40
4.3	Η Αρχιτεκτονική της MBMS .....	41
4.4	Οι Φάσεις της Υπηρεσίας MBMS .....	43
4.4.1	Subscription .....	44
4.4.2	Service Announcement.....	45
4.4.3	Joining.....	45
4.4.4	Session Start .....	45
4.4.5	MBMS Notification .....	46
4.4.6	Data Transfer .....	46
4.4.7	Session Stop.....	46
4.4.8	Leaving.....	47
4.5	Μετάδοση Δεδομένων στο CN.....	47
4.5.1	Χρήση IP Unicast.....	47
4.5.2	Χρήση IP Multicast.....	49
4.6	Μετάδοση Δεδομένων στο UTRAN .....	50
4.6.1	Μετάδοση point-to-point.....	50
4.6.2	Μετάδοση point-to-multipoint.....	51
4.6.3	Η Χρήση της Διεπαφής Iur .....	52
4.7	Θέματα Ασφάλειας.....	53
4.7.1	Πιθανές Απειλές.....	54
4.7.2	Αρχιτεκτονική Ασφάλειας.....	54
<b>5</b>	<b>ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>Ο ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ .....</b>	<b>61</b>
6.1	Οι Routing Lists .....	61
6.2	Ο Μηχανισμός Μετάδοσης Πακέτων.....	63
6.3	Διαχείριση των Multicast Groups .....	64
6.3.1	Η Φάση Joining .....	64
6.3.2	Η Φάση Leaving .....	65
6.4	Διαχείριση Κινητικότητας .....	66
6.4.1	Handovers.....	67
6.4.2	SRNS Relocation .....	69

6.5	Μετάδοση Δεδομένων στο UTRAN .....	72
<b>7</b>	<b>ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ .....</b>	<b>75</b>
7.1	Ο Εξομοιωτής ns-2 .....	75
7.2	Η Υλοποίηση.....	77
7.3	Παράμετροι του Μοντέλου Εξομοίωσης .....	79
7.4	Παράδειγμα του Κώδικα Εξομοίωσης .....	80
<b>8</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>91</b>
8.1	Αποδοτικότητα .....	91
8.2	Κινητικότητα Χρηστών .....	93
8.2.1	Έλεγχος της Ορθότητας.....	93
8.2.2	Αποδοτικότητα στη Διεπαφή Iur.....	95
8.3	Μετάδοση Δεδομένων στο UTRAN .....	97
<b>9</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>101</b>
<b>10</b>	<b>ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....</b>	<b>103</b>
<b>11</b>	<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>105</b>
	<b>ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....</b>	<b>109</b>



## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η εξέλιξη των προτύπων για τα κυψελωτά κινητά δίκτυα. ....	8
Εικόνα 2. Η κατανομή των καναλιών στις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης. ....	10
Εικόνα 3. Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο. ....	14
Εικόνα 4. Η δομή του UTRAN. ....	15
Εικόνα 5. Η δομή του CN. ....	18
Εικόνα 6. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu. ....	19
Εικόνα 7. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iub. ....	20
Εικόνα 8. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iur. ....	21
Εικόνα 9. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iu-PS. ....	22
Εικόνα 10. Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας. ....	23
Εικόνα 11. Η αντιστοιχία λογικών καναλιών σε κανάλια μεταφοράς. ....	27
Εικόνα 12. Η σύνοδος GTP στη διεπαφή Gn. ....	28
Εικόνα 13. Μετάδοση πακέτων πληροφορίας στα διάφορα επίπεδα. ....	30
Εικόνα 14. Οι δυνατές περιπτώσεις softer και soft handover. ....	31
Εικόνα 15. Η ροή δεδομένων σε ένα inter-RNS/intra-SGSN handover. ....	33
Εικόνα 16. Η ροή δεδομένων σε ένα inter-RNS/inter-SGSN handover. ....	34
Εικόνα 17. Η ροή δεδομένων πριν και μετά το intra-SGSN SRNS relocation. ....	36
Εικόνα 18. Η ροή δεδομένων πριν και μετά το inter-SGSN SRNS relocation. ....	36
Εικόνα 19. Η αρχιτεκτονική της υπηρεσίας MBMS. ....	41
Εικόνα 20. Οι φάσεις της broadcast λειτουργίας. ....	43
Εικόνα 21. Οι φάσεις της multicast λειτουργίας. ....	44
Εικόνα 22. Οι σύνοδοι GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP unicast. ....	48
Εικόνα 23. Οι σύνοδοι GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP multicast. ....	49
Εικόνα 24. Οι πιθανές επιλογές μονοπατιών προς το UE1. ....	53
Εικόνα 25. Η δομή μίας Routing List. ....	61
Εικόνα 26. Ο μηχανισμός μετάδοσης πακέτων. ....	62
Εικόνα 27. DRLs και MGLs. ....	63
Εικόνα 28. Η φάση Joining. ....	65
Εικόνα 29. Η φάση Leaving. ....	66
Εικόνα 30. Η διαδικασία inter-RNS handover. ....	68
Εικόνα 31. Η διαδικασία inter-SGSN SRNS relocation. ....	70
Εικόνα 32. Η διαδικασία intra-SGSN SRNS relocation. ....	72
Εικόνα 33. Η διασύνδεση των DRLs. ....	78
Εικόνα 34. Η εξεταζόμενη τοπολογία. ....	79
Εικόνα 35. Το throughput στο σύνδεσμο GGSN-SGSN1. ....	91
Εικόνα 36. Το throughput στο σύνδεσμο SGSN1-RNC1. ....	92
Εικόνα 37. Ο έλεγχος της ορθότητας κατά την κινητικότητα χρηστών. ....	94
Εικόνα 38. Το bit-rate της λήψης δεδομένων από το UE1. ....	95
Εικόνα 39. Πολλαπλά inter-RNS handovers από RNC1 προς RNC2. ....	96
Εικόνα 40. Το throughput στη διεπαφή Iur. ....	97
Εικόνα 41. Το throughput στο σύνδεσμο RNC1-Node B1 για κάθε κανάλι. ....	98

## **ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1. Τα χαρακτηριστικά του UMTS και η συμβατότητα του GSM. ....	13
Πίνακας 2. Τα λογικά κανάλια του UTRAN. ....	24
Πίνακας 3. Οι ιδιότητες των καναλιών μεταφοράς. ....	25
Πίνακας 4. Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN. ....	26

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γεγονός ότι, τα τελευταία χρόνια, η χρήση των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς έχει αρχίσει να επεκτείνεται. Τα νέα αυτά κινητά δίκτυα και ειδικότερα το σύστημα UMTS που αποτελεί το βασικό πρότυπο, αντικαθιστούν τα υπάρχοντα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς και επιπλέον προσφέρουν προηγμένες υπηρεσίες στους κινητούς χρήστες. Στην πραγματικότητα, υπόσχονται να παρέχουν μία ασύρματη υποδομή που θα απαλλάσσει τους χρήστες από τους περιορισμούς των συμβατικών στατικών δικτύων.

Είναι εύλογο λοιπόν, οι χρήστες των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς να έχουν πλέον την απαίτηση να εκτελούν εφαρμογές και να προσπελαίνουν υπηρεσίες οι οποίες μέχρι σήμερα μπορούσαν να διατεθούν αποκλειστικά από τα συμβατικά δίκτυα. Σαν αποτέλεσμα, σε πρώτη φάση, εκτός από τις απλές τηλεφωνικές κλήσεις εμφανίστηκαν τα γραπτά μηνύματα, το chat και η περιήγηση στο web. Στην επόμενη φάση, το νέο βήμα της ανάπτυξης ασύρματων εφαρμογών είναι η αναβάθμιση των ήδη υπάρχοντων υπηρεσιών ώστε να ενσωματώνουν πολυμέσα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα υπηρεσιών αυτού του είδους είναι το video-conferencing, τα κατανεμημένα computer-games και οι συνδρομητικές υπηρεσίες μουσικής.

Ειδικότερα, μία κατηγορία εφαρμογών που οι καταναλωτές θα απαιτούσαν να χρησιμοποιήσουν στα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς είναι αυτές που απευθύνονται σε ομάδες χρηστών. Για αυτήν την κατηγορία, η χρήση multicast τεχνικών είναι αυτή που απαντάται συνήθως. Ένας multicast μηχανισμός μεταδίδει τα δεδομένα μόνο μία φορά πάνω από κάθε σύνδεσμο που αποτελεί τμήμα των μονοπατιών προς τους προορισμούς. Είναι προφανής η αύξηση της απόδοσης που προσφέρει το multicasting, λόγω του ότι εκμεταλλεύεται την κατανομή των χρηστών μέσα στο δίκτυο, προς όφελος της οικονομίας στην αποστολή πακέτων.

Ένα αντίστοιχο πεδίο στο οποίο έχει σημειωθεί έντονη έρευνα τα τελευταία χρόνια και έχουν προταθεί και υλοποιηθεί κάποιοι μηχανισμοί, είναι το multicasting στο IP. Αν συγκριθούν τα χαρακτηριστικά του Internet, με αυτά των κινητών δικτύων, ως προς το multicasting, τα δεδομένα είναι αρκετά διαφορετικά. Αυτό συμβαίνει διότι, πρώτον, στα κινητά δίκτυα τα τερματικά κινούνται με αποτέλεσμα να μπορούν να μεταβάλλουν ανά πάσα στιγμή τον κόμβο μέσω του οποίου αποκτούν πρόσβαση στο υπόλοιπο δίκτυο. Δεύτερον, τα κινητά δίκτυα έχουν μία αυστηρά καθορισμένη και απλή δενδρική τοπολογία. Προφανώς, ο multicasting μηχανισμός που χρησιμοποιείται στο IP δεν μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα στα κινητά δίκτυα. Κατά συνέπεια, δημιουργείται η ανάγκη για νέους μηχανισμούς οι οποίοι θα πρέπει να καλύψουν τις ιδιαιτερότητες των κινητών δικτύων.

Όσον αφορά στα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς, παρά τις αυξημένες δυνατότητες σε χωρητικότητα που διαθέτουν τα συγκεκριμένα δίκτυα, είναι βέβαιο ότι η αναμενόμενη ζήτηση θα ξεπεράσει τους διαθέσιμους πόρους. Αυτό γιατί το πλήθος των χρηστών που χρησιμοποιούν υπηρεσίες πέραν της παραδοσιακής μετάδοσης φωνής αυξάνεται, αλλά και γιατί οι χρησιμοποιούμενες εφαρμογές γίνονται ολοένα και πιο απαιτητικές. Μέχρι στιγμής έχουν προταθεί κάποιοι multicast μηχανισμοί για τα

κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς. Οι μηχανισμοί αυτοί προσφέρουν ικανοποιητική απόδοση σε σχέση με τους αντίστοιχους μηχανισμούς όπου γίνεται unicasting των δεδομένων για κάθε χρήστη ξεχωριστά. Η βελτιωμένη απόδοση έγκειται στην ελαχιστοποίηση της χρήσης των πόρων του δικτύου, δηλαδή στη μείωση του φόρτου στους αποστολείς των δεδομένων, στους ενδιάμεσους κόμβους καθώς και στους χρησιμοποιούμενους συνδέσμους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτείνεται ένας μηχανισμός που εκτελεί multicast μετάδοση δεδομένων στο σύστημα UMTS. Ουσιαστικά, ο μηχανισμός αυτός εκμεταλλεύεται τη δένδρική τοπολογία των κινητών δικτύων και εισάγει τη χρήση των Routing Lists (RLs) στους κόμβους του UMTS. Η χρήση και η ενημέρωση των RLs γίνεται από τον προτεινόμενο μηχανισμό με τρόπο που παρουσιάζεται αναλυτικά. Επίσης, εξετάζονται διεξοδικά τα πιθανά σενάρια τα οποία περιλαμβάνουν όλες τις περιπτώσεις κινητικότητας των χρηστών. Τέλος, ο συγκεκριμένος μηχανισμός εξομοιώνεται προκειμένου να διερευνηθεί ως προς την ορθότητα αλλά και την αποδοτικότητά του.

Όσον αφορά τη δομή της εργασίας στα επόμενα κεφάλαια, αυτή παρουσιάζεται στη συνέχεια:

Το κεφάλαιο 2 κάνει μία εισαγωγική αναφορά στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας και ειδικότερα στα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς. Γίνεται μία ιστορική αναδρομή και παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των προηγούμενων συστημάτων κινητής τηλεφωνίας. Επισημαίνονται οι ανάγκες που οδήγησαν στην τρίτη γενιά κινητών δικτύων. Τέλος, τα συστήματα τρίτης γενιάς περιγράφονται διεξοδικά και αναφέρονται τα βασικά πρότυπά τους.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το σύστημα 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 και στο εξής η εργασία θα εστιάζει σε αυτή την τεχνολογία ως κύριο εκπρόσωπο των τεχνολογιών τρίτης γενιάς.

Το κεφάλαιο 4 είναι εξ' ολοκλήρου αφιερωμένο στην υπηρεσία Multimedia Broadcast / Multicast Service (MBMS). Για την ακρίβεια, περιγράφεται το είδος, οι βασικές αρχές καθώς και η αρχιτεκτονική αυτής της υπηρεσίας. Επίσης, αναφέρονται και αναλύονται οι φάσεις παροχής της υπηρεσίας MBMS. Τέλος, θίγονται ορισμένα ζητήματα ασφάλειας που σχετίζονται με την παροχή της συγκεκριμένης υπηρεσίας.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μία ανασκόπηση της έρευνας που έχει διεξαχθεί γύρω από το πεδίο της multicast μετάδοσης δεδομένων στα κινητά συστήματα τρίτης γενιάς. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως παρόλο που η έρευνα έχει προχωρήσει αρκετά, η συγκεκριμένη περιοχή πρόκειται να αποτελέσει σημαντικό χώρο έρευνας. Αυτό γιατί οι προδιαγραφές για την παροχή της συγκεκριμένης υπηρεσίας βρίσκονται σε πολύ πρώιμο στάδιο και δεν έχουν ακόμα οριστικοποιηθεί. Όπως είναι αναμενόμενο, η έρευνα στο συγκεκριμένο τομέα εστιάζεται γύρω από το σύστημα UMTS και την υπηρεσία MBMS.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται ο προτεινόμενος μηχανισμός μετάδοσης πακέτων. Για την ακρίβεια, αναλύονται διεξοδικά οι RLs, δηλαδή οι λίστες μέσω των οποίων

γίνεται η δρομολόγηση των πακέτων. Επίσης, παρουσιάζεται ο μηχανισμός μέσω του οποίου γίνεται η multicast προώθηση πακέτων από κόμβο σε κόμβο. Τέλος, εξετάζονται οι κρίσιμες φάσεις της παροχής της υπηρεσίας MBMS. Για την ακρίβεια εξετάζονται οι φάσεις Joining και Leaving, καθώς και η συμπεριφορά του συστήματος όταν, κατά την Data Transfer φάση, υπάρχει κινητικότητα των χρηστών.

Στο κεφάλαιο 7 περιγράφεται αναλυτικά το μοντέλο εξομοίωσης που ακολουθήθηκε προκειμένου να μελετηθεί και να αξιολογηθεί ο προτεινόμενος μηχανισμός. Πιο αναλυτικά, παρουσιάζεται ο εξομοιωτής που χρησιμοποιήθηκε ως βάση των πειραμάτων καθώς και οι επεκτάσεις που προστέθηκαν σε αυτόν προκειμένου να μπορεί να εξομοιώσει με ακρίβεια τον προτεινόμενο μηχανισμό. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου το πειραματικό μοντέλο να έχει χαρακτηριστικά ενός πραγματικού συστήματος. Τέλος, το κεφάλαιο κλείνει με μία ενδεικτική περιγραφή ενός κώδικα εξομοίωσης.

Στο κεφάλαιο 8 αναλύονται τα πειραματικά αποτελέσματα που ελήφθησαν από την εξομοίωση. Οι δύο παράμετροι που εξετάζονται είναι η αποδοτικότητα του multicast μηχανισμού μετάδοσης πακέτων καθώς και η ορθότητά του σε σενάρια κινητικότητας χρηστών όπου handovers και SRNS relocations λαμβάνουν χώρα.

Στο κεφάλαιο 9 αναφέρονται τα συμπεράσματα που εξαγονται από τα αποτελέσματα της εξομοίωσης.

Τέλος, στο κεφάλαιο 10 παρουσιάζονται τα ανοιχτά θέματα που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.



## 2 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ

Το κεφάλαιο αυτό κάνει μία εισαγωγική αναφορά στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας και ειδικότερα στα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς. Γίνεται μία ιστορική αναδρομή και παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των προηγούμενων συστημάτων κινητής τηλεφωνίας. Επισημαίνονται οι ανάγκες που οδήγησαν στην τρίτη γενιά κινητών δικτύων. Τέλος, τα συστήματα τρίτης γενιάς περιγράφονται διεξοδικά και αναφέρονται τα βασικά πρότυπά τους.

### 2.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

#### 2.1.1 Η 1<sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων

Η πρώτη γενιά 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 μικρά κελιά. Με αυτόν τον τρόπο οι ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιούνται πολλές φορές στο ίδιο δίκτυο χωρίς να δημιουργούνται έντονα φαινόμενα παρεμβολής. Επομένως οι δυνατότητες του δικτύου αυξάνονται σημαντικά [1]. 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 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 εκμεταλλεύονται πιο αποδοτικά [2].

#### 2.1.2 Η 2<sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων

Η δεύτερη γενιά κινητών δικτύων 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 κελιών, για την ακρίβεια η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε macrocells, microcells και picocells, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση των δυνατοτήτων των δικτύων.

Υπάρχουν τέσσερα κύρια πρότυπα για τη κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς: το Global System for Mobile (GSM) communications και τα παράγωγά του. Πρόκειται για 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 ήπειρός 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 [1], [3].

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. Η 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 των 900 MHz. Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί το πρότυπο GSM-400 που αναπτύχθηκε από το ίδρυμα European Telecommunications Standards Institute (ETSI) και το οποίο χρησιμοποιήθηκε συμπληρωματικά επί 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 [4].

### **2.1.3 Η Γενιά 2,5**

Με τον όρο «γενιά 2,5» 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) [2], [6].

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, περισσότερων χρονοσχισμών (time-slots) για μία σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν τον χρήστη είναι το γινόμενο των χρονοσχισμών επί τον 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 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 [5], [6].

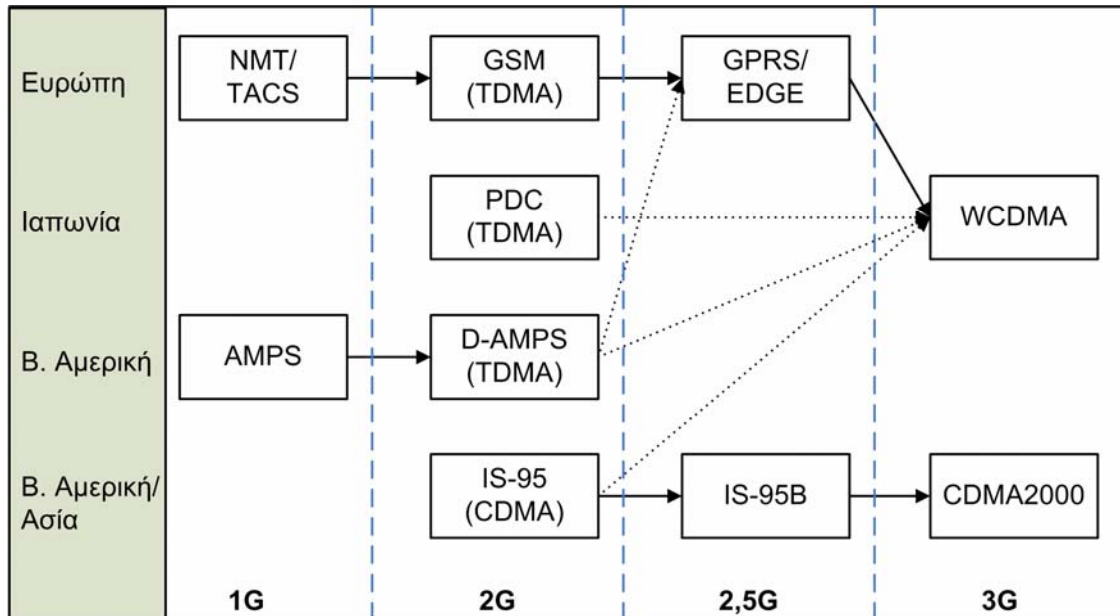
Τέλος, η τρίτη και τελευταία βελτίωση του GSM προκειμένου να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο γενιάς 2,5 είναι η EDGE. Η βασική ιδέα πίσω από το EDGE είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight-Phase Shift Keying (8PSK) [7]. Αυτή η τεχνική επηρεάζει μόνο το λογισμικό των σταθμών βάσης και προσφέρει έως και τριπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από το βασικό ρυθμό μετάδοσης του GSM. Επιπλέον, μπορεί να συνυπάρξει με την τεχνική διαμόρφωσης Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) η οποία χρησιμοποιείται στη βασική μορφή του GSM.

#### 2.1.4 Η 3<sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων

Η γρήγορη εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών ήταν ένα από τα αναμφισβήτητα γεγονότα της δεκαετίας του 1990. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο GSM λειτούργησε στη Φινλανδία το 1991. Την ίδια χρονιά, το ίδρυμα ETSI ξεκινούσε την προτυποποίηση της επόμενης γενιάς δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών. Το σύστημα που προέκυψε από αυτή την προτυποποίηση ονομάστηκε Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Η ανάπτυξη των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς δεν έγινε μόνο στο ETSI. Υπήρξαν πολλοί οργανισμοί και ερευνητικά ιδρύματα, σε παγκόσμιο επίπεδο, που είχαν τον ίδιο σκοπό. Η Εικόνα 1 δείχνει σχηματικά την εξέλιξη των προτύπων για τα κυψελωτά κινητά δίκτυα μέχρι την τρίτη γενιά.

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 κινητών δικτύων 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.**

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 (Βόρεια Αμερική) και το NTT Docomo (Ιαπωνία).

### 2.1.5 Η Γενιά 3,5

Με τον όρο «γενιά 3,5» αναφερόμαστε στη νέα γενιά κινητών δικτύων τα οποία εκτός από την τεχνολογία WCDMA έχουν ενσωματώσει την τεχνολογία High Speed Downlink Packet Access (HSDPA). Η HSDPA αποτελεί μία νέα τεχνολογία η οποία σχεδιάστηκε προκειμένου να αυξήσει τη χωρητικότητα του κατερχόμενου 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 που θα υπήρχαν πολλοί χρήστες πολυμεσικών εφαρμογών στο ίδιο κελί, αυτό θα σήμαινε ραγδαία πτώση της απόδοσης του δικτύου στο συγκεκριμένο κελί.

Η βασική ιδέα του HSDPA 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 βελτιστοποίησή των δυνατοτήτων του όσον αφορά ρυθμό μετάδοσης. Προφανώς, η τεχνική HSDPA δεν είναι κατάλληλη για όλα τα είδη υπηρεσιών. Για παράδειγμα, δεν παρέχει εγγυήσεις για την καθυστέρηση, συνεπώς, δεν ενδείκνυται για απαιτητικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Στην περίπτωση αυτή είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν αφιερωμένα κανάλια. Αντίθετα, η χρήση του HSDPA ενδείκνυται προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου σε hot spots κίνησης δεδομένων [8], [9].

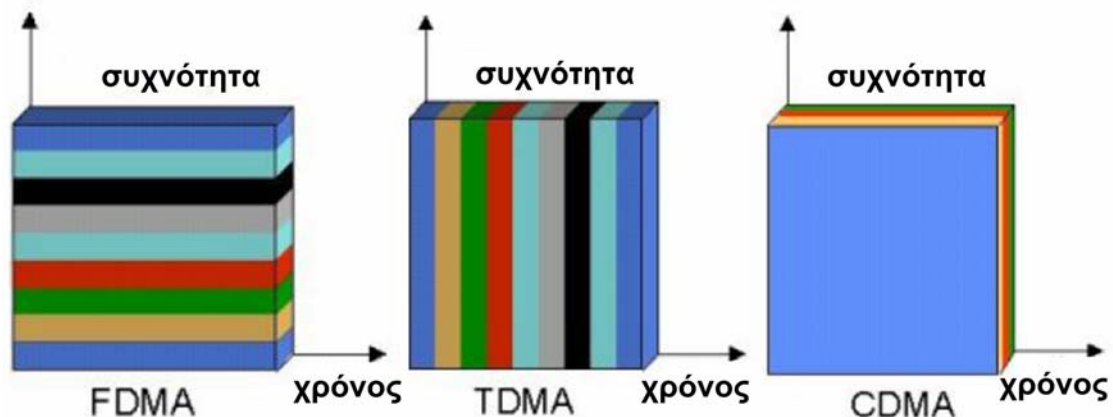
## 2.2 Πρότυπα

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) [1].

### 2.2.1 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.

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 FDMA, TDMA και CDMA [10].



**Εικόνα 2. Η κατανομή των καναλιών στις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης.**

Από το σημείο αυτό, τα πρότυπα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα συγχρονισμένα και τα ασύγχρονα. Τα συγχρονισμένα δίκτυα υιοθετήθηκαν στη Βόρεια Αμερική. Ο λόγος ήταν η συμβατότητα με τα υπάρχοντα συστήματα δεύτερης γενιάς των οποίων αποτελούν και εξέλιξη. Στα συγχρονισμένα 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, Ericsson και 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 επίσης ότι όλες οι υπηρεσίες ενός GSM δικτύου υποστηρίζονται εξ' αρχής από ένα δίκτυο WCDMA. Όπως περιγράφεται και στην παράγραφο 2.2.6, οι προδιαγραφές του WCDMA εξελίσσονται από τον οργανισμό 3GPP.

### **2.2.2 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 ευρών ζώνης. Η πρώτη κατηγορία είναι των 3 KHz και είναι το ίδιο 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.

### 2.2.3 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.

### 2.2.4 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 η 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 σχεδόν βέβαιη.

### 2.2.5 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 πλειοψηφεία 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.

### **2.2.6 3GPP**

Το Third Generation Partnership Project (3GPP) είναι ένας οργανισμός που αναπτύσσει προδιαγραφές για ένα σύστημα τρίτης γενιάς το οποίο είναι βασισμένο στη Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) διεπαφή 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 και ο κατερχόμενος 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 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.

### 3 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 κεντρικό δίκτυο 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 κεντρικό δίκτυο, 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 συστήματος και στο εξής η εργασία θα εστιάσει σε αυτή την τεχνολογία ως κύριο εκπρόσωπο των τεχνολογιών τρίτης γενιάς.

#### 3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

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.

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

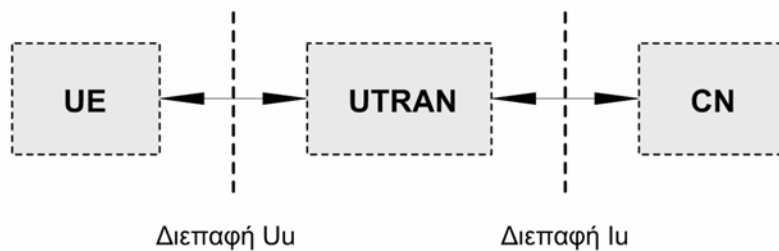
Χαρακτηριστικά του UMTS	Συμβατότητα του GSM
Μικρές και άνετες φορητές συσκευές	Ναι
Οπουδήποτε και κάθε στιγμή (συμβατότητα με οικιακά ασύρματα δίκτυα)	Ναι (picocells, GSM office)
Οπουδήποτε (συμβατότητα με δορυφορικά δίκτυα)	Ναι
Διεσδυτικότητα σε κτίρια, υπόγεια κ.α.	Ναι
Ομιλία υψηλής ποιότητας	Ναι
Παγκόσμια περιαγωγή	Ναι

Υπηρεσίες νοήμονος δικτύου	Ναι
Υπηρεσίες Δεδομένων	Ναι (GPRS)
Υποστήριξη υψηλής πυκνότητας χρηστών	Ναι (ιεραρχίες κελιών)
Πολυμέσα, ψυχαγωγία	Ναι (HSCSD)
Εναλλαγή μεταξύ φορέων πραγματικού χρόνου και όχι	Όχι
Υπηρεσίες ρυθμών μετάδοσης άνω των 200 Kbps	Όχι

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 [11].

## 3.2 Η Δομή του UMTS

Η Εικόνα 3 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS σε ένα υψηλό επίπεδο. Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφούν όλες οι συνιστώσες που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3, καθώς και οι μεταξύ τους διεπαφές.



**Εικόνα 3. Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο.**

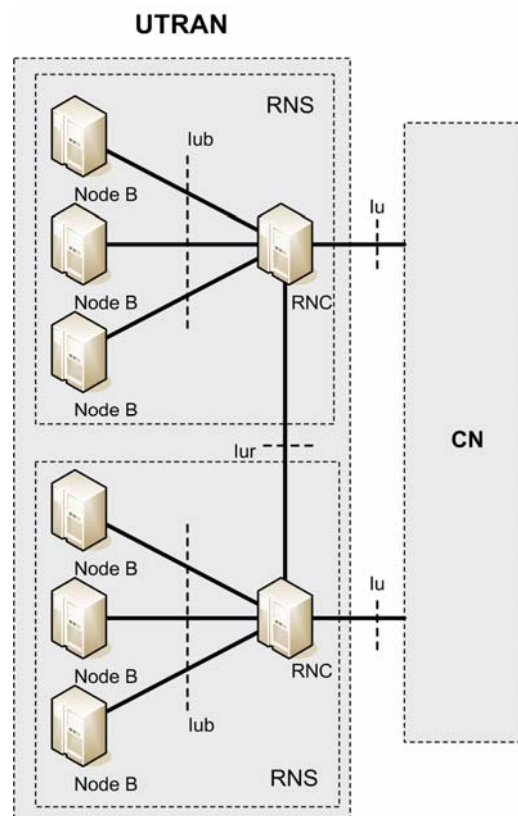
### 3.2.1 User Equipment

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 μέσω της διεπαφής Uu, που είναι βασισμένη στην τεχνολογία WCDMA, με το UTRAN. Ένα UE μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα με περισσότερα του ενός κελιά. Το UE αποτελείται από δύο τμήματα:

- Τον *Mobile Equipment*: αποτελείται από το ίδιο το hardware της φορητής συσκευής. Όμως, η συσκευή από μόνη της δεν μπορεί να παρέχει καμία υπηρεσία.
- Την κάρτα *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 UTRAN

Το UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) είναι ένα νέο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για το σύστημα 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 της ισχύος καθώς και την υποστήριξη και διαχείριση των handovers. Η Εικόνα 4 απεικονίζει τη δομή του UTRAN.



Εικόνα 4. Η δομή του UTRAN.

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 4, το δίκτυο UTRAN αποτελείται από τους Radio Network Controllers (RNCs) και τους Node Bs. Οι Node Bs είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο ενός ή περισσότερων κελιών. Μία ομάδα από Node Bs συνδέεται, μέσω της διεπαφής 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 πάνω στην ποιότητα και την ισχύ των ασύρματων συνδέσμων προς τα UEs και δίνει αναφορές στον 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. 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 Node B και το UE στη μεταξύ τους επικοινωνία, έτσι ώστε να μην υπάρξουν παρεμβολές από άλλους ασύρματους συνδέσμους. Τέλος, μία άλλη λειτουργία των κόμβων RNC είναι ο έλεγχος των handovers που λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαφορετικών RNSs. Προκειμένου να υλοποιηθεί η συγκεκριμένη διαδικασία οι RNCs είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω της διεπαφής Iur (Εικόνα 4). Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία είναι υλοποιημένη με δίκτυο Asynchronous Transfer Mode (ATM).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4, ένας κόμβος RNC συνδέεται με το CN μέσω της διεπαφής Iu. Η συγκεκριμένη διεπαφή έχει δύο συνιστώσες: τη συνιστώσα Iu-Circuit Switched (Iu-CS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (φωνή) και τη συνιστώσα Iu-Packet Switched (Iu-PS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων (υπηρεσίες δεδομένων) [12].

### 3.2.3 CN

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. Κάθε CN διαιρείται σε δύο πεδία: το πεδίο μεταγωγής κυκλώματος (CS) και το πεδίο μεταγωγής πακέτων (PS). Ας σημειωθεί εδώ ότι στην παρούσα διπλωματική 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.

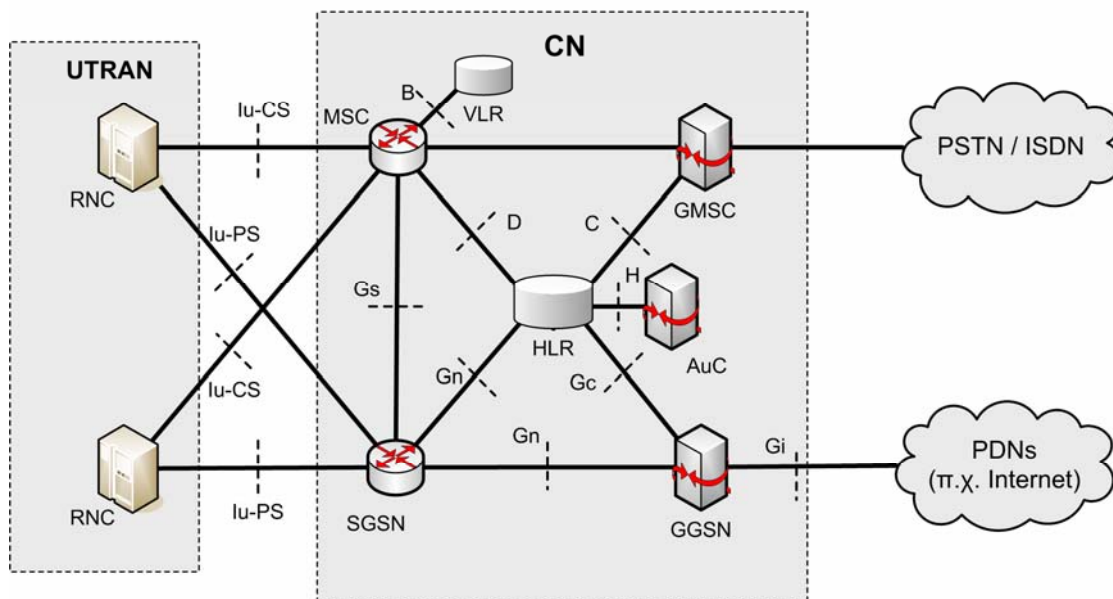
Όσον αφορά το πεδίο PS, αυτό αποτελείται από τους παρακάτω κόμβους. Αξίζει να επισημανθεί η αντιστοιχία που υπάρχει με τους κόμβους του πεδίου CS.

- *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 τη 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:

- *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 τον χρήστη.

Η Εικόνα 5 δείχνει τη δομή του CN. Εκτός από τους κόμβους που προαναφέρθηκαν, στην εικόνα αυτή σημειώνονται οι διεπαφές μεταξύ των κόμβων του CN:



**Εικόνα 5. Η δομή του CN.**

### **3.3 Διεπαφές και Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων**

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 ακολουθηθεί θα εστιαστεί στο πεδίο PS το οποίο είναι και το πεδίο που θα μας απασχολήσει από το σημείο αυτό και έπειτα.

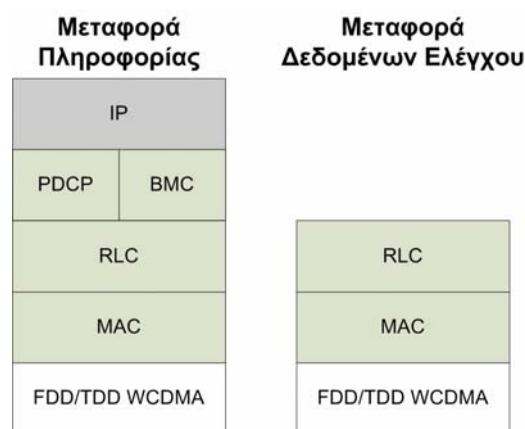
#### **3.3.1 Η Διεπαφή Uu**

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 6. Όπως φαίνεται, έχουν προσδιοριστεί τα επίπεδα πρωτοκόλλων που αντιστοιχούν στο επίπεδο φυσικού μέσου, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων καθώς και το επίπεδο δικτύου [13].

Το επίπεδο φυσικού μέσου (1<sup>ο</sup> επίπεδο στο μοντέλο διασυνδέσεων OSI) είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των δεδομένων μέσω της ασύρματης διεπαφής. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 6, για το επίπεδο αυτό οι προδιαγραφές του UMTS καθορίζουν τη χρήση των τεχνολογιών FDD και TDD του WCDMA.

Όσον αφορά το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (2<sup>ο</sup> επίπεδο), αυτό περιέχει τέσσερα υπο-επίπεδα. Τα δύο πρώτα υπο-επίπεδα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά

δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Το πρώτο υπο-επίπεδο χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Medium Access Control (MAC) [14]. 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.



**Εικόνα 6. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu.**

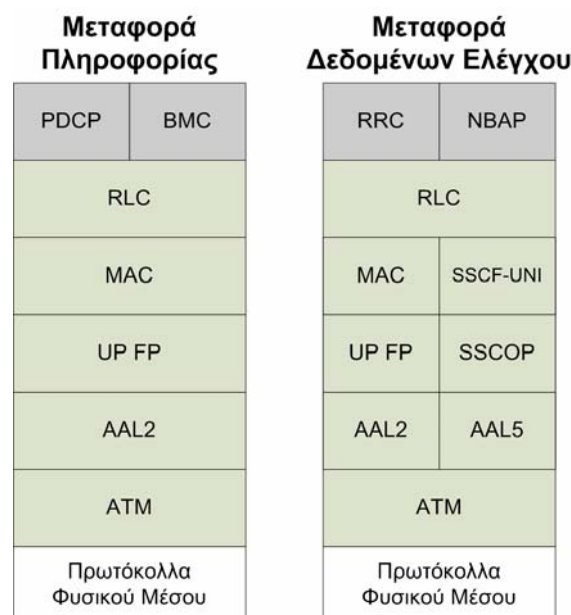
Τα επόμενα δύο πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται μόνο για τη μεταφορά πληροφορίας και όχι για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι το Packet Data Convergence Protocol (PDPC) και το Broadcast/Multicast Control (BMC) [15]. Το πρώτο είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή των δεδομένων που παρέχουν τα πραγματικά πρωτόκολλα δεδομένων των πιο πάνω επιπέδων, σε ασύρματα πρωτόκολλα. Το PDPC 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 7 δείχνει την ιεραρχία των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διεπαφής [16]. 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 7, 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.



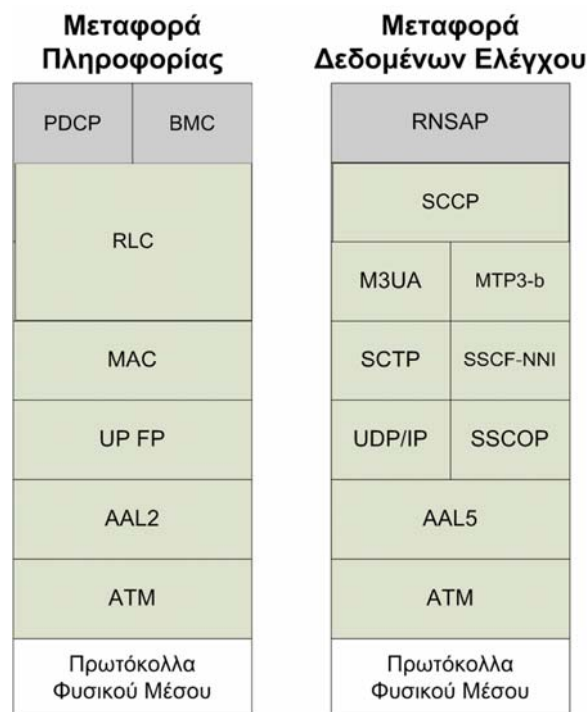
**Εικόνα 7. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iub.**

Στο αμέσως υψηλότερο υπο-επίπεδο συναντούμε δύο άλλα πρωτόκολλα. Πρόκειται για το User Plane Framing Protocol (UP FP) 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 7, στα ανώτερα υπο-επίπεδα του επιπέδου ζεύξης δεδομένων συναντούμε το πρωτόκολλο Service Specific Coordination Function for Support of Signalling at the User-Network Interface (SSCF-UNI) καθώς και τα ήδη γνωστά πρωτόκολλα MAC, RLC, RRC, PDCP 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.

### 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 SRNS relocation (η περιγραφή αυτών των διαδικασιών θα γίνει στην παράγραφο 3.6). Η ιεραρχία των πρωτοκόλλων φαίνεται στην Εικόνα 8.



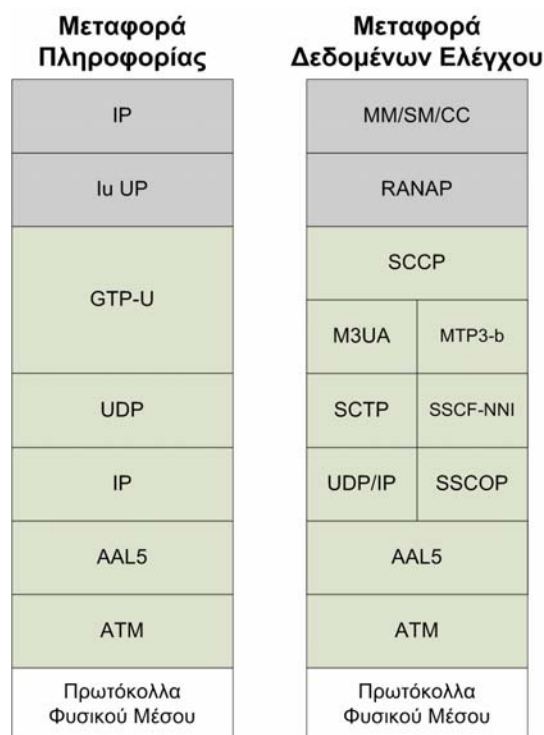
**Εικόνα 8. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iur.**

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 8, 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. Καταρχάς, η Εικόνα 8 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 Signalling 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 [16].

### 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 9.



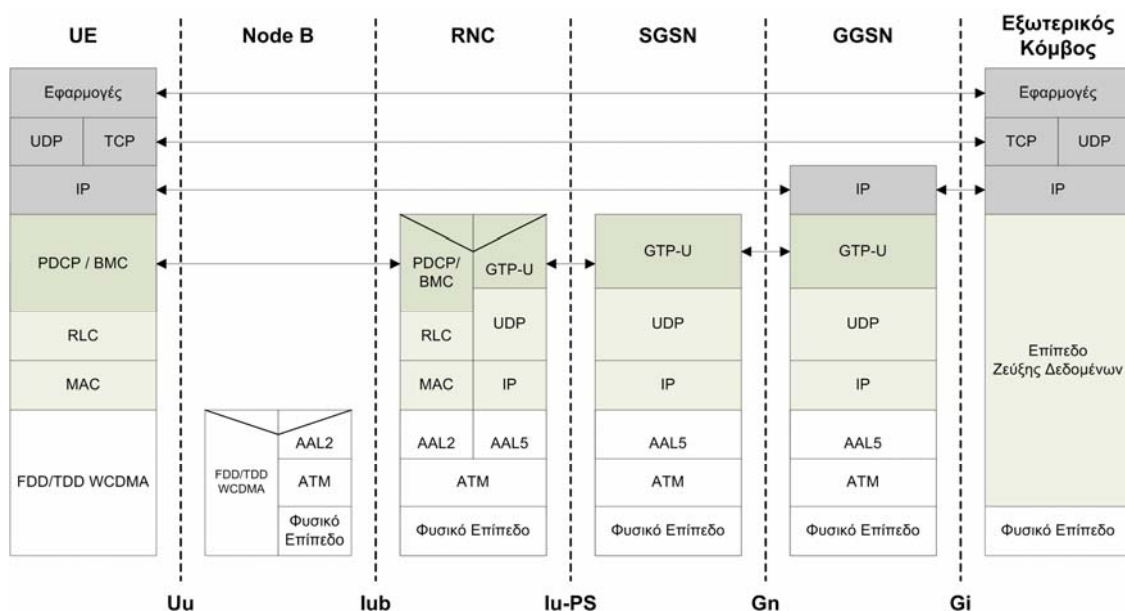
**Εικόνα 9. Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iu-PS.**

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 [17]. 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.

### 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 πρωτόκολλο IP πάνω από ATM, το οποίο χρησιμοποιούν ανώτερα πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων όπως το Transport 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 σηματοδοσίας 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.



Εικόνα 10. Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας.

Η Εικόνα 10 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 στην κορυφή της εικόνας. Οι συνδέσεις αυτές πρακτικά αποτελούνται από επιμέρους συνδέσεις μεταξύ των κόμβων του συστήματος, οι οποίες σημειώνονται με μικρότερα βέλη.

### 3.4 Τα Κανάλια 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, ενώ αφιερωμένα λέγονται τα κανάλια point-to-point, δηλαδή αυτά που χρησιμοποιούνται μόνο από ένα χρήστη [2]. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τα λογικά κανάλια καθώς και τη λειτουργία τους:

**Πίνακας 2. Τα λογικά κανάλια του UTRAN.**

<b>Λογικό Κανάλι Ελέγχου</b>	<b>Λειτουργία</b>
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
<b>Λογικό Κανάλι Κίνησης</b>	<b>Λειτουργία</b>
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

### 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 [1].

**Πίνακας 3. Οι ιδιότητες των καναλιών μεταφοράς.**

	Αφιερωμένα Κανάλια	Κοινά Κανάλια		
	DCH	HS-DSCH	FACH	RACH
<b>Ανερχόμενος / Κατερχόμενος Σύνδεσμος</b>	Και οι δύο	Κατερχόμενος	Κατερχόμενος	Ανερχόμενος
<b>Χρήση Κώδικα</b>	Σύμφωνα με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης	Κοινός κώδικας μεταξύ των χρηστών	Σταθεροί κώδικες για κάθε κελί	Σταθεροί κώδικες για κάθε κελί
<b>Γρήγορος Έλεγχος Ισχύος</b>	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι
<b>Soft handover</b>	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
<b>Ενδεικνυόμενη Χρήση</b>	Μεγάλα ποσά δεδομένων	Μεγάλα ποσά δεδομένων	Μικρά ποσά δεδομένων	Μικρά ποσά δεδομένων
<b>Κατάλληλο για Καταιγιστικότητα</b>	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι
<b>Τεχνολογία Διαθέσιμη στα Πρώιμα Συστήματα</b>	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι

Υπάρχουν δύο κατηγορίες καναλιών μεταφοράς: τα κοινά κανάλια (common channels) και τα αφιερωμένα (dedicated). Τα κοινά κανάλια είναι κανάλια μονής κατεύθυνσης τα οποία χρησιμοποιούνται από όλους τους χρήστες σε ένα κελί. 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. Επίσης, στην κατηγορία των κοινών 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 High-Speed Downlink Packet Access (HSPDA). Είναι ένα βελτιστοποιημένο κανάλι για ταχύτατη μετάδοση δεδομένων το οποίο ενσωματώνει έναν ευέλικτο μηχανισμό προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει μόνο ένα είδος αφιερωμένου καναλιού. Πρόκειται για 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 [18], [19].

Ο Πίνακας 3 απεικονίζει τις βασικές ιδιότητες των σημαντικότερων καναλιών μεταφοράς. Όπως φαίνεται στον πίνακα, η διαδικασία του soft handover (θα παρουσιαστεί στην παράγραφο 3.6.1) υποστηρίζεται μόνο από το κανάλι DCH. Αντίθετα, τα υπόλοιπα κανάλια υποστηρίζουν άλλων ειδών handovers. Από την άλλη πλευρά, μεταξύ των κοινών καναλιών, μόνο το HS-DSCH υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων. Επιπλέον, το κανάλι HS-DSCH υποστηρίζει άμεση προσαρμοστικότητα της ισχύος. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό παρέχεται και από το DCH. Αντίθετα, τα υπόλοιπα κοινά κανάλια δεν παρουσιάζουν προσαρμοστικότητα. Αυτό είναι λογικό αφού είναι κοινά μεταξύ των χρηστών που βρίσκονται στο ίδιο κελί, με αποτέλεσμα ο έλεγχος ισχύος να μην είναι εφικτός.

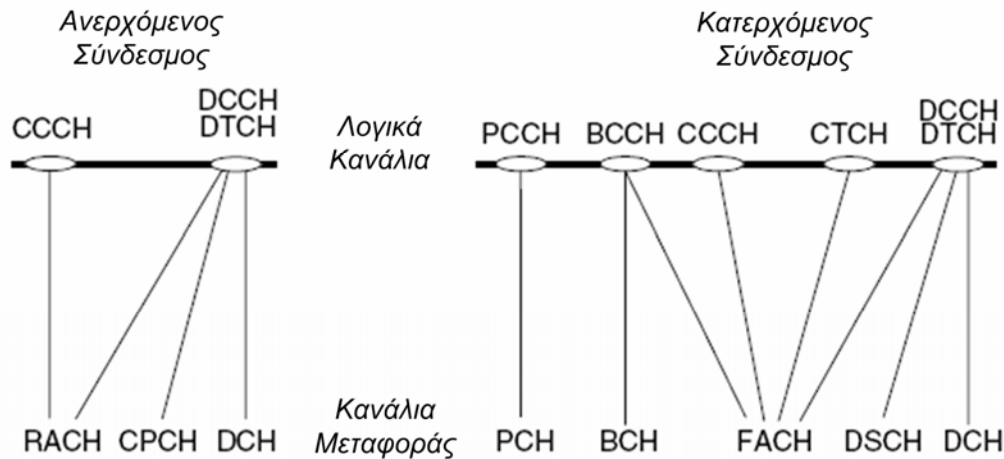
Ο Πίνακας 4, παρουσιάζει συνοπτικά όλα τα κανάλια μεταφοράς που χρησιμοποιούνται στο UTRAN καθώς και τη λειτουργία τους:

**Πίνακας 4. Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN.**

<b>Κοινά Κανάλια</b>	<b>Λειτουργία</b>
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
<b>Αφιερωμένο Κανάλι</b>	<b>Λειτουργία</b>
Dedicated Channel (DCH)	Κανάλι διπλής κατεύθυνσης αφιερωμένο σε ένα UE

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 11.



**Εικόνα 11. 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.

## 3.5 Μετάδοση Δεδομένων

### 3.5.1 PDP και GTP

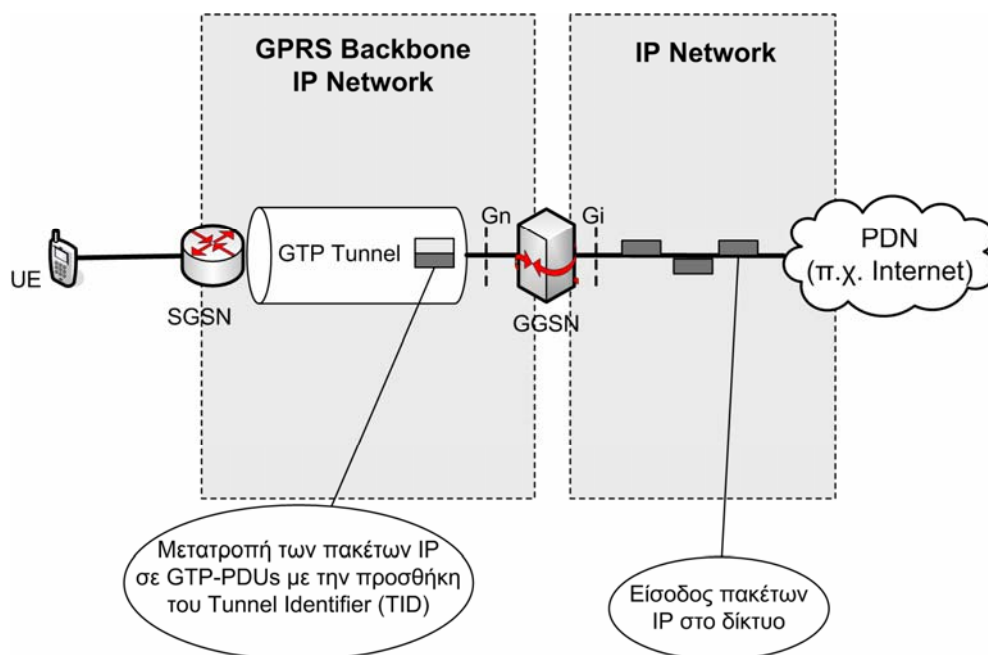
Προτού ένα UE μπορέσει να ανταλλάξει δεδομένα με ένα PDN, θα πρέπει να αποκατασταθεί μία εικονική σύνδεση μεταξύ του συγκεκριμένου UE και του PDN. Από τη στιγμή που το UE είναι γνωστό στο PDN, τα πακέτα μεταφέρονται μεταξύ του UE και του PDN μέσω του πρωτοκόλλου Packet Data Protocol (PDP). Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί το πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου (3<sup>ο</sup> επίπεδο στο μοντέλο OSI) για το UMTS. Για κάθε σύνοδο του UE, δημιουργείται μία δομή του PDP, η οποία περιέχει τις παραμέτρους της συνόδου (διευθύνσεις εμπλεκόμενων κόμβων, επίπεδο QoS κ.α.). Το

υπεύθυνο πρωτόκολλο για τη δημιουργία μίας δομής του PDP όπως και για τη μεταφορά της πληροφορίας, είναι το GPRS Tunnelling Protocol (GTP).

Το GTP είναι ένα πρωτόκολλο βασισμένο στο IP το οποίο χρησιμοποιείται στα δίκτυα UMTS. Το πρωτόκολλο αυτό δημιουργήθηκε και προτυποποιήθηκε από το ίδρυμα ETSI για το GSM. Στη συνέχεια, το 3GPP ενσωμάτωσε το GTP στο πρότυπο του UMTS. Το επίπεδο του GTP αντιστοιχεί στο επίπεδο πάνω από το UDP. Ουσιαστικά, πρόκειται για το πρωτόκολλο που είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των δομών του PDP, καθώς και για τη μεταφορά των δεδομένων που αντιστοιχούν σε κάθε σύνοδο. Για το σκοπό αυτό, υπάρχουν τρεις διαφορετικές μορφές του πρωτοκόλλου: η μορφή GTP-C, η GTP-U και η GTP'.

Το πρωτόκολλο GTP-C χρησιμοποιείται στο CN για τη σηματοδότηση μεταξύ των SGSNs και των GGSNs. Ο ρόλος του GTP-C είναι να διαχειριστεί μία δομή PDP. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να ενεργοποιήσει μία σύνοδο για ένα συγκεκριμένο χρήστη, να απενεργοποιήσει την ίδια σύνοδο, να ρυθμίσει τις παραμέτρους του QoS ή ,τέλος, να ανανεώσει μία σύνοδο για ένα συνδρομητή που προέρχεται από έναν άλλο SGSN. Από την άλλη πλευρά, το πρωτόκολλο GTP-U χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των πακέτων πληροφορίας μέσα στο CN ή μεταξύ του UTRAN και του CN. Τα δεδομένα του χρήστη μπορούν να μεταφερθούν με μορφή IPv4, IPv6 ή PPP. Ουσιαστικά, η επιτυχημένη δημιουργία της δομής PDP σημαίνει τη δημιουργία δύο συνόδων GTP. Η πρώτη βρίσκεται μεταξύ του GGSN και του SGSN (διεπαφή Gn), ενώ η δεύτερη μεταξύ του SGSN και του RNC (Iu-PS). Τέλος, η μορφή GTP' του πρωτοκόλλου χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων χρέωσης του συνδρομητή από τους κόμβους SGSNs και GGSNs προς το μηχανισμό χρέωσης του δικτύου [20], [21], [22].

Η μορφή της συνόδου GTP στη διεπαφή Gn, απεικονίζεται στην Εικόνα 12.



**Εικόνα 12. Η σύνοδος GTP στη διεπαφή Gn.**

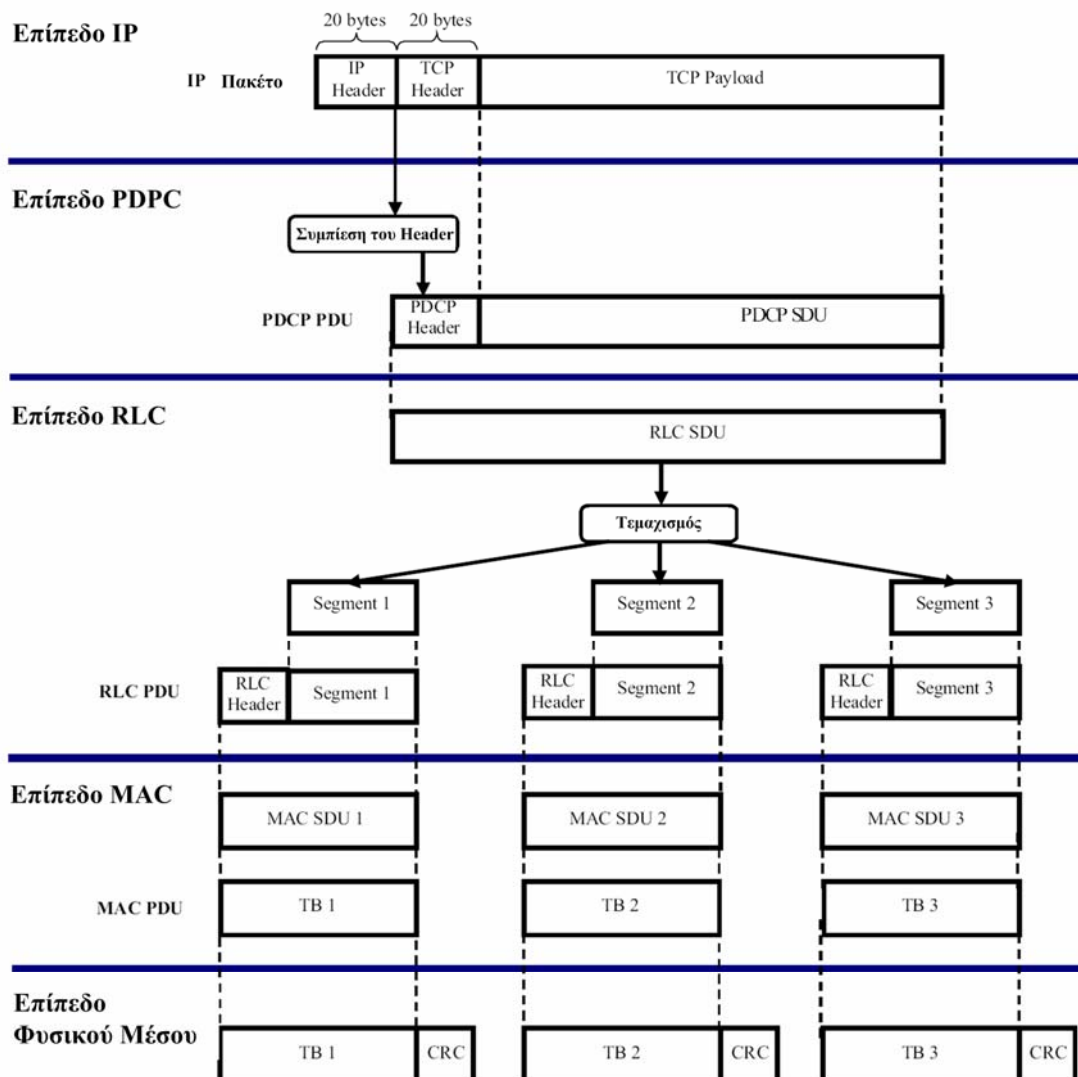
### 3.5.2 Μετάδοση Πακέτων στο UTRAN

Η μετάδοση δεδομένων στο UTRAN σχετικά με το δεύτερο επίπεδο του μοντέλου OSI (επίπεδο ζεύξης δεδομένων), εξαρτάται από τον τρόπο μετάδοσης για το πρωτόκολλο RLC, σε συνδυασμό με το κανάλι μεταφοράς που χρησιμοποιείται από το πρωτόκολλο MAC. Οι δυνατές επιλογές για το πρωτόκολλο RLC είναι με ή χωρίς χρήση πακέτων επιβεβαίωσης, ή με διάφανο τρόπο για τα παραπάνω επίπεδα. Από το πρωτόκολλο MAC, μπορεί να χρησιμοποιηθούν κοινά ή αφιερωμένα κανάλια μεταφοράς [23].

Η Εικόνα 13 απεικονίζει ένα παράδειγμα μετάδοσης δεδομένων στο οποίο χρησιμοποιούνται πακέτα επιβεβαίωσης (Acknowledged Mode – AM), καθώς και ένα αφιερωμένο κανάλι μεταφοράς DCH. Το παράδειγμα δεν επιλέχθηκε τυχαία αφού αυτή η διαμόρφωση θα χρησιμοποιηθεί και στο μηχανισμό που θα προταθεί στη συνέχεια. Όπως φαίνεται στο πάνω μέρος της εικόνας, το αρχικό πακέτο που λαμβάνεται από το επίπεδο IP, μετατρέπεται σε Service Data Unit (SDU). Ουσιαστικά, τα SDUs αποτελούν τα πακέτα για το πρωτόκολλο PDPC. Προκύπτουν από τα πακέτα του IP με την εφαρμογή κάποιας τεχνικής συμπίεσης πάνω στο IP/TCP header του πακέτου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.3.1, κάτω από το επίπεδο του PDPC, βρίσκεται το πρωτόκολλο RLC. Το πρωτόκολλο RLC έχει την ευθύνη για τον τεμαχισμό των μεγαλύτερων PDPC SDUs σε μικρότερα Protocol Data Units (PDUs). Με αυτό τον τρόπο τα RLC PDUs έχουν το κατάλληλο μέγεθος για μεταφορά. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 13, το μέγεθος πακέτου που ορίζεται από το πρωτόκολλο RLC δε μεταβάλλεται στα κατώτερα επίπεδα. Αυτό γιατί τα κατώτερα πρωτόκολλα, όπως το MAC, δε διαθέτουν αντίστοιχο μηχανισμό τεμαχισμού. Το μέγεθος πακέτου για το RLC καθορίζεται κατά τη δημιουργία του ασύρματου φορέα και για το λόγο αυτό είναι ημιστατικό. Πάντως, το τυπικό μέγεθος των RLC PDUs είναι αυτό των 40 bytes.

Το πρωτόκολλο MAC βρίσκεται κάτω από το επίπεδο RLC και η βασική του λειτουργία είναι να προσφέρει υπηρεσίες μεταφοράς στα λογικά κανάλια του RLC. Επειδή, στο MAC δε χρησιμοποιείται μηχανισμός επιβεβαίωσης, το RLC είναι υπεύθυνο για την παράδοση των πακέτων του υψηλότερου επιπέδου με αξιοπιστία. Το πρωτόκολλο MAC λαμβάνει το μέγεθος των πακέτων που θα χρησιμοποιήσει από το φυσικό επίπεδο (WCDMA) κατά τον ορισμό της μορφής με την οποία θα μεταφερθούν τα δεδομένα. Επίσης, το πρωτόκολλο αυτό έχει τη δυνατότητα να πολυπλέκει τα πακέτα που λαμβάνει από το υψηλότερο επίπεδο και να τα μεταφέρει πάνω από κοινά ή αφιερωμένα κανάλια μεταφοράς. Η αναγνώριση των UEs στα κοινά κανάλια μεταφοράς γίνεται με τη χρήση ενός προσωρινού αναγνωριστικού. Η μετάβαση μεταξύ κοινών και αφιερωμένων καναλιών γίνεται στο επίπεδο του πρωτοκόλλου MAC, παρόλο που μία εντολή για μετάβαση δίνεται από το επίπεδο RRC (δείτε παράγραφο 3.3.2) [14]. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ανεξάρτητα από τον τρόπο μετάδοσης που χρησιμοποιείται από το πρωτόκολλο RLC, ο εντοπισμός λαθών γίνεται στο επίπεδο φυσικού μέσου μέσω της μεθόδου Cyclic Redundancy Check (CRC) (για περισσότερες πληροφορίες, δείτε την παράγραφο 3.2.2 του [24]). Στη συνέχεια, το αποτέλεσμα του ελέγχου CRC μαζί με τα δεδομένα, παραδίδονται στο επίπεδο RLC.



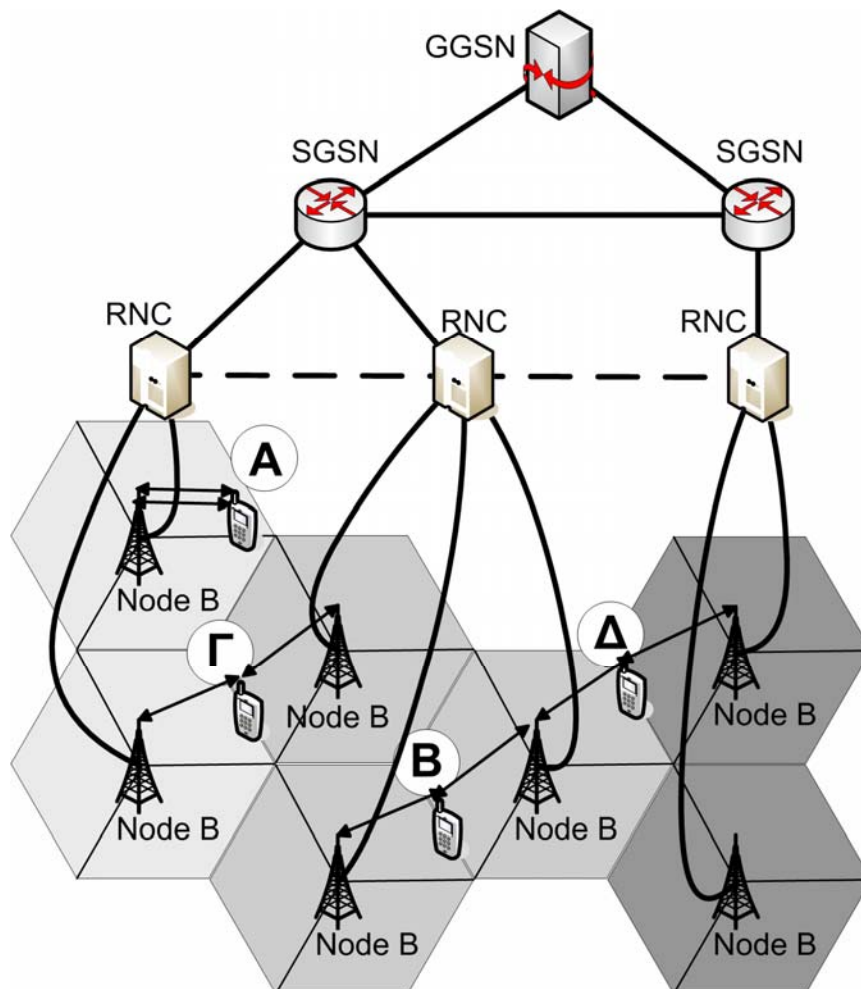
**Εικόνα 13. Μετάδοση πακέτων πληροφορίας στα διάφορα επίπεδα.**

### 3.6 Τα Handovers στο UMTS

Όπως είναι γνωστό, τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να διατηρούν τις συνδέσεις τους καθώς κινούνται από ένα κελί σε ένα άλλο. 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 (παράγραφος 2.2.1). Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν οι διάφοροι τύποι handover, καθώς και η διαδικασία SRNS relocation.

### 3.6.1 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 εγκαταληφθεί. Το softer handover είναι ένα handover μεταξύ δύο τομέων ενός κελιού. Η περίπτωση Α στην Εικόνα 14 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 [12].



Εικόνα 14. Οι δυνατές περιπτώσεις softer και soft handover.

Η διαδικασία του soft handover εκτελείται στα όρια μεταξύ των κελιών. 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 [25].

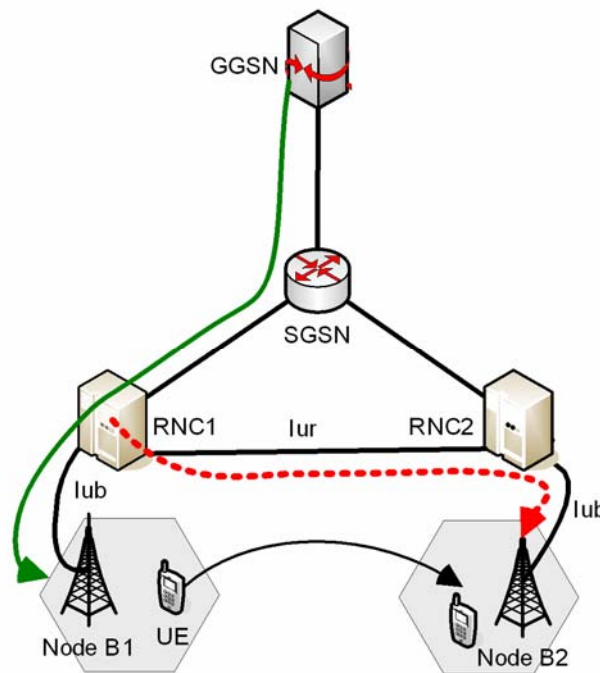
Προκειμένου η χρήση των soft handovers να γίνεται με αποδοτικότητα, το δίκτυο διαθέτει ένα μηχανισμό ο οποίος κάνει τη διαχείριση των handovers. Για το σκοπό αυτό γίνονται μετρήσεις στις ανερχόμενες συνδέσεις, ενώ για τις κατερχόμενες συνδέσεις τα αποτελέσματα λαμβάνονται από τα UEs. Τα εμπλεκόμενα κελιά 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 κελιά που συνορεύουν με το κελί στο οποίο βρίσκεται το UE, και τα οποία είναι υποψήφια 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 το κελί στο οποίο βρίσκεται το UE τη συγκεκριμένη στιγμή [26].

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 ένα κελί ενός Node B σε ένα κελί άλλου Node B ο οποίος ανήκει στο ίδιο RNS με τον αρχικό (περίπτωση Β στην Εικόνα 14).
- *Inter-Node B/inter-RNS/intra-SGSN*: Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από ένα κελί ενός Node B στο κελί 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 14).
- *Inter-Node B/inter-RNS/inter-SGSN*: Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από ένα κελί ενός Node B στο κελί 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 14).

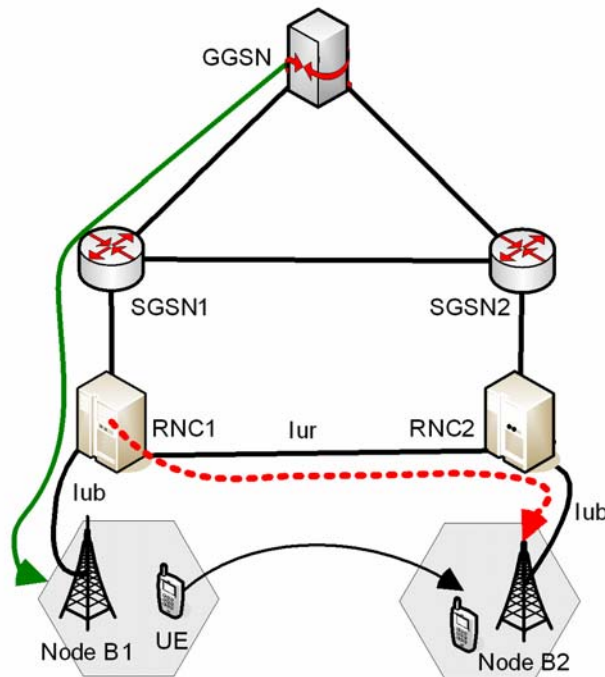
Ένα σημείο που αξίζει να αναφερθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά στις περιπτώσεις που ένα inter-RNS handover λαμβάνει χώρα. Ο σκοπός του soft handover είναι να απαλλάξει τις διεπαφές Iu-PS καθώς και αυτές του CN από την αποστολή της ίδιας πληροφορίας. Επίσης, ένας άλλος στόχος του soft handover είναι 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.



**Εικόνα 15. Η ροή δεδομένων σε ένα inter-RNS/intra-SGSN handover.**

Προκειμένου να δοθεί μία σχηματική απεικόνιση των ροών δεδομένων, η Εικόνα 15 δείχνει τη ροή των δεδομένων για το inter-RNS/intra-SGSN handover, ενώ η Εικόνα 16 δείχνει την αντίστοιχη ροή για το inter-RNS/inter-SGSN handover. Όσον αφορά και στις δύο εικόνες, ο RNC1 είναι ο SRNC, ενώ ο RNC2 είναι ο DRNC. Επίσης, η ενιαία γραμμή απεικονίζει την αρχική ροή δεδομένων προς το UE. Αντίθετα, η διακεκομμένη γραμμή απεικονίζει τη ροή δεδομένων που αποκαθίσταται μέσω της διεπαφής Iur μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας του soft handover. Μέσω της σχηματικής αυτής απεικόνισης υπονοείται η αποχή του CN από τη διαδικασία. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 16, φαίνεται ότι ο κόμβος SGSN2 δε μεταδίδει δεδομένα στον RNC2, αντίθετα ο RNC2 λαμβάνει τα δεδομένα που θα αποστείλει στο UE από τον RNC1.



**Εικόνα 16. Η ροή δεδομένων σε ένα inter-RNS/inter-SGSN handover.**

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 κεραιές. Επιπλέον, δεν υπάρχουν διακοπές στην επικοινωνία, λόγω του τερματισμού της σύνδεσης με μία κεραία. Αντίθετα, η μετάβαση από το ένα κελί στο άλλο 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 κεραιές 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 ring-rong. Κατά το φαινόμενο αυτό, ένα UE που βρίσκεται ανάμεσα από δύο κεραιές συνδέεται εναλλάξ πότε με τη μία και πότε 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 UTRAN, όχι μόνο επιπλέον λογισμικού, αλλά

και υλικού. Επιπλέον, ανάλογες μετατροπές πρέπει να γίνουν και στον εξοπλισμό του χρήστη (UE) [12].

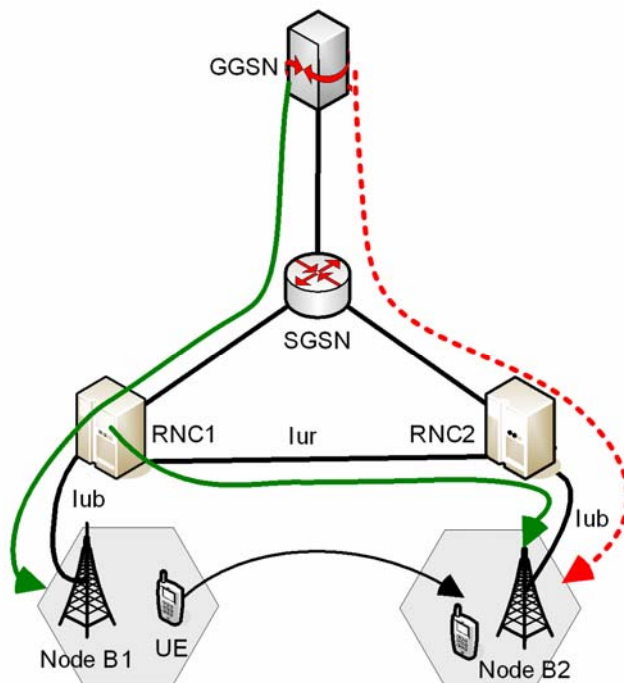
### 3.6.2 SRNS Relocation

Η Serving Radio Network Subsystem (SRNS) relocation είναι η διαδικασία κατά την οποία αλλάζει η σύνδεση του UTRAN με το CN για τη σύνοδο που αφορά ένα συγκεκριμένο UE. Η SRNS relocation συμβαίνει όταν έχει ήδη προηγηθεί ένα inter-RNS soft handover. Μετά την εκτέλεση του soft handover, ο SRNC αναλαμβάνει να προωθήσει προς τον DRNC τα δεδομένα που απευθύνονται στο συγκεκριμένο UE. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.6.1, αυτή η μετάδοση γίνεται μέσω της διεπαφής Iur. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότεροι από έναν DRNCs. Μετά την εκτέλεση της SRNS relocation, ο SRNC παύει να εξυπηρετεί το UE και κάποιος από τους DRNCs αναλαμβάνει την εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου UE. Στο σημείο αυτό αποδεσμεύονται οι διεπαφές Iur που είχαν δεσμευθεί για την επικοινωνία των RNCs [2].

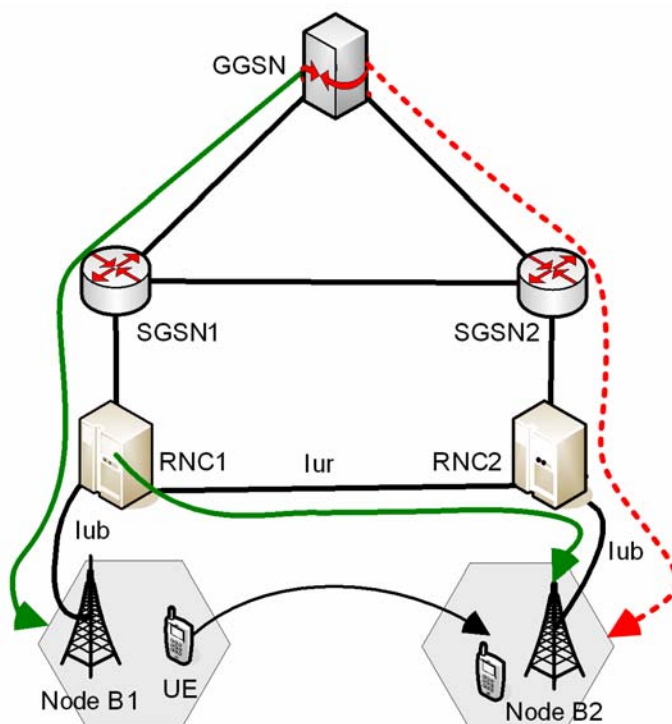
Ανάλογα με τη σχετική θέση του αρχικού με τον τελικό SRNC, υπάρχουν δύο είδη διαδικασιών SRNS relocation: η intra-SGSN SRNS relocation και η inter-SGSN SRNS relocation. Η intra-SGSN SRNS relocation συμβαίνει όταν οι δύο RNCs είναι συνδεδεμένοι με τον ίδιο κόμβο SGSN του CN. Πρόκειται για τη διαδικασία που ακολουθεί ένα inter-RNS/intra-SGSN handover. Αντίθετα, η inter-SGSN SRNS relocation ακολουθεί ένα inter-RNS/inter-SGSN handover. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο RNCs συνδέονται με διαφορετικούς SGSNs.

Ο λόγος για τον οποίο ενεργοποιείται η διαδικασία SRNS relocation είναι η οικονομία στους πόρους του ασύρματου δικτύου. Κατά τη διάρκεια του soft handover ο UE λαμβάνει την ίδια πληροφορία τόσο από κεραιές που ελέγχονται από τον SRNC, όσο και από κεραιές που ελέγχονται από τον DRNC. Στην περίπτωση που το UE έχει απομακρυνθεί αρκετά από τον SRNC, το σήμα που λαμβάνει από τις αντίστοιχες κεραιές είναι αδύναμο. Συνεπώς, στο σημείο αυτό, η συγκεκριμένη εκπομπή των κεραιών δε συνεισφέρει στη μετάδοση της πληροφορίας στο UE. Προκειμένου να μη υπάρχει σπατάλη στους πόρους του SRNC, κάποιο άλλο RNC αναλαμβάνει το ρόλο του SRNC για το UE. Ένας άλλος λόγος για τον οποίο είναι απαραίτητη η SRNS relocation είναι προκειμένου να μην χρησιμοποιείται άσκοπα χωρητικότητα της διεπαφής Iur [1].

Η Εικόνα 17 απεικονίζει τη ροή δεδομένων προς το UE, πριν και μετά τη διαδικασία SRNS relocation. Οι δύο ενιαίες γραμμές αντιστοιχούν στη ροή δεδομένων πριν την εκτέλεση της SRNS relocation, δηλαδή κατά τη διάρκεια του intra-SGSN soft handover. Μετά την εκτέλεση της SRNS relocation οι συγκεκριμένες ροές παύουν να υπάρχουν. Αντίθετα, αποκαθίσταται η ροή που απεικονίζεται με τη διακεκομμένη γραμμή. Αυτή η γραμμή αντιστοιχεί στο μοναδικό μονοπάτι μέσω του οποίου τα δεδομένα φτάνουν στο UE. Ομοίως, η Εικόνα 18 απεικονίζει τις αντίστοιχες ροές πριν και μετά από μία inter-SGSN SRNS relocation.



**Εικόνα 17. Η ροή δεδομένων πριν και μετά το intra-SGSN SRNS relocation.**



**Εικόνα 18. Η ροή δεδομένων πριν και μετά το inter-SGSN SRNS relocation.**

### 3.6.3 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 δεν 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 δεν μπορεί να κάνει σωστή εκτίμηση του κελιού το οποίο είναι καταλληλότερο 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.

### 3.6.4 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, για τα δίκτυα UMTS, δεν αναμένεται να έχουν μεγάλη περιοχή κάλυψης σύντομα. 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 του νέου κελιού (για ένα handover προς το GSM) ή τον κώδικα που χρησιμοποιεί το κελί του UTRAN. Η λύση που προτάθηκε από το 3GPP και υιοθετήθηκε από τη βιομηχανία ήταν η αποστολή αυτής της πληροφορίας από το αρχικό κελί. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ο υπολογισμός της έντασης του σήματος στα υποψήφια κελιά προκειμένου να επιλεχθεί 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 που

προσεγγίζει τα 2 Mbps, μετά την πραγματοποίηση του handover να λαμβάνει μόνο ένα μικρό ποσοστό από τον αρχικό ρυθμό.

## 4 Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ MBMS

Το κεφάλαιο αυτό είναι εξ' ολοκλήρου αφιερωμένο στην υπηρεσία Multimedia Broadcast / Multicast Service (MBMS). Για την ακρίβεια περιγράφεται το είδος, οι βασικές αρχές καθώς και η αρχιτεκτονική αυτής της υπηρεσίας. Επίσης, αναφέρονται και αναλύονται οι φάσεις παροχής της υπηρεσίας MBMS. Τέλος, θίγονται ορισμένα ζητήματα ασφάλειας που σχετίζονται με την παροχή της συγκεκριμένης υπηρεσίας.

### 4.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

Η υπηρεσία MBMS είναι μία υπηρεσία που εντάχθηκε στις προδιαγραφές του 3GPP σχετικά πρόσφατα (Release 6). Μέσω αυτή 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 στην 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 point-to-multipoint υπηρεσία μονής κατεύθυνσης (από τον εξυπηρετητή προς τους χρήστες), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως broadcast είτε ως multicast [1], [27].

### 4.2 Περιγραφή της Υπηρεσίας

Όπως φάνηκε από την προηγούμενη παράγραφο, το 3GPP 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.

#### 4.2.1 Λειτουργία Broadcast

Η λειτουργία broadcast είναι μία μονής κατεύθυνσης μετάδοση point-to-multipoint. 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 αυτής της υπηρεσίας broadcast. Κατά συνέπεια, ένα σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι, για τη λειτουργία broadcast, δεν απαιτείται συνδρομή στην υπηρεσία. Αντίθετα, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο, αυτή η διαδικασία απαιτείται για τη λειτουργία multicast [27], [28].

#### **4.2.2 Λειτουργία Multicast**

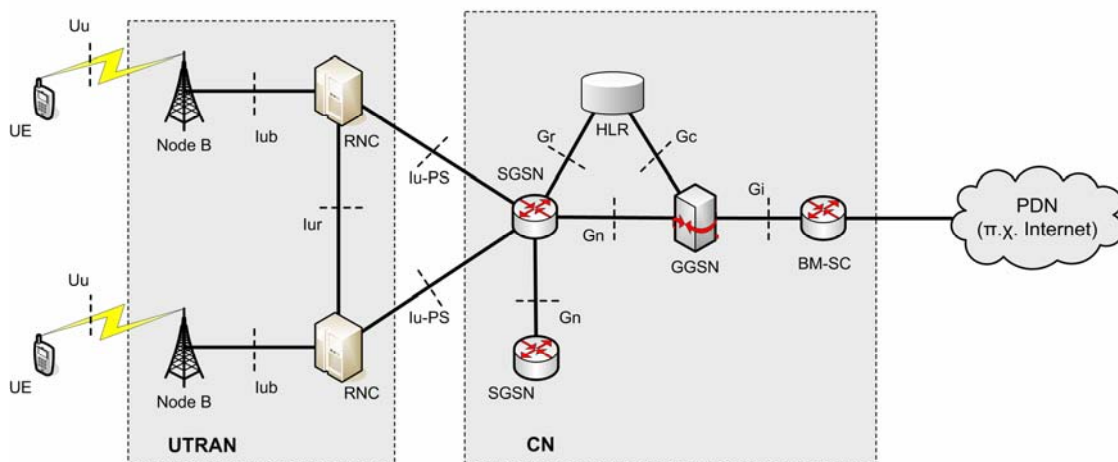
Η λειτουργία multicast είναι μία μονής κατεύθυνσης μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων, point-to-multipoint. Η μετάδοση αυτή ξεκινά από έναν εξυπηρετητή και κατευθύνεται προς ένα multicast group μίας περιοχής εξυπηρέτησης. Όπως και στη λειτουργία broadcast, στόχος της λειτουργίας multicast είναι η αποδοτική 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 συγκεκριμένα κελιά στα οποία θα μεταδοθεί η πληροφορία. Φυσικά, η πληροφορία θα απευθύνεται στους χρήστες που βρίσκονται στο κελί και οι οποίοι ανήκουν σε ένα multicast group.

Ένα παράδειγμα τέτοιας υπηρεσίας είναι αυτό των αθλητικών νέων, που περιγράφηκε στην παράγραφο 4.1. 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 [27], [28].

Στο υπόλοιπο της συγκεκριμένης εργασίας θα επικεντρώσουμε την προσοχή μας στη multicast λειτουργία της MBMS υπηρεσίας. Άλλωστε, όπως φάνηκε από την παραπάνω περιγραφή, πρόκειται για τη γενικότερη από τις δύο λειτουργίες.

### 4.3 Η Αρχιτεκτονική της MBMS

Η δομή του δικτύου UMTS για την υπηρεσία MBMS, απεικονίζεται στην Εικόνα 19. 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 GSM/EDGE Radio Access Network (GERAN) και όχι το UTRAN. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 19, 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 [27], [28], [29], [30].



**Εικόνα 19. Η αρχιτεκτονική της υπηρεσίας MBMS.**

- 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 συγκεκριμένου κόμβου είναι η ενημέρωση του GGSN σχετικά με τις παραμέτρους της μεταφοράς. Μερικές πιθανές παράμετροι της μεταφοράς 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.

- *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 συνόδους GTP (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 γίνουν 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 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 4.6, 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 υπηρεσιών MBMS. Από τη στιγμή που κάποια υπηρεσία ενεργοποιείται, δε χρειάζεται επιπλέον αίτηση του χρήστη προκειμένου να ξεκινήσει να λαμβάνει 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.

#### 4.4 Οι Φάσεις της Υπηρεσίας MBMS

Στην παρούσα παράγραφο θα περιγραφούν αναλυτικά οι φάσεις της παροχής της υπηρεσίας MBMS. Η Εικόνα 20 απεικονίζει σχηματικά τις φάσεις της broadcast λειτουργίας, ενώ η Εικόνα 21 παρουσιάζει τις αντίστοιχες φάσεις για τη multicast λειτουργία. Η κατεύθυνση του διανύσματος συμβολίζει τη χρονική αλληλουχία, αν και ενδέχεται ορισμένες φάσεις να επαναληφθούν.

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 Subscription (εγγραφή στην υπηρεσία), η Service Announcement (ανακοίνωση της υπηρεσίας), η Joining (αίτηση συμμετοχής), η Session Start (εκκίνηση της συνόδου), η MBMS Notification (ειδοποίηση για εκκίνηση), η Data Transfer (μεταφορά δεδομένων), η Session Stop (τερματισμός της συνόδου) και η Leaving (αίτηση αποχώρησης). Στο εξής, θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα οι συγκεκριμένες φάσεις.



**Εικόνα 20. Οι φάσεις της broadcast λειτουργίας.**



**Εικόνα 21. Οι φάσεις της multicast λειτουργίας.**

#### **4.4.1 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 οι 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 [29].

#### 4.4.2 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 υπηρεσίες MBMS. 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 σύνοδοι 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. [29], [31].

#### 4.4.3 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 [29].

#### 4.4.4 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 GGSNs και SGSNs 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 [27], [29].

#### **4.4.5 MBMS Notification**

Η MBMS Notification είναι η φάση κατά την οποία το δίκτυο ειδοποιεί τα UEs σχετικά με την επικείμενη εκκίνηση αποστολής δεδομένων MBMS. 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.

#### **4.4.6 Data Transfer**

Η Data Transfer είναι κύρια φάση της παροχής υπηρεσίας MBMS. Όπως είναι αναμενόμενο, αποτελεί μία διαδικασία που εκτελείται και στις δύο λειτουργίες της MBMS (multicast και broadcast). Σε αυτή τη φάση, οι πόροι του δικτύου που έχουν δεσμευθεί προηγουμένως 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.

#### **4.4.7 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 στη multicast λειτουργία. Πρόκειται για μία διαδικασία που είναι αντίστροφη τις 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 [29].

#### 4.4.8 Leaving

Η φάση Leaving λαμβάνει χώρα μόνο κατά τη λειτουργία multicast 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 της διαδικασίας Leaving ο χρήστης σταματά να λαμβάνει τα multicast δεδομένα που προέρχονται από τη συγκεκριμένη υπηρεσία.

### 4.5 Μετάδοση Δεδομένων στο CN

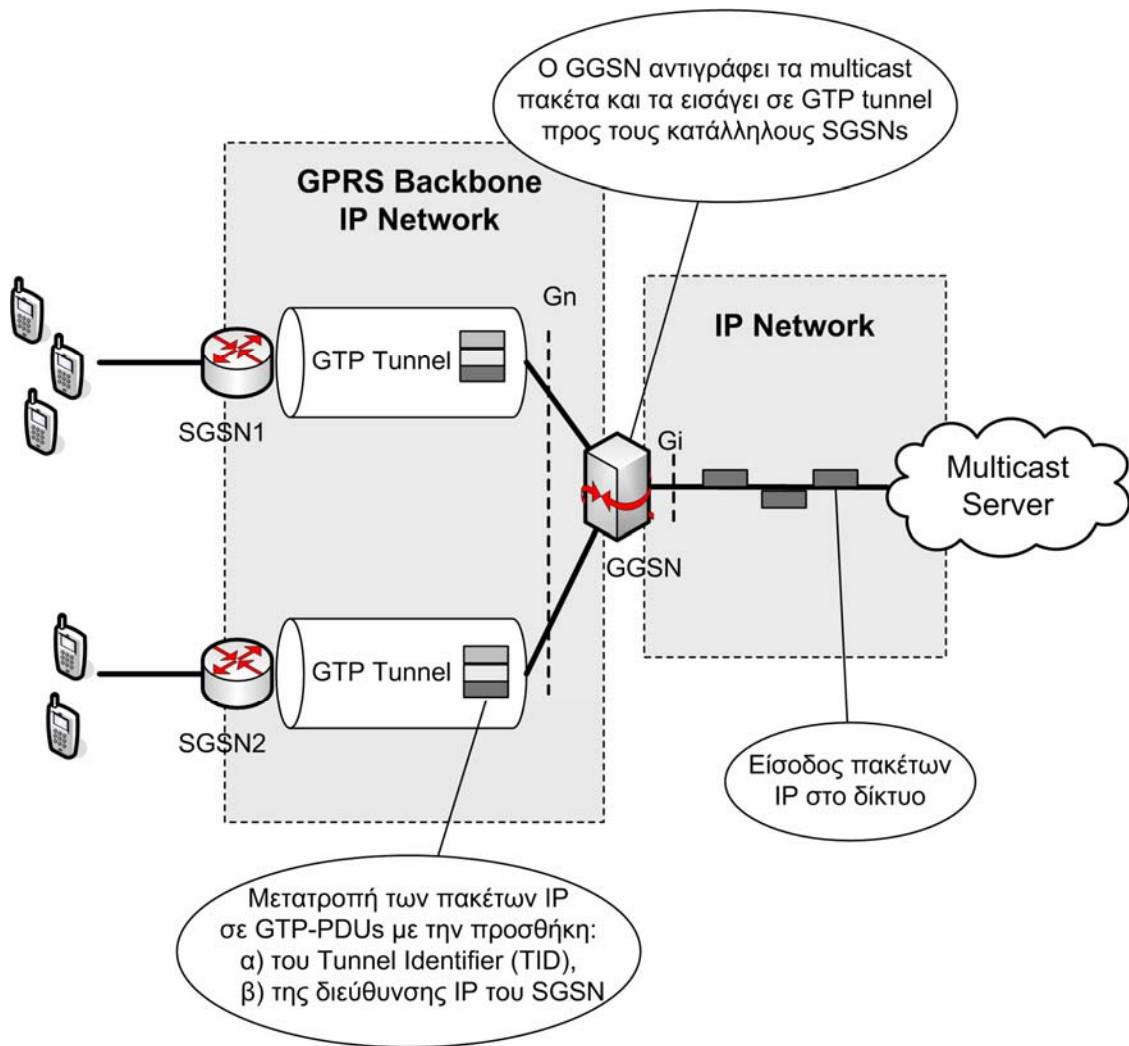
Η βασική απαίτηση που τίθεται στο CN προκειμένου να υποστηρίξει την υπηρεσία MBMS, είναι η αποδοτική χρήση των πόρων του δικτύου. Προς το παρόν, οι τρέχουσες υπηρεσίες, καθιστούσαν το CN ένα τυπικό περιβάλλον point-to-point. Κατά συνέπεια, το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει, προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποδοτικότητα στη χρήση των πόρων, είναι η μετατροπή του CN σε ένα περιβάλλον point-to-multipoint. 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 [30], [32].

#### 4.5.1 Χρήση IP Unicast

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

Η Εικόνα 22 δείχνει το μηχανισμό μετάδοσης δεδομένων όταν το CN χρησιμοποιεί μετάδοση IP unicast. Καταρχάς, τα multicast δεδομένα φτάνουν στον κόμβο GGSN είτε από μία πηγή περιεχομένου multicast, είτε από έναν εξωτερικό multicast server. Τα δεδομένα αυτά απευθύνονται σε ένα συγκεκριμένο multicast group από UEs. Ο κόμβος GGSN έχει πλήρη γνώση της τρέχουσας θέσης όλων των UEs που ανήκουν στο αντίστοιχο multicast group. Κατά συνέπεια, γνωρίζει ποιοι κόμβοι SGSNs εξυπηρετούν multicast χρήστες. Σε αυτό το σημείο, ο κόμβος GGSN αντιγράφει τα πακέτα που λαμβάνει και τα αποστέλλει μία φορά σε κάθε κατάλληλο SGSN. Η μετάδοση γίνεται με unicast τεχνική μέσω των συνόδων GTP (GTP tunnels) που έχουν δημιουργηθεί στη διεπαφή Gn. Όπως επεξηγείται στην Εικόνα 22, στα GTP-PDUs 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 οποίοι ελέγχουν κελιά όπου βρίσκονται multicast χρήστες.



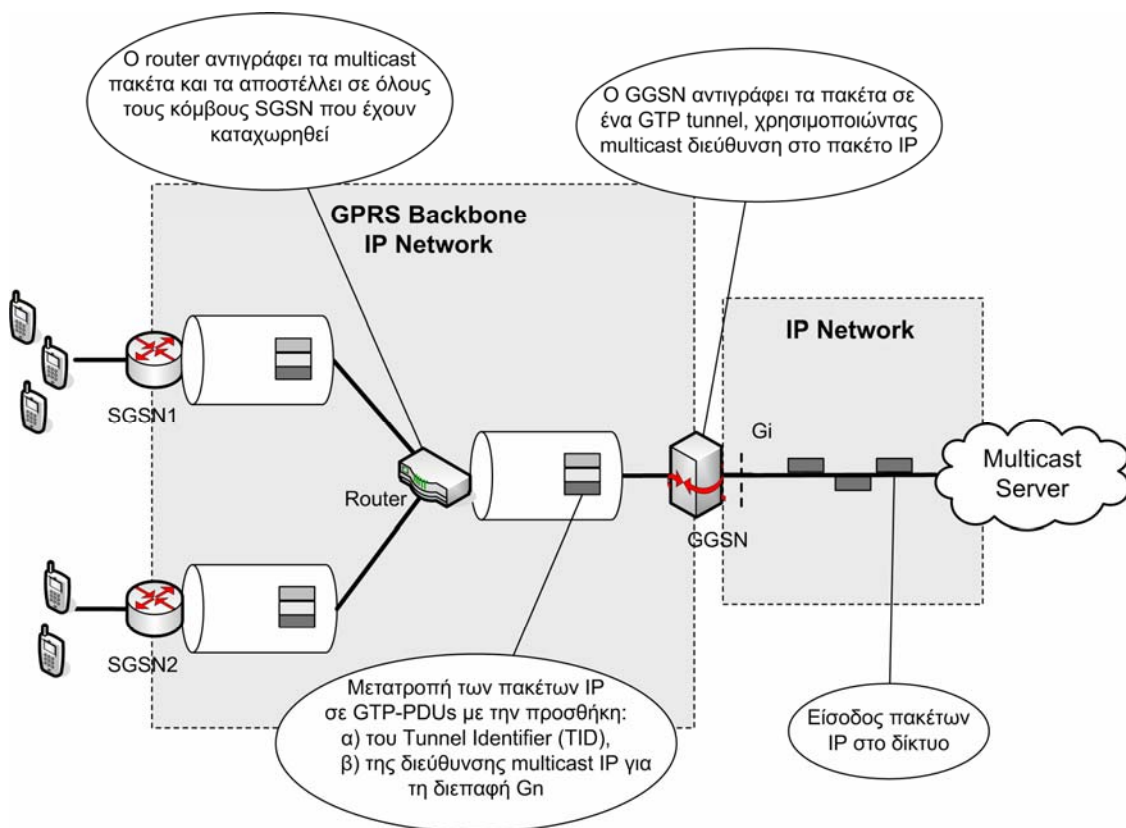
**Εικόνα 22. Οι σύνοδοι GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP unicast.**

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 [30].

#### 4.5.2 Χρήση IP Multicast

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



**Εικόνα 23. Οι σύνοδοι GTP στη διεπαφή Gn κατά τη χρήση IP multicast.**

Η Εικόνα 23 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 του CN (GGSNs και SGSNs). 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 κελί είναι μικρό. Αντίθετα, η χρήση της αρχιτεκτονικής με IP multicast θα έχει απόδοση σε απαιτητικές εφαρμογές που απευθύνονται σε πολλούς χρήστες ανά κελί. Πάντως, είναι γεγονός πως τα όρια από τα οποία μπορεί να αποφασιστεί ποια αρχιτεκτονική είναι προτιμότερη και ποια όχι, δεν έχουν εντοπιστεί επακριβώς [30], [32].

## **4.6 Μετάδοση Δεδομένων 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 point-to-point προτάσεις και οι point-to-multipoint προτάσεις [33], [34]. Στις παρακάτω παραγράφους περιγράφονται οι δύο τύποι μετάδοσης. Επίσης, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα του κάθε τύπου.

### **4.6.1 Μετάδοση point-to-point**

Η μετάδοση point-to-point 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 [36].

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 point-to-point 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 point-to-multipoint. 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 point-to-point μετάδοση είναι προτιμότερη όταν η παρεχόμενη υπηρεσία απαιτεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.
- *Αποδοτικότητα για μικρό πλήθος χρηστών ανά κελί:* Στην περίπτωση που το πλήθος των χρηστών ανά κελί είναι σχετικά μικρό, η χρήση point-to-point μετάδοσης είναι προτιμότερη. Αυτό γιατί η συνολική ισχύς που καταναλώνεται είναι μικρότερη από την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται point-to-multipoint μετάδοση. Από μελέτες που έχουν γίνει στο συγκεκριμένο πεδίο, ένα κατώφλι κάτω από το οποίο η χρήση point-to-point μετάδοσης είναι αποδοτικότερη, είναι 7-15 ενεργοί χρήστες ανά κελί [33].
- *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 point-to-point 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, με τη χρήση point-to-multipoint μετάδοσης, δεν υφίσταται έλεγχος ισχύος. Για την ακρίβεια, στη μετάδοση point-to-multipoint τα δεδομένα που εκπέμπονται απευθύνονται σε όλα τα UEs, ακόμα και σε αυτά που βρίσκονται στα όρια των κελιών. 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 point-to-point 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 3.6.1, η διαδικασία αυτή εξασφαλίζει με τον καλύτερο τρόπο την αδιάλειπτη παροχή των υπηρεσιών προς το UE. Αντίθετα, τα κανάλια FACH δεν υποστηρίζουν κάποιο σχετικό μηχανισμό, με αποτέλεσμα την αμφίβολη υποστήριξη της υπηρεσίας όταν ο multicast χρήστης μετακινείται μεταξύ κελιών [37].

#### 4.6.2 Μετάδοση point-to-multipoint

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, η μετάδοση point-to-multipoint 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 του κελιού. 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 τα γειτονικά κελιά, μεταδίδονται σε ξεχωριστό κανάλι FACH [30], [36].

Η μετάδοση point-to-multipoint στο UTRAN αποτελεί επέκταση της multicast λογικής σε ολόκληρο το UMTS. Αυτό γιατί αποσκοπεί στη δημιουργία μίας μόνο ροής δεδομένων για κάθε υπηρεσία MBMS [33]. Η χρήση της point-to-multipoint μετάδοσης έχει αρκετά πλεονεκτήματα τα οποία παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω:

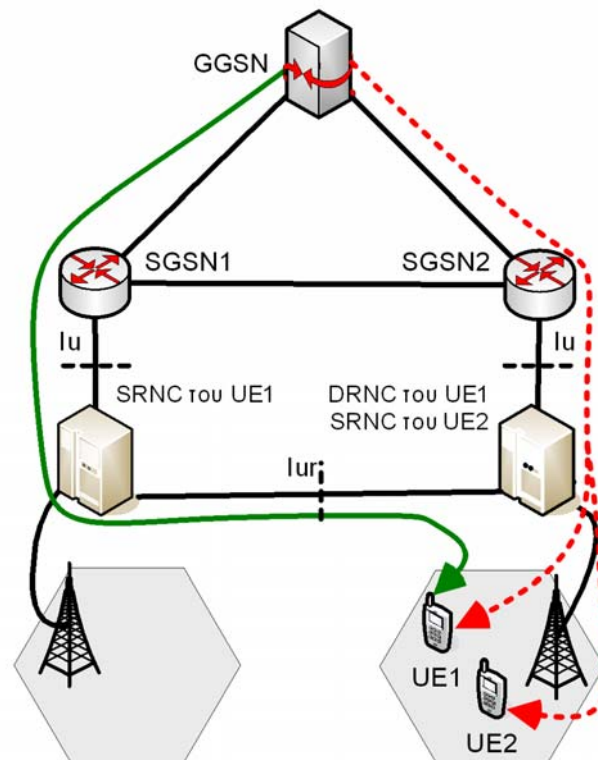
- *Ικανοποιητικός ρυθμός μετάδοσης όταν οι απαιτήσεις είναι χαμηλές:* Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, τα αφιερωμένα κανάλια (DCH) προσφέρουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης σε σχέση με τα κοινά κανάλια (FACH). Σύμφωνα, με τις τρέχουσες προδιαγραφές, τα κανάλια FACH δεν μπορούν να προσφέρουν 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 υπηρεσία MBMS δεν απαιτεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ο ρυθμός που προσφέρουν τα κανάλια FACH δεν είναι περιοριστικός.
- *Αποδοτικότητα για μεγάλο πλήθος χρηστών ανά κελί:* Στην περίπτωση που το πλήθος των χρηστών ανά κελί είναι σχετικά μεγάλο (7-15 ενεργοί χρήστες είναι το κάτω όριο), η χρήση point-to-multipoint μετάδοσης είναι προτιμότερη. Ειδικότερα μετά την επέκταση της υπηρεσίας MBMS, η χρήση της point-to-multipoint τεχνικής θα είναι μονόδρομος προκειμένου να εξοικονομηθούν πόροι του UTRAN [33].

#### 4.6.3 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 [30]. Ας θεωρήσουμε το σενάριο που απεικονίζεται στην Εικόνα 24. 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 στα κελιά 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 24. 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 στα κελιά 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 24. Οι πιθανές επιλογές μονοπατιών προς το UE1.

## 4.7 Θέματα Ασφάλειας

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 [38].

#### 4.7.1 Πιθανές Απειλές

Οι επιθέσεις που μπορούν να απειλήσουν την ασφάλεια της υπηρεσίας MBMS, μπορούν να εκδηλωθούν σε διάφορα σημεία του δικτύου. Όμως, υπάρχουν κάποια σημεία του δικτύου τα οποία είναι πιο «ευαίσθητα» σε επιθέσεις. Πρόκειται για την ασύρματη διεπαφή (Uu) καθώς 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 [38]. Όσον αφορά στις πιθανές απειλές, αυτές μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- *Λήψη δεδομένων από χρήστες εκτός multicast group:* Πρόκειται για μία επίθεση κατά την οποία χρήστες που δεν ανήκουν σε κάποιο multicast group, λαμβάνουν δεδομένα που απευθύνονται σε αυτό. Αυτό μπορεί να γίνει είτε μέσω υποκλοπών είτε μέσω της διάδοσης των κλειδιών αποκρυπτογράφησης. Υπάρχουν πολλοί πιθανοί τρόποι μέσω των οποίων τα κλειδιά αυτά μπορούν να φτάσουν στους κακόβουλους χρήστες. Για παράδειγμα, κάποιο έγκυρο μέλος του group μπορεί να εντοπίσει και να αποκαλύψει τα δικά του κλειδιά ή κάποιος κακόβουλος χρήστης μπορεί να διαθέτει κλειδιά από πρόσφατη συμμετοχή στο group.
- *Αλλοίωση της ακεραιότητας των δεδομένων:* Κατά το ενδεχόμενο αυτό, σε κάποια διεπαφή του δικτύου (ασύρματη ή ενσύρματη) υπάρχει τροποποίηση του περιεχομένου που μεταδίδεται από την υπηρεσία.
- *Μπλοκάρισμα της υπηρεσίας:* Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ένα ή περισσότερα τμήματα του δικτύου υφίστανται συμφόρηση, προκειμένου να διαταραχθεί η ομαλή μετάδοση των δεδομένων.
- *Παραβίαση ιδιωτικού απορρήτου:* Σε αυτή την ενδεχόμενη επίθεση, ορισμένα δεδομένα που εντάσσονται στο ιδιωτικό απόρρητο των multicast χρηστών, διαρρέουν προς τον εξωτερικό πάροχο της υπηρεσίας.

#### 4.7.2 Αρχιτεκτονική Ασφάλειας

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

Ο BM-SC είναι το σημείο εισόδου των δεδομένων MBMS 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 υπηρεσίες MBMS. 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 δεδομένα MBMS που λαμβάνει [38].



## 5 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία ανασκόπηση της έρευνας που έχει διεξαχθεί γύρω από το πεδίο της multicast μετάδοσης δεδομένων στα κινητά συστήματα τρίτης γενιάς. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως παρόλο που η έρευνα έχει προχωρήσει αρκετά, η συγκεκριμένη περιοχή πρόκειται να αποτελέσει σημαντικό χώρο έρευνας. Αυτό γιατί οι προδιαγραφές για την παροχή της συγκεκριμένης υπηρεσίας βρίσκονται σε πολύ πρώιμο στάδιο και δεν έχουν ακόμα οριστικοποιηθεί. Όπως είναι αναμενόμενο, η έρευνα στο συγκεκριμένο τομέα εστιάζεται γύρω από το σύστημα UMTS και την υπηρεσία MBMS.

Ένας από τους μηχανισμούς multicast μετάδοσης που έχουν προταθεί, περιγράφεται στο [39]. Στη συγκεκριμένη δημοσίευση, οι συγγραφείς ξεκινούν μελετώντας την εισαγωγή στο σύστημα UMTS ορισμένων IP multicast αρχιτεκτονικών που χρησιμοποιούνται ευρέως στα ενσύρματα δίκτυα. Για την ακρίβεια, αναλύονται τρεις multicast αρχιτεκτονικές που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε δίκτυα UMTS. Η πρώτη αρχιτεκτονική είναι η υπάρχουσα multicast αρχιτεκτονική που έχει ήδη προτυποποιηθεί σαν ένα προαιρετικό χαρακτηριστικό των δικτύων UMTS. Σε αυτή την περίπτωση, το πρωτόκολλο που εκτελεί τη multicast δρομολόγηση τερματίζεται στη gateway μεταξύ του Internet και του δικτύου UMTS. Η λύση αυτή απαιτεί την ανάμειξη ελάχιστων κόμβων του UMTS στη multicast δρομολόγηση. Όμως, η συγκεκριμένη λύση δεν εξασφαλίζει αποδοτική χρήση των πόρων του δικτύου. Οι άλλες δύο προτάσεις αφορούν αρχιτεκτονικές όπου οι multicast λειτουργίες προωθούνται διαδοχικά από το Internet, στο εσωτερικό του δικτύου UMTS και τέλος στα UEs. Πρόκειται για αρχιτεκτονικές που απαιτούν από πολλούς κόμβους του UMTS να υποστηρίξουν λειτουργίες που σχετίζονται με το multicasting. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας των λειτουργιών στους κόμβους του δικτύου. Το όφελος είναι η εξοικονόμηση πόρων του δικτύου. Τελικά, ο μηχανισμός που προτείνεται χρησιμοποιεί το Internet Group Management Protocol (IGMP) για τη διαχείριση των groups. Όσον αφορά στη μετάδοση των πακέτων, ο προτεινόμενος μηχανισμός βασίζεται στο ιεραρχικό tunnelling που έχει προτυποποιηθεί στο UMTS. Παρόλα αυτά, ο μηχανισμός του ιεραρχικού tunnelling δεν επαρκεί για την αποδοτική μετάδοση των multicast πακέτων. Αυτό γιατί κάθε tunnel ανατίθεται σε μία σύνοδο που αντιστοιχεί σε ένα μόνο χρήστη. Συνεπώς, αν υποθέσουμε ένα group που αποτελείται από  $N$  multicast χρήστες, αυτό σημαίνει ότι κάθε πακέτο θα πρέπει να αντιγραφεί και να μεταδοθεί μέσω του δικτύου  $N$  φορές. Ειδικότερα, για ορισμένες κατανομές multicast χρηστών σε μία περιοχή κάλυψης, ο μηχανισμός αυτός μπορεί να οδηγήσει σε πολύ άσχημη χρήση των πόρων μέσα στο δίκτυο.

Μία λύση στο πρόβλημα που αναφέρθηκε προηγουμένως, παρουσιάζεται στο [22]. Οι συγγραφείς αυτής της δημοσίευσης, στοχεύουν στην παράκαμψη της one-to-one σχέσης που υπάρχει μεταξύ ενός συνδρομητή και ενός GTP tunnel. Προκειμένου να το πετύχουν αυτό, υλοποιούν ένα Multicast-Packet Data Protocol (M-PDP) για κάθε multicast group στους κόμβους GGSNs και SGSNs. Σε αυτή την προσέγγιση οι συγγραφείς δεν υιοθετούν τη χρήση των IP multicast πρωτοκόλλων για τη multicast

δρομολόγηση στο UMTS. Αντίθετα, παρουσιάζουν μία εναλλακτική λύση. Για την ακρίβεια, προτείνουν τη χρήση κάποιων νέων πινάκων στους κόμβους GGSN, SGSN και RNC, προκειμένου να γίνεται η διαχείριση των multicast groups. Όσον αφορά την προώθηση των multicast πακέτων, οι συγγραφείς προτείνουν κάποιες αλλαγές στο πρωτόκολλο GTP.

Στο [40] προτείνεται ένας multicast μηχανισμός για το πεδίο μεταγωγής κυκλώματος των δικτύων GSM. Με το μηχανισμό αυτό επιτυγχάνεται η αποστολή SMS μηνυμάτων μόνο στις Location Areas (LAs) στις οποίες βρίσκονται multicast χρήστες. Πιο αναλυτικά, προκειμένου να επιτευχθεί multicast δρομολόγηση, χρησιμοποιείται η υπάρχουσα αρχιτεκτονική του GSM/UMTS για την υπηρεσία SMS. Για το σκοπό αυτό εισάγονται δύο νέοι πίνακες, ένας στη βάση δεδομένων HLR και ένας στη VLR. Ο πίνακας της HLR αποθηκεύει τους κόμβους MSCs που εξυπηρετούν μέλη του multicast group. Αντίθετα, ο πίνακας της VLR καταγράφει τις LAs οι οποίες ελέγχονται από το αντίστοιχο MSC και περιέχουν multicast χρήστες. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση αυτή, τα multicast μηνύματα παραδίδονται σε όλα τα κελιά της LA, ανεξάρτητα από το αν υπάρχουν multicast χρήστες σε όλα τα κελιά. Ειδικότερα στην περίπτωση που μία LA είναι μεγάλη ή οι χρήστες είναι αραιά διασκορπισμένοι σε αυτή, η χρήση των πόρων δεν είναι αποδοτική.

Ένας άλλος multicast μηχανισμός προτείνεται στο [41]. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται για αναβαθμίσεις λογισμικού στις κινητές συσκευές. Σε αυτή την προσέγγιση, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν τους γνωστούς υπάρχοντες μηχανισμούς IP multicast προκειμένου να εκτελέσουν τη διαχείριση των groups καθώς και τη multicast δρομολόγηση στο UMTS. Όσον αφορά στην εγγραφή σε ένα multicast group, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο IGMP. Τέλος, για τη multicast δρομολόγηση, οι συγγραφείς προτείνουν τη χρήση multicast πρωτοκόλλων όπως το Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP), το Multicast Open Shortest Path (MOSFP) και το Protocol Independent Multicast (PIM).

Ο συγγραφέας του [32] παρουσιάζει και συγκρίνει δύο προσεγγίσεις για την υλοποίηση της υπηρεσίας MBMS στα συστήματα UMTS. Η κύρια ιδέα των προσεγγίσεων αυτών είναι ο μετασχηματισμός των μηχανισμών που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή στο UMTS, προκειμένου να προσφέρουν υποστήριξη σε ένα είδος multicasting παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή στα δίκτυα IP. Η πρώτη προσέγγιση τροποποιεί τις υπάρχουσες διαδικασίες του UMTS προκειμένου να υποστηρίξουν το IP multicast. Αντίθετα, η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί κάποιες λειτουργίες του UMTS προκειμένου η υποστήριξη του IP multicast να επεκταθεί στους κόμβους του UMTS και να φτάσει μέχρι τον τελικό χρήστη. Έπειτα από ανάλυση και σύγκριση των δύο μηχανισμών, ο συγγραφέας καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ενώ η πρώτη προσέγγιση είναι απλούστερη στην υλοποίηση, η δεύτερη προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιήσει με ευελιξία και αποδοτικότητα τους πόρους του δικτύου.

Στη διπλωματική εργασία [42] γίνεται μία παρουσίαση των διαδικασιών που απαιτούνται για την υποστήριξη και διαχείριση συνδέσεων κατά τη διαδικασία του multicasting στο UMTS και για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο προβλέπεται να εκτελείται η διαχείριση των συνόδων καθώς και της κινητικότητας των χρηστών που βρίσκονται στο περιβάλλον

του δικτύου κινητών επικοινωνιών UMTS. Επίσης, γίνεται εξομοίωση και μέσω της μελετώνται οι εμπλεκόμενοι μηχανισμοί.

Τέλος, όπως φάνηκε και από το κεφάλαιο 4, το MBMS framework του UMTS βρίσκεται στη φάση της προτυποποίησής του από το 3GPP [27], [30]. Η προτυποποίηση της υπηρεσίας MBMS βασίζεται στον ορισμό των μηχανισμών για τη διαχείριση των multicast groups και για την παράδοση πολυμεσικής κίνησης στους συνδρομητές.



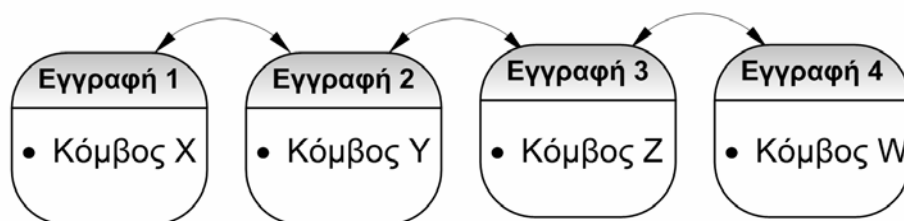
## 6 Ο ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται ο προτεινόμενος μηχανισμός μετάδοσης πακέτων. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτού του μηχανισμού είναι η εισαγωγή των Routing Lists (RLs) σε κάθε κόμβο του δικτύου εκτός των UEs. Για λόγους απλότητας, κατά την παρουσίαση του μηχανισμού θεωρείται ότι οι λειτουργίες του BM-SC έχουν ενσωματωθεί και εκτελούνται από τον κόμβο GGSN (Εικόνα 19). Επομένως, στο εξής μόνο ο κόμβος GGSN θα αναφέρεται προκειμένου να είναι πιο σαφής η παρουσίαση του μηχανισμού.

Στις επόμενες παραγράφους αναλύονται διεξοδικά οι RLs, δηλαδή οι λίστες μέσω των οποίων γίνεται η δρομολόγηση των πακέτων. Επίσης, παρουσιάζεται ο μηχανισμός μέσω του οποίου γίνεται η multicast προώθηση πακέτων από κόμβο σε κόμβο. Τέλος, εξετάζονται οι κρίσιμες φάσεις της παροχής της υπηρεσίας MBMS. Για την ακρίβεια εξετάζονται οι φάσεις Joining και Leaving, καθώς και η συμπεριφορά του συστήματος όταν κατά την Data Transfer φάση υπάρχει κινητικότητα των χρηστών.

### 6.1 Οι Routing Lists

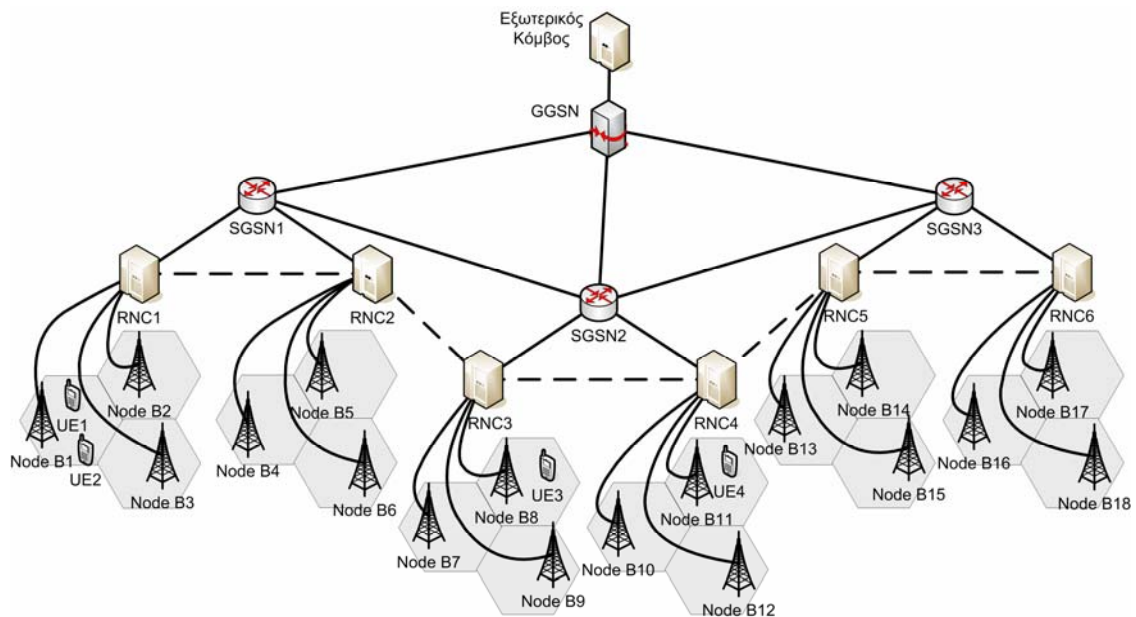
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο προτεινόμενος μηχανισμός εισάγει τις RLs σε κάθε κόμβο του δικτύου, εκτός των UEs. Οι RLs είναι διπλά διασυνδεδεμένες λίστες (Εικόνα 25), οι οποίες περιέχουν πληροφορία σχετική με τη δρομολόγηση πακέτων που απευθύνονται σε ένα multicast group. Για την ακρίβεια, κάθε κόμβος του δικτύου μπορεί να περιέχει μία ή περισσότερες RLs. Κάθε RL ενός κόμβου έχει αποθηκευμένη πληροφορία σχετικά με το ποιοι κόμβοι του αμέσως κατώτερου επιπέδου, συνδέουν το συγκεκριμένο κόμβο με UEs που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο multicast group. Κατά συνέπεια, σε κάθε κόμβο, υπάρχει μόνο μία RL για κάθε multicast group.



**Εικόνα 25. Η δομή μιας Routing List.**

Ας θεωρήσουμε την τοπολογία που απεικονίζεται στην Εικόνα 26. Υποθέτουμε ότι τα απεικονιζόμενα UEs (UE1, UE2, UE3 και UE4) ανήκουν στο multicast group MG1. Κάθε κόμβος του δικτύου διατηρεί μία RL για αυτό το multicast group. Αναλυτικότερα, ο κόμβος GGSN διατηρεί μία RL για το group MG1, η οποία περιέχει όλους τους κόμβους SGSN οι οποίοι συνδέουν τον GGSN με UEs που ανήκουν στο MG1. Αυτοί οι κόμβοι είναι ο SGSN1 και ο SGSN2. Στη συνέχεια, κάθε κόμβος SGSN

διατηρεί μία RL η οποία περιέχει εκείνα τα RNC τα οποία εξυπηρετούν multicast χρήστες για το συγκεκριμένο multicast group. Επομένως, η RL του SGSN1 περιέχει τον RNC1, η RL του SGSN2 περιέχει τον RNC3 και τον RNC4, ενώ στο SGSN3 η RL που σχετίζεται με το MG1 είναι άδεια. Ομοίως, η RL του RNC1 περιέχει το UE1 και το UE2, η RL του RNC3 περιέχει το UE3 και η αντίστοιχη του RNC4 περιέχει το UE4. Τα υπόλοιπα RNCs έχουν άδειες RLs.

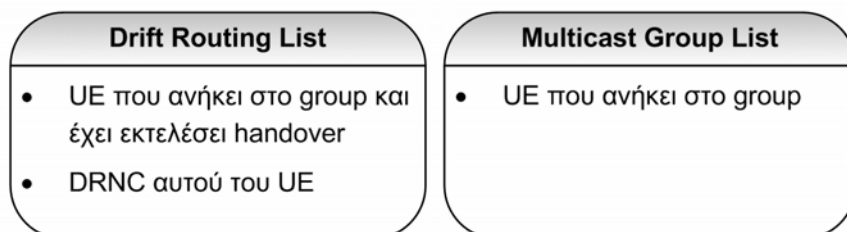


**Εικόνα 26. Ο μηχανισμός μετάδοσης πακέτων.**

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί η ύπαρξη άλλων δύο ειδών από λίστες. Εκτός από τις RLs, οι Drift Routing Lists (DRLs) χρησιμοποιούνται στους κόμβους RNC καθώς επίσης και οι Multicast Group Lists (MGLs) χρησιμοποιούνται στον κόμβο GGSN (δείτε την Εικόνα 27). Οι DRLs είναι λίστες που χρησιμοποιούνται όταν ένα ή περισσότερα inter-RNS handovers έχουν λάβει χώρα. Κάθε DRL αντιστοιχεί σε ένα multicast group και περιέχει ζεύγη του τύπου RNC-UE. Η χρήση αυτών των λιστών στοχεύει στη multicast μετάδοση δεδομένων πάνω από την Iur διεπαφή (Εικόνα 19). Η λειτουργία αυτού του είδους λιστών θα παρουσιαστεί αναλυτικά στην παράγραφο 6.4. Όσον αφορά στις MGLs, κάθε λίστα αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο multicast group και περιέχει τα UEs τα οποία ανήκουν σε αυτό το group. Αυτές οι λίστες περιέχονται μόνο στον κόμβο GGSN και στην ουσία αποτελούν μέρος των λειτουργιών που έχουν προσδοθεί στον GGSN λόγω της ενσωμάτωσης του BM-SC σε αυτόν. Μέσω αυτών των λιστών ο κόμβος αυτός έχει τη δυνατότητα να ανακατά τα UEs που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο multicast group.

Προφανώς οι MGLs όπως και οι RLs δεν είναι στατικές οντότητες αλλά ενημερώνονται κάθε φορά που ένα UE εντάσσεται ή αποχωρεί από ένα multicast group ή όποτε η τοπολογία του δικτύου μεταβάλλεται λόγω της κινητικότητας των χρηστών. Επομένως είναι απαραίτητο, για τη σωστή μετάδοση των multicast

δεδομένων, οι συγκεκριμένες λίστες να είναι κάθε χρονική στιγμή πλήρως ενημερωμένες.



Εικόνα 27. DRLs και MGLs.

## 6.2 Ο Μηχανισμός Μετάδοσης Πακέτων

Ο μηχανισμός μετάδοσης των πακέτων είναι βασισμένος στην επεξεργασία των RLs σε κάθε κόμβο. Ας υποθέσουμε ότι σε έναν κόμβο, εκτός των UEs, εισέρχεται ένα πακέτο το οποίο απευθύνεται σε ένα multicast group. Αμέσως μετά ελέγχεται αν η αντίστοιχη RL είναι άδεια. Αν η λίστα δεν είναι άδεια, ενεργοποιείται μία σάρωσή της. Για κάθε κόμβο κατώτερου επιπέδου που περιέχεται στη λίστα, το πακέτο αντιγράφεται και μεταδίδεται προς το συγκεκριμένο κόμβο μία μόνο φορά. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται αναδρομικά στους κόμβους κατώτερου επιπέδου που λαμβάνουν το πακέτο έως ότου κάθε αντίγραφο του πακέτου φτάσει στα UEs του multicast group για το οποίο προορίζεται.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε την περίπτωση όπου κίνηση απευθυνόμενη στο multicast group MG1, εισέρχεται στο PLMN που απεικονίζεται στην Εικόνα 26. Αν εστιάσουμε στην περίπτωση που ένα πακέτο της εισερχόμενης κίνησης λαμβάνεται από τον κόμβο GGSN, ο κόμβος αυτός θα ελέγξει αν η RL που αντιστοιχεί στο MG1 είναι άδεια. Αν η RL δεν είναι άδεια, μία σάρωση της λίστας θα ενεργοποιηθεί. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα η RL του GGSN δεν είναι άδεια και περιέχει τους κόμβους SGSN1 και SGSN2. Για κάθε έναν από τους κόμβους αυτούς θα λάβει χώρα μία αποστολή ενός αντιγράφου του εισερχόμενου πακέτου. Το πακέτο θα μεταδοθεί μία μόνο φορά σε κάθε κόμβο της λίστας. Στη συνέχεια, κάθε κόμβος SGSN που θα λάβει το πακέτο θα ελέγξει την αντίστοιχη RL που περιέχει προκειμένου να μεταδώσει αντίγραφο του πακέτου προς τους κατάλληλους κόμβους κατώτερου επιπέδου (RNCs). Όσον αφορά το παράδειγμα που εξετάζουμε, τα πακέτα θα προωθηθούν προς τους κόμβους RNC1 από τον SGSN1 και RNC3, RNC4 από τον SGSN2. Στη συνέχεια οι κόμβοι RNC θα προωθήσουν τα πακέτα στους τελικούς τους προορισμούς που είναι τα UE1 και UE2 για το RNC1, το UE3 για το RNC3 και το UE4 για το RNC4. Είναι προφανές ότι με την παραπάνω διαδικασία τα πακέτα μεταδίδονται μία μόνο φορά στον ίδιο σύνδεσμο μέχρι να φτάσουν στους τελικούς τους προορισμούς, δηλαδή τα μέλη του multicast group MG1.

## 6.3 Διαχείριση των Multicast Groups

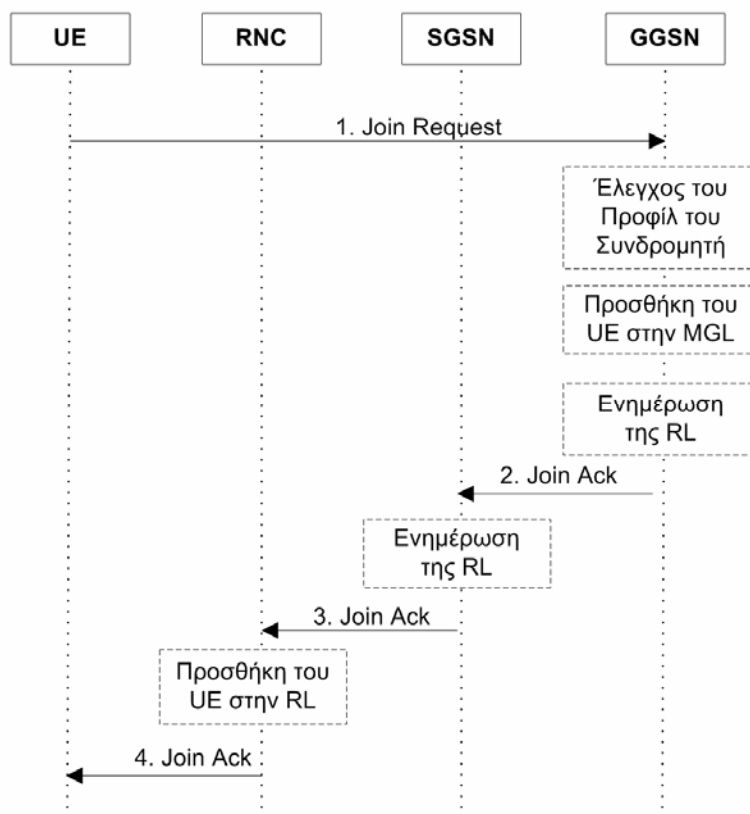
Ας θεωρήσουμε ένα δίκτυο UMTS το οποίο παρέχει την υπηρεσία MBMS. Υποθέτουμε ότι ένα UE έχει ολοκληρώσει τη φάση Subscription (Εικόνα 21) και επιθυμεί να συμμετάσχει σε ένα multicast group το οποίο παρέχεται από τον κόμβο GGSN. Σε αυτή την περίπτωση, η φάση Service Announcement λαμβάνει χώρα. Για την ακρίβεια, το UE στέλνει ένα μήνυμα στον κόμβο GGSN, με το οποίο ζητά μία λίστα από τα διαθέσιμα multicast groups. Όταν το μήνυμα φτάνει στον GGSN, ο GGSN στέλνει την απάντησή του με ένα μήνυμα που περιέχει τα διαθέσιμα multicast groups. Στο σημείο αυτό η φάση Service Announcement τερματίζεται. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται ο μηχανισμός ενημέρωσης των RLs κατά τη φάση που εντάσσονται σε ένα multicast group (φάση Joining) και κατά τη φάση που αποχωρούν από ένα multicast group στο οποίο έχουν ενταχθεί προηγουμένως (φάση Leaving).

### 6.3.1 Η Φάση Joining

Η φάση Joining είναι χρονικά η τρίτη φάση της παροχής υπηρεσίας MBMS (Εικόνα 21). Κατά τη φάση αυτή το UE ζητά τη συμμετοχή σε ένα multicast group. Στη συνέχεια το δίκτυο εξετάζει εάν το συγκεκριμένο UE πληροί τις προϋποθέσεις για να συμμετάσχει στο συγκεκριμένο multicast group. Αν οι προϋποθέσεις πληρούνται, το δίκτυο κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις προκειμένου να γίνει δυνατή η μετάδοση multicast πακέτων προς το συγκεκριμένο UE και ειδοποιεί σχετικά το ίδιο το UE. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι λειτουργίες που θα πρέπει να προστεθούν στον υπάρχοντα μηχανισμό προκειμένου να γίνεται ορθή ενημέρωση των RL κάθε κόμβου. Η Εικόνα 28 απεικονίζει τα βήματα της φάσης Joining της υπηρεσίας MBMS:

1. Το UE στέλνει ένα μήνυμα join request στο GGSN. Στο μήνυμα αυτό ζητά να συμμετάσχει σε ένα multicast group προσδιορίζοντας ποιο είναι το group.
2. Ο κόμβος GGSN εξετάζει το προφίλ του συνδρομητή ελέγχοντας αν πρέπει να γίνει δεκτή η αίτηση του UE. Αν υποθέσουμε ότι πληρούνται οι προϋποθέσεις τότε ο GGSN προσθέτει το συγκεκριμένο UE στην MGL που διατηρεί για το multicast group. Στη συνέχεια, εξετάζει αν ο SGSN που εξυπηρετεί το UE υπάρχει στη σχετική RL. Αν ο SGSN δεν υπάρχει, τότε προστίθεται στη λίστα. Τελικά, ο GGSN στέλνει ένα μήνυμα επιβεβαίωσης στον SGSN που εξυπηρετεί το UE.
3. Όταν ο κόμβος SGSN λάβει το μήνυμα επιβεβαίωσης εξετάζει αν ο RNC κόμβος που εξυπηρετεί το UE υπάρχει στην RL που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο multicast group. Αν ο RNC δεν υπάρχει στην RL, τότε προστίθεται στη λίστα και το μήνυμα επιβεβαίωσης προωθείται προς αυτόν.
4. Όταν ο RNC λάβει την επιβεβαίωση, προσθέτει το UE στην κατάλληλη RL και προωθεί την επιβεβαίωση στο UE.

Τελικά, όταν το UE λάβει την επιβεβαίωση, η φάση της εγγραφής στην υπηρεσία έχει ολοκληρωθεί.



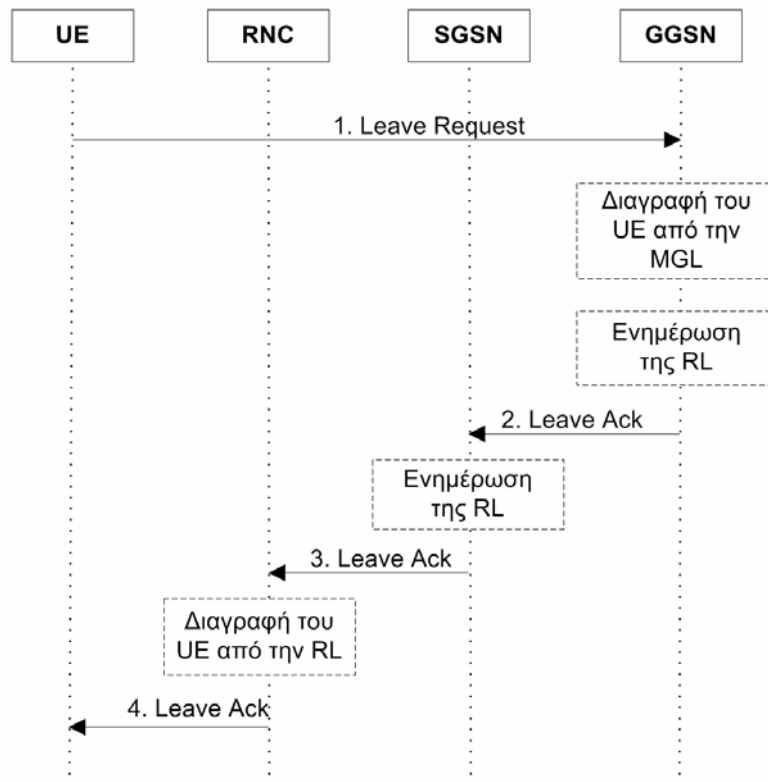
**Εικόνα 28. Η φάση Joining.**

### 6.3.2 Η Φάση Leaving

Η φάση Leaving εκτελείται στην περίπτωση που ένα UE αποφασίζει να εγκαταλείψει ένα multicast group. Στην περίπτωση αυτή η ακολουθία των μηνυμάτων που αποστέλλονται είναι παρόμοια με αυτή που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Τα βήματα της φάσης αυτής απεικονίζονται στην Εικόνα 29.

1. Το UE στέλνει ένα μήνυμα leave request στο GGSN. Στο μήνυμα αυτό ζητά να αποχωρήσει από ένα multicast group, προσδιορίζοντας ποιο είναι το group.
2. Ο κόμβος GGSN διαγράφει το συγκεκριμένο UE από την αντίστοιχη MGL που διατηρεί για το multicast group. Στη συνέχεια, εξετάζει αν υπάρχει άλλο UE το οποίο να εξυπηρετείται από τον ίδιο SGSN. Αν δεν υπάρχει, ο κόμβος SGSN που εξυπηρετεί το UE που αποχωρεί διαγράφεται από την RL. Τελικά, ο GGSN στέλνει ένα μήνυμα επιβεβαίωσης στον SGSN που εξυπηρετεί το UE.

3. Όταν ο κόμβος SGSN λάβει το μήνυμα επιβεβαίωσης εξετάζει αν υπάρχει άλλο UE που εξυπηρετείται από τον ίδιο RNC και συμμετέχει στο ίδιο multicast group. Αν δεν υπάρχει, ο κόμβος RNC διαγράφεται από τη λίστα και το μήνυμα επιβεβαίωσης προωθείται προς αυτόν.
4. Όταν ο RNC λάβει την επιβεβαίωση, διαγράφει το συγκεκριμένο UE από την αντίστοιχη RL και προωθεί την επιβεβαίωση στο UE.



**Εικόνα 29. Η φάση Leaving.**

Όταν το UE λάβει το μήνυμα επιβεβαίωσης η διαδικασία ολοκληρώνεται. Στο εξής το συγκεκριμένο UE δεν αποτελεί μέλος του συγκεκριμένου multicast group και τα πακέτα που εισέρχονται στο PLMN και απευθύνονται σε αυτό το multicast group δεν θα προωθούνται προς το UE αυτό.

## 6.4 Διαχείριση Κινητικότητας

Σε αυτή την παράγραφο περιγράφεται ο τρόπος που ο προτεινόμενος μηχανισμός χειρίζεται την κινητικότητα των χρηστών. Ο στόχος της παρακάτω μεθοδολογίας είναι η διατήρηση της αδιάλειπτης παροχής της MBMS υπηρεσίας καθώς και η βελτίωση της απόδοσης. Για την ακρίβεια, μελετούνται οι επιδράσεις του handover πάνω στον προτεινόμενο μηχανισμό. Επιπλέον περιγράφεται η προσαρμογή του μηχανισμού στη διαδικασία Serving RNS (SRNS) relocation.

### 6.4.1 Handovers

Ας θεωρήσουμε ένα UE το οποίο είναι μέλος ενός multicast group και την MBMS υπηρεσία η οποία βρίσκεται στη φάση Data Transfer (Εικόνα 21). Υποθέτουμε ότι καθώς multicast πακέτα μεταδίδονται στα μέλη του multicast group, το εξεταζόμενο UE αλλάζει κελί. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 3.6.1 υπάρχουν τα εξής τρία σενάρια για αυτό το handover:

- *Inter-Node B/intra-RNS handover*
- *Inter-Node B/inter-RNS/intra-SGSN handover*
- *Inter-Node B/inter-RNS/inter-SGSN handover*

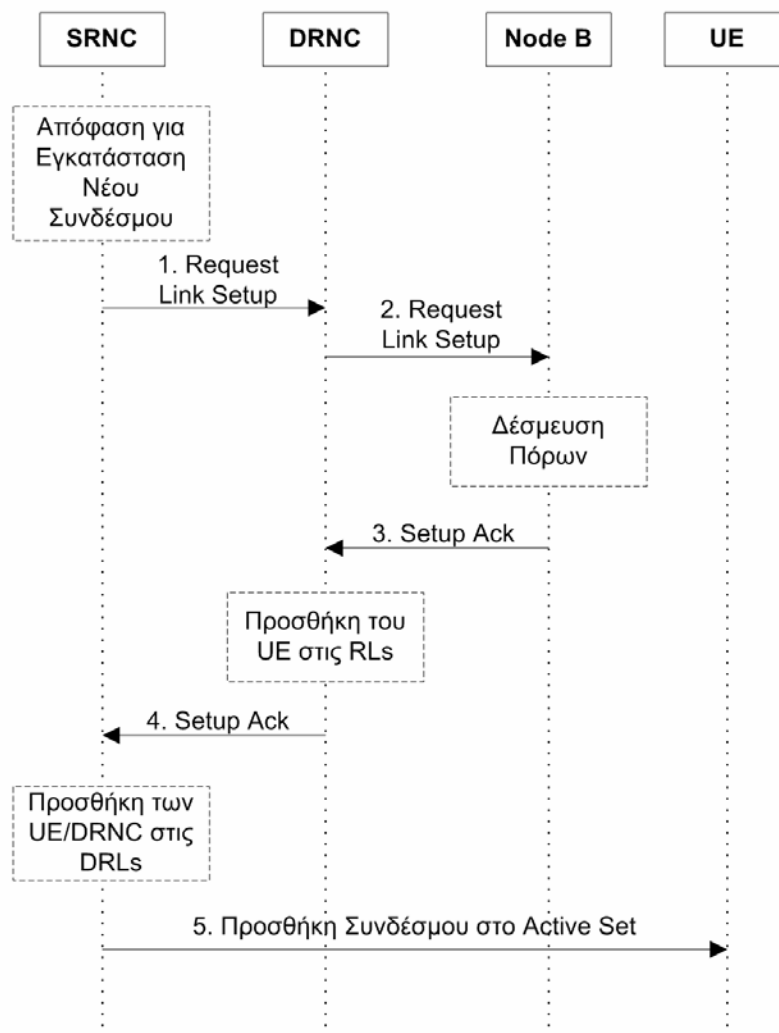
Στην πρώτη περίπτωση, από τη στιγμή που το SRNS αποφασίσει να εκτελέσει ένα intra-RNS handover, στέλνει ένα radio link configuration μήνυμα στους Node Bs, καθώς επίσης και ένα radio resource control physical channel reconfiguration μήνυμα στο UE [1]. Σε αυτή την περίπτωση, οι υπάρχουσες RL στους κόμβους του δικτύου παραμένουν αμετάβλητες. Συνεπώς, αυτή η περίπτωση δεν έχει καμία επίδραση στον προτεινόμενο μηχανισμό.

Για τις δύο τελευταίες περιπτώσεις υπάρχουν δύο ενδεχόμενα ανάλογα με τον τύπο καναλιού μεταφοράς που χρησιμοποιείται. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.6.1, στο UMTS έχει εισαχθεί ένας νέος τύπος handover. Πρόκειται για το λεγόμενο soft handover το οποίο χρησιμοποιείται από τα αφιερωμένα κανάλια μεταφοράς (DCH, βλ. παράγραφο 3.4). Για τα κοινά κανάλια μεταφοράς, όπως το HS-DSCH και το FACH, χρησιμοποιείται απευθείας η διαδικασία SRNS relocation για την οποία ο προτεινόμενος μηχανισμός θα παρουσιαστεί στην επόμενη παράγραφο. Επίσης, ας σημειωθεί εδώ, ότι η τεχνική του soft handover δεν μπορεί να εφαρμοστεί στα δίκτυα GSM. Για την ακρίβεια, στα δίκτυα GSM και σε αντίστοιχα σενάρια ακολουθείται η διαδικασία του hard handover, αφού άλλωστε τα δίκτυα GSM δεν διαθέτουν διεπαφές Iur.

Στο υπόλοιπο της παρούσας παραγράφου θα ασχοληθούμε με το χειρισμό του soft handover από τον προτεινόμενο μηχανισμό. Όσον αφορά στις δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις (inter-Node B/inter-RNS/intra-SGSN handover και inter-Node B/inter-RNS/inter-SGSN handover), ο χειρισμός που προτείνεται είναι πανομοιότυπος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η βασική ιδέα του inter-RNS handover είναι ότι ολόκληρη η διαδικασία δε γίνεται γνωστή και δεν εμπλέκει κόμβους SGSN. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή μίας νέας διεπαφής, της Iur (για περισσότερες πληροφορίες δείτε το κεφάλαιο 3.6.1). Επομένως για τους δύο τύπους inter-RNS handover (για τον intra-SGSN και για τον inter-SGSN) τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω της διεπαφής Iur. Στον προτεινόμενο μηχανισμό χρησιμοποιούνται οι DRLs προκειμένου να αποκατασταθεί μία multicast μετάδοση πακέτων πάνω από τη διεπαφή Iur. Αυτού του είδους η multicast μετάδοση λαμβάνει χώρα και αποδίδει όταν πολλαπλά handovers από το ίδιο αρχικό RNS προς το ίδιο τελικό RNS έχουν λάβει χώρα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.6.1, ο αρχικός RNC αποκαλείται Serving RNC (SRNC) ενώ ο τελικός RNC λέγεται Drift RNC (DRNC). Στην περίπτωση που το ίδιο UE εκτελεί διαδοχικά handovers, χρησιμοποιούνται πολλαπλοί κόμβοι DRNCs. Στην πραγματικότητα, για τη συγκεκριμένη σύνοδο του UE, μόνο ο SRNC έχει σύνδεση με το CN. Για την ακρίβεια, τα δεδομένα φτάνουν στον DRNC μέσω της διεπαφής Iur και ο DRNC αναλαμβάνει να τα αποστείλει στον τελικό τους προορισμό.

Η Εικόνα 30 περιγράφει τα βήματα της διαδικασίας του inter-RNS handover. Ο προτεινόμενος μηχανισμός είναι βασισμένος στην υπάρχουσα διαδικασία για το handover στο UMTS. Επιπλέον, έχουν προστεθεί κάποιες επεκτάσεις προκειμένου να εξασφαλισθεί η συνεκτικότητα της παροχής της υπηρεσίας MBMS. Στην παρακάτω ανάλυση δίνουμε μεγαλύτερη σημασία σε αυτές τις επεκτάσεις.



**Εικόνα 30. Η διαδικασία inter-RNS handover**

1. Ο κόμβος SRNC αποφασίζει να εκτελέσει ένα handover. Η απόφαση βασίζεται σε μετρήσεις που έχει κάνει πάνω στο UE. Στο σημείο αυτό μία σύνδεση μέσω της διεπαφής Iur αποκαθίσταται μεταξύ του SRNC και του DRNC. Από αυτή τη σύνδεση και χωρίς ανάμειξη κάποιου SGSN ο SRNC ζητά την αποκατάσταση ενός ασύρματου συνδέσμου.
2. Αν οι απαραίτητοι πόροι είναι διαθέσιμοι στον DRNC, ο DRNC προωθεί την αίτηση για ασύρματο σύνδεσμο στον Node B στον οποίο ανήκει το νέο κελί.
3. Όταν η δέσμευση των απαραίτητων πόρων έχει ολοκληρωθεί, ο Node B στέλνει ένα μήνυμα επιβεβαίωσης στον DRNC. Μετά την αποστολή της επιβεβαίωσης, ο Node B αρχίζει να δέχεται δεδομένα από το UE. Επίσης, όταν ο DRNC λάβει την επιβεβαίωση, προσθέτει το UE στις RLS που σχετίζονται με τα multicast groups στα οποία ανήκει το UE. Στη συνέχεια, ο DRNC προωθεί την επιβεβαίωση στον SRNC.
4. Όταν ο SRNC λάβει την επιβεβαίωση, εισάγει το ζευγάρι UE/DRNC στις DRLs που σχετίζονται με τα multicast groups στα οποία ανήκει το UE.
5. Τελικά, το UE ενημερώνεται ότι εκτελέστηκε το handover και λαμβάνει τις πληροφορίες που σχετίζονται με τη σύνδεση.

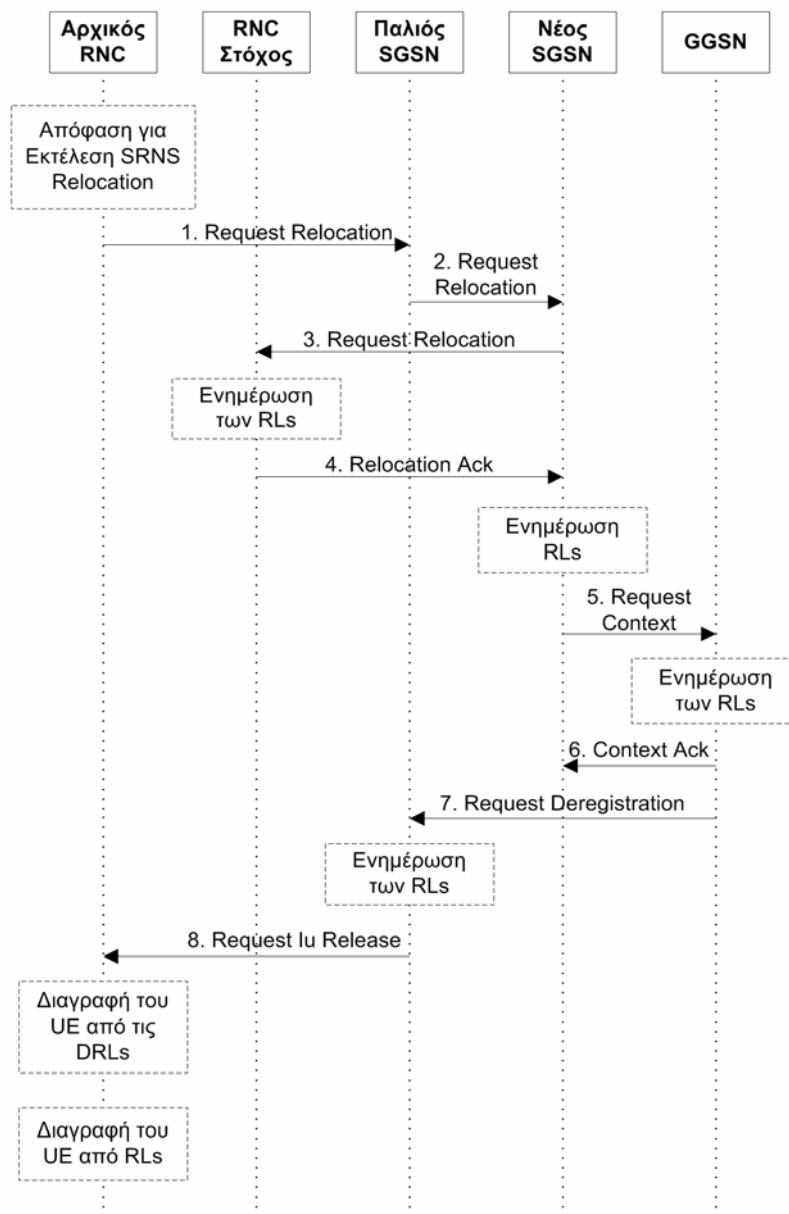
Όσον αφορά στο μηχανισμό προώθησης πακέτων, ένας επιπλέον έλεγχος πρέπει να γίνεται τους κόμβους RNC. Αυτός ο έλεγχος οφείλεται στην πιθανότητα προηγούμενης εκτέλεσης ενός ή περισσότερων inter-RNS handovers. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν συνδέσεις μέσω των διεπαφών Iur οπότε θα πρέπει να γίνει επεξεργασία των DRLs. Για την ακρίβεια, όταν ένα multicast πακέτο φθάνει σε έναν RNC, επιπλέον της προώθησης των πακέτων προς τα UEs, θα πρέπει να λάβει χώρα σάρωση της αντίστοιχης DRL. Αν η DRL δεν είναι άδεια, το πακέτο αντιγράφεται και μεταδίδεται μία μόνο φορά σε κάθε DRNC που υπάρχει στην DRL. Αυτές οι μεταδόσεις γίνονται μέσω των αντίστοιχων διεπαφών Iur και ακολουθούν την multicast αντίληψη που ακολουθεί ολόκληρος ο προτεινόμενος μηχανισμός. Στην περίπτωση που ένα UE έχει εκτελέσει πολλαπλά διαδοχικά handovers, τότε πολλαπλά DRNCs αντιστοιχούν στη σύννοδό του. Για το λόγο αυτό η διαδικασία επαναλαμβάνεται αναδρομικά στους DRNCs έως ότου το πακέτο φθάσει στον τελευταίο DRNC. Τελικά, αυτό το DRNC θα αναλάβει να μεταδώσει το πακέτο στο UE.

#### 6.4.2 SRNS Relocation

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.6.2, η διαδικασία του SRNS relocation βρίσκει εφαρμογή σε δίκτυα UMTS και όχι σε GSM. Χρησιμοποιείται για να μεταφερθεί το σημείο σύνδεσης του UTRAN με το CN από τον SRNC στον DRNC. Η διαδικασία αυτή μπορεί να ενεργοποιηθεί από δύο αιτίες. Η πρώτη αιτία σχετίζεται με προηγούμενη εκτέλεση ενός ή περισσότερων soft handovers. Εφόσον ο SRNC αποφασίσει ότι η κίνηση πρέπει να διοχετευθεί στο UE μέσω κάποιου DRNC, τότε ζητά την εκτέλεση μίας διαδικασίας SRNS relocation. Η δεύτερη αιτία ενεργοποίησης της διαδικασίας SRNS relocation είναι όταν ο χρήστης που μετακινείται σε ένα νέο RNS,

χρησιμοποιεί ένα κοινό κανάλι μεταφοράς (δηλαδή όχι ένα αφιερωμένο DCH). Αυτό γιατί, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.4, τα κοινά κανάλια μεταφοράς δεν υποστηρίζουν τη διαδικασία του soft handover.

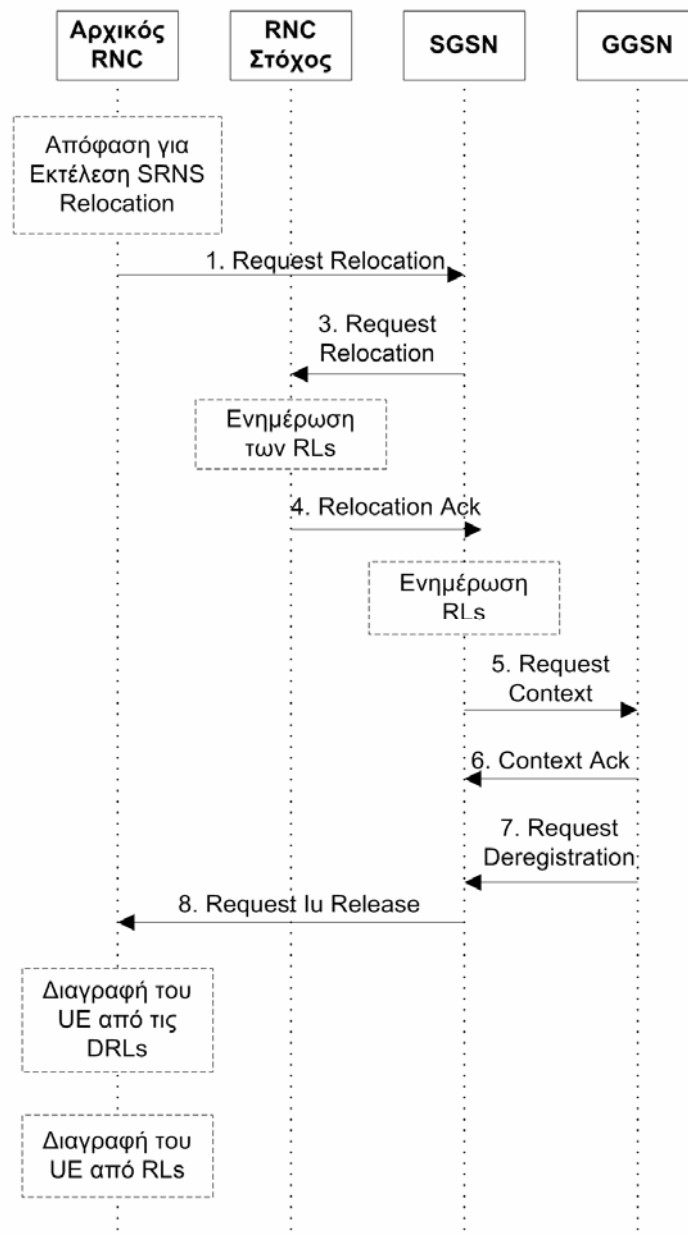
Τα είδη του SRNS relocation είναι δύο. Αν ο DRNC είναι συνδεδεμένος με τον ίδιο κόμβο SGSN που είναι συνδεδεμένος ο SRNC, τότε μία διαδικασία intra-SGSN SRNS relocation εκτελείται. Σε αντίθετη περίπτωση, αν ο DRNC είναι συνδεδεμένος με διαφορετικό SGSN, η διαδικασία που λαμβάνει χώρα είναι η inter-SGSN SRNS relocation. Η Εικόνα 31 απεικονίζει τη δεύτερη περίπτωση η οποία είναι και η γενικότερη από τις δύο.



**Εικόνα 31. Η διαδικασία inter-SGSN SRNS relocation.**

1. Ο τρέχων SRNC αποφασίζει ότι είναι αναγκαία μία SRNS relocation του UE προς τον DRNC. Ο SRNC στέλνει ένα μήνυμα προς τον παλιό SGSN με το οποίο ζητά τη διαδικασία SRNS relocation. Στο μήνυμα αυτό προσδιορίζει το DRNC που αποτελεί τον RNC-στόχο της διαδικασίας.
2. Ο παλιός SGSN προωθεί την αίτηση στο νέο SGSN. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο, ο νέος SGSN ενημερώνεται για τα multicast groups στα οποία συμμετέχει ο UE και μεταφέρεται το πλαίσιο της MBMS υπηρεσίας.
3. Ο νέος SGSN στέλνει το ίδιο μήνυμα στον RNC-στόχο. Ο RNC-στόχος ενημερώνεται από το νέο SGSN για τα multicast groups στα οποία ανήκει το UE. Τελικά, ο RNC-στόχος εκτελεί μία ενημέρωση των αντιστοιχών RLs. Αν ένα soft handover έχει προηγηθεί της διαδικασίας του SRNS relocation, τότε αυτό είναι προαιρετικό αφού το UE έχει ήδη εισαχθεί στις RLs κατά τη διάρκεια του handover. Στην περίπτωση που δεν έχει προηγηθεί soft handover, η προσθήκη του UE είναι υποχρεωτική.
4. Ένα μήνυμα επιβεβαίωσης της SRNS relocation επιστρέφεται από τον RNC-στόχο προς το νέο SGSN. Ο νέος SGSN εξετάζει κάθε RL που σχετίζεται με τα multicast groups στα οποία συμμετέχει το UE. Για κάθε RL, αν ο RNC-στόχος δεν περιέχεται, προστίθεται σε αυτή.
5. Ο νέος SGSN δημιουργεί το πλαίσιο του MBMS φορέα και καταχωρείται στον GGSN. Ο GGSN εξετάζει κάθε RL που σχετίζεται με τα multicast groups στα οποία ανήκει το UE. Αν ο νέος GGSN δεν περιέχεται σε μια RL, προστίθεται σε αυτήν.
6. Ο κόμβος GGSN ειδοποιεί το νέο SGSN για την επιτυχή καταχώρηση του UE. Με αυτόν τον τρόπο έχει ολοκληρωθεί η μεταγωγή της σύνδεσης από τον παλιό SGSN προς το νέο SGSN.
7. Ο GGSN ειδοποιεί τον παλιό SGSN ότι η υπηρεσία έχει καταργηθεί για το συγκεκριμένο UE. Ο παλιός SGSN εξετάζει κάθε RL που σχετίζεται με τα multicast groups στα οποία το UE συμμετέχει. Αν δεν υπάρχει άλλο UE το οποίο να εξυπηρετείται από τον αρχικό RNC και να συμμετέχει στο αντίστοιχο multicast group, ο αρχικός RNC διαγράφεται από την RL.
8. Ο αρχικός RNC ειδοποιείται από τον παλιό SGSN ότι η SRNS relocation ολοκληρώθηκε. Όλες οι εγγραφές που περιέχουν το UE διαγράφονται από όλες τις DRLs του αρχικού RNC. Στη συνέχεια, το UE διαγράφεται από τις σχετικές RLs. Από αυτή τη στιγμή, ο RNC-στόχος θεωρείται ότι είναι ο SRNS του UE.

Η περίπτωση του intra-SGSN SRNS relocation είναι παρόμοια. Όλα τα βήματα που περιγράφηκαν παραπάνω είναι έγκυρα, απλώς πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο τελικός RNC είναι συνδεδεμένος στον ίδιο SGSN με τον αρχικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να παραλείπονται τα μηνύματα μεταξύ του παλιού και του νέου SGSN, όπως επίσης και η ενημέρωση των RLs του κόμβου GGSN (αφού ο σχετικός SGSN δεν αλλάζει). Από τα παραπάνω, για την περίπτωση του intra-SGSN SRNS relocation η εικόνα που περιγράφει τη διαδικασία είναι η εξής:



**Εικόνα 32. Η διαδικασία intra-SGSN SRNS relocation.**

## 6.5 Μετάδοση Δεδομένων στο UTRAN

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.4, για τη μετάδοση multicast δεδομένων στο UTRAN, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι καναλιών. Πιο συγκεκριμένα, η μετάδοση των δεδομένων στις διεπαφές Iub και Uu του UTRAN μπορεί να γίνει με κανάλια DCH, FACH ή HS-DSCH. Η χρήση κάθε καναλιού παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το κανάλι που οδηγεί σε αποδοτικότερη χρήση των πόρων του δικτύου, εξαρτάται από το ρυθμό μετάδοσης

δεδομένων, το πλήθος των χρηστών ανά κελί, την κινητικότητα των χρηστών κ.α. Κατά συνέπεια, η βέλτιστη επιλογή μπορεί να διαφέρει κατά περίπτωση. Για το λόγο αυτό, ο προτεινόμενος μηχανισμός μπορεί να υποστηρίξει οποιοδήποτε από τα τρία αυτά κανάλια. Η τελική επιλογή του τύπου του καναλιού έγκειται στην κρίση του διαχειριστή του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να επιλέξει τη χρήση αποκλειστικά ενός καναλιού ή τη χρήση περισσότερων καναλιών, με την τελική επιλογή να γίνεται κατά περίπτωση. Για παράδειγμα, για κάποια υπηρεσία με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης και στην οποία έχουν εγγραφεί πολλοί multicast χρήστες, μπορεί να χρησιμοποιείται FACH κανάλι. Από την άλλη πλευρά, σε μία άλλη υπηρεσία με υψηλό ρυθμό μετάδοσης το χρησιμοποιούμενο κανάλι μπορεί να είναι το HS-DSCH.



## 7 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά το μοντέλο εξομοίωσης που ακολουθήθηκε προκειμένου να μελετηθεί και να αξιολογηθεί ο προτεινόμενος μηχανισμός. Για την ακρίβεια, παρουσιάζεται ο εξομοιωτής που χρησιμοποιήθηκε ως βάση των πειραμάτων καθώς και οι επεκτάσεις που προστέθηκαν σε αυτόν προκειμένου να μπορεί να εξομοιώσει με ακρίβεια τον προτεινόμενο μηχανισμό. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου το πειραματικό μοντέλο να έχει χαρακτηριστικά ενός πραγματικού συστήματος. Τέλος, το κεφάλαιο κλείνει με μία ενδεικτική περιγραφή ενός κώδικα εξομοίωσης.

### 7.1 Ο Εξομοιωτής ns-2

Ο μηχανισμός που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο υλοποιήθηκε στον εξομοιωτή network simulator ns-2 [43]. Πρόκειται για ένα open-source εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Ο ns-2 αποτελεί ένα πολύ ισχυρό περιβάλλον εξομοίωσης το οποίο μπορεί να εξομοιώσει πολλά είδη δικτύων, όπως ασύρματα και δορυφορικά δίκτυα. Η υλοποίηση του ns-2 ξεκίνησε το 1989 στο πανεπιστήμιο Berkeley. Η αρχική ιδέα για την ανάπτυξή του ήταν η δημιουργία μίας παραλλαγής του Real network simulator. Το 1995, η ανάπτυξή του υποστηρίχθηκε και από την υπηρεσία του υπουργείου άμυνας των Η.Π.Α. DARPA μέσα από το έργο Virtual InterNetwork Testbed (VINT). Το VINT ήταν ένα έργο στο οποίο συνεργάστηκαν οι εταιρίες USC/ISI, Xerox PARC, LBNL και το πανεπιστήμιο Berkeley. Στις μέρες μας, η υποστήριξη του ns-2 γίνεται από την DARPA μέσα από το έργο SAMAN και από την NSF μέσα από το έργο CONSER.

Μέχρι σήμερα έχουν παρουσιαστεί πολλές εκδόσεις του συγκεκριμένου συστήματος εξομοίωσης. Ο διάφορες εκδόσεις του ns-2 διατίθενται ελεύθερα και απευθύνονται σε διάφορες πλατφόρμες λειτουργικών συστημάτων όπως τα Linux, Solaris, Windows και το FreeBSD. Για την παρούσα υλοποίηση χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 2.28 που είναι και η τελευταία διαθέσιμη έκδοση. Επίσης, η εγκατάσταση έγινε στην πλατφόρμα Linux Mandrake 10. Ο εξομοιωτής δεν λειτουργήσε μεμονωμένα αλλά στο πλαίσιο ενός ολοκληρωμένου πακέτου, του ns-allinone-2.28. Το συγκεκριμένο πακέτο περιέχει, εκτός από τον ίδιο τον εξομοιωτή ns-2, μία σειρά από άλλα πακέτα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά κατά την εξομοίωση δικτύων με τον ns-2. Τα πακέτα αυτά είναι τα εξής:

- Το πακέτο *nam*. Το συγκεκριμένο πακέτο δίνει τη δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης της τοπολογίας του δικτύου καθώς και της λειτουργίας του.
- Το πακέτο *xgraph*. Πρόκειται για ένα πακέτο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία γραφικών παραστάσεων διαφόρων δεδομένων της εξόδου της εφαρμογής.

- Η γλώσσα *perl*. Μέσω του πακέτου αυτού ο ns-2 έχει τη δυνατότητα να εκτελεί προγράμματα γραμμένα σε γλώσσα *perl*.
- Το πακέτο *tcl-debug*. Αυτό το πακέτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για debugging.
- Το πακέτο μετατροπής *sgb2ns*. Το πακέτο *sgb2ns* χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της εξόδου του *gt-itm* σε μορφή συμβατή με τον ns-2. Χρησιμοποιείται σε τοπολογίες που έχουν παραχθεί αυτόματα από το σύστημα *gt-itm*. Το σύστημα *gt-itm* παρέχει πολλές δυνατότητες για την παραγωγή μίας τοπολογίας και μπορεί να παράγει είτε τυχαίες είτε τοπολογίες με ορισμένα χαρακτηριστικά.
- Το πακέτο μετατροπής *tiers2ns*. Πρόκειται για κάτι αντίστοιχο με το πακέτο που περιγράφηκε προηγουμένως. Αυτή τη φορά χρησιμοποιείται ως είσοδος η έξοδος του Tiers Topology Generator.
- Τέλος, πρέπει να αναφερθεί το πακέτο *Cweb* το οποίο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ευανάγνωστων C++ προγραμμάτων.

Η υλοποίηση του εξομοιωτή έχει γίνει σε γλώσσα C++. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται η scripting γλώσσα OTcl ως διεπαφή λήψης εντολών και ρύθμισης παραμέτρων. Με άλλα λόγια, ο χρήστης μπορεί να προσδιορίσει επακριβώς τα πειράματα εξομοίωσης μέσω της γλώσσας OTcl. Τα scripts που γράφονται στη γλώσσα αυτή δίνονται ως είσοδος στον εξομοιωτή και αυτός με τη σειρά του τα εκτελεί. Μέσω των OTcl scripts ο χρήστης μπορεί να ορίσει τοπολογίες δικτύων που αποτελούνται από κόμβους και συνδέσμους. Δίνεται η δυνατότητα για ακριβή προσδιορισμό των παραμέτρων των συνδέσμων, όπως το εύρος ζώνης και οι καθυστερήσεις στις ουρές. Στη συνέχεια μπορεί να καθοριστούν οι πηγές και οι προορισμοί των κινήσεων πληροφορίας. Ο τρόπος που δημιουργούνται αυτές οι οντότητες είναι αρκετά απλός και γίνεται με τον ορισμό *agents*. Η έξοδος που παράγεται μπορεί να έχει διάφορες μορφές ανάλογα με τα συμπληρωματικά πακέτα που χρησιμοποιούνται. Δύο από τους πιο συνηθισμένους τύπους εξόδου είναι *log* αρχεία τα οποία περιγράφουν την κίνηση πακέτων πάνω από ένα σύνδεσμο ή την κατάσταση μίας ουράς. Τα αρχεία αυτά μπορούν, αφού δεχθούν κάποια επεξεργασία, να υπολογίσουν συγκεκριμένες μετρικές που ενδιαφέρουν άμεσα τον ερευνητή, όπως για παράδειγμα τη ρυθμαπόδοση (*throughput*) της κίνησης ή την καθυστέρηση μετάδοσης ενός πακέτου.

Ο ns-2 υποστηρίζει πολλά δικτυακά πρωτόκολλα (όπως τα TCP, UDP και RTP), διάφορους τύπους κίνησης (όπως FTP, Telnet, HTTP, CBR και VBR), μηχανισμούς διαχείρισης ουρών (όπως τους RED, DropTail και CBQ), αλγορίθμους δρομολόγησης (όπως τους Dijkstra και Bellman Ford). Επίσης, ο ns-2 υποστηρίζει εξομοιώσεις σφαλμάτων στη λειτουργία του δικτύου, όπως ντετερμινιστικές και πιθανοτικές απώλειες πακέτων καθώς και link failures [44].

Η χρησιμότητα του ns-2 είναι μεγάλη στο σχεδιασμό νέων πρωτοκόλλων καθώς και στον έλεγχο της ορθότητας και της αποδοτικότητας νέων μηχανισμών μετάδοσης. Επίσης, ο ns-2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για εκπαιδευτικούς σκοπούς διότι, μέσω του πακέτου *nam*, μπορεί να οπτικοποιήσει τα δίκτυα και τις συμπεριφορές των

πρωτοκόλλων. Για όλους τους παραπάνω λόγους ο ns-2 αποτελεί ένα πολύ ισχυρό και εύκολο στη χρήση περιβάλλον εξομοίωσης το οποίο η επιστημονική κοινότητα χρησιμοποιεί ευρύτατα.

## 7.2 Η Υλοποίηση

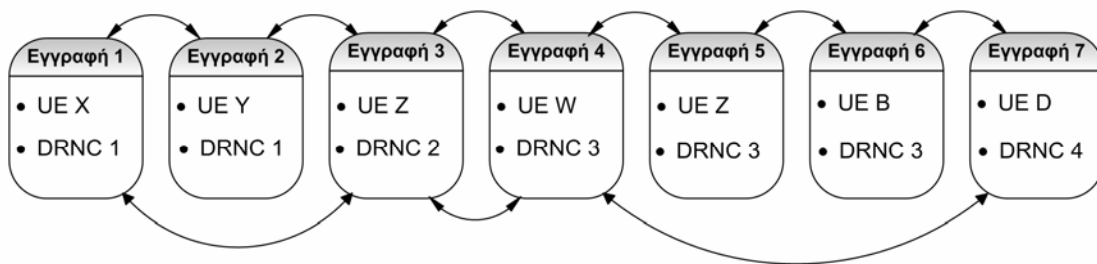
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο προτεινόμενος μηχανισμός υλοποιήθηκε στον εξομοιωτή ns-2 προκειμένου να μελετηθεί και να αξιολογηθεί. Συμπληρωματικά του ns-2 χρησιμοποιήθηκε η επέκταση EURANE. Πρόκειται για το πακέτο Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions (EURANE) το οποίο αποτελείται από επεκτάσεις του ns-2 προκειμένου ο εξομοιωτής να υποστηρίξει τις λειτουργίες του UMTS συστήματος. Ο ns-2 προς το παρόν δεν έχει ενσωματωμένη υποστήριξη των λειτουργιών του UMTS δικτύου. Οι συγκεκριμένες επεκτάσεις αφορούν τους τρεις κόμβους του UTRAN τους οποίους δεν υποστηρίζει ο ns-2. Πιο συγκεκριμένα, οι κόμβοι RNC, Node B και UE έχουν υλοποιηθεί στο EURANE. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι το EURANE υποστηρίζει τις λειτουργίες των καναλιών μεταφοράς δεδομένων και πιο συγκεκριμένα του FACH, του RACH, του DCH και του HS-DSCH [45].

Δεδομένου ότι ο εξομοιωτής ns-2 καθώς και η επέκταση EURANE δεν υποστηρίζουν multicast μετάδοση δεδομένων στο UMTS, ο multicast μηχανισμός μετάδοσης πακέτων προστέθηκε εξ' ολοκλήρου στον εξομοιωτή. Καταρχάς εισήχθησαν οι RLs μέσα σε κάθε κόμβο του δικτύου UMTS, εκτός των UE. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε μία νέα κλάση η οποία ονομάστηκε `Routing_List`. Επίσης, δημιουργήθηκε η κλάση που θα αντιπροσωπεύει τις DRLs τους κόμβους RNC, η οποία ονομάστηκε `Drift_Routing_List` (δείτε την Εικόνα 27). Τέλος, δημιουργήθηκε μία άλλη νέα κλάση που ονομάστηκε `Multicast_Group_List` και η οποία αναπαριστά τις MGLs (Εικόνα 27).

Κάθε λίστα που δημιουργήθηκε στον ns-2 είναι μία διπλά διασυνδεδεμένη λίστα η οποία περιέχει όλες τις απαραίτητες μεθόδους προκειμένου να προσπελαστεί ή να τροποποιηθεί. Σε ένα κόμβο SGSN για παράδειγμα, είναι δυνατόν να ανακτηθούν οι κόμβοι του κατώτερου επιπέδου (RNCs) ο οποίοι εξυπηρετούνται από το συγκεκριμένο SGSN και οι οποίοι είναι μέλη του multicast group `m_group_id`, μέσω της κλήσης της μεθόδου `Get_Next_Level_Nodes(m_group_id)`. Ανάλογες μέθοδοι υπάρχουν και για την εισαγωγή ή τη διαγραφή κόμβων από τις RLs, όπως η μέθοδος `Set_Next_Level_Node(m_group_id, next_level_node)`. Η μέθοδος αυτή προσθέτει τον υποδεικνυόμενο κόμβο κατώτερου επιπέδου στην RL που αντιστοιχεί στο όρισμα `m_group_id`. Προφανώς, στην περίπτωση που η αντίστοιχη RL δεν έχει ήδη δημιουργηθεί, η μέθοδος `Set_Next_Level_Node()` δημιουργεί μία νέα RL συσχετισμένη με το `m_group_id` και εισάγει σε αυτή το νέο κόμβο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι κόμβοι RNC περιέχουν ένα επιπλέον είδος διπλά διασυνδεδεμένων λιστών, που υλοποιούνται από την κλάση `Drift_Routing_List`. Προκειμένου να επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση της απόδοσης κατά τη μετάδοση δεδομένων εκτός από τους συνδέσμους που διασυνδέουν τις εγγραφές των DRLs υπάρχει και ένα άλλο είδος συνδέσμων μεταξύ των εγγραφών. Οι σύνδεσμοι αυτοί διασυνδέουν τις εγγραφές με τα διαφορετικά DRNCs που υπάρχουν στη λίστα. Αν

παρατηρήσετε το παράδειγμα που απεικονίζεται στην Εικόνα 33, οι τέσσερις διαφορετικοί DRNCs που εμφανίζονται διασυνδέονται ξεχωριστά με ένα άλλο είδος συνδέσμων που απεικονίζονται κάτω από τις εγγραφές. Αυτή η διασύνδεση βελτιώνει την απόδοση κατά τη λειτουργία του μηχανισμού προώθησης πακέτων. Όταν ένα multicast πακέτο πληροφορίας ληφθεί από έναν κόμβο RNC, τότε στον κόμβο εκτελείται μία σάρωση του DRL που αντιστοιχεί στο multicast group που απευθύνεται το πακέτο. Η σάρωση αυτή έχει σκοπό να ανακτήσει όλα τα διαφορετικά DRNCs τις λίστες. Στη μέθοδο `Get_DRNCs(m_group_id)` που υλοποιήθηκε για το σκοπό αυτό η σάρωση διατρέπει τις εγγραφές, όχι μέσω των αρχικών συνδέσμων, αλλά μέσω αυτών που περιγράφηκαν προηγουμένως. Αυτό προκαλεί μείωση των επαναλήψεων καθώς το πλήθος των επαναλήψεων ισούται με το πλήθος των διαφορετικών DRNCs που χρησιμοποιούνται και όχι με το πλήθος των UE που έχουν εκτελέσει handovers. Η βελτίωση της απόδοσης που προσφέρει αυτού του είδους η υλοποίηση είναι πολύ σημαντική καθώς μειώνει κατά πολύ τον υπολογιστικό φόρτο κατά τη διάρκεια των αναμεταδόσεων πακέτων. Τέλος, όπως και για τη μέθοδο `Routing_List`, υπάρχουν μέθοδοι τροποποίησης των περιεχομένων των αντικειμένων.



**Εικόνα 33. Η διασύνδεση των DRLs.**

Το τρίτο και τελευταίο είδος λίστες που υλοποιήθηκε είναι οι MGLs. Η υλοποίησή τους γίνεται από την κλάση `Multicast_Group_List`, η οποία βρίσκεται μόνο στον κόμβο GGSN. Για την προσπέλαση των UEs που ανήκουν σε ένα multicast group παρέχεται η μέθοδος `Get_UEs(m_group_id)` η οποία επιστρέφει τα UEs που ανήκουν στο `m_group_id`. Προφανώς υπάρχουν και ανάλογες μέθοδοι τροποποίησης των MGLs.

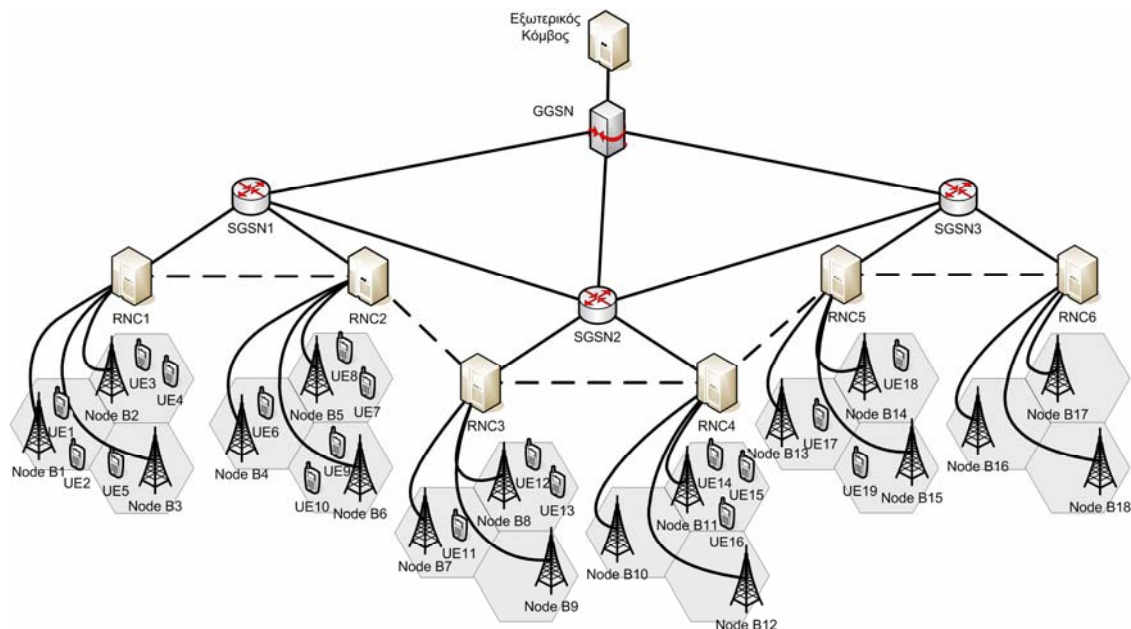
Το επόμενο βήμα της υλοποίησης ήταν η οργάνωση της όλης διαδικασίας. Για την ακρίβεια, δημιουργήθηκε ο μηχανισμός δρομολόγησης που επεξεργάζεται τις λίστες, αναλαμβάνει τη δημιουργία των αντιγράφων των πακέτων και στη συνέχεια προωθεί τα πακέτα προς τους κατάλληλους κόμβους. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι διαδικασίες μέσω των οποίων ένα UE μπορεί να ενταχθεί ή να αποχωρήσει από ένα multicast group. Τέλος, δημιουργήθηκαν οι μηχανισμοί που εκτελούν την ενημέρωση των λιστών όταν φαινόμενα κινητικότητας χρηστών, δηλαδή handovers και SRNS relocations λαμβάνουν χώρα.

Όσον αφορά στην επικοινωνία των κόμβων όπως επίσης και για τη μετάδοση των video δεδομένων, χρησιμοποιούνται μηνύματα Real-time Transport Protocol (RTP) και Real-time Transport Control Protocol (RTCP). Λόγω του γεγονότος ότι τα

πρωτόκολλα RTP και RTCP δεν είναι πλήρως λειτουργικά στην επέκταση EURANE, μία τροποποίησή τους έλαβε χώρα προκειμένου να μπορούν να υποστηρίξουν μεταφορά επιπλέον πληροφορίας. Παραδείγματα τέτοιου είδους πληροφορίας είναι ο τύπος της αίτησης, το αναγνωριστικό του multicast group (`m_group_id`) και το προφίλ του UE όσον αφορά το QoS.

### 7.3 Παράμετροι του Μοντέλου Εξομοίωσης

Το μοντέλο εξομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στην Εικόνα 34. Για την ακρίβεια, θεωρούμε ότι το εξεταζόμενο δίκτυο αποτελείται από τρεις κόμβους SGSN από τους οποίους καθένας εξυπηρετεί δύο κόμβους RNC. Τέλος, θεωρούμε ότι κάθε RNC ελέγχει τρεις Node Bs. Επειδή μία συμμετρική τοπολογία δεν είναι επιθυμητή, διαφοροποιούμε τον αριθμό των UEs που εξυπηρετούνται από τον ίδιο Node B. Για λόγους απλότητας θεωρούμε ότι υπάρχει μόνο ένα multicast group στο οποίο μπορούν να συμμετάσχουν τα UEs. Στην Εικόνα 34, υποτίθεται ότι όλα τα UEs που απεικονίζονται, ανήκουν στο εξεταζόμενο multicast group. Επομένως, τα UEs που ανήκουν στο group και τα οποία εξυπηρετούνται από τον ίδιο Node B κυμαίνονται από μηδέν έως τρία. Παρόλο που το πλήθος τους ανά κελί δεν είναι ρεαλιστικό (στην πραγματικότητα μπορούν να είναι πολύ περισσότερα), αρκεί για να δείξει την ορθότητα του προτεινόμενου μηχανισμού καθώς και τη σημαντική βελτίωση της απόδοσης που προσφέρει σε σχέση με τις πολλαπλές unicast μεταδόσεις.



**Εικόνα 34. Η εξεταζόμενη τοπολογία.**

Στο μοντέλο εξομοίωσης η μετάδοση των δεδομένων πάνω από τους ασύρματους συνδέσμους γίνεται με χρήση διαφόρων τύπων καναλιών. Για την

ακρίβεια στα πειράματα χρησιμοποιούνται κανάλια DCH, FACH καθώς και HS-DSCH. Όσον αφορά στην ακολουθία δεδομένων video, αυτή είναι κωδικοποιημένη σύμφωνα με το πρότυπο ITU-H.263 [46]. Το video trace που χρησιμοποιείται έχει ληφθεί από το [47] και θεωρούμε ότι εισάγεται στο δίκτυο PLMN από έναν εξωτερικό κόμβο ο οποίος συνδέεται με τον κόμβο GGSN. Υποθέτουμε ότι ο συγκεκριμένος εξωτερικός κόμβος είναι ένας media server που μεταδίδει κίνηση video προς τα UEs που ανήκουν στο multicast group. Για τη μετάδοση των δεδομένων video χρησιμοποιείται κίνηση RTP. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι με τη χρήση RTCP αναφορών, ο κόμβος GGSN έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει χρήσιμες στατιστικές πληροφορίες. Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι το bit-rate της εισερχόμενης κίνησης video είναι 64Kbps ενώ το μέγεθος πακέτου είναι 512 bytes.

Όσον αφορά τα πειράματα, η προσοχή εστιάζεται στη φάση Data Transfer, δηλαδή την κύρια φάση κατά την παροχή υπηρεσίας MBMS. Επιπλέον, εξετάζονται διάφορα σενάρια κινητικότητας των χρηστών προκειμένου να καλυφθούν όλες οι διαφορετικές περιπτώσεις. Επομένως, εξετάζεται η περίπτωση ενός inter-Node B / inter-RNS / intra-SGSN handover ακολουθούμενου από μία intra-SGSN SRNS relocation, καθώς και η περίπτωση ενός inter-Node B / inter-RNS / inter-SGSN handover με μία inter-SGSN SRNS relocation να ακολουθεί. Επίσης, εξετάζεται η συμπεριφορά του μηχανισμού κατά την multicast μετάδοση δεδομένων πάνω από την Iur διεπαφή στην περίπτωση όπου πολλαπλά handovers συμβαίνουν από τον ίδιο αρχικό RNC προς τον ίδιο τελικό. Τέλος, μελετάται η συμπεριφορά του μηχανισμού ανάλογα με τον τύπο καναλιού μεταφοράς (FACH, HS-DSCH και DCH) που χρησιμοποιείται στο UTRAN.

## 7.4 Παράδειγμα του Κώδικα Εξομοίωσης

Στη συγκεκριμένη παράγραφο θα γίνει μία περιγραφή ενός ενδεικτικού κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων εξομοίωσης. Για την ακρίβεια, θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί ένα αρχείο OTcl script το οποίο προσδιορίζει τη βασική τοπολογία και τα σημαντικότερα σενάρια με τα οποία εξομοιώθηκε και αξιολογήθηκε ο προτεινόμενος μηχανισμός.

Στη συνέχεια παρατίθεται ο κώδικας με τις απαραίτητες επεξηγήσεις.

```
Global ns
set ns [new Simulator]
set f [open test.tr w]
$ns trace-all $f
puts " Simulation started."

Proc finish {} {
global ns f
$ns flush-trace
```

```

close $f
puts " Simulation ended."
Exit 0
}

proc inter_RNS_handover { moving_ue serving_rnc drift_rnc } {
# Declare global variables
global ns f
global rnc sue
global rtp_rnc rtp_ue psize
global num_of_UEs sgsns_per_ggsn rncs_per_sgsn

# Declare new UE.
$ns node-config -UmtsNodeType ue \
-baseStation $bs($drift_rnc) \
-radioNetworkController $rnc($drift_rnc)

set ue($num_of_UEs) [$ns create-Umtsnode]
# Declare new agent on UE
set rtp_ue($num_of_UEs) [new Agent/RTP]
$rtp_ue($num_of_UEs) set fid_ 0
$rtp_ue($num_of_UEs) set packetSize_ $psize
$rtp_ue($num_of_UEs) set rate_ 6400Kbps
# Attach the agent to the new UE and connect it to agent of RNC.
$ns attach-agent $ue($num_of_UEs) $rtp_ue($num_of_UEs)
$ns connect $rtp_rnc($drift_rnc) $rtp_ue($num_of_UEs)
set dch($num_of_UEs) [$ns create-dch $ue($num_of_UEs)
$rtp_ue($num_of_UEs)]
# Calculate the new node address of the moving UE.
Set new_ue_addr [expr {2*$sgsns_per_ggsn*$rncs_per_sgsn + +
$sgsns_per_ggsn + $num_of_UEs + 2}]
$rtp_rnc($serving_rnc) inter_RNS_handover $moving_ue $new_ue_addr
$drift_rnc
$ue($num_of_UEs) trace-inlink $f 2
incr num_of_UEs
}

```

Ο παραπάνω κώδικας κάνει τις απαραίτητες αρχικοποιήσεις στον εξομοιωτή. Έπειτα, ορίζονται οι δύο procedures που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια. Πρόκειται

για τις procedures `finish` και `inter_RNS_handover`. Η πρώτη procedure εκτελεί τις απαραίτητες διαδικασίες κατά το πέρας της εξομοίωσης. Από την άλλη πλευρά, η procedure `inter_RNS_handover` εκτελείται όταν μία εντολή για `soft handover` δοθεί στον εξομοιωτή.

```
##### DECLARATIONS #####
# Declare SGSN per GGSN ratio.
Set sgsns_per_ggsn 3

# Declare RNC per GGSN ratio.
Set rncs_per_sgsn 2

# Declare UE per RNC ratio.
Set UEs_per_rnc 4

# Declare packet size of rtp traffic
set psize 512
```

Στο σημείο αυτό δίνονται στο πρόγραμμα κάποιες παράμετροι του συστήματος που θα εξομοιωθεί. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίζεται ένα δίκτυο όπου χρησιμοποιούνται τρεις κόμβοι SGSN ανά GGSN, δύο κόμβοι RNC ανά SGSN και τέσσερα UEs ανά RNC. Επίσης, το μέγεθος πακέτου ορίζεται στα 512 bytes. Στον κώδικα που ακολουθεί, γίνεται η δημιουργία των κόμβων ανάλογα με τις παραμέτρους που δόθηκαν.

```
##### NODE CREATION #####
# Calculate the number of nodes.
Set num_of_rncs [expr {$sgsns_per_ggsn * $rncs_per_sgsn}]
set num_of_UEs [expr {$num_of_rncs * $UEs_per_rnc}]

# Create RNC's.
$ns node-config -UmtsNodeType rnc
for {set I 0} {$i < $num_of_rncs} {incr i} {
  set rnc($i) [$ns create-Umtsnode]
  # Create Iur interfaces between RNC's.
  if { $i > 0 } {
    $ns duplex-link $rnc([expr {$i-1}]) $rnc($i) 622Mbit 0.4ms
    DropTail 1000
  }
}
```

Στο σημείο αυτό δημιουργούνται οι κόμβοι RNC καθώς και οι μεταξύ τους διεπαφές Iur. Όσον αφορά στις διεπαφές Iur, ορίζεται ο μέσος ρυθμός μετάδοσης προς τις δύο κατευθύνσεις (622 Mbps), η καθυστέρηση (0,4 msec), ο τύπος της ουράς που χρησιμοποιείται (DropTail) καθώς και το μέγεθός της ουράς σε πακέτα (1000).

```
# Create Node B's.
$ns node-config -UmtsNodeType bs \
-downlinkBW 32kbs \
-downlinkTTI 10ms \
-uplinkBW 32kbs \
-uplinkTTI 10ms
for {set I 0} {$i < $num_of_rncs} {incr i} {
  set bs($i) [$ns create-Umtsnode]
  # Create Iub interface between RNC's and Node B's.
  $ns setup-Iub $bs($i) $rnc($i) 622Mbit 622Mbit 15ms 15ms
  DummyDropTail 2000
}
```

Στον παραπάνω κώδικα προσδιορίζονται οι Node Bs και οι διεπαφές Iub μεταξύ των Node Bs και των RNCs.

```
# Create UE's
set j 0
set k 0
for {set I 0} {$i < $num_of_UEs} {incr i} {
  if {$j == $UEs_per_rnc} then {
    set j 0
  }
  if {$j == 0} then {
    $ns node-config -UmtsNodeType ue \
-baseStation $bs($k) \
-radioNetworkController $rnc($k)
    incr k
  }

  incr j
  set ue($i) [$ns create-Umtsnode]
}
```

Η δημιουργία της τοπολογίας του UTRAN ολοκληρώνεται σε αυτό το σημείο με τη δημιουργία των UEs και την αντιστοίχισή τους σε ένα ζεύγος κόμβων Node B / RNC με τους οποίους είναι συνδεδεμένα.

```
# Create SGSN's.
set k 0
for {set I 0} {$i < $sgsns_per_ggsn} {incr i} {
  set sgsn($i) [$ns node]
  for {set j 0} {$j < $rnbs_per_sgsn} {incr j} {
    $ns duplex-link $rnc($k) $sgsn($i) 622Mbit 0.4ms DropTail 1000
  }
  incr k
}

# Create GGSN.
Set ggsn [$ns node]

for {set I 0} {$i < $sgsns_per_ggsn} {incr i} {
  # Create Gn interface between GGSN and SGSN's.
  $ns duplex-link $sgsn($i) $ggsn 622Mbit 10ms DropTail 1000
  # Create Gn interface between SGSN's.
  if {$i != 0} then {
    $ns duplex-link $sgsn([expr {$i-1}]) $sgsn($i) 622Mbit 10ms
    DropTail 1000
  }
}
```

Στο πιο πάνω τμήμα του OTcl script δημιουργείται εξ' ολοκλήρου το CN. Για την ακρίβεια ορίζονται οι κόμβοι SGSN καθώς και οι διεπαφές Iu που τους διασυνδέουν με τους RNCs. Στη συνέχεια, δημιουργείται ο κόμβος GGSN καθώς και οι διεπαφές Gn.

```
# Create external node.
Set ext_node [$ns node]

$ns duplex-link $ggsn $ext_node 10Mbit 35ms DropTail 1000
```

Η διαδικασία της δημιουργίας της εξεταζόμενης τοπολογίας κλείνει με τον προσδιορισμό του εξωτερικού κόμβου ο οποίος διοχετεύει τη multicast κίνηση στο κινητό δίκτυο. Επίσης, δημιουργείται ο σύνδεσμος που διασυνδέει το δίκτυο με τον εξωτερικό κόμβο (διεπαφή Gi).

```

##### AGENT CREATION #####
# Create RTP agent in external node.
Set rtp_ext [new Agent/RTP]
$rtp_ext set fid_ 0
$rtp_ext set packetSize_ $psize
$rtp_ext set rate_ 6400Kbps
$rtp_ext set sgsns_per_ggsn_ $sgsns_per_ggsn
$rtp_ext set rncs_per_sgsn_ $rncs_per_sgsn
$rtp_ext set UEs_per_rnc_ $UEs_per_rnc

$ns attach-agent $ext_node $rtp_ext

# Create RTP agent in GGSN.
Set rtp_ggsn [new Agent/RTP]
$rtp_ggsn set fid_ 0
$rtp_ggsn set packetSize_ $psize
$rtp_ggsn set rate_ 6400Kbps
$rtp_ggsn set sgsns_per_ggsn_ $sgsns_per_ggsn
$rtp_ggsn set rncs_per_sgsn_ $rncs_per_sgsn
$rtp_ggsn set UEs_per_rnc_ $UEs_per_rnc

$ns attach-agent $ggsn $rtp_ggsn

$ns connect $rtp_ext $rtp_ggsn

# Create RTP agents in SGSNs.
For {set I 0} {$i < $sgsns_per_ggsn} {incr i} {
set rtp_sgsn($i) [new Agent/RTP]
$rtp_sgsn($i) set fid_ 0
$rtp_sgsn($i) set packetSize_ $psize
$rtp_sgsn($i) set rate_ 6400Kbps
$rtp_sgsn($i) set sgsns_per_ggsn_ $sgsns_per_ggsn
$rtp_sgsn($i) set rncs_per_sgsn_ $rncs_per_sgsn
$rtp_sgsn($i) set UEs_per_rnc_ $UEs_per_rnc

$ns attach-agent $sgsn($i) $rtp_sgsn($i)

$ns connect $rtp_ggsn $rtp_sgsn($i)

```

```

}

# Create RTP agents in RNCs.
Set k 0;
set rtp_rnc($k) [new Agent/RTP]
for {set I 0} {$i < $sgsns_per_ggsn} {incr i} {
  for {set j 0} {$j < $rncs_per_sgsn} {incr j} {
    set rtp_rnc($k) [new Agent/RTP]
    $rtp_rnc($k) set fid_ 0
    $rtp_rnc($k) set packetSize_ $psize
    $rtp_rnc($k) set rate_ 6400Kbps
    $rtp_rnc($k) set sgsns_per_ggsn_ $sgsns_per_ggsn
    $rtp_rnc($k) set rncs_per_sgsn_ $rncs_per_sgsn
    $rtp_rnc($k) set UEs_per_rnc_ $UEs_per_rnc

    $ns attach-agent $rnc($k) $rtp_rnc($k)

    $ns connect $rtp_sgsn($i) $rtp_rnc($k)

  }
}

incr k;
}

# Connect RNC agents over the Iur interfaces.
For {set I 0} {$i < $num_of_rncs} {incr i} {
  if {$i > 0} {
    $ns connect $rtp_rnc([expr {$i-1}]) $rtp_rnc($i)
  }
}

# Create RTP agents in UEs.
Set k 0;

for {set I 0} {$i < $num_of_rncs} {incr i} {
  for {set j 0} {$j < $UEs_per_rnc} {incr j} {
    set rtp_ue($k) [new Agent/RTP]
    $rtp_ue($k) set fid_ 0
    $rtp_ue($k) set packetSize_ $psize

```

```

$rtpt_ue($k) set rate_ 6400Kbps
$rtpt_ue($k) set sgns_per_ggsn_ $sgns_per_ggsn
$rtpt_ue($k) set rncs_per_sgsn_ $rncs_per_sgsn
$rtpt_ue($k) set UEs_per_rnc_ $UEs_per_rnc

$ns attach-agent $ue($k) $rtpt_ue($k)

$ns connect $rtpt_rnc($i) $rtpt_ue($k)

incr k;
}
}

```

Ολόκληρο το τμήμα του κώδικα που προηγήθηκε ασχολείται με τη δημιουργία των traffic agents στους κόμβους του δικτύου. Οι traffic agents είναι οντότητες της εξομοίωσης οι οποίες διοχετεύουν ή δέχονται την κίνηση στο εξεταζόμενο δίκτυο. Οι agents που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη περίπτωση υλοποιούν το πρωτόκολλο RTP. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, είναι ότι το πρωτόκολλο RTP ενδείκνυται για τη μετάδοση πολυμεσικής κίνησης.

```

# Declare RLC channels.
$ns node-config -llType UMTS/RLC/AM \
-downlinkBW 384kbs \
-uplinkBW 64kbs \
-downlinkTTI 10ms \
-uplinkTTI 20ms

for {set I 0} {$i < $num_of_UEs} {incr i} {
set dch($i) [$ns create-dch $ue($i) $rtpt_ue($i)]
}

```

Στο σημείο αυτό δηλώνονται τα RLC κανάλια που χρησιμοποιούνται στην εξομοίωση. Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 7.3, ένας από τους τύπους καναλιών που χρησιμοποιούνται, είναι τα αφιερωμένα κανάλια DCH. Τα συγκεκριμένα κανάλια δηλώνονται με τα ρεαλιστικά χαρακτηριστικά ενός πραγματικού αφιερωμένου καναλιού σε ένα κινητό δίκτυο τρίτης γενιάς. Για την ακρίβεια, η χωρητικότητά τους δηλώνεται στα 384 Kbps για τον κατερχόμενο σύνδεσμο, 64 Kbps για τον ανερχόμενο, ενώ οι αντίστοιχες καθυστερήσεις δηλώνονται 10 και 20 msec αντίστοιχα.

```

##### TRAFFIC CREATION #####
# Read the video trace file:

```

```

set trace_file64 [new Tracefile]
$trace_file64 filename video64.dat

# Read the video trace file:
set video64 [new Application/Traffic/Trace]
$video64 attach-tracefile $trace_file64

$video64 attach-agent $rtp_ext

# Declare the session.
Set session [new Session/RTP]
$session set uniq_srcid_ 5

$rtp_ext session $session
$rtp_ggsn session $session

```

Το τελευταίο στάδιο πριν από το χρονοπρογραμματισμό της εξομοίωσης, είναι ο προσδιορισμός της κίνησης. Στον παραπάνω κώδικα, ορίζεται η κίνηση της εξομοίωσης, η οποία είναι κίνηση video με ρυθμό μετάδοσης 64 Kbps. Η κίνηση αυτή ξεκινά από τον εξωτερικό κόμβο. Στη συνέχεια, διοχετεύεται μέσω της διεπαφής Gi στον κόμβο GGSN. Από τον κόμβο GGSN και στο εξής, η προώθηση της κίνησης γίνεται από τον προτεινόμενο μηχανισμό ο οποίος έχει υλοποιηθεί και ενσωματωθεί στον εξομοιωτή.

```

# Set the start/stop timing.
$ns at 0.0 "$video64 start"
$ns at 1.0 "$rtp_ue(0) join-mgroup"
$ns at 1.0 "$rtp_ue(1) join-mgroup"
$ns at 21.0 "inter_RNS_handover 8 0 1"
$ns at 41.0 "$rtp_rnc(0) relocation 28"
$ns at 51.0 "$rtp_ue(4) join-mgroup"
$ns at 55.0 "$rtp_ue(1) leave-mgroup"
$ns at 61.0 "inter_RNS_handover 12 1 2"
$ns at 81.0 "$rtp_rnc(1) relocation 29" $ns at 101.9 "$video64
stop"
$ns at 102.0 «finish»
$ns run

```

Το συγκεκριμένο τμήμα του κώδικα εξομοίωσης καθορίζει το χρονοπρογραμματισμό της εξομοίωσης. Όπως φαίνεται, τη χρονική στιγμή μηδέν η

διοχέτευση της κίνησης video ξεκινά. Στο σημείο αυτό κανένα UE δεν ανήκει στο multicast group και κατά συνέπεια η κίνηση video δεν προωθείται από το GGSN. Στη συνέχεια, κάποια UEs (για την ακρίβεια οι agents κάποιων UEs) ζητούν να συμμετάσχουν στο multicast group. Όταν η φάση του Joining ολοκληρωθεί, οι χρήστες αυτοί ξεκινούν να λαμβάνουν τη μεταδιδόμενη multicast κίνηση. Στη συνέχεια κάποια γεγονότα handover και SRNS relocation λαμβάνουν χώρα, όπως επίσης και μία αποχώρηση από το multicast group. Πιο αναλυτικά, για την περίπτωση του handover, δίνεται η εντολή `inter_RNS_handover` στην οποία προσδιορίζεται ποιο είναι το UE για το οποίο εκτελείται το συγκεκριμένο handover, καθώς και το αρχικό και τελικό RNS. Όσον αφορά τη διαδικασία SRNS relocation στην εντολή που δίνεται προσδιορίζεται ο SRNC ο οποίος ζητά την SRNS relocation, καθώς και το σχετικό UE. Τελικά, στον κώδικα δίνεται η εντολή τερματισμού της εξομοίωσης, αφού αυτή διαρκέσει συνολικά 102 sec.

Σκοπός της παραπάνω περιγραφής ήταν να παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο έγιναν οι εξομοιώσεις. Τα αποτελέσματα των εξομοιώσεων θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο. Ο πλήρης κώδικας που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα, όπως και οι επεκτάσεις που πραγματοποιήθηκαν στον κώδικα του εξομοιωτή προκειμένου να ενσωματωθεί ο προτεινόμενος μηχανισμός, είναι διαθέσιμα.

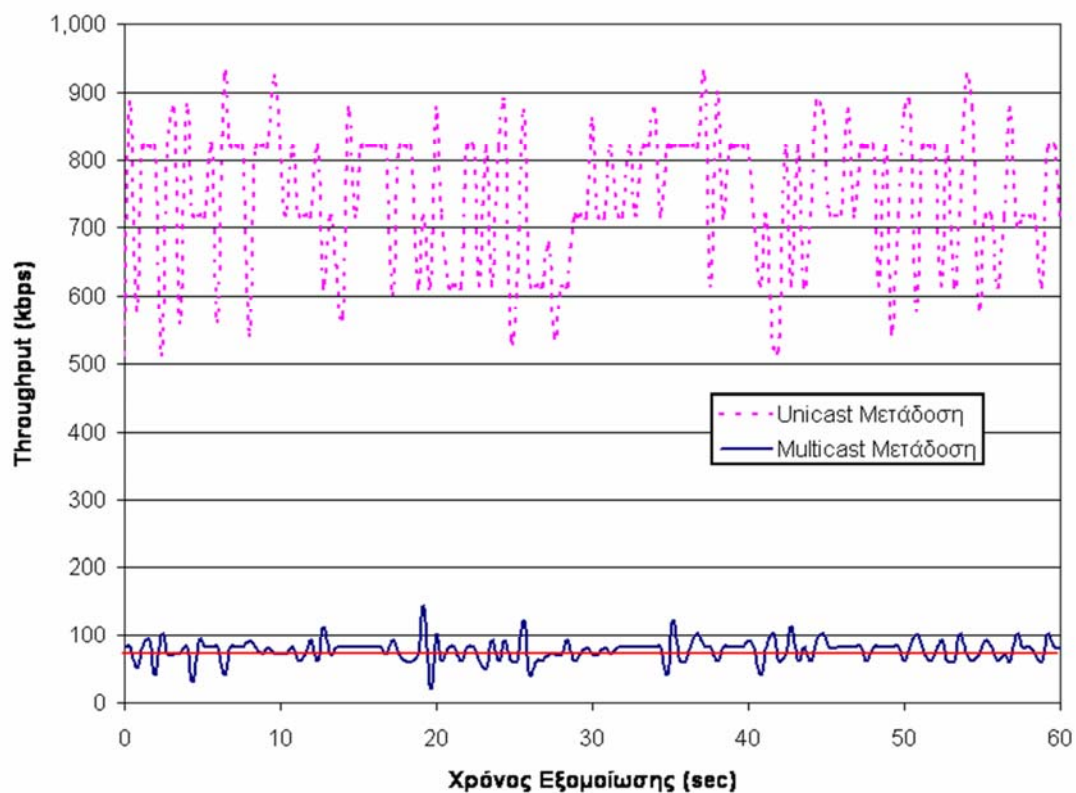


## 8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

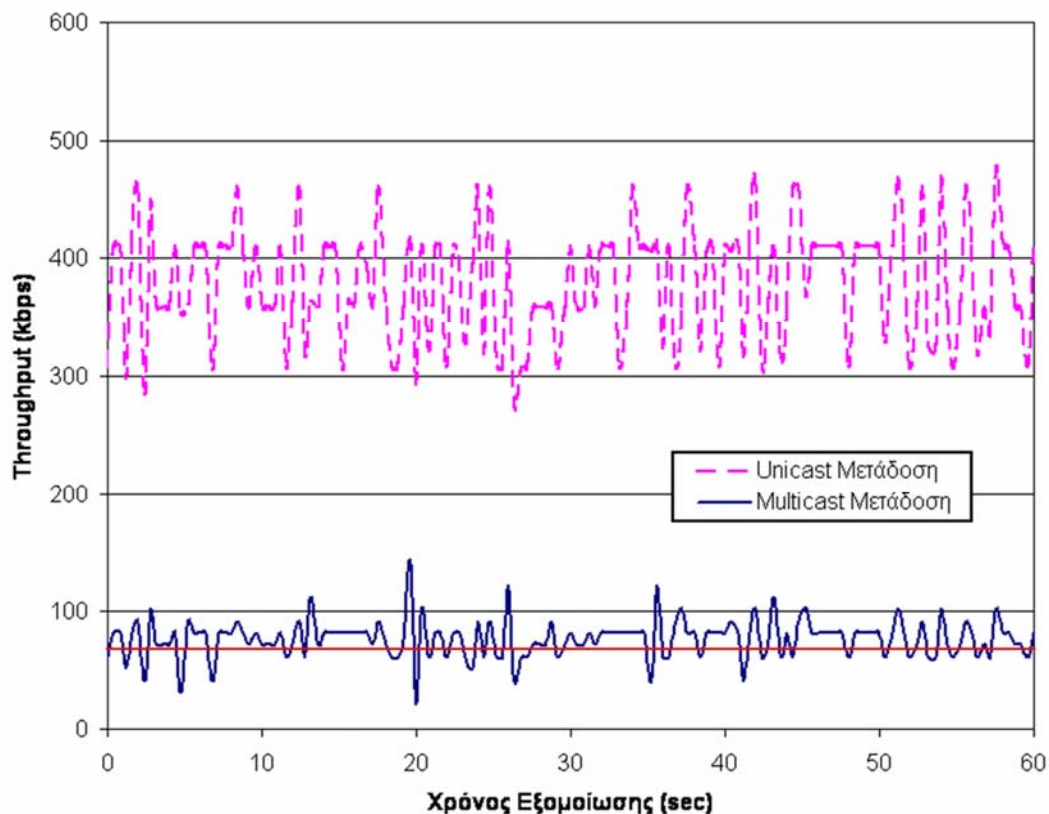
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα που ελήφθησαν από την εξομοίωση. Οι δύο παράμετροι που θα εξεταστούν είναι η αποδοτικότητα του multicast μηχανισμού μετάδοσης πακέτων καθώς και η ορθότητα του σε σενάρια κινητικότητας χρηστών όπου handovers και SRNS relocations λαμβάνουν χώρα.

### 8.1 Αποδοτικότητα

Προκειμένου να εκτιμηθεί η αποδοτικότητα του προτεινόμενου μηχανισμού, η στατιστική παράμετρος στην οποία εστιάζεται η προσοχή είναι η ρυθμαπόδοση (throughput). Πιο συγκεκριμένα, καταρχάς υπολογίζεται το throughput στους συνδέσμους του δικτύου UMTS όταν αυτό χρησιμοποιεί το multicast μηχανισμό για τη μετάδοση των δεδομένων video. Στη συνέχεια μεταδίδουμε την ίδια κίνηση video στο ίδιο δίκτυο UMTS χρησιμοποιώντας την απλοϊκή τεχνική του πολλαπλού unicasting. Μετά το τέλος του πειράματος γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο τεχνικών όσον αφορά το throughput πάνω από τον ίδιο σύνδεσμο.



Εικόνα 35. Το throughput στο σύνδεσμο GGSN-SGSN1.



**Εικόνα 36. Το throughput στο σύνδεσμο SGSN1-RNC1.**

Η Εικόνα 35 και η Εικόνα 36 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των πειραμάτων για τους συνδέσμους GGSN-SGSN1 και SGSN1-RNC1 αντίστοιχα, και για την τοπολογία δικτύου που απεικονίζεται στην Εικόνα 34. Στην πρώτη περίπτωση οι αποδέκτες των multicast πακέτων είναι δέκα UEs (UE1 έως UE10) τα οποία εξυπηρετούνται από τον κόμβο SGSN1, ενώ στη δεύτερη περίπτωση οι αποδέκτες είναι πέντε UE (UE1 έως UE5) τα οποία βρίσκονται στο RNS που ελέγχεται από τον RNC1.

Τα διαγράμματα απεικονίζουν τα δεδομένα που συνελέγησαν. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, το throughput που προκύπτει κατά τη multicast μετάδοση δεδομένων είναι περίπου το ίδιο με το θεωρητικό bit-rate (64 Kbps) το οποίο αντιπροσωπεύεται από την ευθεία γραμμή που υπάρχει στα διαγράμματα πάνω στην αντίστοιχη τιμή. Στην πραγματικότητα η ίδια παρατήρηση ισχύει όχι μόνο για τους εξεταζόμενους συνδέσμους, αλλά για όλους τους συνδέσμους του δικτύου πάνω από τους οποίους γίνεται μετάδοση δεδομένων. Αυτό συμβαίνει διότι, κατά τη multicast μετάδοση, τα πακέτα μεταδίδονται μόνο μία φορά πάνω από κάθε σύνδεσμο του δικτύου. Το γεγονός αυτό καθιστά, όσον αφορά στις αποστολές πακέτων, τη multicast μετάδοση πολύ πιο οικονομική σε σχέση με χρήση πολλαπλών unicast μεταδόσεων.

Η επόμενη παρατήρηση προέρχεται από τη σύγκριση των διαγραμμάτων για τη multicast και τη unicast μετάδοση του video. Στις παραπάνω εικόνες μπορεί κανείς να

διακρίνει ότι το throughput για τις πολλαπλές unicast μεταδόσεις είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό για τον multicast μηχανισμό. Στη unicast τεχνική, τα ίδια πακέτα μεταδίδονται περισσότερες από μία φορές πάνω από κάθε σύνδεσμο με αποτέλεσμα αύξηση του throughput. Στην περίπτωση της multicast τεχνικής, μόνο ένα αντίγραφο κάθε πακέτου μεταδίδεται σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου και, επομένως, το throughput περιορίζεται. Στο σημείο αυτό φαίνεται η χρησιμότητα της multicast τεχνικής προκειμένου να αποφευχθούν συμφορήσεις του δικτύου οι οποίες θα ήταν πιθανό να συμβούν κατά τη χρήση πολλαπλών unicast μεταδόσεων.

Είναι αναμενόμενο ότι το μέγεθος της απόστασης των δύο γραφικών παραστάσεων (unicast και multicast) που απεικονίζεται στις παραπάνω εικόνες, εξαρτάται από τον πλήθος των μελών του multicast group στα οποία απευθύνεται η κίνηση. Για παράδειγμα, θεωρήστε την Εικόνα 35 όπου φαίνεται το throughput στο σύνδεσμο μεταξύ του κόμβου GGSN και του SGSN1. Σε αυτή την περίπτωση, παρατηρούμε ότι το throughput κατά τη unicast μετάδοση είναι περίπου δέκα φορές μεγαλύτερο από το throughput στον ίδιο σύνδεσμο όταν χρησιμοποιείται multicast μετάδοση. Αυτό το αποτέλεσμα είναι εύλογο και προβλέψιμο καθώς το συνολικό πλήθος των UEs που ανήκουν στο multicast group και εξυπηρετούνται από τον SGSN1 είναι δέκα. Αυτό σημαίνει ότι η κίνηση πάνω από αυτόν το σύνδεσμο κατά τη unicast μετάδοση είναι περίπου δέκα επί το θεωρητικό bit-rate του video. Με ανάλογο τρόπο μπορεί να αναλυθεί το εύρος της απόστασης των δύο γραμμών (throughput στη unicast και στη multicast μετάδοση) στην Εικόνα 36. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο αριθμός των UEs που ελέγχονται από τον RNC1 είναι πέντε.

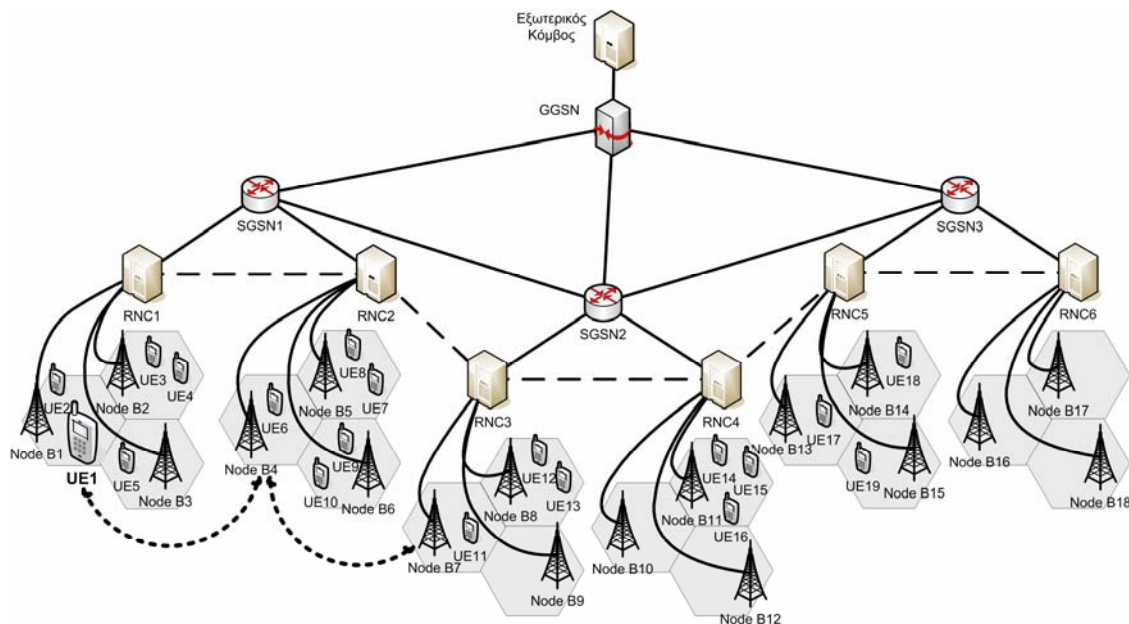
## 8.2 Κινητικότητα Χρηστών

Στις παρακάτω παραγράφους εξετάζεται μέσω εξομοιώσεων η συμπεριφορά του μηχανισμού σε διάφορα σενάρια κινητικότητας χρηστών. Οι εξομοιώσεις σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να εξεταστεί ο προτεινόμενος μηχανισμός από δύο άψεις. Η μία άποψη είναι η εξασφάλιση της ορθότητας του μηχανισμού ενώ η άλλη άποψη είναι η βελτίωση της απόδοσης κατά τη multicast μετάδοση δεδομένων πάνω από τη διεπαφή Iur.

### 8.2.1 Έλεγχος της Ορθότητας

Ο έλεγχος της ορθότητας έγκειται στο να ελεγχθεί η εξασφάλιση της συνεκτικότητας της παροχής υπηρεσίας κατά την κινητικότητα των χρηστών. Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκε και εξομοιώθηκε το παρακάτω πείραμα: Καταρχάς εξακολουθούμε να εξετάζουμε την προηγούμενη τοπολογία δικτύου UMTS. Υποθέτουμε την ορισμένη κίνηση video των 64 Kbps που περιγράψαμε προηγουμένως και η οποία απευθύνεται στο εξεταζόμενο multicast group. Θεωρούμε ότι η παροχή υπηρεσίας MBMS βρίσκεται στη φάση Data Transfer. Σε πρώτη φάση, υποθέτουμε ότι το UE1 βρίσκεται στο κελί που εξυπηρετείται από τον Node B1 (όπως φαίνεται στην Εικόνα 37). Μετά από είκοσι δευτερόλεπτα λήψης δεδομένων video, το UE1 εκτελεί ένα handover προς το κελί που εξυπηρετείται από τον Node B4 (καμπύλη

διακεκομμένη γραμμή στην Εικόνα 37). Προφανώς πρόκειται για ένα inter-Node B / inter-RNS / intra-SGSN handover που λαμβάνει χώρα. Στο σημείο αυτό τα video πακέτα μεταδίδονται προς το UE1 μέσω της διεπαφής Iur που συνδέει τον RNC1 με τον RNC2. Στα σαράντα δευτερόλεπτα εξομοίωσης, μία intra-SGSN SRNS relocation αιτείται από τον RNC1. Όταν η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί, ο RNC2 είναι ο νέος SRNC του UE1 και η διεπαφή Iur αποδεσμεύεται.

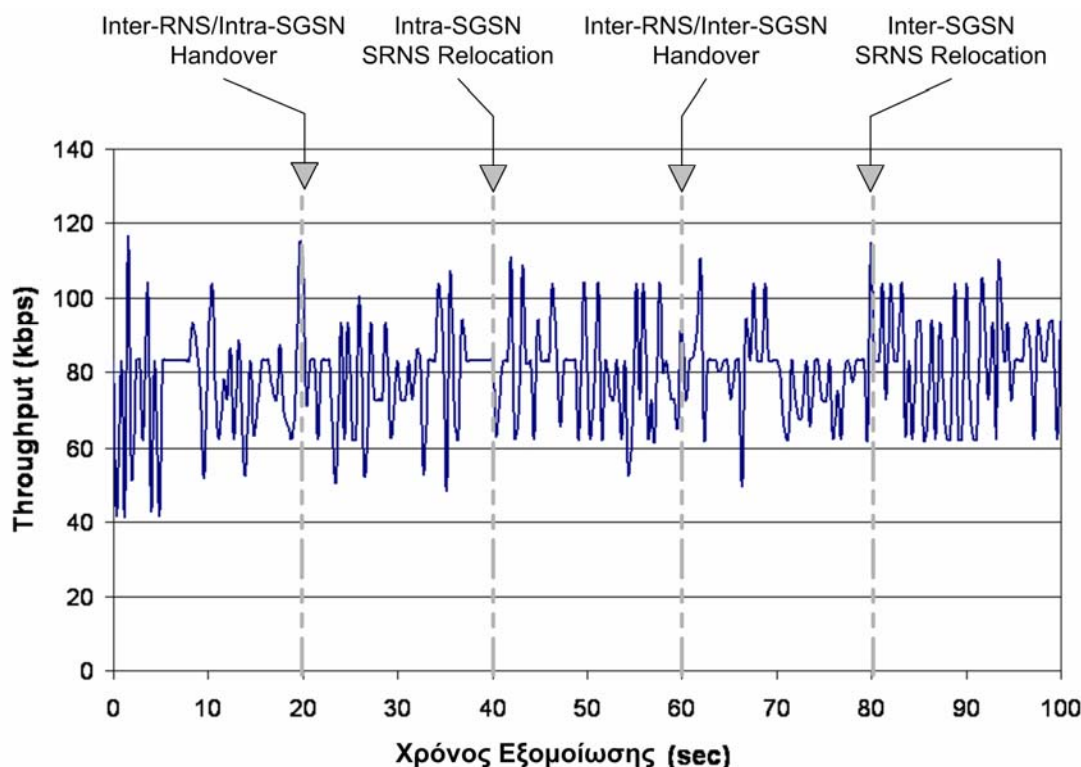


**Εικόνα 37. Ο έλεγχος της ορθότητας κατά την κινητικότητα χρηστών.**

Στη συνέχεια του πειράματος, στα εξήντα δευτερόλεπτα εξομοίωσης, ένα νέο handover λαμβάνει χώρα. Όπως δείχνει και η Εικόνα 37, το UE1 μετακινείται από το κελί που ελέγχεται από τον Node B4 προς το κελί που ελέγχεται από τον Node B7. Συνεπώς, αυτή τη φορά πρόκειται για ένα inter-Node B / inter-RNS / inter-SGSN handover που το UE1 εκτελεί από τον RNC2 προς τον RNC3. Στο σημείο αυτή η διεπαφή Iur που διασυνδέει τον RNC2 με τον RNC3 αναλαμβάνει να μεταδώσει τα δεδομένα που απευθύνονται προς το UE1. Τελικά, στα ογδόντα δευτερόλεπτα, μία δεύτερη SRNS relocation ζητείται. Αυτή τη φορά ο αιτών είναι ο κόμβος RNC2 και πρόκειται για μία inter-SGSN SRNS relocation. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας relocation η διεπαφή Iur μεταξύ των RNC2 και RNC3 αποδεσμεύεται και ο RNC3 γίνεται ο SRNC του UE1. Η εξομοίωση σταματά στα εκατό δευτερόλεπτα και ενώ το UE1 βρίσκεται στο κελί που ελέγχεται από τον Node B7.

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, υπολογίζεται το bit rate των δεδομένων video που λαμβάνεται από το UE1. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στην Εικόνα 38. Όπως μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε, το bit-rate των δεδομένων που λαμβάνονται από το UE1 είναι σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας που περιγράφηκε προηγουμένως. Συνεπώς, η συνεκτικότητα της παροχής υπηρεσίας εξασφαλίζεται και το UE1 λαμβάνει διαρκώς δεδομένα καθώς διέρχεται από

διαφορετικά RNSs και καθώς εξυπηρετείται από διεπαφές Iur. Το γεγονός αυτό μπορεί επίσης να διαπιστωθεί από τα αρχεία log που προκύπτουν ως έξοδος της εξομοίωσης. Στα αρχεία αυτά φαίνεται ότι καμία απώλεια πακέτου δε συμβαίνει, καθώς όλα τα πακέτα που εισέρχονται στο PLMN και απευθύνονται στο εξεταζόμενο multicast group, λαμβάνονται από το UE1.



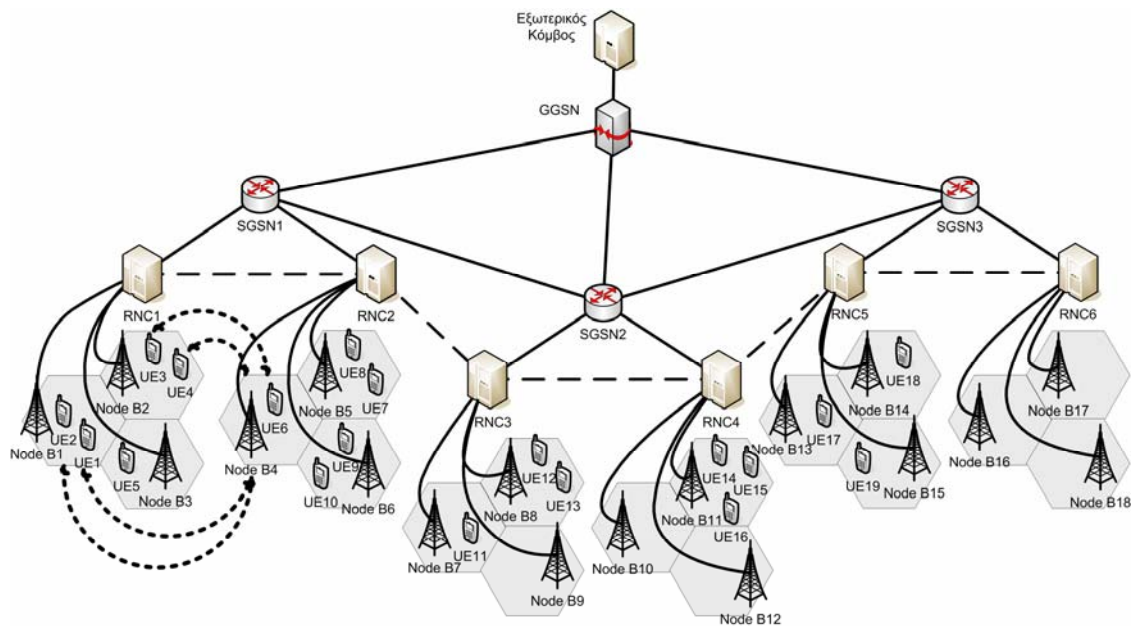
**Εικόνα 38. Το bit-rate της λήψης δεδομένων από το UE1.**

### 8.2.2 Αποδοτικότητα στη Διεπαφή Iur

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστεί ένα πείραμα εξομοίωσης το οποίο θα παρουσιάσει τη βελτίωση της απόδοσης που προσφέρει ο προτεινόμενος μηχανισμός λόγω της εισαγωγής της multicast μετάδοσης δεδομένων πάνω από τη διεπαφή Iur. Στο πείραμα αυτό πολλαπλά inter-RNS handovers λαμβάνουν χώρα από τον ίδιο αρχικό RNC προς τον ίδιο τελικό RNC. Για το σκοπό αυτό θεωρούμε την τοπολογία δικτύου που έχει εξεταστεί στις προηγούμενες περιπτώσεις και υποθέτουμε ότι η παροχή υπηρεσίας MBMS βρίσκεται στη φάση Data Transfer. Εστιάζουμε σε τέσσερα από τα UEs που βρίσκονται στο RNS που ελέγχεται από τον RNC1 (έστω ότι είναι τα UE1, UE2, UE3 και UE4). Αυτά τα UEs είναι μέλη του multicast group στο οποίο απευθύνεται η εισερχόμενη κίνηση video. Κατά τη διάρκεια της εξομοίωσης, κάθε ένα από τα τέσσερα εξεταζόμενα UEs εκτελεί ένα inter-RNS handover προς κελιά που ελέγχονται από τον RNC2 (Εικόνα 39). Τα handovers λαμβάνουν χώρα τις χρονικές στιγμές είκοσι, σαράντα, εξήντα και ογδόντα δευτερολέπτων εξομοίωσης και δεν

ακολουθούνται από διαδικασίες SRNS relocation. Η εξομοίωση έχει συνολική διάρκεια εκατό δευτερολέπτων.

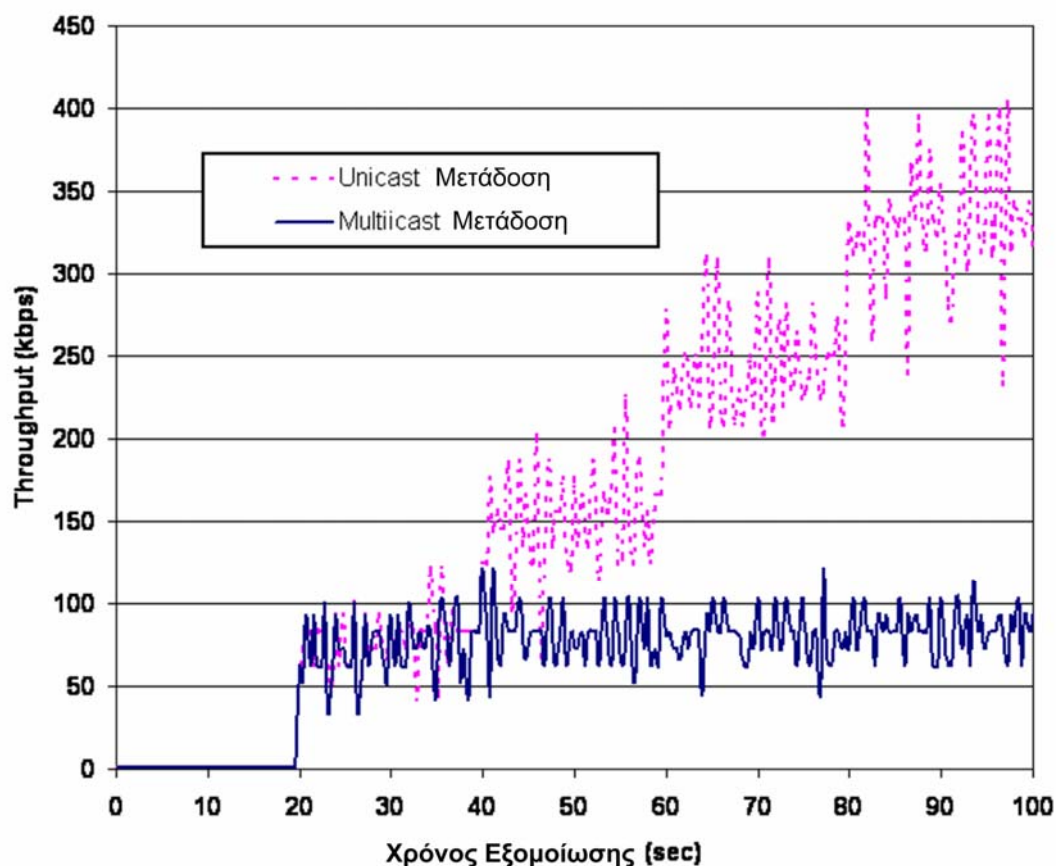
Η Εικόνα 39 παρουσιάζει σχηματικά το εξεταζόμενο σενάριο κινητικότητας χρηστών. Οι μετακινήσεις των UEs απεικονίζονται με διακεκομμένες καμπύλες γραμμές.



**Εικόνα 39. Πολλαπλά inter-RNS handovers από RNC1 προς RNC2.**

Κατά τη διάρκεια της εξομοίωσης υπολογίζεται το throughput στη διεπαφή Iur που διασυνδέει τον κόμβο RNC1 με τον RNC2. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα της εξομοίωσης συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που λαμβάνονται όταν στην τοπολογία του δικτύου UMTS που εξετάζουμε, χρησιμοποιηθούν πολλαπλές unicast μεταδόσεις. Η Εικόνα 40 απεικονίζει γραφικά τη σύγκριση των δύο τεχνικών (multicast και unicast μεταδόσεων).

Όπως φαίνεται από τη γραφική απεικόνιση που παρουσιάζεται στην Εικόνα 40, ο μηχανισμός που προτείνεται στην εργασία αυτή, χρησιμοποιεί με αποδοτικό τρόπο τη διεπαφή Iur. Στην πραγματικότητα, το throughput παραμένει σταθερό χωρίς να εξαρτάται από το πλήθος των UEs που έχουν εκτελέσει handover. Από την άλλη πλευρά όταν η μετάδοση γίνεται με χρήση επιμέρους unicast μεταδόσεων, κάθε handover συνεισφέρει προσθετικά στο φόρτο της διεπαφής Iur. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του φόρτου της διεπαφής Iur καθώς αυξάνεται ο αριθμός των handovers που εκτελέστηκαν. Επιπλέον, αν λάβουμε υπόψη ότι σε ένα πραγματικό PLMN τα τρέχοντα handovers είναι πολύ περισσότερα από αυτά που εξομοιώθηκαν, είναι φανερό ότι, με τη χρήση πολλαπλών unicast μεταδόσεων, η διεπαφή Iur καθίσταται δυνητικό σημείο συμφόρησης (bottleneck) για τη μετάδοση δεδομένων.



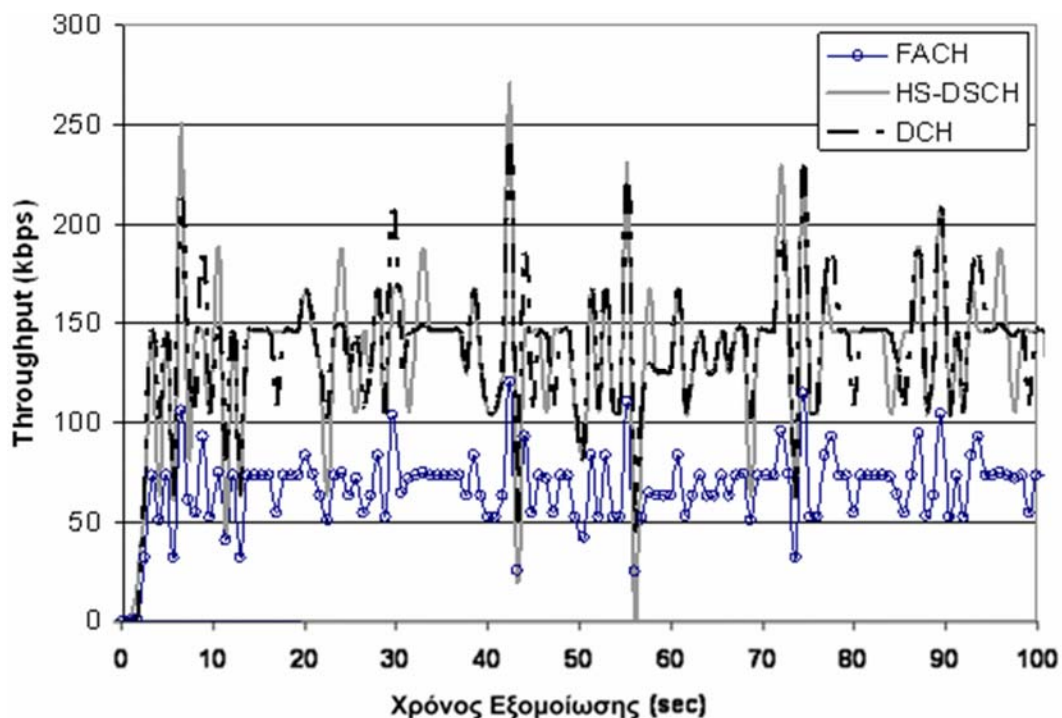
Εικόνα 40. Το throughput στη διεπαφή Iur.

### 8.3 Μετάδοση Δεδομένων στο UTRAN

Ένα τελευταίο σημείο που διερευνήθηκε μέσω της διαδικασίας εξομοίωσης ήταν η συμπεριφορά των διαφόρων τύπων καναλιών μεταφοράς του UTRAN. Για την ακρίβεια, προκειμένου να γίνει η μετάδοση των multicast δεδομένων στις διεπαφές Iub και Uu του UTRAN, εξομοιώθηκαν τρεις τύποι καναλιών μεταφοράς. Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το κανάλι FACH, HS-DSCH καθώς και το DCH. Για κάθε ένα από τα κανάλια αυτά, μετρήθηκε το throughput του συνδέσμου που συνδέει τον κόμβο RNC1 και τον Node B1 (Εικόνα 34). Όσον αφορά τη μεταδιδόμενη πληροφορία, πρόκειται για την ίδια κίνηση video, ρυθμού μετάδοσης 64 Kbps που χρησιμοποιήθηκε στα προηγούμενα πειράματα. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το πείραμα διήρκησε 100 δευτερόλεπτα για κάθε κανάλι. Η Εικόνα 41 απεικονίζει γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τα τρία κανάλια.

Όπως είναι αναμενόμενο, στην περίπτωση που το χρησιμοποιούμενο κανάλι μεταφοράς είναι το FACH, κάθε multicast πακέτο μεταδίδεται μία μόνο φορά από τη διεπαφή Iub. Στη συνέχεια, το πακέτο μεταδίδεται προς όλους τους χρήστες που ανήκουν στο συγκεκριμένο multicast group και εξυπηρετούνται από τον αντίστοιχο Node B. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το throughput στη διεπαφή Iub να είναι σταθερό,

ανεξάρτητα από τους multicast χρήστες που βρίσκονται στα κελιά. Κατά συνέπεια, το throughput στην εξεταζόμενη διεπαφή Iub κυμαίνεται στα 64 Kbps. Από την άλλη πλευρά, κατά τη χρήση των καναλιών HS-DSCH οι πόροι διαμοιράζονται μεταξύ των χρηστών με χρήση πολυπλεξίας χρόνου. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε χρήστη υπάρχει μία ξεχωριστή χρονοσχιμή που μπορεί να χρησιμοποιεί για να λαμβάνει multicast δεδομένα. Επομένως, το πλήθος των διαφορετικών χρονοσχιμών που απαιτούνται για τη μετάδοση multicast δεδομένων είναι ίσο με το πλήθος των multicast χρηστών που εξυπηρετούνται από το συγκεκριμένο Node B. Κατά συνέπεια, επειδή οι χρήστες που εξυπηρετούνται από τον Node B1 είναι δύο (UE1 και UE2 στην Εικόνα 34) το throughput στην εξεταζόμενη διεπαφή Iub είναι περίπου διπλάσιο από το ρυθμό μετάδοσης του video. Άρα συγκριτικά με το throughput που προκύπτει κατά τη χρήση καναλιών FACH, το throughput στα κανάλια HS-DSCH είναι περίπου διπλάσιο. Τέλος, για την περίπτωση της μετάδοσης των multicast δεδομένων μέσω της χρήσης καναλιών DCHs, τα αποτελέσματα όσον αφορά το throughput είναι παρόμοια με αυτά των καναλιών HS-DSCH. Αυτό συμβαίνει διότι, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.4, κατά τη χρήση των DCH κάθε πακέτο μεταδίδεται ξεχωριστά σε κάθε UE που ανήκει στο multicast group. Κατά συνέπεια, και σε αυτή την περίπτωση το throughput που προκύπτει είναι περίπου διπλάσιο από το αντίστοιχο throughput κατά τη χρήση των καναλιών FACH.



**Εικόνα 41. Το throughput στο σύνδεσμο RNC1-Node B1 για κάθε κανάλι.**

Στο σημείο αυτό, πρέπει να σημειωθεί ότι παρά τη σημαντική βελτίωση στο throughput που προσφέρουν τα κανάλια FACH, τα κανάλια αυτά δεν αποτελούν πάντα

την ενδεικνυόμενη λύση στο ζήτημα της επιλογής καναλιού μεταφοράς. Κατά την επιλογή του καναλιού, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ανάλυση της παραγράφου 4.6. Αυτό σημαίνει ότι ο διαχειριστής του δικτύου θα πρέπει να λάβει υπόψη και άλλες παραμέτρους, όπως τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης, την κατανάλωση ενέργειας, τον έλεγχο ισχύος, την κατανομή των χρηστών στα κελιά καθώς και την κινητικότητα των χρηστών.



## 9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτάθηκε και μελετήθηκε ένας μηχανισμός για την εισαγωγή της multicast μετάδοσης δεδομένων σε κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς και πιο συγκεκριμένα στο σύστημα UMTS. Για την ακρίβεια, προτάθηκε η χρήση των Routing Lists (RLs) σε κάθε κόμβο του δικτύου εκτός των UEs, όπως επίσης η χρήση επιπλέον λιστών, των Drift Routing Lists (DRLs), τους κόμβους RNC. Όσον αφορά στις RLs αυτές καταγράφουν τους κόμβους του αμέσως κατώτερου επιπέδου του δικτύου στους οποίους πρέπει να προωθηθούν τα πακέτα πληροφορίας που απευθύνονται σε ένα multicast group. Επιπρόσθετα, οι DRLs περιέχουν πληροφορία σχετικά με τα inter-RNS handovers που έχουν εκτελεστεί και η επεξεργασία τους διευκολύνει στη multicast μετάδοση δεδομένων μεταξύ των RNCs μέσω της διεπαφής Iur.

Ο συνολικός μηχανισμός που προτείνεται, υλοποιήθηκε στον εξομοιωτή δικτύων ns-2 και αξιολογήθηκε μέσω πειραμάτων. Τα πειράματα εξομοίωσης εστιάστηκαν στην φάση Data Transfer της παροχής υπηρεσίας MBMS και έγιναν προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα και η αποδοτικότητα του μηχανισμού. Για την ακρίβεια, διερευνήθηκαν με πληρότητα οι λειτουργίες του μηχανισμού, καθώς αυτός υποβλήθηκε σε πειράματα που αντιστοιχούν στις διάφορες πιθανές συνθήκες στις οποίες μπορεί να περιέλθει το δίκτυο. Τέλος, τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 8.

Όσον αφορά στο σκέλος του μηχανισμού για τη multicast μετάδοση πακέτων, ελέγχθηκε η αποτελεσματικότητά του πάνω από διάφορους συνδέσμους. Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα, η χρήση των RLs οδηγεί στη εφαρμογή ενός μηχανισμού δρομολόγησης με τον οποίο παρουσιάζεται μείωση των μεταδιδόμενων πακέτων και αποδοτικότερη χρήση των πόρων του δικτύου UMTS. Μάλιστα, η βελτίωση της απόδοσης διευρύνεται με την αύξηση του πλήθους των τελικών παραληπτών της multicast κίνησης.

Επιπλέον, εξομοιώθηκαν τα πιθανά σενάρια κινητικότητας χρηστών που μπορούν να εμφανιστούν σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς. Στην περίπτωση αυτή, εξετάστηκε το κατά πόσο ο προτεινόμενος μηχανισμός μπορεί να υποστηρίξει τα διάφορα σενάρια κινητικότητας, καθώς και αν ευσταθεί υπό αυτές τις συνθήκες. Εξετάστηκαν τα δύο σενάρια handover που έχουν επίδραση στις RLs και στις DRLs (πρόκειται για inter-RNS / intra-SGSN και inter-RNS / inter-SGSN) καθώς και οι αντίστοιχες διαδικασίες SRNS relocation. Η εξομοίωση απέδειξε την ορθότητα του μηχανισμού καθώς από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι, σε κάθε περίπτωση, η συνεκτικότητα της παροχής υπηρεσίας είναι εξασφαλισμένη.

Το τελευταίο ζήτημα που εξέτασαν τα πειράματα εξομοίωσης διερεύνησαν ήταν η μετάδοση δεδομένων μέσω της διεπαφής Iur. Ο προτεινόμενος μηχανισμός εισάγει τη multicast τεχνική τις σε αυτόν τον τύπο διασύνδεσης, μέσω της χρήσης των DRLs. Τα αποτελέσματα για αυτή την περίπτωση είναι ανάλογα με του συνολικού μηχανισμού. Για την περίπτωση αυτή η βελτίωση της απόδοσης εντείνεται με την αύξηση του πλήθους των inter-RNS handovers. Η σημασία αυτής της βελτίωσης είναι

μεγάλη διότι η Iur διεπαφή είναι ένα δυνητικό σημείο συμφόρησης όταν πολλαπλά inter-RNS handovers έχουν λάβει χώρα. Με τον περιορισμό του φόρτου πάνω σε αυτού του είδους των συνδέσμων το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει περισσότερα handovers χωρίς να υπάρχει ανάγκη για εκτέλεση της SRNS relocation διαδικασίας.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί η απλότητα στην ενσωμάτωση του μηχανισμού στους υπάρχοντες μηχανισμούς λειτουργίας και διαχείρισης της κινητικότητας που υπάρχουν στα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς. Όπως φάνηκε από την περιγραφή του μηχανισμού στο κεφάλαιο 6, ο μηχανισμός βασίζεται στην υποδομή του UMTS. Οι πρόσθετες λειτουργίες που απαιτούνται είναι πολύ μικρές και εύκολα υλοποιήσιμες. Αυτό άλλωστε φάνηκε και από την εύκολη ενσωμάτωση του μηχανισμού στο σύστημα εξομοίωσης του ns-2.

## 10 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Εν κατακλείδι, θα παρουσιαστούν ορισμένα πιθανά επόμενα βήματα της έρευνας. Σε γενικές γραμμές θα μπορούσαμε να πούμε ότι η μελλοντική έρευνα μπορεί να εστιάσει στη μελέτη του ελέγχου ροής και συμφόρησης στο συγκεκριμένο μηχανισμό. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου δίνεται η δυνατότητα για περαιτέρω περιορισμό της αποστολής πακέτων. Για παράδειγμα, στο πιθανό ενδεχόμενο όπου ένας χρήστης ο οποίος ανήκει σε ένα multicast group, εκτελεί inter-RNS handover προς ένα RNS όπου ήδη αποστέλλονται τα δεδομένα που απευθύνονται στο ίδιο multicast group. Σε μία τέτοια περίπτωση, ο χρήστης μπορεί να λαμβάνει τη multicast πληροφορία από το RNC που ελέγχει το νέο κελί όπου βρίσκεται. Αντίθετα, η διεπαφή Iur μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να περιοριστεί περαιτέρω ο φόρτος που υφίσταται η διεπαφή Iur.

Από την άλλη πλευρά, ο μηχανισμός μπορεί να ενσωματώσει ένα είδος προσαρμοστικότητα στη συμφόρηση. Αναφερόμαστε σε περιπτώσεις όπου ανιχνεύεται μία συμφόρηση η οποία επηρεάζει το ρυθμό με τον οποίο λαμβάνουν δεδομένα όλοι ή ορισμένοι από τους χρήστες του multicast group. Σε μία τέτοια περίπτωση μπορεί να δημιουργηθεί ένας μηχανισμός ανάδρασης με μία λογική αναπροσαρμογής. Ο μηχανισμός αυτός θα μπορεί να μεταβάλλει το ρυθμό μετάδοσης των multicast δεδομένων ανάλογα με την ανατροφοδότηση (feedback) που λαμβάνει.

Ένα άλλο αντικείμενο για μελλοντική έρευνα είναι η διερεύνηση της χρήσης άλλων καναλιών μεταφοράς όπως τα κοινά κανάλια FACH και HS-DSCH. Για την ακρίβεια, μπορεί να μελετηθεί κατά πόσο η χρήση των συγκεκριμένων καναλιών από το πρωτόκολλο MAC, συνεισφέρει ή όχι στην αποδοτικότερη χρήση των πόρων του UTRAN. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα για εξέταση συγκεκριμένων παραμέτρων όπως το πλήθος των multicast χρηστών, η κινητικότητα τους, η θέση τους μέσα στα κελιά. Στη συνέχεια, μπορεί να διερευνηθεί πώς αυτές προσδιορίζουν το τύπο καναλιού μεταφοράς που βελτιστοποιεί τη χρήση των πόρων σε συνδυασμό με την παροχή ποιότητας υπηρεσίας.

Τέλος, μία άλλη ιδέα αφορά στο σενάριο όπου ένα μικρό ποσοστό των μελών ενός multicast group δεν μπορεί να λάβει δεδομένα με υψηλό ρυθμό. Τότε ο μηχανισμός μπορεί να παρουσιάζει προσαρμοστικότητα και να διαγράψει από το multicast group κάποια από τα συγκεκριμένα μέλη. Στη συνέχεια, για τα μέλη που διαγράφηκαν η μετάδοση μπορεί να γίνει με τη unicast τεχνική και σε χαμηλότερο ρυθμό, ενώ το υπόλοιπο multicast group συνεχίζει να λαμβάνει δεδομένα με τον αρχικό ρυθμό. Οι συνθήκες και οι προϋποθέσεις υπό τις οποίες τα μέλη μπορούν να διαγράφονται από το multicast group χρίζουν έρευνας.



## 11 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Korhonen, J. *Introduction to 3G Mobile Communications*. 2<sup>nd</sup> edition, Artech House, 2003.
- [2] Holma, H. and Toskala, A. *WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. 3<sup>rd</sup> edition, John Wiley & Sons, 2004.
- [3] Nilsson, M. *Third Generation Radio Access Standards*. *Ericsson Review*, No. 3, 1999.
- [4] Βαρβαρίγος, Ε., Μπερμπερίδης, Κ. *Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις*. Πανεπιστήμιο Πατρών, 2004.
- [5] Cai, J. and Goodman, D. *General Packet Radio Service in GSM*. *IEEE Communications Magazine*, October 1997, 122-131.
- [6] Eylert B. *The Mobile Multimedia Business: Requirements and Solutions*. John Wiley & Sons, 2005.
- [7] *Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)*. Nokia Telecommunications Oy, white paper, March 1999.
- [8] 3GPP, *Physical layer aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access*. Technical report, TR 25.858, version 5.0.0.
- [9] 3GPP, *High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall description; Stage 2*. Technical specification, TS 25.308, version 7.0.0.
- [10] *W-CDMA/UMTS Wireless Networks*. Technical Brief, Tektronix, 2003.
- [11] *GSM-UMTS Network Evolution Positioning Paper*. Nortel, 2005.
- [12] Spaniol O. *Mobility Management in UMTS*, Datacommunication & Distributed Systems. 2003.
- [13] 3GPP. *Radio interface protocol architecture*. Technical specification, TS 25.301, version 0.3.0.
- [14] 3GPP. *Medium Access Control (MAC) protocol specification*. Technical specification, TS 25.321, version 7.0.0.
- [15] 3GPP. *Radio Link Control (RLC) protocol specification*. Technical specification, TS 25.322, version 7.0.0.
- [16] 3GPP. *UTRAN Iur interface Radio Network Subsystem Application Part (RNSAP) signalling*. Technical specification, TS 25.433, version 7.0.0.
- [17] 3GPP. *UTRAN Iu interface Radio Access Network Application Part (RANAP) signalling*. Technical specification, TS 25.413, version 7.1.0.
- [18] Alexiou, A., Bouras, C., Igglesis, V. *Performance Evaluation of UMTS for Mobile Internet Access*. 12<sup>th</sup> Annual Meeting of the IEEE/ACM International

- Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2004), Volendam, The Netherlands, 1 – 4.
- [19] Alexiou, A., Bouras, C., Igglesis, V. *Performance Evaluation of TCP over UMTS Transport Channels*. 7<sup>th</sup> International Symposium on Communications Interworking – INTERWORKING 2004, Ottawa, Canada.
  - [20] 3GPP. *General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 2*. Technical Specification, TS 23.060, version 7.0.0.
  - [21] 3GPP. *General Packet Radio Service (GPRS); GPRS Tunnelling Protocol (GTP) across the Gn and Gp interface*. Technical Specification, TS 29.060, version 7.1.0.
  - [22] Rummler, R., Chung Y. and Aghvami, H. *Modeling and Analysis of an Efficient Multicast Mechanism for UMTS*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 54, No. 1, Jan. 2005, 350-365.
  - [23] Whillans, N. *End-to-end network model of Enhanced UMTS, SEACORN*, Deliverable D3.2 v2.
  - [24] Tanenbaum, A. *Δίκτυα Υπολογιστών*. Τρίτη Έκδοση, Παπασωτηρίου, 2000.
  - [25] Perez-Romero, J., Sallent, O., Agusti, R., Diaz-Guerra, M.-A. *Radio Resource Management Strategies in UMTS*. John Wiley & Sons, 2005.
  - [26] 3GPP. *Handover procedures*. Technical Specification, TS 23.009, version 6.4.0.
  - [27] 3GPP. *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Stage 1*. Technical Specification, TS 22.146, version 7.1.0.
  - [28] 3GPP. *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) user services; Stage 1*. Technical Specification, TS 22.246, version 7.0.0.
  - [29] 3GPP. *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description (Release 6)*. Technical Specification, TS 23.246, version 6.9.0.
  - [30] 3GPP. *Multimedia Broadcast/Multicast Service; Architecture and functional description (Release 6)*. Technical Specification, TR 23.846, version 6.1.0.
  - [31] 3GPP. *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Protocols and codecs*. Technical Specification, TS 26.346, version 6.4.0.
  - [32] Ivancovic, T. *Support of Multimedia Broadcast/Multicast Service in UMTS Networks*. In *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference on Telecommunications – ConTEL 2005*, 91-98.
  - [33] Boni, A., Launay, E., Mienville, T. and Stuckmann, P. *Multimedia Broadcast Multicast Service – Technology Overview and Service Aspects*. In *Proceedings*

- of Fifth IEE International Conference on 3G Mobile Communication Technologies (3G 2004), 2004, 634-638.
- [34] Ogunbenkun, J. and Mendjeli, A. *MBMS service provision and its challenges*. In *Proceedings of Fourth International Conference on 3G Mobile Communication Technologies (3G 2003)*, 2003, 128 -133.
- [35] 3GPP. *Comparison of DSCH and FACH for MBMS*. TSG RAN2 WG#33, R3-023017, November 12-15, 2002.
- [36] 3GPP. *Introduction of the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN); Stage 2*. Technical Specification, TS 25.346, version 7.0.0.
- [37] Christophorou, C. and Pitsillides, A. *MBMS Handover Control for Efficient Multicasting in IP-Based 3G Mobile Networks*. In *Proceedings of 2006 IEEE Int. Conference of Communications*, 11-15 June 2006.
- [38] 3GPP. *3G Security; Security of Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS)*. Technical Specification, TS 33.246, version 6.6.0.
- [39] Hauge, M. and Kure, O. *Multicast in 3G networks: Employment of existing IP multicast protocols in UMTS*. In *Proceedings 5<sup>th</sup> ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia*, 2002, 96-103.
- [40] Lin, Y. *A multicast mechanism for mobile networks*. *IEEE Communication Letters*, vol. 5, no. 11, Nov. 2001, 450-452.
- [41] Rummler, R. and Aghvami, H. *End-to-end IP multicast for software upgrades of reconfigurable user terminals within IMT-2000/UMTS networks*. In *Proceedings IEEE ICC'02*, vol. 1, New York, Apr./May 2002, 502-506.
- [42] Παπαϊωάννου, Λ. *Υποστήριξη Συνδέσεων και Διαχείριση Συνόδων, Κινητικότητας Ομάδων Πολλαπλών Αποστολών/Αποδεκτών για Παροχή Υπηρεσιών Πραγματικού Χρόνου σε Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών 3<sup>ης</sup> γενιάς (UMTS)*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ε.Μ.Π., 2003.
- [43] *The Network Simulator – ns-2*. Εγχειρίδια και πηγαίος κώδικας είναι διαθέσιμα στη διεύθυνση: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [44] Greis, G., VINT Group. *Tutorial for the Network Simulator "ns"*.
- [45] *Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions for ns-2*. User Guide (Release 1.6).
- [46] Iskander, C. and Mathiopoulos, P. *Online Smoothing of VBR H.263 Video for the CDMA200 and IS-95B Uplinks*. *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 6, No. 4, August 2004, 647-658.
- [47] Fitzek, F. and Reisslein, M. *MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation*. *IEEE Network*, Nov-Dec. 2001, 40-54.



## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

<b>3GPP</b>	Third Generation Partnership Project
<b>8PSK</b>	Eight-Phase Shift Keying
<b>AAL</b>	ATM Adaptation Layer
<b>ADSL</b>	Asymmetric Digital Subscriber Line
<b>AM</b>	Acknowledged Mode
<b>AMPS</b>	Advanced Mobile Phone Service
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode
<b>AuC</b>	Authentication Center
<b>BCCH</b>	Broadcast Control Channel
<b>BCH</b>	Broadcast Channel
<b>BM-SC</b>	Broadcast/Multicast Service Center
<b>CCCH</b>	Common Control Channel
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access
<b>CN</b>	Core Network
<b>CPCH</b>	Common Packet Channel
<b>CRC</b>	Cyclic Redundancy Check
<b>CS</b>	Circuit Switched
<b>CTCH</b>	Common Traffic Channel
<b>D-AMPS</b>	Digital AMPS
<b>DCCH</b>	Dedicated Control Channel
<b>DCF</b>	DRM Content Format
<b>DCH</b>	Dedicated Channel
<b>DRL</b>	Drift RL
<b>DRM</b>	Digital Rights Management
<b>DRNC</b>	Drift RNC
<b>DSCH</b>	Downlink Shared Channel
<b>DTCH</b>	Dedicated Traffic Channel
<b>DVMRP</b>	Distance Vector Multicast Routing Protocol
<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rates for Global Evolution
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>EURANE</b>	Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions
<b>FACH</b>	Forward Access Channel
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex
<b>GGSN</b>	Gateway GPRS Support Node
<b>GMSC</b>	Gateway MSC
<b>GMSK</b>	Gaussian Minimum Shift Keying
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Services
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>GTP</b>	GPRS Tunnelling Protocol
<b>HLR</b>	Home Location Register
<b>HSCSD</b>	High-Speed Circuit-Switched Data
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access
<b>HS-DSCH</b>	High-Speed Downlink Shared Channel
<b>IGMP</b>	Internet Group Management Protocol
<b>IMT</b>	International Mobile Telephony
<b>IMT-DS</b>	IMT Direct Spread
<b>IP</b>	Internet Protocol

<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>LA</b>	Location Area
<b>M3UA</b>	MTP3 User Adaptation Layer
<b>MAC</b>	Medium Access Control
<b>MBMS</b>	Multimedia Broadcast/Multicast Service
<b>MGL</b>	Multicast Group List
<b>MOSFP</b>	Multicast Open Shortest Path
<b>M-PDP</b>	Multicast-PDP
<b>MSC</b>	Mobile Services Switching Center
<b>MTP3</b>	Message Transfer Part Level 3
<b>NBAP</b>	Node B Application Part
<b>NMT</b>	Nordic Mobile Telephone
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
<b>OMA</b>	Open Mobile Alliance
<b>PCCH</b>	Paging Control Channel
<b>PCH</b>	Paging Channel
<b>PDA</b>	Personal Digital Assistant
<b>PDC</b>	Personal Digital Cellular
<b>PDCP</b>	Packet Data Convergence Protocol
<b>PDN</b>	Public Data Network
<b>PDP</b>	Packet Data Protocol
<b>PDU</b>	Protocol Data Unit
<b>PIM</b>	Protocol Independent Multicast
<b>PS</b>	Packet Switched
<b>PSTN</b>	Public Telephone Switched Network
<b>RACH</b>	Random Access Channel
<b>RANAP</b>	Radio Access Network Application Part
<b>RL</b>	Routing List
<b>RLC</b>	Radio Link Control
<b>RNC</b>	Radio Network Controllers
<b>RNS</b>	Radio Network Subsystem
<b>RNSAP</b>	Radio Network Sublayer Application Part
<b>RTCP</b>	Real-time TCP
<b>RTP</b>	Real-time Transport Protocol
<b>SCCP</b>	Signalling Connection Control Part
<b>SDU</b>	Service Data Unit
<b>SGSN</b>	Serving GPRS Support Node
<b>SRNC</b>	Serving RNC
<b>SRNS</b>	Serving RNS
<b>SRTP</b>	Secure RTP
<b>SSCF-UNI</b>	Service Specific Coordination Function for Support of Signalling at the User-Network Interface
<b>SSCOP</b>	Service Specific Connection-Oriented Protocol
<b>TACS</b>	Total Access Communication System
<b>TCP</b>	Transport Control Protocol
<b>TDD</b>	Time Division Duplex
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>UE</b>	User Equipment
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System
<b>USCH</b>	Uplink Shared Channel

<b>UTRA</b>	Universal Terrestrial Radio Access
<b>UTRAN</b>	UTRA Network
<b>VINT</b>	Virtual InterNetwork Testbed
<b>VLR</b>	Visitor Location Register
<b>WCDMA</b>	Wideband CDMA