



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ"**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδοσίας
πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS**

Βασιλική Κ. Στίγκα

**Επιβλέποντες: Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.
Χριστόφορος Νταντογιάν, Διδάκτωρ Ε.Κ.Π.Α.**

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2011

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα
3^{ης} γενιάς, UMTS

Βασιλική Κ. Στίγκα
A.M.: M1060

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.
Χριστόφορος Νταντογιάν, Διδάκτωρ Ε.Κ.Π.Α.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.
Αλωνιστιώτη Αθανασία, Λέκτορας Ε.Κ.Π.Α.

Οκτώβριος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν την διπλωματική εργασία μελετάμε και αξιολογούμε την ανταλλαγή σημάτων που απαιτούνται στα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς, γνωστά ως Third-Generation Mobile Networks. Ένα από τα επικρατέστερα δίκτυα της τρίτης γενιάς που χρησιμοποιείται ευρέως στην Ευρώπη είναι το Universal Mobile Telecommunication System (UMTS). Τέτοιου είδους συστήματα τηλεπικοινωνιών, χρησιμοποιούν συγκεκριμένες λειτουργίες πιστοποίησης προκειμένου να αναγνωρίσουν και να εγκρίνουν έναν κινητό σταθμό, γνωστό ως Mobile Station (MS), και να επικυρώσουν τον τύπο της υπηρεσίας που ζητά ο κινητός σταθμός. Με αυτόν τον τρόπο, διαπιστώνεται αν ο χρήστης είναι εξουσιοδοτημένος να χρησιμοποιήσει τις συγκεκριμένες υπηρεσίες δικτύου. Τα μέρη που συμμετέχουν στην πιστοποίηση είναι το κέντρο πιστοποίησης, Authentication Center (AuC), στο οικιακό δίκτυο (home network) και ο κινητός σταθμός, MS. Στο UMTS ο κόμβος που υποστηρίζει την υπηρεσία μετάδοσης πακέτων, Serving General packet radio service Support Node (SGSN), αποκτά πρόσβαση στο AuC για να πάρει τα δεδομένα πιστοποίησης και αναθέτει στο AuC να ξεκινήσει τη διαδικασία πιστοποίησης με τον MS. Όμως, το κόστος της πρόσβασης στο AuC είναι μεγάλο, για αυτό ο SGSN μπορεί να αποκτήσει έναν πίνακα με στοιχεία πιστοποίησης, γνωστά ως Authentication Vectors (AVs), με αποτέλεσμα οι φορές πρόσβασης του SGSN στο AuC να μειωθούν. Ανάλογα με το μέγεθος του πίνακα με τα AVs, έστω K , το κόστος πρόσβασης στο AuC μπορεί να είναι μεγάλο ή μικρό. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες σημαντικές παράμετροι του δικτύου που επηρεάζουν αυτό το κόστος, όπως είναι για παράδειγμα ο ρυθμός αποστολής πακέτων από τον SGSN στον MS, ο ρυθμός αποστολής για αίτηση σύνδεσης του MS με τον SGSN και του SGSN με το HLR/AuC, ο χρόνος που διαρκεί μέχρι να γίνει η επόμενη αίτηση σύνδεσης και ο χρόνος παραμονής του MS μέσα στο δίκτυο. Αρχικά, λοιπόν, περιγράφουμε περιληπτικά τα Third-Generation Mobile Networks και τον τρόπο που λειτουργεί το Universal Mobile Telecommunication System. Έπειτα, επικεντρωνόμαστε στον τρόπο της σηματοδότησης που απαιτείται για τη διαδικασία πιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, αναλύουμε συγκεκριμένα σενάρια στα οποία το κόστος πρόσβασης στο AuC μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλουμε το μέγεθος (K) του πίνακα με τα AVs και άλλες σημαντικές παραμέτρους του δικτύου. Τέλος, ακολουθεί περιγραφή της τοπολογίας που αναπτύξαμε, προκειμένου να επαληθεύσουμε τις θεωρίες για το κόστος πρόσβασης στο AuC αν μεταβάλλουμε συγκεκριμένες παραμέτρους του δικτύου, με τη χρήση του εργαλείου network simulator 2 (ns-2) και γραφική εμφάνιση των αποτελεσμάτων με το GNU PLOT.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Διαδικασία πιστοποίησης

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: παγκόσμιο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών, πιστοποίηση, κέντρο πιστοποίησης, κινητός σταθμός, κόμβος υποστήριξης υπηρεσίας μετάδοσης πακέτων

ABSTRACT

In this thesis we study and evaluate the exchange of signals required in Third-Generation Mobile Networks, 3G Mobile Networks. One of these kinds of networks is the Universal Mobile Telecommunication System (UMTS). In UMTS, authentication functions are utilized to identify and authenticate a mobile station (MS) and validate the service request type to ensure that the user is authorized to use the particular network services. The authenticating parties are the Authentication Center (AuC) in the home network and the MS. In UMTS, the Serving General packet radio service Support Node (SGSN) accesses the AuC to obtain the authentication data, and delegates the AuC to perform mutual authentication with the MS. Since the cost for accessing AuC is expensive, the SGSN may obtain an array of elements, which are called Authentication Vectors (AVs), at a time so that the number of accesses can be reduced. According to the size of the array with the AVs, suppose is K , the cost for accessing AuC may be small or big. In addition, there are some other important parameters of the network which influence the cost for accessing AuC, such as the sending packet rate from SGSN to MS, the sending rate for call request from MS to SGSN and from SGSN to HLR/AuC, the time duration until the next call request and the time duration until the MS leaves the area of an SGSN. At first, we describe briefly the Third-Generation Mobile Networks and how UMTS works. Afterwards, we focus on the authentication signaling. Moreover, we analyze specific scenarios in which the cost for accessing AuC may change, if we change the size K of the array with the AVs and the other parameters of the network. Finally, we describe our simulation in order to prove the theories about the cost for accessing AuC, if we change the parameters of the network, using the network simulator 2 (ns-2) and presenting graphs with the results using the GNU PLOT.

SUBJECT AREA: Authentication Process

KEYWORDS: Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), authentication, Authentication Center (AuC), mobile station (MS), Serving General packet radio service Support Node (SGSN)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 Εξέλιξη των κινητών δικτύων επικοινωνιών	12
1.2 Προηγούμενα κινητά δίκτυα επικοινωνιών	12
1.2.1 Η 1 ^η γενιά κινητών δικτύων.....	12
1.2.2 Η 2 ^η γενιά κινητών δικτύων.....	13
1.2.3 Η γενιά 2,5 κινητών δικτύων	13
1.3 Η 3 ^η γενιά κινητών δικτύων	14
1.4 Το σύστημα UMTS	15
1.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	15
1.4.2 Η αρχιτεκτονική του UMTS.....	16
1.4.2.1 User Equipment (UE).....	17
1.4.2.2 UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)	17
1.4.2.3 Core Network (CN)	19
1.4.3 Βασικές διεπαφές και αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων	21
1.4.3.1 Η διεπαφή Uu.....	21
1.4.3.2 Η διεπαφή Iub	22
1.4.3.3 Η διεπαφή Iur.....	23
1.4.3.4 Η διεπαφή Iu-PS	24
1.4.3.5 Οι υπόλοιπες διεπαφές	25
1.4.4 Τα κανάλια του UTRAN.....	26
1.4.4.1 Λογικά κανάλια.....	26
1.4.4.2 Κανάλια μεταφοράς.....	27
1.4.4.3 Φυσικά κανάλια.....	29
1.4.5 Handovers στο UMTS.....	30
1.4.5.1 Softer και soft handover	30
1.4.5.2 Hard handover	33
1.4.5.3 Intersystems handovers.....	33
1.4.6 Μηχανισμοί διαχείρισης της κινητικότητας των χρηστών.....	34
2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS)	36
2.1 Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας πιστοποίησης.....	36
2.2 Χρονική ανάλυση της διαδικασίας πιστοποίησης.....	38
3. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΑΣ	41
3.1 Το κόστος πρόσβασης στο HLR/AuC	41

3.1.1 Προϋπάρχουσα έρευνα	41
3.2 Η ανάλυσή μας.....	41
3.2.1 Μεταβολή του K με σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους	42
3.2.2 Μεταβολή των υπολοίπων παραμέτρων	42
3.2.3 Σημασία της παραμέτρου λ'	43
3.3 Το μαθηματικό μοντέλο	43
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	45
4.1 Ο προσομοιωτής NS-2.....	45
4.1.1 Το είδος και η δημιουργία κίνησης.....	47
4.1.2 Μοντέλα κινητικότητας.....	48
4.1.3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης.....	52
4.2 Το περιβάλλον της προσομοίωσής μας με τον ns-2	54
4.2.1 Η τοπολογία μας.....	54
4.2.2 Άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία της προσομοίωσής μας	55
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	56
5.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων με το ns-2	56
5.1.1 Περιγραφή αρχείων	56
5.1.2 Τα αποτελέσματα των αρχείων	71
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	81
6.1 Τελικά συμπεράσματα.....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ	82
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	132
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	143

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Η διαδικασία πιστοποίησης στο UMTS	38
Σχήμα 2: Το χρονικό διάγραμμα της διαδικασίας πιστοποίησης.....	39
Σχήμα 3: Η διαδρομή ενός κινητού κόμβου με βάση το Random Waypoint μοντέλο κινητικότητας	49
Σχήμα 4: Η διαδρομή ενός κινητού κόμβου με βάση το Random Walk μοντέλο κινητικότητας	50
Σχήμα 5: Το μονοπάτι ενός κόμβου χρησιμοποιώντας το Random Direction μοντέλο κινητικότητας	51
Σχήμα 6: Κατηγοριοποίηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης ad hoc.....	52
Σχήμα 7: Γραφική παράσταση $E[N] - K$	71
Σχήμα 8: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	73
Σχήμα 9: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	73
Σχήμα 10: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	74
Σχήμα 11: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	75
Σχήμα 12: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	76
Σχήμα 13: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	76
Σχήμα 14: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	77
Σχήμα 15: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	78
Σχήμα 16: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	78
Σχήμα 17: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	79
Σχήμα 18: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	79
Σχήμα 19: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	132
Σχήμα 20: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	132
Σχήμα 21: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	133
Σχήμα 22: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	133
Σχήμα 23: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	134
Σχήμα 24: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	134
Σχήμα 25: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	135
Σχήμα 26: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	135
Σχήμα 27: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	136
Σχήμα 28: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	136
Σχήμα 29: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	137
Σχήμα 30: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	137
Σχήμα 31: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	138
Σχήμα 32: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	138

Σχήμα 33: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	139
Σχήμα 34: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	139
Σχήμα 35: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	140
Σχήμα 36: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	140
Σχήμα 37: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	141
Σχήμα 38: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	141
Σχήμα 39: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	142
Σχήμα 40: Γραφική παράσταση $E[N] - T$	142

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η εξέλιξη των προτύπων για τα κυψελωτά κινητά δίκτυα έως το 3G	15
Εικόνα 2: Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο	16
Εικόνα 3: Η δομή του UTRAN	18
Εικόνα 4: RAs και URAs	19
Εικόνα 5: Η δομή του CN.....	20
Εικόνα 6: Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu.....	21
Εικόνα 7: Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iub	22
Εικόνα 8: Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iur	23
Εικόνα 9: Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iu-PS	24
Εικόνα 10: Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας	26
Εικόνα 11: Η αντιστοιχία λογικών καναλιών σε κανάλια μεταφοράς.....	29
Εικόνα 12: Αντιστοίχιση καναλιών για την downlink κατεύθυνση.....	30
Εικόνα 13: Οι δυνατές περιπτώσεις softer και soft handover.....	31
Εικόνα 14: PMM και RRC μηχανισμοί	34

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τα χαρακτηριστικά του UMTS και η συμβατότητα του GSM	16
Πίνακας 2: Τα λογικά κανάλια του UTRAN.....	27
Πίνακας 3: Ιδιότητες καναλιών μεταφοράς	28
Πίνακας 4: Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN.....	29
Πίνακας 5: Table-Driven vs. On-demand Routing.....	54

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια έχει ευρέως παρατηρηθεί η αύξηση των χρηστών των κινητών τηλεφώνων, οι οποίοι χρησιμοποιούν ποικίλες εφαρμογές τους, από απλή επικοινωνία μέσω τηλεφωνικών κλήσεων και γραπτών μηνυμάτων μέχρι αποστολή e-mail, χρήση του Internet, διαδραστικές εφαρμογές και άλλες παρόμοιες λειτουργίες.

Ωστόσο, με την ραγδαία αύξηση του πλήθους των χρηστών προκύπτει μια ανάγκη για περιορισμό του κόστους που απαιτείται για τη σηματοδότηση στο δίκτυο ώστε ο χρήστης να γίνει δεκτός από τον πάροχο της επικοινωνίας που έχει επιλέξει και να μπορεί να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες που παρέχει. Η ανάγκη, λοιπόν, για μείωση του κόστους σηματοδότησης στο δίκτυο αποτέλεσαν το λόγω συγγραφής αυτής της εργασίας.

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να αναφέρω ότι αφετηρία για το παρόν βιβλίο υπήρξαν τα μαθήματα Δίκτυα Επικοινωνιών Μέρος 1 και 2, που διδάσκονται στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Αθηνών από τον κ. Λάζαρο Μεράκο και κ. Ιωάννη Σταυρακάκη.

Θα ήθελα, λοιπόν να ευχαριστήσω ολόψυχα τον επιβλέποντα καθηγητή μου Λάζαρο Μεράκο, για την υποστήριξη, την καθοδήγηση, και την ενθάρρυνσή του σε κάθε στάδιο της δουλειάς μου.

Ευχαριστώ ακόμη τον Χριστόφορο Νταντογιάν, Διδάκτωρ στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, για την βοήθειά του μέχρι το τέλος της ολοκλήρωσης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στην περάτωση της δουλειάς μου με υλικό, σχόλια και παρατηρήσεις.

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

Βασιλική Κ. Στίγκα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εξέλιξη των κινητών δικτύων επικοινωνιών

Το κεφάλαιο αυτό κάνει μία εισαγωγική αναφορά στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας και ειδικότερα στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών τρίτης γενιάς. Αρχικά, γίνεται μία ιστορική αναδρομή και παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των προηγούμενων συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, μέχρι και τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών «γενιάς 2,5». Στη συνέχεια ακολουθεί μία διεξοδική περιγραφή των κινητών δικτύων επικοινωνιών τρίτης γενιάς και των βασικών προτύπων τους. Παράλληλα, επισημαίνονται οι ανάγκες που οδήγησαν στην τρίτη γενιά κινητών δικτύων.

1.2 Προηγούμενα κινητά δίκτυα επικοινωνιών

1.2.1 Η 1^η γενιά κινητών δικτύων

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

Στα κυψελωτά κινητά δίκτυα, που στο εξής θα αναφέρονται απλώς σαν κινητά δίκτυα, η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε μικρές κυψέλες. 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 και τέταρτης γενιάς, υπάρχουν πολλά δίκτυα πρώτης γενιάς που εξακολουθούν να βρίσκονται σε λειτουργία. Βέβαια, στις χώρες όπου υπάρχει προχωρημένη υποδομή στις τηλεπικοινωνίες τα συστήματα αυτά έχουν εγκαταλειφθεί καθώς θεωρείται ότι σπαταλούν πολύτιμο φάσμα συχνοτήτων το οποίο τα σύγχρονα ψηφιακά κινητά δίκτυα επικοινωνιών εκμεταλλεύονται πιο αποδοτικά [2].

1.2.2 Η 2^η γενιά κινητών δικτύων

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

Υπάρχουν τέσσερα κύρια πρότυπα για τα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς: το Global System for Mobile communications (GSM), το Digital AMPS (D-AMPS), το Code Division Multiple Access (CDMA) IS-95 καθώς και το Personal Digital Cellular (PDC). Το GSM είναι μακράν το πιο επιτυχημένο και διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς. Ξεκίνησε ως ένα ευρωπαϊκό σύστημα αλλά τελικά υιοθετήθηκε παγκοσμίως. Η μόνη ήπειρος στην οποία η διάδοση του GSM υστερεί είναι η αμερικανική. Παρόλα αυτά, το 2001 η βορειοαμερικανική κοινότητα για την Time Division Multiple Access (TDMA) αποφάσισε να υιοθετήσει το σύστημα Wideband CDMA (WCDMA) που ορίστηκε από το Third Generation Partnership Project (3GPP). Προκειμένου να προετοιμαστούν για το WCDMA πολλές αμερικάνικες εταιρίες που χρησιμοποιούσαν το D-AMPS έχουν υιοθετήσει ήδη το σύστημα GSM/GPRS [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 που λειτουργούν στη ζώνη των 900 MHz. Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί και το πρότυπο GSM-400 που αναπτύχθηκε από το ίδρυμα European Telecommunications Standards Institute (ETSI) και το οποίο χρησιμοποιήθηκε συμπληρωματικά των δικτύων GSM με υψηλότερες συχνότητες. Παρόλο που το σύστημα αυτό ήταν αρκετά αποδοτικό σε αραιοκατοικημένες και παράκτιες περιοχές, το πρότυπο GSM-400 δεν χρησιμοποιείται πλέον [4].

1.2.3 Η γενιά 2,5 κινητών δικτύων

Με τον όρο «γενιά 2,5 ή 2.5G, second half-generation» 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) [5], [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 (timeslots) για μία σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν το χρήστη είναι το γινόμενο των χρονοσχισμών επί το ρυθμό μετάδοσης για μία χρονοσχισμή. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι σχετικά απλή και φθηνή. Πρόσθετο λογισμικό χρειάζεται να υλοποιηθεί στα κέντρα καθώς και καινούριες φορητές συσκευές που θα υποστηρίζουν την τεχνολογία HSCSD. Το βασικότερο μειονέκτημα ήταν η χρήση μεταγωγής κυκλώματος. Αυτός ο τρόπος μεταγωγής είχε ως αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων του δικτύου αφού οι χρονοσχισμοί δεσμεύονταν ακόμα και όταν η χωρητικότητά τους δεν χρησιμοποιούνταν.

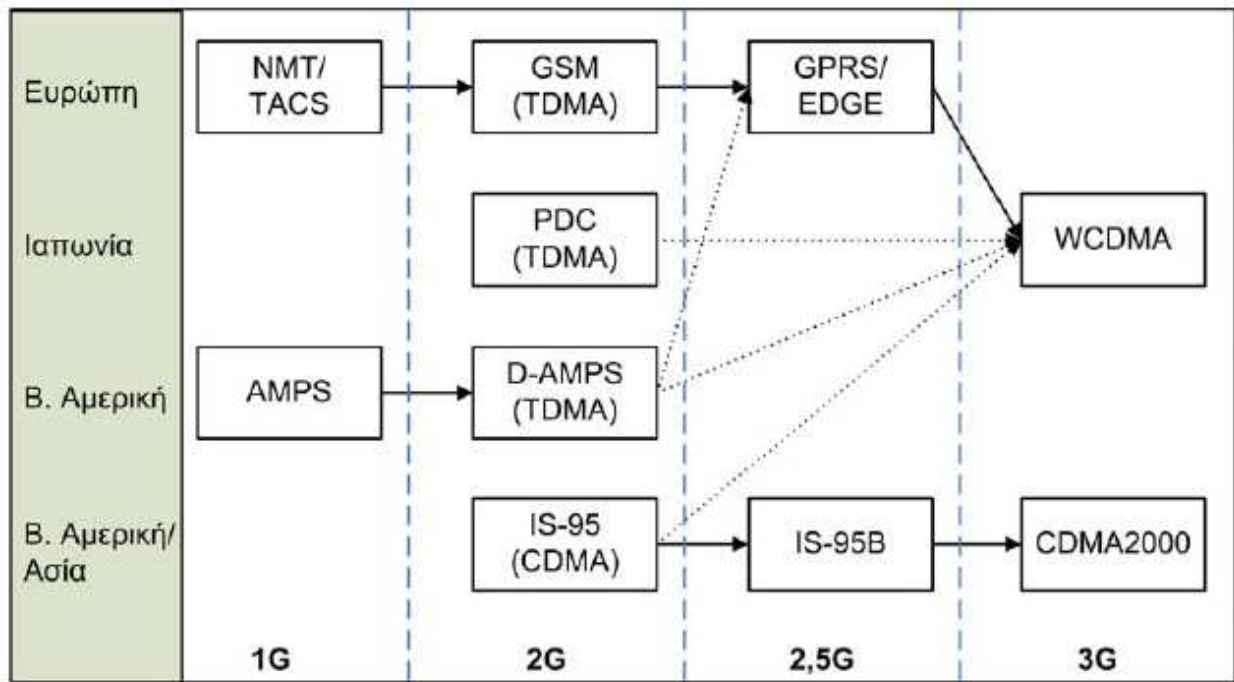
Η επόμενη λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία GPRS. Με αυτήν την τεχνολογία μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης των 115 Kbps ή και ακόμα μεγαλύτεροι αν αγνοηθεί η διόρθωση σφαλμάτων. Αυτό που έχει μεγάλη σημασία είναι ότι η τεχνολογία GPRS χρησιμοποιεί τεχνολογία μεταγωγής πακέτου. Επομένως, δεσμεύει τους πόρους του δικτύου μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για αποστολή/λήψη δεδομένων. Η υλοποίηση του GPRS είναι αρκετά πιο ακριβή από αυτή του HSCSD. Επίσης, το HSCSD συμπεριφέρεται με μεγαλύτερη συνέπεια σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Παρόλα αυτά, η τεχνολογία GPRS προσφέρει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για την αποστολή δεδομένων μέσω των κινητών δικτύων. Είναι σίγουρο πλέον πως η αύξηση της κίνησης δεδομένων στα κινητά δίκτυα, καθιστά την GPRS τεχνολογία αναπόσπαστο στοιχείο ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας [7], [8].

Τέλος, η τρίτη και τελευταία βελτίωση του GSM προκειμένου να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο γενιάς 2,5 είναι η EDGE. Η βασική ιδέα πίσω από το EDGE είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight-Phase Shift Keying (8-PSK) [9]. 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.

1.3 Η 3^η 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 Φιλανδία 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 [2], [10].

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



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

Επιπλέον, οι παρεχόμενες υπηρεσίες επεκτείνονται σε υπηρεσίες διαδικτύου και σε υπηρεσίες πολυμέσων με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (προβλέπονται ρυθμοί που ξεκινούν από τα 144 Kbps και φτάνουν ακόμα και σε ρυθμούς της τάξης των Mbps). Με τον όρο υπηρεσίες πολυμέσων αναφερόμαστε σε υπηρεσίες κατά τις οποίες υπάρχει συνδυασμός εικόνας, ήχου και κειμένου σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο ψηφιακό περιβάλλον. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν τα επικρατέστερα, προς το παρόν, συστήματα τρίτης γενιάς τα οποία είναι: το UMTS (της Ευρώπης), το CDMA2000 και το NTT Docomo (στην Ιαπωνία) [2].

1.4 Το σύστημα UMTS

Το σύστημα Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) πρόκειται για το σύστημα τρίτης γενιάς που έχει επικρατήσει στην Ευρώπη και σταδιακά επεκτείνεται στη Βόρεια Αμερική με αποτέλεσμα η τρίτη γενιά κυψελωτών κινητών συστημάτων να τείνει να ταυτιστεί με αυτό το σύστημα. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν τα χαρακτηριστικά, η δομή και η λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος στο οποίο θα εστιάσει κυρίως η παρούσα διπλωματική εργασία, ως κύριο εκπρόσωπο των τεχνολογιών τρίτης γενιάς. Επίσης στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά η αρχιτεκτονική και οι λειτουργικότητες του συστήματος UMTS.

1.4.1 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

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

πολλά χαρακτηριστικά τα οποία είναι συμβατά με τις απαιτήσεις του UMTS. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του UMTS και εξετάζει το κατά πόσο υπάρχει συμβατότητα με τις λειτουργίες του GSM.

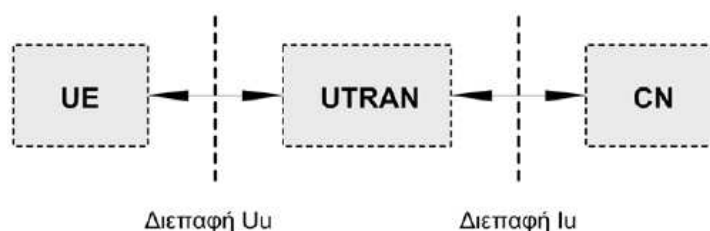
Όπως δείχνει ο πίνακας 1, ένα δίκτυο GSM με όλες τις προσθήκες και τις βελτιώσεις προσεγγίζει ένα δίκτυο UMTS. Τα μόνα χαρακτηριστικά του UMTS τα οποία δεν καλύπτονται από ένα δίκτυο GSM οφείλονται στην πιο ευέλικτη διεπαφή CDMA που χρησιμοποιεί στον αέρα, η οποία μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα διαφορετικούς τύπους φορέα. Επίσης, το UMTS μπορεί να υποστηρίξει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης που όμως δεν απέχουν πολύ από τους ρυθμούς μετάδοσης που υποστηρίζουν τα δίκτυα GSM της γενιάς 2,5 [11].

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
Διεισδυτικότητα σε κτίρια, υπόγεια κ.α.	Ναι
Ομιλία υψηλής ποιότητας	Ναι
Παγκόσμια περιαγωγή	Ναι
Υπηρεσίες νοήμονος δικτύου	Ναι
Υπηρεσίες Δεδομένων	Ναι (GPRS)
Υποστήριξη υψηλής πυκνότητας χρηστών	Ναι (ιεραρχίες κυψελών)
Πολυμέσα, ψυχαγωγία	Ναι (HSCSD)
Εναλλαγή μεταξύ φορέων πραγματικού χρόνου και όχι	Όχι
Υπηρεσίες ρυθμών μετάδοσης άνω των 200 Kbps	Όχι

1.4.2 Η αρχιτεκτονική του UMTS

Η εικόνα 2 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS σε υψηλό επίπεδο. Σε αυτό το κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας θα περιγραφούν όλες οι συνιστώσες που παρουσιάζονται στην εικόνα 2, καθώς και οι μεταξύ τους διεπαφές.



Εικόνα 2: Η αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο

1.4.2.1 User Equipment (UE)

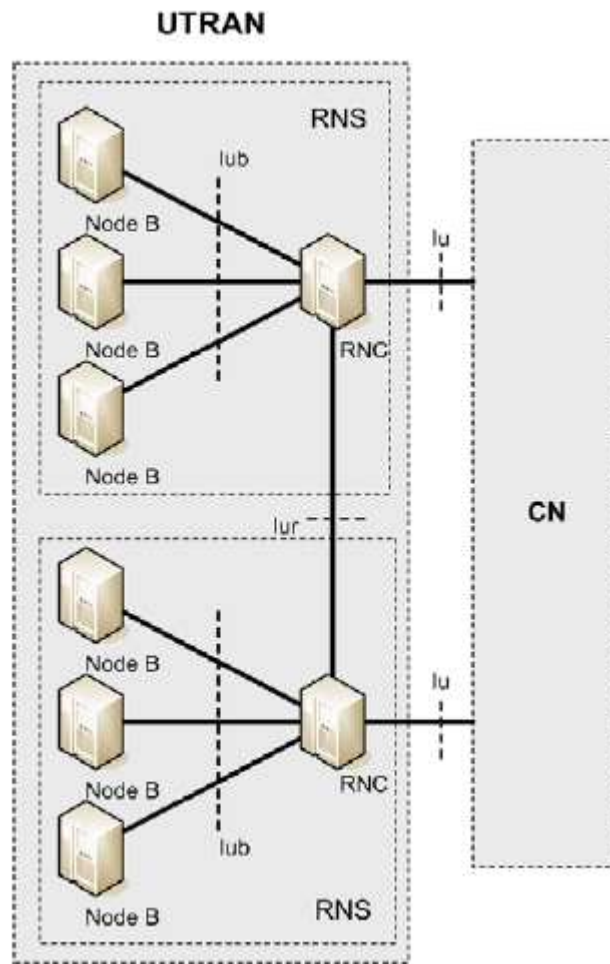
Ο όρος User Equipment (UE) θα λέγαμε ότι ταυτίζεται με την έννοια της φορητής συσκευής. Για παράδειγμα, UE μπορεί να αποτελέσει ένα κινητό τηλέφωνο, μία συσκευή Personal Digital Assistant (PDA) ή ένας φορητός υπολογιστής. Το UE είναι συνδεδεμένο με το UTRAN μέσω της διεπαφής Uu, η οποία είναι βασισμένη στην τεχνολογία WCDMA. Ένα UE μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα με περισσότερες της μίας κυψέλης [12], [2], [1]. Το UE αποτελείται από δύο τμήματα:

- Το Mobile Equipment: αποτελείται από το hardware της φορητής συσκευής. Ωστόσο, η συσκευή από μόνη της δε 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.

1.4.2.2 UMTS Terrestrial Radio Access Network (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 3 απεικονίζει τη δομή του UTRAN.

Όπως φαίνεται από την εικόνα 3, το δίκτυο UTRAN αποτελείται από τους Radio Network Controllers (RNCs) και τους Node Bs. Οι Node Bs είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο ενός ή περισσότερων κυψελών. Μία ομάδα από Node Bs συνδέεται, μέσω των διεπαφών Iub, με έναν κόμβο RNC. Ο Node B λειτουργεί στο επίπεδο φυσικού μέσου και δικτύου (μοντέλο OSI) και μεταφέρει δεδομένα προς τον RNC στον οποίο είναι συνδεδεμένος. Επιπλέον, κάνει μετρήσεις σχετικά με την ποιότητα και την ισχύ των ασύρματων συνδέσμων προς τα UEs και αποστέλλει αναφορές στον κόμβο RNC.

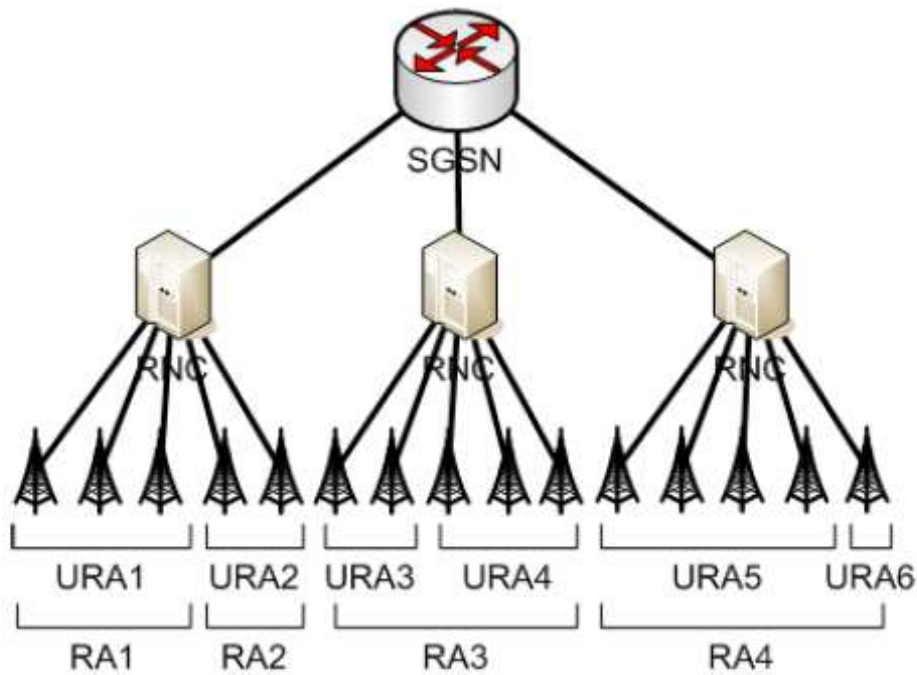


Εικόνα 3: Η δομή του UTRAN

Κάθε κόμβος RNC ελέγχει έναν ή περισσότερους Node Bs. Ένας κόμβος RNC μαζί με τους συνδεδεμένους σε αυτόν Node Bs αποτελούν ένα Radio Network Subsystem (RNS). Ο RNC λαμβάνει τις πληροφορίες που συλλέγουν οι Node Bs του δικού του RNS και προσαρμόζει τις παραμέτρους του ασύρματου υποσυστήματος (subsystem). Μία τέτοια παράμετρος μπορεί να είναι η ισχύς του ασύρματου σήματος στο UE ή στον Node B. Επίσης, ο RNC είναι υπεύθυνος για την ανάθεση του κώδικα WCDMA που θα χρησιμοποιήσουν ο σταθμός βάσης (Node B) και ο χρήστης (UE) στη μεταξύ τους επικοινωνία, έτσι ώστε να μην υπάρξουν παρεμβολές από άλλους ασύρματους συνδέσμους. Τέλος, μία άλλη λειτουργία των κόμβων RNC είναι ο έλεγχος των handovers που λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαφορετικών RNSs. Προκειμένου να υλοποιηθεί η συγκεκριμένη διαδικασία οι RNCs είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω της διεπαφής Iur (εικόνα 3). Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία είναι υλοποιημένη με δίκτυο Asynchronous Transfer Mode (ATM).

Όπως φαίνεται στην εικόνα 3, ένας κόμβος RNC συνδέεται με το CN μέσω της διεπαφής Iu. Η συγκεκριμένη διεπαφή έχει δύο συνιστώσες: τη συνιστώσα Iu-Circuit Switched (Iu-CS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (π.χ. φωνή) και τη συνιστώσα Iu-Packet Switched (Iu-PS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων (π.χ. υπηρεσίες δεδομένων) [12], [13].

Στο UTRAN οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε ομάδες κυψελών οι οποίες ονομάζονται Routing Areas (RAs). Επίσης, οι κυψέλες σε μια RA ομαδοποιούνται περαιτέρω σε UTRAN Registration Areas (URAs) όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4.



Εικόνα 4: RAs και URAs

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

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

για τυχόν μεταβολές στα δεδομένα της. Όλες οι συναλλαγές μεταξύ VLR και HLR γίνονται μέσω ενός MSC.

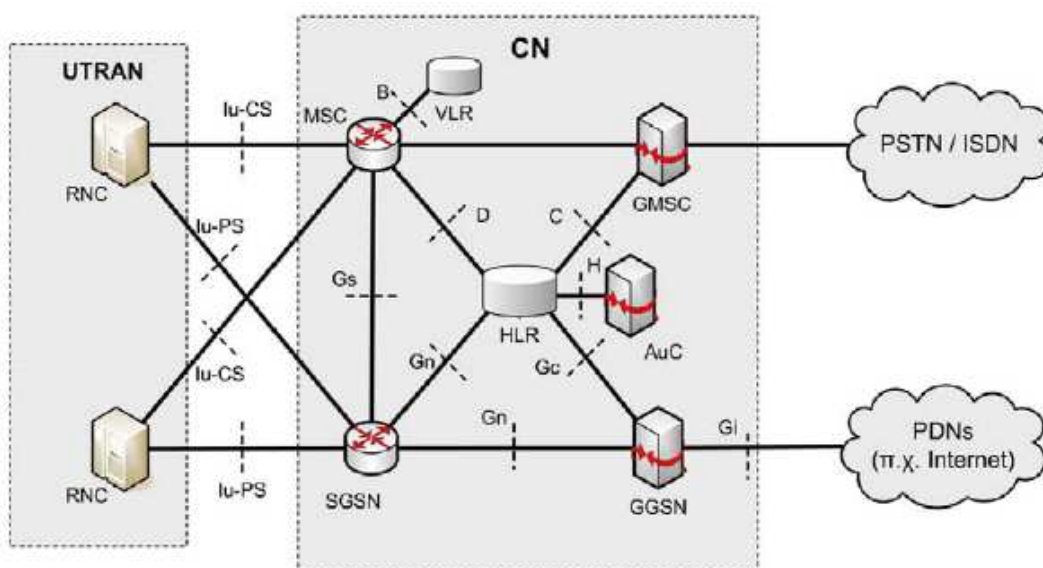
Όσον αφορά το πεδίο PS, αυτό αποτελείται από τους παρακάτω κόμβους. Αξίζει να επισημανθεί η αντιστοιχία που υπάρχει με τους κόμβους του πεδίου CS.

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

Τέλος, υπάρχουν ορισμένοι κόμβοι του CN οι οποίοι είναι κοινói, 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 το 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 [14], [2].



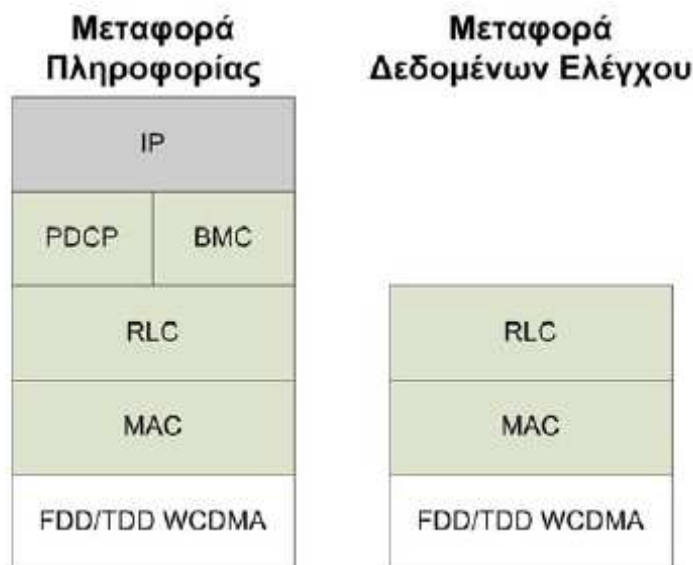
Εικόνα 5: Η δομή του CN

1.4.3 Βασικές διεπαφές και αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν οι βασικότερες διεπαφές του δικτύου UMTS. Η ανάλυση που θα ακολουθήσει θα εστιάσει στο πεδίο PS το οποίο είναι και το πεδίο που θα μας απασχολήσει από το σημείο αυτό και έπειτα.

1.4.3.1 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 προσδιορισθεί τα επίπεδα πρωτοκόλλων που αντιστοιχούν στο επίπεδο φυσικού μέσου, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων καθώς και το επίπεδο δικτύου [12].



Εικόνα 6: Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu

Το επίπεδο φυσικού μέσου (1ο επίπεδο στο μοντέλο διασυνδέσεων OSI) είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των δεδομένων μέσω της ασύρματης διεπαφής. Όπως φαίνεται και από την εικόνα 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 (2ο επίπεδο), αυτό περιέχει τέσσερα υπό-επίπεδα. Τα δύο πρώτα υπό-επίπεδα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου αλλά και πληροφορίας. Το πρώτο υπό-επίπεδο χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Medium Access Control (MAC) [15]. 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 και άλλα. Το δεύτερο πρωτόκολλο που συναντάμε στο

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

επίπεδο ζεύξης δεδομένων της διεπαφής Uu είναι το Radio Link Control (RLC). Το πρωτόκολλο αυτό είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση και παρακολούθηση της μεταφοράς δεδομένων καθώς και για τις ρυθμίσεις QoS.

Τα επόμενα δύο πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται μόνο για τη μεταφορά πληροφορίας και όχι για τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι το Packet Data Convergence Protocol (PDCP) και το Broadcast Control (BMC) [16]. Το πρώτο είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή των δεδομένων που παρέχουν τα πραγματικά πρωτόκολλα δεδομένων των πιο πάνω επιπέδων, σε ασύρματα πρωτόκολλα. Το PDCP προς το παρόν υποστηρίζει τα πρωτόκολλα IPv4 και IPv6 και μπορεί εύκολα να επεκταθεί προκειμένου να υποστηρίζει περισσότερα. Το πρωτόκολλο BMC είναι υπεύθυνο για τις υπηρεσίες broadcast και multicast μετάδοσης.

1.4.3.2 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 [6]. 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 και άλλα. 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.



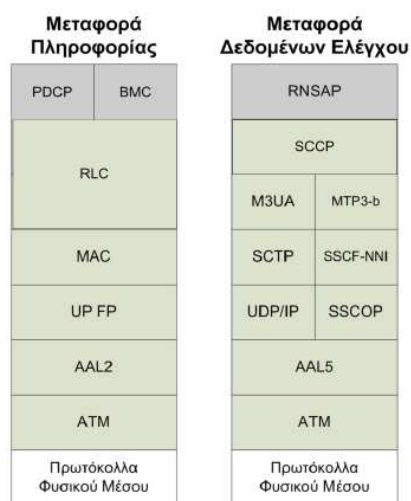
Εικόνα 7: Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iub

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.

Στο αμέσως υψηλότερο υπό-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 Iur σχετίζεται με τη μεταφορά δεδομένων ελέγχου. Όπως φαίνεται από την εικόνα 7, στα ανώτερα υπό-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, 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 [6].

1.4.3.3 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 ιεραρχία των πρωτοκόλλων που υλοποιούν τη διεπαφή Iur φαίνεται στην εικόνα 8.

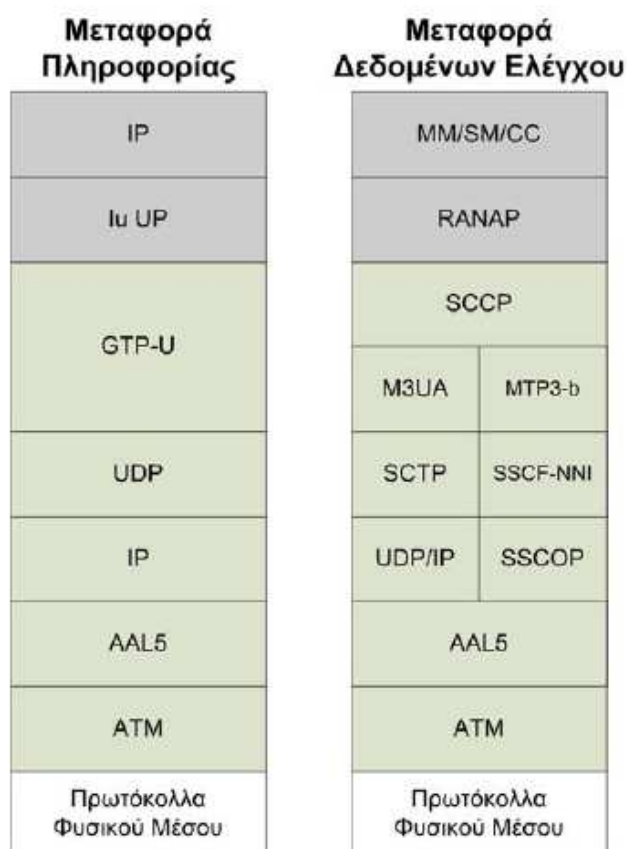


Εικόνα 8: Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iur

Όπως φαίνεται από την εικόνα 8, η ιεραρχία των πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας δε διαφέρει από τη διεπαφή Iu-b. Όσον αφορά τα δεδομένα ελέγχου έχουμε τη χρήση αρκετών νέων πρωτοκόλλων σε σχέση με τις προηγούμενες διεπαφές. Καταρχήν, η Εικόνα 9 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 [6].

1.4.3.4 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.



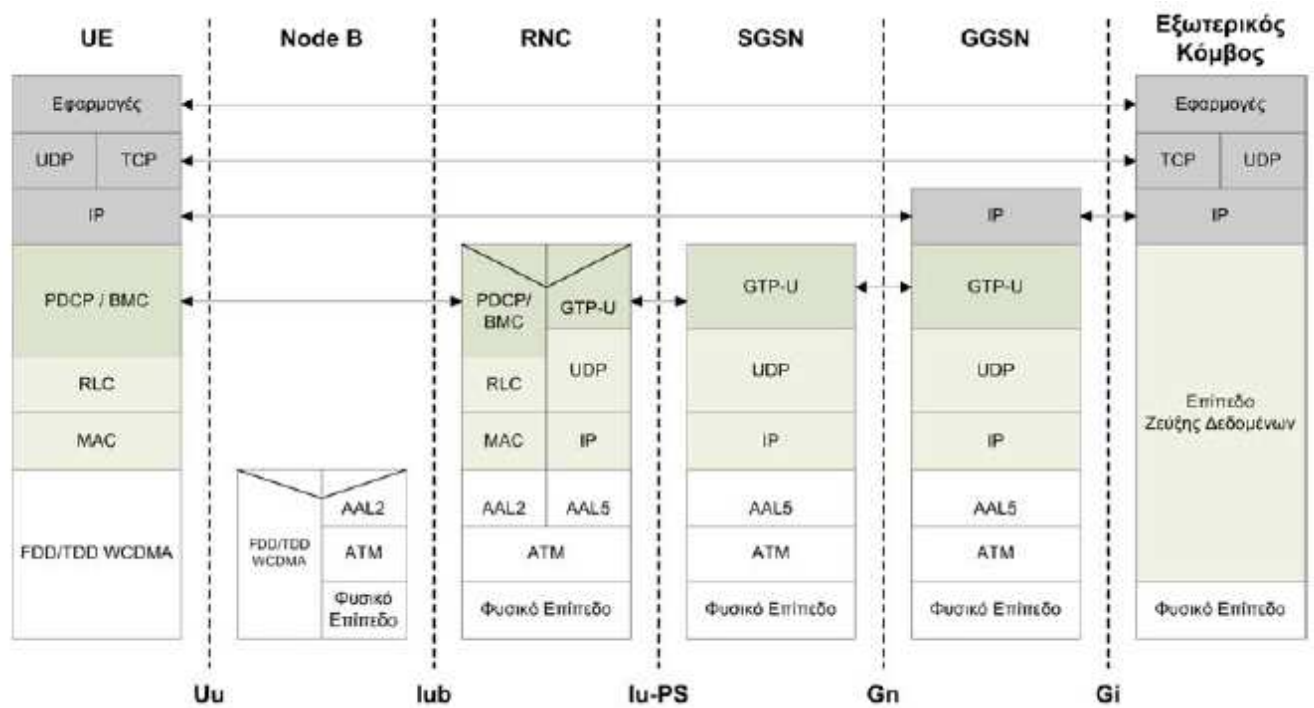
Εικόνα 9: Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Iu-PS

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.

1.4.3.5 Οι υπόλοιπες διεπαφές

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

Η εικόνα 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 στο πάνω μέρος της εικόνας. Οι συνδέσεις αυτές πρακτικά αποτελούνται από επιμέρους συνδέσεις μεταξύ των κόμβων του συστήματος, οι οποίες σημειώνονται με μικρότερα βέλη [12], [15], [16], [17], [6], [2].



Εικόνα 10: Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για τη μεταφορά πληροφορίας

1.4.4 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.

1.4.4.1 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

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

1.4.4.2 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 [2], [1].

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες καναλιών μεταφοράς: τα κοινά κανάλια (common channels), τα αφιερωμένα (dedicated) και τα διαμοιραζόμενα (shared). Τα κοινά κανάλια είναι κανάλια μονής κατεύθυνσης τα οποία χρησιμοποιούνται από όλους τους χρήστες σε μία κυψέλη. Τα σημαντικότερα από τα κανάλια αυτά είναι το Forward Access Channel (FACH) για τον κατερχόμενο σύνδεσμο και το Random Access Channel (RACH) για τον ανερχόμενο. Στην κατηγορία των διαμοιραζόμενων καναλιών ανήκει το Downlink Shared Channel (DSCH) καθώς και το High-Speed DSCH (HS-DSCH). Τα συγκεκριμένα κανάλια είναι πάντα συσχετισμένα με ένα αφιερωμένο κανάλι. Ειδικότερα, το HS-DSCH αποτελεί ένα κανάλι που υλοποιεί την τεχνολογία High-Speed Downlink Packet Access (HSPDA). Είναι ένα βελτιστοποιημένο κανάλι για ταχύτερη μετάδοση δεδομένων το οποίο ενσωματώνει έναν ευέλικτο μηχανισμό προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης. Από την άλλη πλευρά, στην κατηγορία του αφιερωμένου καναλιού ανήκει το Dedicated Channel (DCH) το οποίο είναι διπλής κατεύθυνσης και δεσμεύεται για ένα μόνο χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι αν ένα DCH δεσμευθεί είτε ως ανερχόμενος είτε ως κατερχόμενος σύνδεσμος, τότε πρέπει να δεσμευθεί και για την αντίθετη κατεύθυνση. Στην αντίθετη κατεύθυνση όμως, ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να διαφέρει [18], [19].

Πίνακας 3: Ιδιότητες καναλιών μεταφοράς

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

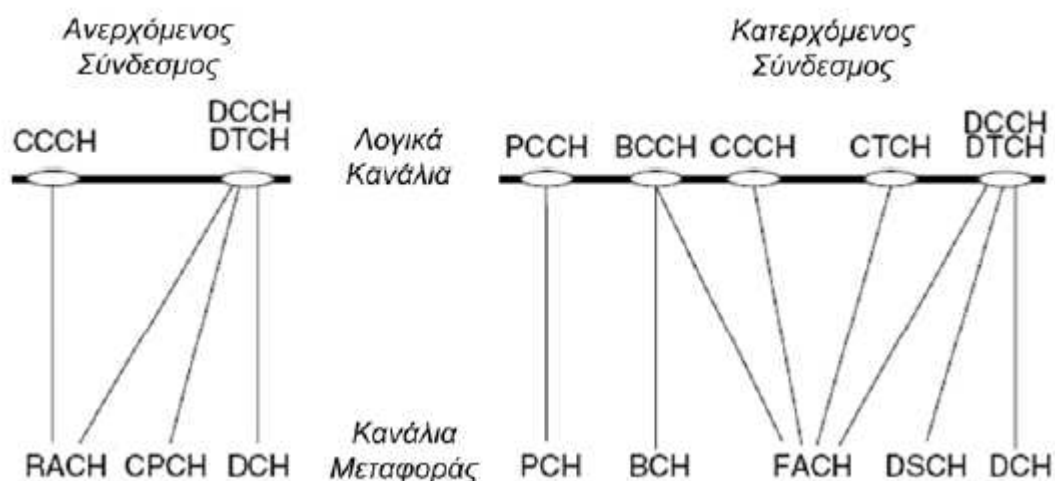
Ο πίνακας 3 απεικονίζει τις βασικές ιδιότητες των σημαντικότερων καναλιών μεταφοράς. Όπως φαίνεται στον πίνακα, η διαδικασία του soft handover υποστηρίζεται μόνο από το κανάλι DCH. Αντίθετα, τα υπόλοιπα κανάλια υποστηρίζουν άλλων ειδών handovers. Επιπλέον, μόνο το HS-DSCH υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων. Επιπλέον, όλα τα κανάλια μεταφορά εκτός του DCH δεν υποστηρίζουν γρήγορο έλεγχο ισχύος (Fast Power Control). Αυτό είναι λογικό αφού είναι κοινά μεταξύ των χρηστών που βρίσκονται στην ίδια κυψέλη, με αποτέλεσμα ο έλεγχος ισχύος να μην είναι εύκολα εφικτός.

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

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 1.4.3.1, 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 [1], [3].

Πίνακας 4: Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN

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

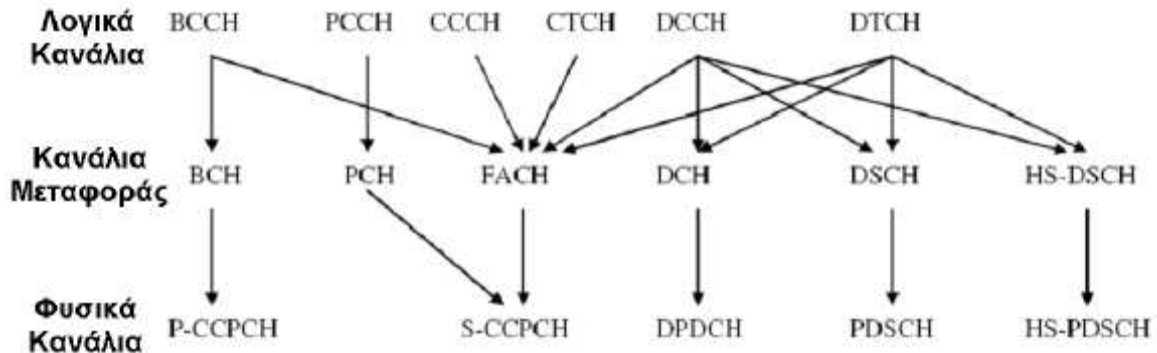


Εικόνα 11: Η αντιστοιχία λογικών καναλιών σε κανάλια μεταφοράς

1.4.4.3 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 [1]. Στην εικόνα 12 παρουσιάζεται η αντιστοιχία όλων των καναλιών του UMTS που χρησιμοποιούνται στην downlink κατεύθυνση.



Εικόνα 12: Αντιστοιχισή καναλιών για την downlink κατεύθυνση

1.4.5 Handovers στο UMTS

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

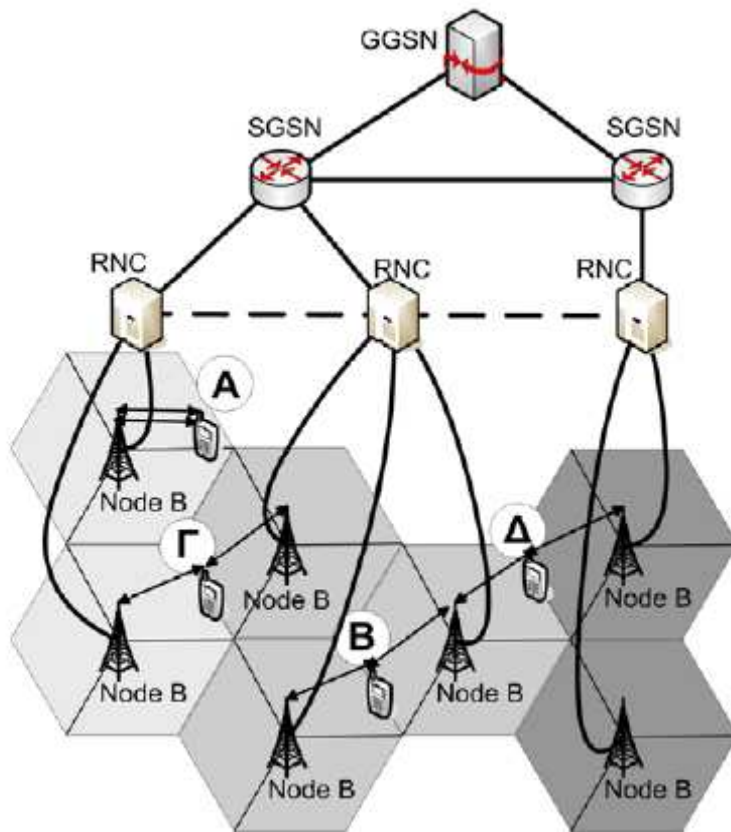
1.4.5.1 Softer και soft handover

Κατά τη διάρκεια ενός soft handover, το UE είναι συνδεδεμένο ταυτόχρονα σε περισσότερους από έναν Node Bs. Για την ακρίβεια, δέχεται τις μεταδόσεις δύο ή περισσότερων Node Bs. Επειδή οι μεταδόσεις αυτές γίνονται στην ίδια συχνότητα, ένα UE τις αντιλαμβάνεται σαν αλληλοσυμπληρούμενα τμήματα της ίδιας πληροφορίας. Το μόνο που διαφέρει σε κάθε τμήμα είναι ο κώδικας διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται σε κάθε μετάδοση. Όταν η σύνδεση με έναν από τους Node Bs δεν είναι απαραίτητη, η αντίστοιχη σύνδεση μπορεί να εγκαταλειφθεί. Το softer handover είναι ένα handover μεταξύ δύο τομέων της ίδιας κυψέλης. Η περίπτωση A στην εικόνα 13 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 [13].

Η διαδικασία του soft handover εκτελείται στα όρια μεταξύ των κυψελών. Με τη διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η αδιάλειπτη παροχή της υπηρεσίας, αφού η ένταση του σήματος που λαμβάνει το UE είναι μεγαλύτερη από αυτή που θα λάμβανε αν χρησιμοποιούνταν μόνο ένας ασύρματος σύνδεσμος. Χωρίς τη χρήση του soft

handover ο Node B θα έπρεπε να μεταδίδει με μεγαλύτερη ένταση προκειμένου να φτάσει το UE. Το γεγονός αυτό, θα προκαλούσε αύξηση της παρεμβολής [20].

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. Οι εμπλεκόμενες κυψέλες διαχωρίζονται σε τρία σύνολα: το active set, το monitored set και το detected set. Σε κάθε σύνολο αντιστοιχούν κάποιες απαιτήσεις ως προς τις μετρήσεις που του γίνονται. Το active set περιέχει τους Node Bs που αναμειγνύονται σε ένα soft handover με ένα UE. Όταν η ένταση του σήματος ενός Node B ξεπερνά κάποιο κατώφλι, ο συγκεκριμένος Node B προστίθεται στο active set. Φυσικά υπάρχει αντίστοιχο κατώφλι για την απόρριψη ενός Node B. Το monitored set περιέχει κυψέλες που συνορεύουν με την κυψέλη στο οποίο βρίσκεται το UE, και οι οποίες είναι υποψήφιες για handover. Φυσικά από το monitored set εξαιρούνται οι Node Bs που έχουν ήδη προστεθεί στο active set, αν υπάρχει. Το UE πρέπει να παρακολουθεί την ένταση του σήματος από τους Node Bs του monitored set σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Τέλος, το detected set περιέχει όλους τους Node Bs από τους οποίους το UE λαμβάνει σήμα, και οι οποίοι δε συνορεύουν με την κυψέλη στην οποία βρίσκεται το UE τη συγκεκριμένη στιγμή [21].



Εικόνα 13: Οι δυνατές περιπτώσεις softer και soft handover

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

- Inter-Node B/intra-RNS handover: Αυτός ο τύπος handover εκτελείται όταν το UE μετακινείται από μία κυψέλη ενός Node B σε μία κυψέλη άλλου Node B ο οποίος ανήκει στο ίδιο RNS με τον αρχικό (περίπτωση Β στην εικόνα 13).
- Inter-Node B/inter-RNS/intra-SGSN: Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από μία κυψέλη ενός Node B στην κυψέλη ενός άλλου Node B ο οποίος ανήκει σε διαφορετικό RNS σε σχέση με τον αρχικό. Συνεπώς, οι Node Bs ελέγχονται από διαφορετικούς RNCs οι οποίοι όμως συνδέονται με τον ίδιο SGSN (περίπτωση Γ στην εικόνα 13).
- Inter-Node B/inter-RNS/inter-SGSN: Σε αυτή την περίπτωση το UE μετακινείται από μία κυψέλη ενός Node B στην κυψέλη ενός άλλου Node B ο οποίος ανήκει σε διαφορετικό RNS σε σχέση με τον αρχικό. Επιπλέον, οι αντίστοιχοι RNCs συνδέονται με διαφορετικούς SGSNs (περίπτωση Δ στην εικόνα 13).

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 1.4.3.3 που περιγράφει τη διεπαφή Iur.

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

Το μοναδικό μειονέκτημα των softer και soft handover είναι ότι είναι u960 πολύπλοκες διαδικασίες που απαιτούν μεγάλο κόστος υλοποίησης. Αυτό γιατί απαιτείται η προσθήκη στους κόμβους του UTRAN, όχι μόνο επιπλέον λογισμικού, αλλά και υλικού. Επιπλέον, ανάλογες μετατροπές πρέπει να γίνουν και στον εξοπλισμό του χρήστη (UE)

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS [13].

1.4.5.2 Hard handover

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

Στα συστήματα CDMA, το hard handover είναι δύσκολο στην υλοποίηση. Αυτό γιατί δε χρησιμοποιούνται χρονοσχισμές, επομένως, κάθε UE δέχεται και μεταδίδει ασύρματη πληροφορία σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Γι' αυτό το λόγο δεν υπάρχουν ελεύθερες χρονοσχισμές προκειμένου το UE να κάνει μετρήσεις σε άλλη συχνότητα. Επειδή όμως αυτές οι μετρήσεις είναι απαραίτητες για την εκτέλεση του hard handover, το δίκτυο δε μπορεί να κάνει σωστή εκτίμηση της κυψέλης η οποία είναι καταλληλότερη για σύνδεση με το UE. Κατά συνέπεια, τα hard handovers χρησιμοποιούνται όταν, για κάποιο λόγο, η συχνότητα λειτουργίας του UE πρέπει να αλλάξει ή όταν δεν υπάρχει διεπαφή Iur μεταξύ δύο RNCs ώστε να μπορεί να εκτελεστεί ένα soft handover. Πάντως, είναι γεγονός ότι η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις [2].

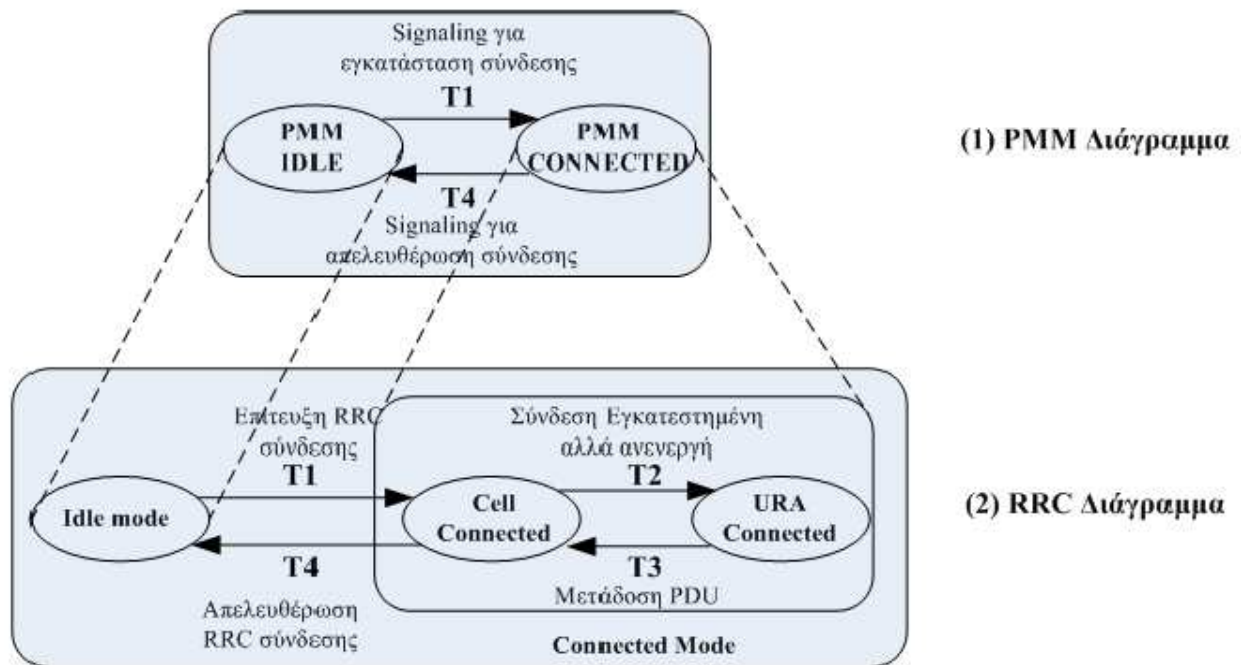
1.4.5.3 Intersystems handovers

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 της νέας κυψέλης (για ένα handover προς το GSM) ή τον κώδικα που χρησιμοποιεί η κυψέλη του UTRAN. Η λύση που προτάθηκε από το 3GPP και υιοθετήθηκε από τη βιομηχανία ήταν η αποστολή αυτής της πληροφορίας από την αρχική κυψέλη. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ο υπολογισμός της έντασης του σήματος στις υποψήφιες κυψέλες προκειμένου να επιλεγεί το κατάλληλο για το intersystem handover. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο δέκτες στο UE ή να δημιουργηθούν κάποιες χρονοσχισμές, προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις. Τέλος, ένα άλλο πρόβλημα είναι η ραγδαία μείωση του ρυθμού μετάδοσης στην περίπτωση του handover από UMTS προς GSM. Είναι δυνατό να συμβεί το ενδεχόμενο ένας χρήστης ενώ λαμβάνει δεδομένα από το UTRAN με ρυθμό που προσεγγίζει τα 2 Mbps, μετά την πραγματοποίηση του handover να λαμβάνει μόνο ένα μικρό ποσοστό από τον αρχικό ρυθμό [2].

1.4.6 Μηχανισμοί διαχείρισης της κινητικότητας των χρηστών

Η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών στο UMTS γίνεται από δύο διαδικασίες/μηχανισμούς οι οποίοι ονομάζονται Mobility Management (MM) και Radio Resource Control (RRC) (εικόνα 14). Ο μηχανισμός Packet MM (PMM) διαχειρίζεται την κινητικότητα των χρηστών στο επίπεδο του CN ενώ ο μηχανισμός RRC στο επίπεδο του UTRAN. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι παραπάνω μηχανισμοί ισχύουν για την PS λειτουργία του UMTS δικτύου στην οποία και επικεντρώνεται η παρούσα διπλωματική εργασία. Κάθε κινητός χρήστης μπορεί να βρίσκεται σύμφωνα με το μηχανισμό PMM σε δύο διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας: PMM idle και PMM connected. Αντίθετα, ο κινητός χρήστης όσον αφορά το μηχανισμό RRC μπορεί να βρίσκεται σε μια από τις παρακάτω καταστάσεις: RRC idle, RRC cell connected και RRC URA connected. Περισσότερα για τους δύο παραπάνω μηχανισμούς μπορείτε να βρείτε στις αναφορές [22], [23] και [24].



Εικόνα 14: PMM και RRC μηχανισμοί

Όταν δεν υπάρχει μετάδοση δεδομένων μεταξύ του CN και του κινητού χρήστη (UE), ο χρήστης βρίσκεται στην κατάσταση PMM idle και RRC idle (εικόνα 14). Σε αυτή την περίπτωση το UTRAN δεν έχει καμιά πληροφορία για το συγκεκριμένο UE ενώ ο μόνος κόμβος που διαθέτει πληροφορίες για το συγκεκριμένο UE είναι ο κόμβος SGSN (RA level tracking). Κατά τη διαδικασία ενεργοποίησης μιας PS σύνδεσης μεταξύ του UE και του SGSN (PS Signaling), ο κινητός χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση PMM connected (περίπτωση T1 στην εικόνα 14 (1)). Αμέσως μετά λαμβάνει χώρα η εγκατάσταση της σύνδεσης για τη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ του UE και RNC στο επίπεδο του UTRAN και ο κινητός χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση RRC cell connected (περίπτωση T1 στην εικόνα 14 (2)). Σε αυτή την περίπτωση ο κόμβος RNC διαθέτει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και τη θέση του συγκεκριμένου

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

UE. Μόνο σε αυτή την κατάσταση (PMM connected/RRC cell connected) μπορούν να μεταφερθούν δεδομένα στον κινητό χρήστη.

Αν ο χρήστης ενώ βρίσκεται στην κατάσταση PMM connected/RRC cell connected σταματήσει να λαμβάνει ή να στέλνει δεδομένα για ένα χρονικό διάστημα η RRC κατάστασή του αλλάζει από cell connected σε URA connected (περίπτωση T2 στην εικόνα 14 (2)). Και σε αυτή την περίπτωση ο κόμβος RNC διαθέτει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και τη θέση του συγκεκριμένου UE. Αν μετά από αυτό το χρονικό διάστημα ο χρήστης στείλει ή λάβει εκ νέου δεδομένα η RRC κατάστασή του αλλάζει σε cell connected (περίπτωση T3 στην εικόνα 14 (2)). Επιπρόσθετα, αν ο χρήστης βρίσκεται στην κατάσταση PMM connected/RRC URA connected και μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος εξακολουθεί να μη στέλνει ή δέχεται δεδομένα η σύνδεσή του με το UTRAN διακόπτεται και μεταβαίνει στην κατάσταση PMM connected/RRC idle αρχικά (περίπτωση T4 στην εικόνα 14 (2)) και τελικά μεταβαίνει στην κατάσταση PMM idle/RRC idle (περίπτωση T4 στην εικόνα 14 (1)) [22], [23], [24].

2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM (UMTS)

2.1 Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας πιστοποίησης

Στο UMTS, λαμβάνουν μέρος συγκεκριμένες λειτουργίες πιστοποίησης προκειμένου να αναγνωρίσουν και να εγκρίνουν έναν MS, και να επικυρώσουν τον τύπο της υπηρεσίας που ζητά. Με αυτόν τον τρόπο, διαπιστώνεται αν ο χρήστης είναι εξουσιοδοτημένος να χρησιμοποιήσει τις συγκεκριμένες υπηρεσίες δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, η πιστοποίηση γίνεται κάθε φορά που:

- ο MS αλλάζει περιοχή (είτε μέσα στην εμβέλεια ενός SGSN, inter-SGSN, είτε πηγαίνοντας από έναν SGSN σε κάποιον άλλον, intra-SGSN)
- γίνεται μία αίτηση για κλήση
- και αντίστοιχα γίνεται μία αίτηση για τερματισμό κλήσης.

Το UMTS παρέχει αμοιβαία πιστοποίηση, δηλαδή πιστοποίηση του MS από το δίκτυο και πιστοποίηση του δικτύου από τον MS. Σε αυτήν τη διαδικασία μάλιστα δημιουργείται ένα καινούργιο κλειδί κρυπτογράφησης, cipher key (CK)¹, και ένα κλειδί ακεραιότητας, integrity key (IK)², που συμφωνείται μεταξύ του SGSN και του MS. Τα μέρη που συμμετέχουν στη διαδικασία πιστοποίησης στο UMTS είναι το HLR/AuC στο οικιακό δίκτυο και η USIM που βρίσκεται στον MS.

Δύο είναι, λοιπόν, οι κύριες διαδικασίες πιστοποίησης:

- 1. Η απόκτηση του πίνακα με τα Authentication Vectors (AVs):** Σε αυτήν τη διαδικασία ο πίνακας με τα authentication vectors (AVs), που περιέχει τα στοιχεία πιστοποίησης, αποστέλλεται από το HLR/AuC στον SGSN. Κάθε στοιχείο AV του πίνακα είναι μία προσωρινή πληροφορία πιστοποίησης, η οποία επιτρέπει στον SGSN να ξεκινήσει τη πιστοποίηση στο UMTS και τη συμφωνία κλειδιών με έναν συγκεκριμένο χρήστη. Υποθέτουμε πως ισχύουν τα εξής:
 - Το HLR/AuC εμπιστεύεται τον SGSN πως θα χειριστεί την πληροφορία πιστοποίησης, που του αποστέλλουν μέσω του πίνακα με τα AVs, με ασφάλεια.
 - Το μονοπάτι μεταξύ του SGSN και του HLR/AuC είναι επαρκώς ασφαλές.
 - Ο χρήστης (MS/USIM) εμπιστεύεται το HLR/AuC.
- 2. Η πιστοποίηση και η συμφωνία κλειδιών:** Το GSM παρέχει μόνο μονόπλευρη πιστοποίηση. Στο UMTS, η αμοιβαία πιστοποίηση επιτυγχάνεται μοιράζοντας

¹ Πρόκειται για μία ακολουθία συμβόλων την οποία πρέπει να χρησιμοποιήσει τόσο ο SGSN όσο και ο MS για να μπορέσουν να αποκρυπτογραφήσουν τα μηνύματα που ανταλλάσσουν μεταξύ τους.

² Πρόκειται, επίσης, για μία ακολουθία συμβόλων – κλειδί κρυπτογράφησης – την οποία πρέπει να χρησιμοποιήσει τόσο ο SGSN όσο και ο MS για να μπορέσουν να αποκρυπτογραφήσουν τα μηνύματα που ανταλλάσσουν μεταξύ τους και ταυτόχρονα να ελέγχουν ότι δεν προσπαθεί κάποιος να παραβιάσει την μεταξύ τους επικοινωνία.

ένα μυστικό κλειδί μεταξύ της USIM και του HLR/AuC [26]. Αυτή η διαδικασία ακολουθεί ένα πρωτόκολλο ίδιο με το πρωτόκολλο που ακολουθεί το GSM για την πιστοποίηση του χρήστη και την συμφωνία κλειδιών [25], συνδυασμένο με ένα πρωτόκολλο βασισμένο σε μία ακολουθία αριθμών για την πιστοποίηση του δικτύου.

Η σηματοδότηση που ακολουθούν οι παραπάνω δύο διαδικασίες μπορεί να περιγραφεί στα εξής βήματα:

1^ο βήμα) Όταν ένας MS εισέλθει στην εμβέλεια ενός SGSN, ο SGSN δεν διαθέτει καμία πληροφορία πιστοποίησης για αυτόν. Συνεπώς, ο SGSN ενεργοποιεί τη διαδικασία για την απόκτηση του πίνακα με τα AVs στέλνοντας ένα μήνυμα αίτησης πιστοποίησης δεδομένων, Authentication Data Request message, στο HLR/AuC. Αυτό το μήνυμα περιλαμβάνει την IMSI που ταυτοποιεί μοναδικά τον MS.

2^ο βήμα) Μόλις το HLR/AuC λάβει την αίτηση από τον SGSN, χρησιμοποιεί την IMSI για να αναγνωρίσει την εγγραφή του MS. Όταν, λοιπόν, γίνει η αναγνώριση το HLR/AuC στέλνει τον πίνακα με τα AVs μεγέθους K στον SGSN μέσω ενός μηνύματος απόκρισης πιστοποίησης δεδομένων, Authentication Data Response message. Ένα στοιχείο AV αποτελείται από έναν τυχαίο αριθμό, random number RAND, μία αναμενόμενη απόκριση, expected response XRES, ένα κλειδί κρυπτογράφησης, cipher key CK, ένα κλειδί ακεραιότητας, integrity key IK, και ένα κουπόνι πιστοποίησης, authentication token AUTN. Κάθε στοιχείο AV είναι καλό για μία πιστοποίηση και συμφωνία κλειδιών μεταξύ του SGSN και του USIM.

Το HLR/AuC μπορεί είτε να υπολογίζει από προηγουμένως τα απαραίτητα AVs και να ανακτήσει αυτά τα AVs από τη βάση δεδομένων της ή να τα υπολογίσει εκείνη την στιγμή, on demand.

Τα επόμενα δύο βήματα πιστοποιούν τον χρήστη και δημιουργούν ένα νέο ζεύγος κλειδιών κρυπτογράφησης και ακεραιότητας, cipher and integrity keys, μεταξύ του SGSN και του USIM.

3^ο βήμα) Όταν ο SGSN ξεκινάει τη πιστοποίηση του MS και τη διαδικασία για τη συμφωνία κλειδιών, διαλέγει το επόμενο αχρησιμοποίητο στοιχείο AV από τον πίνακα με τα AVs που έχει και στέλνει τις παραμέτρους RAND και AUTN στην USIM μέσω ενός μηνύματος αίτησης πιστοποίησης χρήστη, User Authentication Request message.

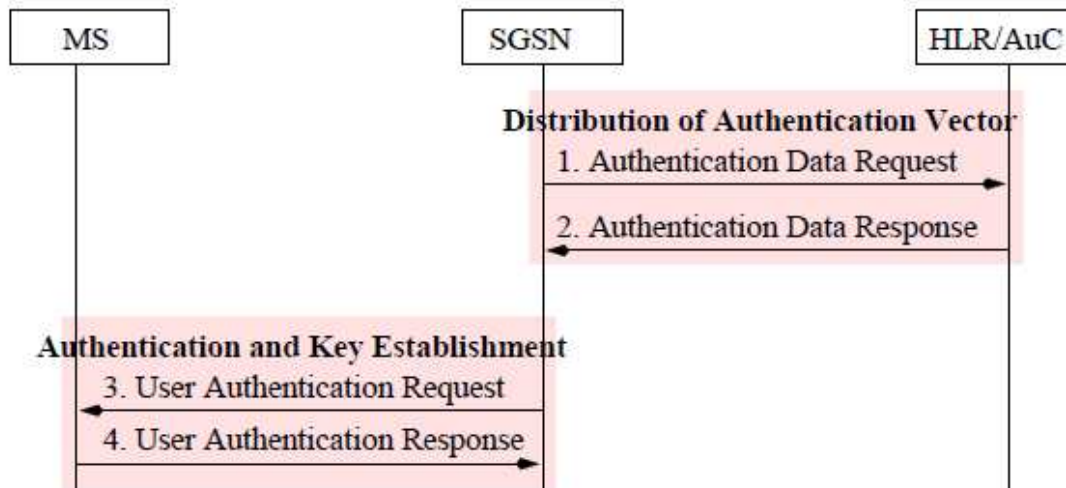
4^ο βήμα) Η USIM ελέγχει αν είναι αποδεκτό το AUTN, και αν ναι, παράγει μία απόκριση, response RES, που στέλνεται πίσω στον SGSN μέσω ενός μηνύματος απόκρισης πιστοποίησης χρήστη, User Authentication Response message. Ο SGSN συγκρίνει το λαμβανόμενο RES με το δικό του το XRES. Αν ταιριάζουν, τότε η διαδικασία πιστοποίησης και συμφωνίας κλειδιών ολοκληρώνεται επιτυχώς. Ας τονίσουμε πως σε αυτήν την αμοιβαία πιστοποίηση, το AUTN χρησιμοποιείται από την USIM για να πιστοποιήσει το δίκτυο, και τα RES/XRES χρησιμοποιούνται από το δίκτυο για την πιστοποίηση της USIM.

Σε αυτό το βήμα, η USIM επίσης υπολογίζει το CK και το IK χρησιμοποιώντας το λαμβανόμενο AUTN. Κατά τη μεταφορά δεδομένων, τα CK και IK χρησιμοποιούνται για να γίνουν οι λειτουργίες κρυπτογράφησης και ακεραιότητας στον MS. Από την άλλη, ο SGSN παίρνει τα CK και IK από το

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

AV και τα μεταδίδει στο UTRAN για την κρυπτογράφηση και ακεραιότητα των δεδομένων [26].

Τα βήματα, λοιπόν, που ακολουθούνται για την σηματοδότηση πιστοποίησης μπορούν να φανούν και στο σχήμα 1.

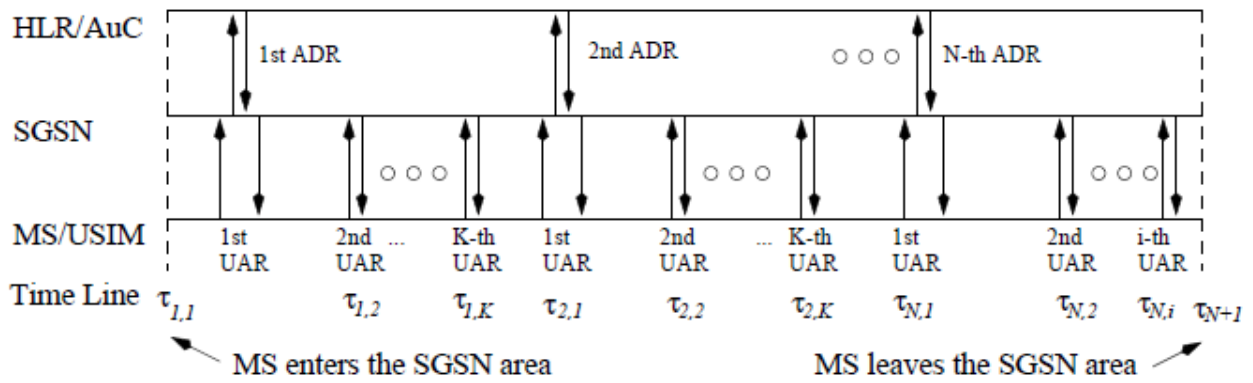


Σχήμα 1: Η διαδικασία πιστοποίησης στο UMTS

2.2 Χρονική ανάλυση της διαδικασίας πιστοποίησης

Σε αυτό το σημείο παραθέτουμε τη διαδικασία που πραγματοποιείται μόλις ο MS εισέλθει στην εμβέλεια ενός νέου SGSN. Για τον σκοπό αυτό, παραθέτουμε το χρονικό διάγραμμα³, σχήμα 2, που φανερώνει τη διαδικασία πιστοποίησης που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα.

³ Πρόκειται για έναν τρόπο απεικόνισης μίας διαδικασίας με βάση τον χρόνο. Δηλαδή, τα γεγονότα που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία απεικονίζονται σε χρονικές στιγμές.



ADR: Authentication Data Request & Response

UAR: User Authentication Request & Response

Σχήμα 2: Το χρονικό διάγραμμα της διαδικασίας πιστοποίησης

Σύμφωνα, λοιπόν, με το σχήμα 2, έστω πως ο MS εισέρχεται στην εμβέλεια ενός νέου SGSN την χρονική στιγμή $\tau_{1,1}$. Ο MS στέλνει ένα μήνυμα εγγραφής, registration message⁴, στον SGSN. Εφόσον, ο SGSN δεν έχει καμία πληροφορία πιστοποίησης του MS, καθώς εισέρχεται για πρώτη φορά στην εμβέλειά του, η διαδικασία για την απόκτηση ενός πίνακα AV γίνεται μέσω της διαδικασίας ADR, όπου το μέγεθος του πίνακα AV, τον οποίο αποκτά ο SGSN από το HLR/AuC, είναι K . Μόλις ο SGSN λάβει τον πίνακα AV, λαμβάνει μέρος η διαδικασία πιστοποίησης μεταξύ του SGSN και του MS μέσω της ανταλλαγής ενός ζεύγους μηνυμάτων που ονομάζεται User Authentication Request and Response – UAR⁵. Μετά την χρονική στιγμή $\tau_{1,1}$, το δεύτερο γεγονός πιστοποίησης, που είναι ουσιαστικά μία αίτηση σύνδεσης ή μία ανανέωση λόγω αλλαγής της περιοχής του SGSN, συμβαίνει την χρονική στιγμή $\tau_{1,2}$. Ο MS τότε ξεκινά τη δεύτερη διαδικασία με το ζεύγος UAR και ο SGSN χρησιμοποιεί το δεύτερο στοιχείο του πίνακα AV για τη διαδικασία της πιστοποίησης. Την χρονική στιγμή $\tau_{1,k}$, χρησιμοποιείται το τελευταίο στοιχείο του πίνακα AV για τη διαδικασία UAR του K -οστού γεγονότος πιστοποίησης. Μετά την χρονική στιγμή $\tau_{1,k}$, το επόμενο γεγονός πιστοποίησης συμβαίνει την χρονική στιγμή $\tau_{2,1}$. Ο SGSN τότε καταλαβαίνει πως δεν υπάρχουν άλλα διαθέσιμα στοιχεία στον πίνακα AV, εφόσον τα έχει χρησιμοποιήσει όλα – και τα K , οπότε πραγματοποιείται μία δεύτερη διαδικασία ADR για την απόκτηση του επόμενου πίνακα AV από το HLR/AuC και έπειτα λαμβάνει μέρος η διαδικασία UAR. Έτσι, όλη την ώρα λαμβάνουν μέρος οι διαδικασίες ADR και UAR ώσπου ο MS εγκαταλείψει την εμβέλεια του SGSN την χρονική στιγμή τ_{N+1} . Το τελευταίο γεγονός πιστοποίησης πριν την τ_{N+1} συμβαίνει την χρονική στιγμή $\tau_{N,i}$ ($1 \leq i \leq K$), που σημαίνει πως χρησιμοποιείται το i -οστό στοιχείο του N -οστού πίνακα AV. Επομένως, κατά τη

⁴ Κάθε φορά που ο χρήστης εισέρχεται για πρώτη φορά στην περιοχή ενός SGSN πρέπει πρώτα να γραφτεί σε αυτόν, ώστε ο SGSN να γνωρίζει την ύπαρξή του και να μπορεί να του παρέχει της υπηρεσίας που θα ζητήσει.

⁵ Ο χρήστης όταν εισέρχεται στη εμβέλεια του SGSN ζητάει πρώτα άδεια για την απόκτηση των υπηρεσιών που επιθυμεί. Έπειτα, από μία διαδικασία ο SGSN του αποκρίνεται για το κατά πόσο μπορεί ο MS να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες για τις οποίες έκανα την αίτηση.

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδοσίας πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS
διάρκεια της περιόδου $\tau_{N+1} - \tau_{1,1}$, εμφανίζονται $(N-1)K + i$ UARs και N ADRs και την
χρονική στιγμή τ_{N+1} , $K - i$ στοιχεία του πίνακα με τα AVs μένουν αχρησιμοποίητα.

Σε όλη αυτήν τη διαδικασία πιστοποίησης η απόκτηση του πίνακα AV μέσω της διαδικασίας ADR είναι αρκετά δαπανηρή ιδιαιτέρως αν ο SGSN και το HLR/AuC βρίσκονται σε διαφορετικές χώρες. Επομένως, από τη μία πλευρά μπορούμε να αυξήσουμε αρκετά το μέγεθος K του πίνακα AV, ώστε να μειώσουμε το πλήθος των φορών που πραγματοποιείται η διαδικασία ADR όταν ένας MS εισέρχεται στην εμβέλεια ενός SGSN. Από την άλλη, όμως, πλευρά, με μεγάλο K , ο πίνακας με τα AVs απασχολεί μεγάλο εύρος ζώνης στο δίκτυο μέχρι να μεταδοθεί από το HLR/AuC στον SGSN. Συνεπώς, η επιλογή του K πρέπει να είναι κατάλληλη ώστε να περιορισθεί το κόστος που απαιτείται για την σηματοδοσία πιστοποίησης στο δίκτυο.

Τονίζουμε, πως σε αυτήν την εργασία δεν εστιάσαμε στο πως μπορεί να γίνει η καλύτερη επιλογή του K , αλλά στο πως η μεταβολή του K , καθώς και άλλων σημαντικών παραμέτρων του δικτύου, επηρεάζουν το πλήθος των φορών που πραγματοποιείται η διαδικασία ADR όταν ένας MS εισέρχεται στην εμβέλεια ενός SGSN.

Στη συνέχεια της εργασίας, αναλύουμε το μοντέλο για την επιρροή του K , καθώς και των επιμέρους παραμέτρων, στην σηματοδοσία του δικτύου, περιγράφοντας λεπτομερώς την προσομοίωση που ακολουθήσαμε.

3. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΑΣ

3.1 Το κόστος πρόσβασης στο HLR/AuC

Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη ενότητα, η απόκτηση του πίνακα AV μέσω της διαδικασίας ADR είναι αρκετά δαπανηρή ιδιαίτερος αν ο SGSN και το HLR/AuC βρίσκονται σε διαφορετικές χώρες. Επομένως, από τη μία πλευρά μπορούμε να αυξήσουμε αρκετά το μέγεθος K του πίνακα AV, ώστε να μειώσουμε το πλήθος των φορών που πραγματοποιείται η διαδικασία ADR όταν ένας MS εισέρχεται στην εμβέλεια ενός SGSN. Από την άλλη, όμως, πλευρά, με μεγάλο K , ο πίνακας AV απασχολεί μεγάλο εύρος ζώνης στο δίκτυο μέχρι να μεταδοθεί από το HLR/AuC στον SGSN. Συνεπώς, η επιλογή του K πρέπει να είναι κατάλληλη, ώστε να περιορισθεί το κόστος που απαιτείται για την σηματοδοσία πιστοποίησης στο δίκτυο.

3.1.1 Προϋπάρχουσα έρευνα

Προς αυτήν την κατεύθυνση δεν έχει γίνει αρκετή έρευνα, μέχρι στιγμής τουλάχιστον. Ωστόσο, πρέπει να αναφέρουμε πως έχει γίνει σημαντική μελέτη από τους Yi-Bing Lin και Yuan-Kai Chen [27]. Παρουσιάζουν ένα αρκετά καλό μηχανισμό με τον οποίο γίνεται αυτόματα η επιλογή του K , ώστε να μειωθεί το κόστος σηματοδοσίας του δικτύου. Σύμφωνα με τη μελέτη τους, αυτός ο μηχανισμός αναγνωρίζει αυτόματα το κατάλληλο μέγεθος που πρέπει να έχει ο πίνακας με τα authentication vectors (AVs), σύμφωνα με την κατανομή του χρόνου που ένας MS παραμένει μέσα στην εμβέλεια ενός SGSN και του πλήθους των UAR μηνυμάτων.

3.2 Η ανάλυσή μας

Σε αυτήν την εργασία δεν εστιάσαμε στο πως μπορεί να γίνει η καλύτερη επιλογή του K , αλλά στο πως η μεταβολή του K , καθώς και άλλων σημαντικών παραμέτρων του δικτύου, επηρεάζουν το πλήθος των φορών που πραγματοποιείται η διαδικασία ADR όταν ένας MS εισέρχεται στην εμβέλεια ενός SGSN.

Οι υπόλοιπες σημαντικές παραμέτρους του δικτύου που επηρεάζουν με την σειρά τους το κόστος πρόσβασης στο HLR/AuC είναι οι:

- ❖ Ο ρυθμός αποστολής και άφιξης αιτήσεων για σύνδεση είτε του MS προς τον SGSN ή του SGSN προς το HLR/AuC, έστω λ .
Πρόκειται, δηλαδή, για τον ρυθμό που πραγματοποιούνται τα γεγονότα User Authentication Request and Response (UAR) και Authentication Data Request and Response (ADR).
- ❖ Ο χρόνος που διαρκεί μία σύνδεση του MS προς τον SGSN, έστω d^6 .

⁶ Προήλθε από το call duration time.

- ❖ Ο ρυθμός αποστολής και άφιξης μηνυμάτων από τον SGSN προς τον MS, έστω λ . Την σημασία αυτής της παραμέτρου θα την εξηγήσουμε σε επόμενη ενότητα.
- ❖ Ο χρόνος παραμονής του MS μέσα στην περιοχή του SGSN, έστω με μέση τιμή $1/\mu$ άρα με ρυθμό μ .

Πρόκειται, δηλαδή, για την περίοδο $\tau_{N+1} - \tau_{1,1}$ στην οποία ο MS παραμένει μέσα στην περιοχή του SGSN.

Ας δούμε, λοιπόν, πως μεταβάλλεται το κόστος πρόσβασης στο HLR/AuC μεταβάλλοντας όλες αυτές τις παραμέτρους και το K .

3.2.1 Μεταβολή του K με σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους

Σε αυτήν την περίπτωση, μεταβάλλουμε μόνο το K και τις υπόλοιπες παραμέτρους τις αφήνουμε σταθερές (λ , μ , d).

Υπενθυμίζουμε πως το K είναι το μέγεθος του πίνακα με τα authentication vectors (AVs). Αν, λοιπόν, το K είναι αρκετά μεγάλο σημαίνει πως ο πίνακας με τα AVs θα έχει πολλά στοιχεία πιστοποίησης. Δηλαδή, ο SGSN άπαξ και αποκτήσει έναν τέτοιο πίνακα, μετά θα αργήσει αρκετά μέχρι να ξανακάνει αίτηση στο HLR/AuC για την απόκτηση άλλου πίνακα. Συνεπώς, το πλήθος των μηνυμάτων ADR θα είναι μικρό ή αλλιώς οι φορές που ο SGSN θα έρχεται σε επαφή με το HLR/AuC θα είναι λίγες. Οπότε, στην αντίθετη περίπτωση όπου το K είναι αρκετά μικρό, είναι αναμενόμενο πως οι φορές που ο SGSN έρχεται σε επαφή με το HLR/AuC να είναι πολλές.

3.2.2 Μεταβολή των υπολοίπων παραμέτρων

Σε αυτήν την περίπτωση διακρίνουμε τα ακόλουθα σενάρια:

1^ο σενάριο) $K = \text{σταθερό}$, $d = \text{σταθερό}$ και $\mu = \text{σταθερό}$.

Αν αυξήσουμε το λ , τότε είναι αναμενόμενο πως το πλήθος των αιτήσεων για σύνδεση του MS με τον SGSN θα αυξηθεί. Συνεπώς, γρήγορα θα τελειώνουν τα στοιχεία πιστοποίησης AVs που θα διαθέτει ο SGSN, λόγω του πίνακα που θα έχει αποκτήσει από προηγούμενο ADR από το HLR/AuC. Οπότε, ο SGSN θα αναγκάζεται πολλές φορές να κάνει αίτηση σύνδεσης με το HLR/AuC για την απόκτηση νέου πίνακα με νέα AVs. Δηλαδή, οι φορές που ο SGSN θα έρχεται σε επαφή με το HLR/AuC θα αυξηθούν και άρα και τα ADRs. Το αντίθετο θα ισχύει αν μειώσουμε το λ .

2^ο σενάριο) $K = \text{σταθερό}$, $\lambda = \text{σταθερό}$ και $\mu = \text{σταθερό}$.

Αν αυξήσουμε το d , τον χρόνο που διαρκεί μία σύνδεση από τον MS προς τον SGSN, τότε θα μειωθεί ο αριθμός αιτήσεων σύνδεσης από τον MS προς τον SGSN που θα πραγματοποιηθούν κατά τη διάρκεια της περιόδου όπου ο MS παραμένει μέσα στην εμβέλεια του SGSN. Συνεπώς, ο SGSN λίγες φορές θα προλάβει να έρθει σε επαφή με το HLR/AuC για να αποκτήσει νέο πίνακα με νέα AVs και άρα το πλήθος των ADRs θα μειωθούν. Το ανάποδο θα ισχύει αν μειώσουμε το d .

Στα σενάρια αυτά φαίνεται πως κάθε φορά ο χρόνος παραμονής του MS μέσα στην εμβέλεια του SGSN παραμένει σταθερός, καθώς δεν έχει κάποιο συγκεκριμένο νόημα αν τον μεταβάλλουμε.

3.2.3 Σημασία της παραμέτρου λ'

Η παράμετρος λ' είναι ο ρυθμός με τον οποίο ο SGSN στέλνει τα μηνύματα/δεδομένα για τα οποία ο MS έχει κάνει την αίτηση σύνδεσης σε αυτόν. Πιο συγκεκριμένα, ο SGSN, μέσα στον χρόνο που διαρκεί η συγκεκριμένη σύνδεση του MS προς τον SGSN, στέλνει κάποια μηνύματα⁷ στον MS. Όταν η διάρκεια αυτής της σύνδεσης τελειώσει, ο SGSN σταματάει και αυτός να στέλνει μηνύματα στον MS. Όταν γίνει η επόμενη αίτηση σύνδεσης του MS προς τον SGSN και για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί αυτή η σύνδεση, ο SGSN στέλνει πάλι με τον ίδιο ρυθμό λ' μηνύματα στον MS. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνέχεια μέχρι ο MS να εξέλθει από την εμβέλεια του SGSN. Ωστόσο, μόλις ο SGSN έχει στείλει συνολικά στον MS ένα συγκεκριμένο πλήθος μηνυμάτων, έστω T, τότε θεωρούμε εμείς πως ο SGSN επικοινωνεί με το HLR/AuC για την απόκτηση νέου πίνακα με νέα AVs. Επομένως, είναι λογικό πως με αυτήν την παρέμβασή μας θα αυξάνεται το πλήθος των ADRs.

3.3 Το μαθηματικό μοντέλο

Προκειμένου να βγάλουμε τα πειραματικά μας αποτελέσματα, πρέπει να αναφερθούμε και στο μαθηματικό μοντέλο που βασίζεται στην θεωρία περί το κόστος πρόσβασης στο HLR/AuC.

Έστω N να είναι ο συνολικός αριθμός των ADRs που πραγματοποιούνται όταν ο MS εισέλθει στην εμβέλεια ενός SGSN. Για κάθε ADR, το μέγεθος του πίνακα με τα AVs που λαμβάνει ο SGSN από το HLR/AuC είναι K . Υποθέτουμε πως οι εισερχόμενες και εξερχόμενες κλήσεις και οι αφίξεις εγγραφής είναι Poisson διεργασίες με ρυθμό λ . Όπως αναφέραμε και στην ενότητα 2.2, για κάθε εισερχόμενη ή εξερχόμενη κλήση και εγγραφή, πραγματοποιείται μία διαδικασία UAR. Για μία συγκεκριμένη περίοδο τ , έστω $\Theta(n, K, \tau)$ να είναι η πιθανότητα να υπάρχουν n ADRs. Υπενθυμίζουμε πως n ADRs υπάρχουν, αν στην περίοδο τ υπάρχουν $(n-1)K + k$ ($1 \leq k \leq K$) UARs. Με βάση την συνάρτηση πιθανότητας της Poisson κατανομής, προκύπτει:

$$\Theta(n, K, \tau) = \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{(\lambda \tau)^{(n-1)K+k}}{[(n-1)K+k]!} \right\} e^{-\lambda \tau}. (1)$$

Έστω t να είναι η περίοδος όπου ένας MS εισέρχεται στην εμβέλεια ενός SGSN. Τότε, θα ισχύει $t = \tau_{N+1} - \tau_{1,1}$. Υποθέτουμε πως το t έχει μία κατανομή με συνάρτηση

πυκνότητας $f(t)$, μέσης τιμή $1/\mu$, και Λαπλασιανό μετασχηματισμό $f^*(s) = \int_{t=0}^{\infty} f(t)e^{-st} dt$.

Έστω $R(n, K)$ να είναι η πιθανότητα να υπάρχουν n ADRs κατά τη διάρκεια παραμονής του MS στην εμβέλεια του SGSN. Τότε:

⁷ Πρόκειται για τα δεδομένα που επιθυμεί ο MS να αποκτήσει.

$$\begin{aligned}
 P(n, K) &= \int_{t=0}^{\infty} \Theta(n, K, \tau) f(t) dt \Leftrightarrow \\
 P(n, K) &= \sum_{k=1}^K \int_{t=0}^{\infty} \left\{ \frac{(\lambda \tau)^{(n-1)K+k}}{[(n-1)K+k]!} \right\} e^{-\lambda \tau} f(t) dt \Leftrightarrow \\
 P(n, K) &= \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{\lambda^{(n-1)K+k}}{[(n-1)K+k]!} \right\} \int_{t=0}^{\infty} t^{(n-1)K+k} e^{-\lambda t} f(t) dt (2) \Leftrightarrow \\
 P(n, K) &= \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{\lambda^{(n-1)K+k}}{[(n-1)K+k]!} \right\} (-1)^{(n-1)K+k} \left[\frac{d^{(n-1)K+k} f^*(s)}{ds^{(n-1)K+k}} \right]_{s=\lambda} (3)
 \end{aligned}$$

όπου η (3) προκύπτει από την (2) χρησιμοποιώντας τον κανόνα P.1.1.9 στην αναφορά [28]. Έστω $E[N]$ να είναι ο αναμενόμενος αριθμός ADRs όταν ο MS εισέρχεται στην εμβέλεια του SGSN. Τότε:

$$E[N] = \sum_{n=1}^{\infty} n P(n, K). (4)$$

Υποθέτουμε πως η περίοδος t , μέσα στην οποία εμφανίζονται τα n ADRs, είναι εκθετικά κατανομημένη. Συνεπώς η (3) θα γίνει:

$$P(n, K) = \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right)^{(n-1)K} \left[1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right)^K \right].$$

Επίσης, η (4) θα γίνει:

$$E[N] = \frac{1}{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right)^K}. (5)$$

Τέλος, ο χρόνος που διαρκεί μέχρι να γίνει η επόμενη αίτηση σύνδεσης από τον MS προς τον SGSN ακολουθεί την εκθετική κατανομή με μέση τιμή d και η αποστολή και άφιξη μηνυμάτων από τον SGSN στον MS ακολουθεί και αυτή την εκθετική κατανομή με ρυθμό λ' .

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.1 Ο προσομοιωτής NS-2

Σε αυτό ακριβώς το σημείο περιγράφουμε τη διαδικασία που ακολουθήσαμε προκειμένου να αποδείξουμε ότι πράγματι οι θεωρίες για το κόστος πρόσβασης στο HLR/AuC ταυτίζονται με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Βασικό εργαλείο στην πραγμάτωση της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτέλεσε ο προσομοιωτής network simulator 2 (ns-2). Το εργαλείο αυτό είναι ένα open source σύστημα το οποίο δημιουργήθηκε στο Πανεπιστήμιο του Berkeley και χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως από την επιστημονική κοινότητα. Έχουν παρουσιαστεί πολλές εκδόσεις του συγκεκριμένου συστήματος, η συγκεκριμένη που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ns-2.30, στην οποία και αναπτύχθηκε η τοπολογία μας.

Ο προσομοιωτής αυτός διατίθεται ελεύθερος από το [29], όπου είναι διαθέσιμες πολλές εκδόσεις του για διαφορετικές λειτουργικές πλατφόρμες. Συγκεκριμένα, στην δικιά μας περίπτωση ο ns λειτούργησε σε περιβάλλον UBUNTU 8.10, όπου η διαδικασία εγκατάστασης και σωστής λειτουργίας είναι απλή. Επίσης, ο προσομοιωτής αυτός δεν λειτούργησε αυτόνομα, αλλά σαν ένα ολοκληρωμένο πακέτο, το ns-allinone-2.30. Το πακέτο αυτό περιέχει εκτός βέβαια από τον ίδιο τον προσομοιωτή και μία σειρά από άλλα πακέτα, μερικά από τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του και ορισμένα απλώς υποστηρικτικά. Το σύστημα του προσομοιωτή είναι υλοποιημένο σε γλώσσα C++, και χρησιμοποιεί την γλώσσα Tcl σαν διεπαφή λήψης εντολών. Με άλλα λόγια κατανοεί την γλώσσα Tcl, στην οποία γράφονται τα προγράμματα που περιγράφουν τα πειράματα που επιθυμεί ο χρήστης να εκτελέσει στον προσομοιωτή. Το πακέτο της Tcl περιέχεται βέβαια στο συνολικό πακέτο του ns-allinone-2.30, όπου περιλαμβάνονται επίσης και τα ακόλουθα πακέτα:

- Το πακέτο nam. Ο ρόλος του πακέτου αυτού είναι υποστηρικτικός στη λειτουργία του προσομοιωτή και δίνει τη δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης της τοπολογίας και λειτουργίας του δικτύου.
- Επίσης, περιλαμβάνει το πακέτο xgraph όπου επίσης έχει δευτερεύουσας σημασίας λειτουργία και δίνει τη δυνατότητα στη χρήστη να μπορεί να αναπαριστά γραφικά διάφορα δεδομένα εξόδου.
- Ένα άλλο πακέτο που περιλαμβάνεται στο γενικό πακέτο ns-allinone-2.30 είναι το πακέτο perl, όπου έχει βασική σημασία και επιτρέπει στο χρήστη να μπορεί να εκτελεί πρόγραμμα της γλώσσας αυτής.
- Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι περιλαμβάνεται επίσης και το πακέτο gt-itm όπου είναι ένας μηχανισμός παραγωγής τοπολογιών δικτύου αυτόματα. Συγκεκριμένα το υποσύστημα αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες για τον τρόπο παραγωγής μίας τοπολογίας και συγκεκριμένα μπορεί να παράγει είτε τυχαίες είτε τοπολογίες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Βέβαια πρέπει να τονιστεί ότι η λειτουργία του πακέτου αυτού παρουσιάζει ελλείψεις και προβλήματα, όπως ότι δεν υποστηρίζει στην παραγωγή της τοπολογίας τη χρήση διαφορετικού τύπου ουράς εκτός από FIFO.

Αφού καταγράφηκαν συνοπτικά τα πακέτα που περιέχει το συνολικό πακέτο ns-allinone-2.30 που χρησιμοποιήθηκε, θα επικεντρωθεί στη συνέχεια η προσοχή μας στον προσομοιωτή. Ο τρόπος που λειτουργεί είναι αρκετά απλός, δέχεται σαν είσοδο αρχείο

Tcl, τα οποία κατανοεί και τα εκτελεί. Η έξοδος που παράγει μπορεί να έχει ποικίλες μορφές αφού υποστηρίζει όπως είδαμε παραπάνω ακόμη και γραφική αναπαράσταση του δικτύου. Η συνηθέστερη έξοδος που παράγει είναι αρχεία που περιγράφουν πλήρως την κίνηση σε ορισμένη ζεύξη, link ή την κατάσταση μίας ουράς. Τα αρχεία αυτά εν συνεχεία μπορεί να δεχτούν περαιτέρω επεξεργασία και να αποτυπώσουν ή να υπολογίσουν συγκεκριμένες ποσότητες που ενδιαφέρουν τον χρήστη όπως για παράδειγμα την καθυστέρηση που έχει ένα πακέτο πληροφορίας από την πηγή στον προορισμό. Ακόμη, εκτός από τα αρχεία που περιγράφηκαν παραπάνω μπορεί να παράγει και συνολικά αρχεία για όλη τη διάρκεια του πειράματος που περιγράφουν κάθε πακέτο που παρήχθη, τη διαδρομή που ακολούθησε, πότε εισήλθε και πότε εξήλθε από κάθε ουρά κλπ. Ολοκληρώνοντας αυτό το τμήμα πρέπει να τονιστεί ότι γενικά η έξοδος του προσομοιωτή μπορεί να παράγει όποια πληροφορία επιθυμεί ο χρήστης, ενδεχομένως με περαιτέρω επεξεργασία κάποιες φορές.

Στη συνέχεια, παρουσιάζει ενδιαφέρον και πρέπει να αναφερθεί ο τρόπος που δομούνται τα προγράμματα σε Tcl και τα εκτελεί ο ns. Αρχικά η δομή των προγραμμάτων επιβάλλει να δημιουργείται η τοπολογία του δικτύου, ορίζοντας τους κόμβους που θα υπάρχουν και τις διασυνδέσεις μεταξύ τους. Επίσης, στο σημείο αυτό πρέπει να περιγράφουν οι ουρές στις ζεύξεις και να οριστούν οι αντίστοιχοι παράμετροι κάθε φορά. Αφού πλέον δημιουργηθεί η τοπολογία στόχο αποτελεί η δημιουργία των πηγών παραγωγής πληροφορίας. Ο τρόπος που μία πηγή δημιουργείται και παράγει πακέτα είναι σχετικά απλός και αποτελείται αρχικά από τη δημιουργία ενός agent που συνδέεται σε έναν κόμβο – κάθε κόμβος μπορεί να δέχεται πολλούς agents. Στη συνέχεια δημιουργείται μία πηγή η οποία συνδέεται πάνω σε έναν agent, όπου ένας agent αντιστοιχεί σε μία μόνο πηγή και αντίστροφα. Οι βασικοί τύποι agent που υπάρχουν είναι 2:

- TCP agents, οι οποίοι χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο TCP
- UDP agents, οι οποίοι χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο UDP.

Αντίστοιχα, τα διάφορα είδη πηγών παραγωγής πακέτων είναι όλα υλοποιημένα στη κλάση Application και είναι τα ακόλουθα:

- FTP, σε αυτό το είδος παράγονται είτε συγκεκριμένος αριθμός πακέτων είτε κίνηση για συγκεκριμένο χρόνο.
- Telnet, στην περίπτωση αυτή η παραγωγή πακέτων καθορίζεται από εκθετική κατανομή
- Παράλληλα υπάρχουν άλλα τέσσερα είδη πηγών που έχουν υλοποιηθεί σε μία κλάση Traffic Generation που είναι υλοποιημένη κάτω από την κλάση Application. Τα είδη αυτά είναι:
 - Εκθετική ON/OFF όπου η παραγωγή πληροφορίας ακολουθεί την εκθετική κατανομή. Σε αυτήν την περίπτωση ορίζονται σαν παράμετροι το ποσοστό του χρόνου παραγωγής πληροφορίας και μη παραγωγής, ο ρυθμός αποστολής και το μέγεθος των πακέτων.
 - Pareto ON/OFF, είναι όμοια με την προηγούμενη με τη μόνη διαφορά ότι η παραγωγή πακέτων ακολουθεί αυτήν την φορά την Pareto κατανομή. Οι παράμετροι που ορίζονται είναι όμοιοι με πριν.
 - CBR, είναι μία Τρίτη μέθοδος όπου παράγει περιοδικά πακέτα πληροφορίας με συγκεκριμένο ρυθμό που ορίζεται ως παράμετρος. Ταυτόχρονα παράμετρο αποτελεί και το μέγεθος των πακέτων.

- Τέλος, υπάρχει και η μέθοδος του TrafficTrace όπου διαβάζει στοιχεία από ένα αρχείο trace και παράγει την κίνηση.
- Το τελευταίο είδος είναι η HTTP κίνηση που βρίσκεται κάτω από την κλάση Application και αποτελείται από τρία ουσιαστικά Applications (Client, Server, Cache). Οι συνδέσεις που μπορεί να γίνουν είναι μεταξύ client – server, client – cache και server – cache. Ο τρόπος αποστολής αιτήσεων και η παραγωγή πλέον αντίστοιχων απαντήσεων καθορίζεται από μία άλλη κλάση που ονομάζεται Pagerool και διαθέτει τέσσερις διαφορετικούς τύπους.

Επίσης, το ns-2 μπορεί να προσομοιώνει καταστάσεις στις οποίες οι κόμβοι του δικτύου κινούνται με συγκεκριμένες ταχύτητες και κατευθύνσεις. Για αυτόν τον λόγο υπάρχουν αρκετά μοντέλα κινητικότητας. Επιπλέον για να επικοινωνούν οι κόμβοι μεταξύ τους πρέπει το δίκτυο να υποστηρίζεται από συγκεκριμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Συνοψίζοντας, το ns-2 είναι ένας προσομοιωτής ο οποίος καλύπτει ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών, πρωτοκόλλων, τύπων δικτύων και μοντέλων κίνησης.

4.1.1 Το είδος και η δημιουργία κίνησης

Στην πραγματικότητα, όπως τονίσαμε, η συνολική κίνηση στο διαδίκτυο αποτελεί σύνθεση πολλών ειδών κίνησης. Προκειμένου, λοιπόν, τα πειράματα να είναι ορθά και αξιόπιστα πρέπει στη διαδικασία της προσομοίωσης να προσεγγιστεί σωστά η κίνηση που θα εισαχθεί στο δίκτυο. Δηλαδή, πρέπει στο δίκτυο να υπάρχει το είδος της κίνησης που θα μελετείται κάθε φορά, foreground traffic, καθώς και η υπόλοιπη κίνηση στο δίκτυο, background traffic.

Οι μέθοδοι παραγωγής κίνησης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία περιγράφονται παρακάτω:

- Το απλό μοντέλο ON/OFF όπου έχει περιόδους ON και OFF κατανομημένες με κάποιο είδος κατανομής και σταθερό ρυθμό μετάδοσης κατά τη διάρκεια των ON περιόδων. Το μοντέλο αυτό περιγράφεται πλήρως από μία τριάδα $\langle R, b, p \rangle$ με τα μεγέθη: R , b και p αναπαριστούν αντίστοιχα το ρυθμό μετάδοσης όταν η πηγή είναι ενεργή, τη μέση διάρκεια μίας ενεργής περιόδου και το κλάσμα του χρόνου που η πηγή είναι ενεργή, active. Συμπερασματικά, στην περίπτωση του ON/OFF μοντέλου έχουμε ουσιαστικά παραγωγή ροών, flow generation. Οι κατανομές τις οποίες μπορούν να ακολουθούν οι εναλλαγές των περιόδων είναι οι ακόλουθες:

- Εναλλαγές περιόδων ακολουθώντας την κατανομή Pareto. Η Pareto κατανομή έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$f(x) = ab^a / x^{a+1}$$

για $x \geq b$ και το a αποτελεί παράμετρο.

- Η δεύτερη περίπτωση είναι οι εναλλαγές περιόδων να ακολουθούν την εκθετική κατανομή που έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$f(t) = re^{-rt}, t \geq 0$$

- Η τελευταία περίπτωση είναι οι εναλλαγές περιόδων να ακολουθούν την κανονική κατανομή που έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$f(x) = \exp[-(x - \mu)^2 / (2\sigma)^2] / [(2\pi)^{1/2} \sigma], x \in R$$

Αυτή είναι και η λιγότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδος.

- Η δεύτερη περίπτωση είναι να έχουμε κίνηση στο δίκτυο όπου οι αφίξεις πακέτων ακολουθούν την Poisson κατανομή με ρυθμό λ . Η κατανομή Poisson είναι πολύ συνηθισμένη στην αναπαράσταση της κίνησης σε δίκτυα και έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$f(x) = e^{-\lambda} (\lambda^k) / k!, k = 0, 1, 2, \dots$$

όπου το λ είναι παράμετρος και δηλώνει το ρυθμό άφιξης.

- Ένα άλλο μοντέλο που περιγράφεται στη βιβλιογραφία είναι μία πηγή που παράγει περιοδικά πακέτα σταθερού μήκους.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι ο δεύτερος και τρίτος τρόπος αναφέρονται σε παραγωγή πακέτων, packet generation.

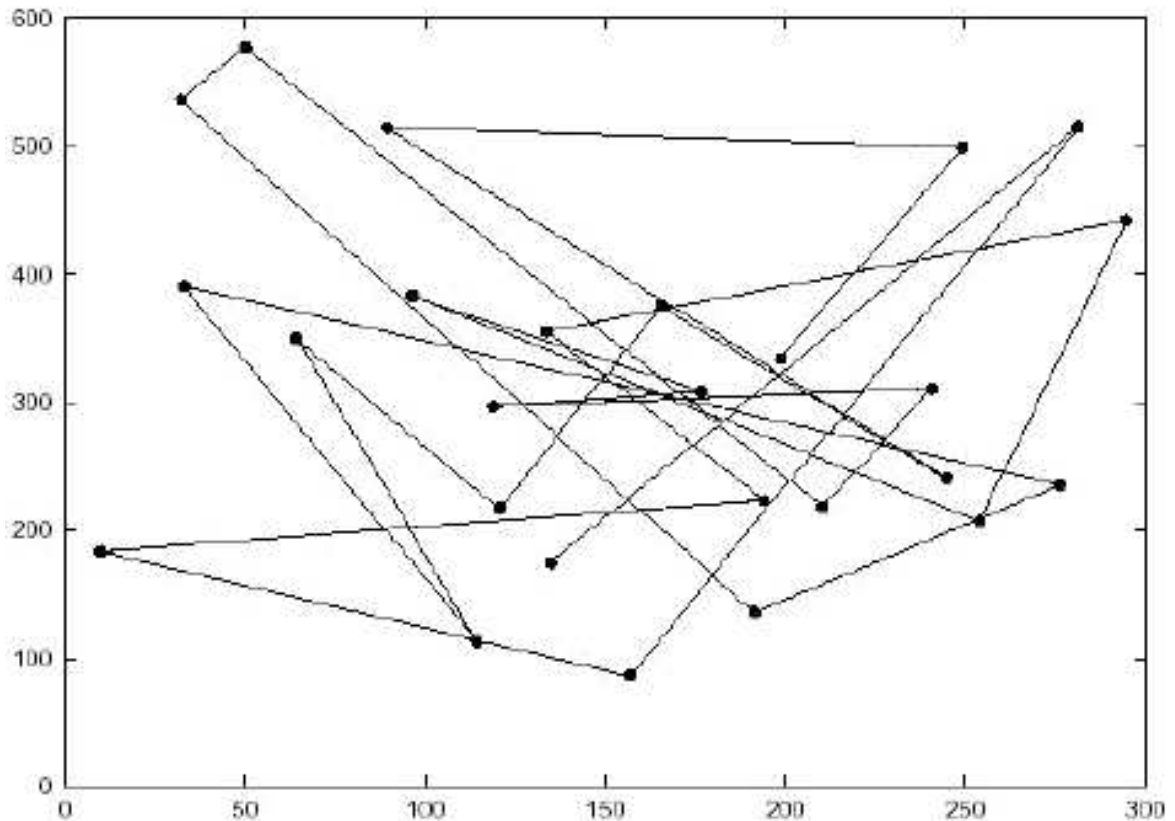
4.1.2 Μοντέλα κινητικότητας

Το ns 2 μπορεί να υποστηρίξει αρκετά μοντέλα κινητικότητας, εκ των οποίων τα πιο σημαντικά είναι τα εξής:

- **Random Waypoint:** Το μοντέλο αυτό εισάγει συγκεκριμένες στιγμές παύσης στην κίνηση των κόμβων, δηλαδή αλλαγές στην κατεύθυνση και ταχύτητα των κόμβων. Είναι το πιο διαδεδομένο μοντέλο κινητικότητας και χρησιμοποιείται ευρέως από την επιστημονική κοινότητα. Μπορεί να αποτελέσει την βάση για τη δημιουργία άλλων μοντέλων κινητικότητας.

Ένας κινητός κόμβος, στην αρχή της προσομοίωσης, παραμένει ακίνητος σε σένα συγκεκριμένο σημείο για ένα μικρό χρονικό διάστημα, που ονομάζεται χρόνος παύσης. Μόλις λήξει ο χρόνος παύσης, ο κόμβος διαλέγει έναν τυχαίο προορισμό καθώς και ταχύτητα που είναι ομοιόμορφα κατανομημένη στο διάστημα $[0, \text{MAXSPEED}]^8$. Έπειτα, κινείται προς αυτόν τον προορισμό με την επιλεγμένη ταχύτητα και μόλις φτάσει σταματάει πάλι για ένα χρονικό διάστημα, όσο διαρκεί ο χρόνος παύσης. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνέχεια. Στο σχήμα 3, φαίνεται η διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει ένας κινητός κόμβος με βάση αυτό το μοντέλο.

⁸ Πρόκειται για την ελληνική λέξη, μέγιστη ταχύτητα. Δηλαδή, υπάρχει ένα άνω όριο το οποίο η ταχύτητα ενός κόμβου δεν μπορεί να ξεπεράσει.

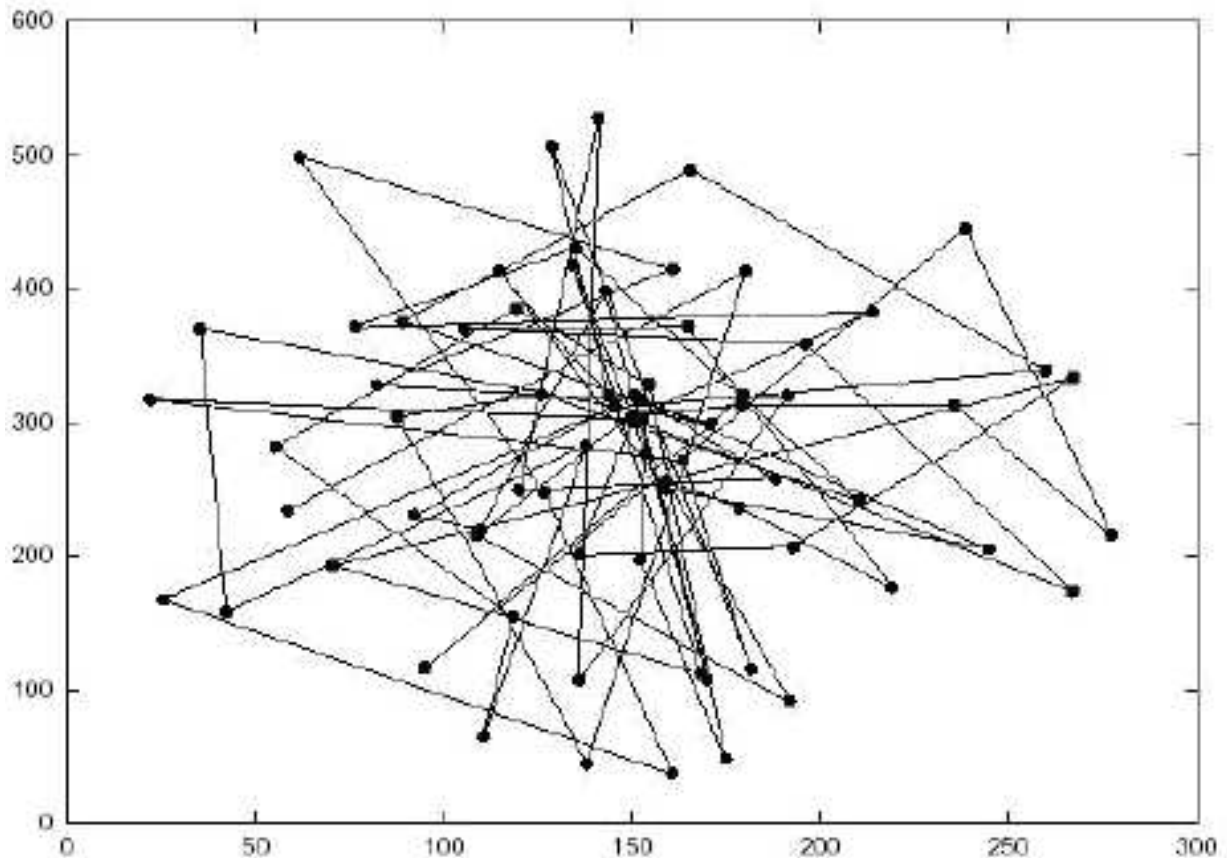


Σχήμα 3: Η διαδρομή ενός κινητού κόμβου με βάση το Random Waypoint μοντέλο κινητικότητας

- **Random Walk:** Το μοντέλο αυτό είναι το πιο απλό μοντέλο κινητικότητας και δημιουργεί εντελώς τυχαία κίνηση των κόμβων. Σχεδιάστηκε για καταστάσεις όπου η κίνηση των κόμβων θα ήταν εντελώς απρόβλεπτη.

Ο κόμβος επιλέγει τυχαία τον προορισμό του και μετακινείται προς αυτόν από την τωρινή του θέση με βάση κάποια τυχαία ταχύτητα, που παίρνει τιμές στο διάστημα $[\text{minspeed}, \text{maxspeed}]^9$, και κάποια τυχαία κατεύθυνση, που παίρνει τιμές στο διάστημα $[0, 2\pi]$. Στο σχήμα 4, φαίνεται η διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει ένας κινητός κόμβος με βάση αυτό το μοντέλο.

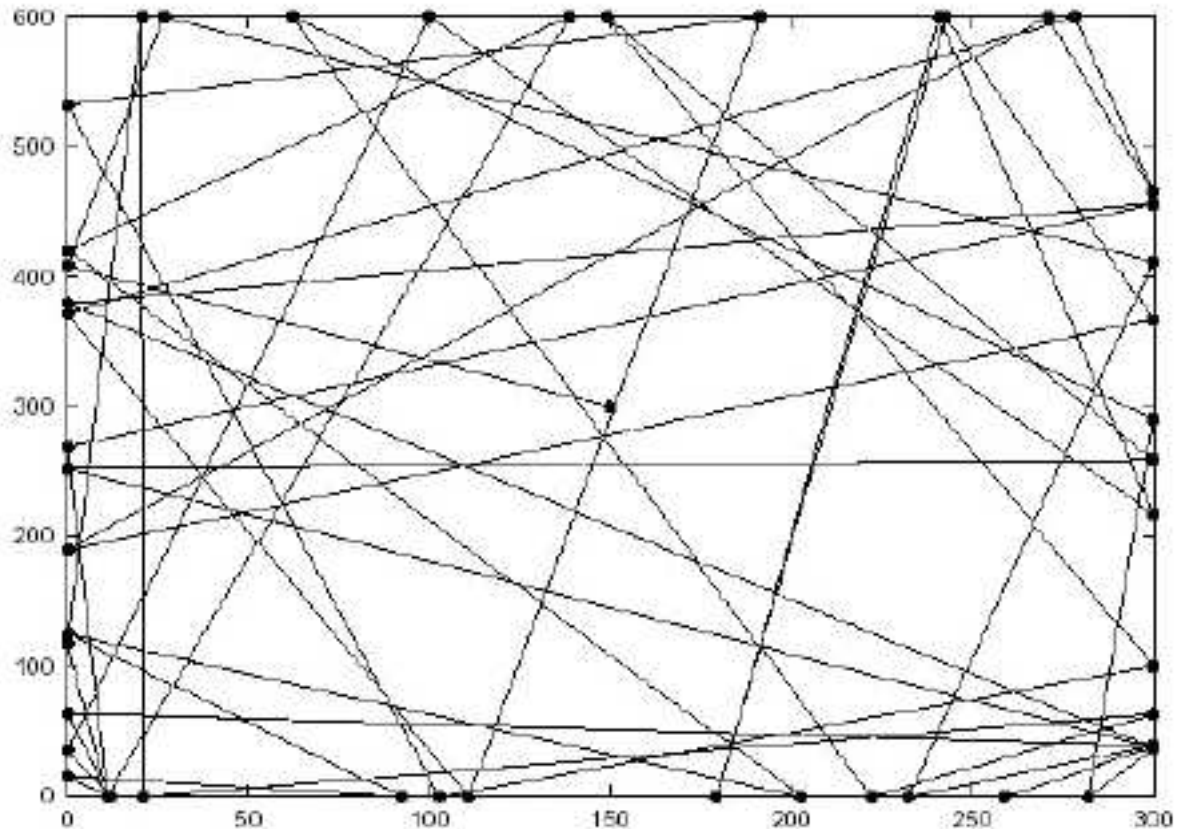
⁹ Πρόκειται, για τις ελληνικές λέξεις: ελάχιστη ταχύτητα, μέγιστη ταχύτητα. Δηλαδή, η ταχύτητα έχει ένα συγκεκριμένο κάτω όριο, ελάχιστη ταχύτητα, και ένα συγκεκριμένο άνω όριο, μέγιστη ταχύτητα.



Σχήμα 4: Η διαδρομή ενός κινητού κόμβου με βάση το Random Walk μοντέλο κινητικότητας

Παρατηρούμε, πως το Random Waypoint μοντέλο κινητικότητας είναι όμοιο με το Random Walk, αν θεωρήσουμε πως έχουμε μηδενικό χρόνο παύσης, $pause\ time$, και $[0, MAXSPEED] = [minspeed, maxspeed]$.

- **Random Direction:** Σε αυτό το μοντέλο κινητικότητας, ο κόμβος διαλέγει μία τυχαία κατεύθυνση στην οποία θα ταξιδεύσει, αντί να διαλέξει έναν τυχαίο προορισμό. Αφού γίνει η επιλογή της τυχαίας κατεύθυνσης, ο κόμβος ταξιδεύει στα όρια της περιοχής της προσομοίωσης προς αυτήν την κατεύθυνση. Μόλις ο κόμβος φθάσει στο όριο, σταματά για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, διαλέγει άλλη κατεύθυνση (μεταξύ 0 και 180 μοίρες) και συνεχίζει τη διαδικασία αυτή. Το σχήμα 5 δείχνει ένα μονοπάτι που ακολουθεί ένας κινητός κόμβος, ο οποίος ξεκινάει από το κέντρο της περιοχής της προσομοίωσης και χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο μοντέλο κινητικότητας.



Σχήμα 5: Το μονοπάτι ενός κόμβου χρησιμοποιώντας το Random Direction μοντέλο κινητικότητας

- **Group Mobility:** Αφορά περιπτώσεις όπου οι κόμβοι κινούνται σε ομάδες, clusters, όπου κάθε ομάδα έχει έναν αρχηγό, ο οποίος καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας του. Κάθε κόμβος μέσα στην ομάδα του έχει μία ταχύτητα και κατεύθυνση, τα οποία επιλέγονται τυχαία με βάση τον αρχηγό της ομάδας και υπολογίζονται από τους κάτωθι τύπους:

$$|\vec{V}_{member}(t)| = |\vec{V}_{leader}(t)| + random() \times SDR \times max\ speed(1)$$

$$\vartheta_{member}(t) = \vartheta_{leader}(t) + random() \times ADR \times max\ angle(2)$$

όπου οι παράμετροι είναι οι εξής:

- Ρυθμός Γωνίας (Angle Deviation Ratio (ADR))¹⁰ και Ρυθμός Ταχύτητας (Speed Deviation Ratio (SDR))
- Μέγιστη ταχύτητα (maxspeed) και Μέγιστη Γωνία (maxangle)
- Random() – κάποια τυχαία παράμετρος
- $\vec{V}_{member}(t)$ - η ταχύτητα του κόμβου
- $\vec{V}_{leader}(t)$ - η ταχύτητα του αρχηγού

¹⁰ Ουσιαστικά, επρόκειτο για την κατεύθυνση του εκάστοτε κόμβου.

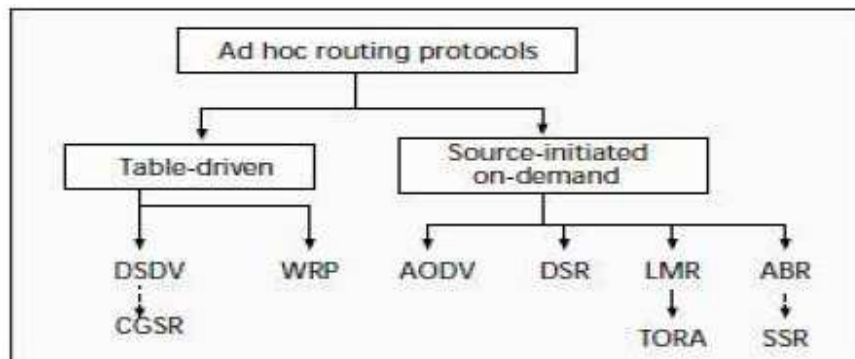
- $v_{member}(t)$ - η κατεύθυνση του κόμβου
- $v_{leader}(t)$ - η κατεύθυνση του αρχηγού

Πρέπει να σημειωθεί πως υπάρχουν και ένα σωρό άλλα μοντέλα κινητικότητας τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν στον προσομοιωτή ns-2. Εμείς, απλά αναφέραμε τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα.

4.1.3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης

Προκειμένου να επιτύχουμε την επικοινωνία στο δίκτυο, χρειαζόμαστε ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης, ώστε να ανακαλύψει το δρόμο μεταξύ των κόμβων. Ο κύριος στόχος αυτού του πρωτοκόλλου είναι η σωστή και αποδοτική εγκαθίδρυση μονοπατιού μεταξύ ζευγαριών κόμβων για την ανταλλαγή πακέτων. Η δημιουργία αυτών των μονοπατιών θα πρέπει να γίνει με το ελάχιστο κόστος και εύρος συχνοτήτων. Υπάρχουν εκατοντάδες πρωτόκολλα δρομολόγησης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6, αυτά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν γενικά να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- **Table Driven**
- **Source Initiated (on demand driven)**



Σχήμα 6: Κατηγοριοποίηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης ad hoc.

Table Driven Routing Protocols

Στόχος αυτών των πρωτοκόλλων είναι να διατηρούν σταθερά και να ανανεώνουν τις πληροφορίες δρομολόγησης κάθε κόμβου που υπάρχει μέσα στο δίκτυο. Αυτά τα πρωτόκολλα απαιτούν κάθε κόμβος να διατηρεί έναν ή περισσότερους πίνακες, ώστε να αποθηκεύουν τις πληροφορίες δρομολόγησης και να ανταποκρίνονται στις αλλαγές του δικτύου εκπέμποντας προς ολόκληρο το δίκτυο μηνύματα για να διατηρήσουν την εποπτεία του δικτύου σταθερή. Τα στοιχεία στα οποία διαφέρουν είναι το πλήθος των πινάκων δρομολόγησης και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η ανταλλαγή μηνυμάτων για τις αλλαγές του δικτύου. Ορισμένα παραδείγματα τέτοιων πρωτοκόλλων είναι:

Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV), Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR), Wireless Routing Protocol (WRP).

Source Initiated On Demand Driven Routing Protocols

Μία διαφορετική τεχνική από την table-driven δρομολόγηση είναι η Source Initiated On Demand Driven Routing. Αυτού του είδους η δρομολόγηση δημιουργεί διαδρομές μόνον όταν το επιθυμούν οι κόμβοι. Όταν ένας κόμβος επιθυμεί ένα μονοπάτι προς έναν προορισμό, ξεκινάει τη διαδικασία ανακάλυψης μονοπατιού σε όλο το δίκτυο. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται μόλις βρεθεί το μονοπάτι ή όταν όλα τα πιθανά μονοπάτια έχουν εξεταστεί. Άπαξ και εγκαθιδρυθεί το μονοπάτι, διατηρείται από μία διαδικασία διατήρησης μονοπατιού μέχρι η πηγή να στείλει αυτό που επιθυμεί στον προορισμό ή μέχρι το μονοπάτι να μην είναι πλέον επιθυμητό. Ορισμένα παραδείγματα τέτοιων πρωτοκόλλων είναι: ***Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV), Dynamic Source Routing (DSR), Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA), Associatively-Based Routing (ABR), Signal Stability Routing (SSR).***

Table Driven vs. On-Demand Routing

Η τεχνική table-driven είναι παρόμοια με την ασυνδεσμική μετάδοση¹¹ πακέτων, χωρίς να γίνεται αναφορά στο πότε και στο πόσο συχνά είναι επιθυμητές οι δρομολογήσεις. Βασίζεται σε έναν πίνακα δρομολόγησης ανανεώσεων, ο οποίος περιλαμβάνει τις τωρινές πληροφορίες δρομολόγησης. Σε αντίθεση, η τεχνική source initiated on-demand driven συμπεριφέρεται διαφορετικά. Όταν ένας κόμβος επιθυμεί ένα μονοπάτι προς έναν προορισμό, θα πρέπει να περιμένει μέχρι να βρεθεί και να εγκαθιδρυθεί το μονοπάτι. Από την άλλη πλευρά, σε ένα πρωτόκολλο table-driven, επειδή διαθέτει όλες τις πληροφορίες δρομολόγησης σε έναν πίνακα, ένα μονοπάτι προς κάθε κόμβο είναι πάντα εφικτό, αδιαφορώντας για το αν είναι απαραίτητο ή όχι. Στον πίνακα 5 φαίνονται ορισμένες βασικές διαφορές μεταξύ των δύο τεχνικών δρομολόγησης.

¹¹ Αφορά τη μετάδοση πακέτων χωρίς τη λειτουργία χειραψίας. Όταν μία πλευρά μίας εφαρμογής θέλει να στείλει πακέτα στην άλλη πλευρά της εφαρμογής, το πρόγραμμα αποστολής απλώς στέλνει τα πακέτα. Εφόσον, δεν υπάρχει διαδικασία χειραψίας πριν από τη μετάδοση του πακέτου δεδομένων, τα δεδομένα μπορούν να παραδοθούν ταχύτερα. Δεν υπάρχει όμως αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, οπότε μία πηγή δεν γνωρίζει ποια πακέτα έχουν φτάσει στον προορισμό τους. Ακόμη, αυτή η μορφή υπηρεσίας του διαδικτύου δεν παρέχει έλεγχο ροής ή έλεγχο συμφόρησης. Η ασυνδεσμική υπηρεσία του διαδικτύου καλείται UDP (User Datagram Protocol, Πρωτόκολλο Δεδομενογράμματος Χρήστη).

Πίνακας 5: Table-Driven vs. On-demand Routing.

	TABLE-DRIVEN	ON-DEMAND
Availability of routing information	Available when needed	Always available regardless of need
Routing philosophy	Flat	Mostly flat, except for CGSR
Periodic route updates	Not required	Required
Coping with mobility	Use localized route discovery as in ABR and SSR	Inform other nodes to achieve a consistent routing table
Signaling traffic generated	Grows with increasing mobility of active routes (as in ABR)	Greater than that of on-demand routing
Quality of service support	Few can support QoS, although most support shortest path	Mainly shortest path as the QoS metric

4.2 Το περιβάλλον της προσομοίωσής μας με τον ns-2

4.2.1 Η τοπολογία μας

Με βάση, λοιπόν, τον προσομοιωτή ns-2 έχουμε δημιουργήσει την εξής τοπολογία η οποία χωρίζεται σε δύο φάσεις:

- 1^η Φάση: Έχουμε φτιάξει μία περιοχή 500m x 500m μέσα στην οποία έχουμε βάλει έναν κινητό κόμβο που εκφράζει τον κινητό σταθμό, MS και δύο σταθερούς κόμβους εκ των οποίων ο ένας εκφράζει τον κόμβο SGSN και ο άλλος τον κόμβο HLR/AuC. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούμε το μοντέλο Random Waypoint για την κίνηση του MS με χρόνο παύσης 2 δευτερόλεπτα και ταχύτητα 20 s/t. Επιπρόσθετα, ο MS σε αυτό το μοντέλο επιλέγει έναν τυχαίο προορισμό και κινείται προς αυτόν με μία τυχαία ταχύτητα μεταξύ του [0, Vmax]. Αφού ο MS φθάσει στον προορισμό του, σταματάει για μία διάρκεια που καθορίζεται από το χρόνο παύσης. Μετά από αυτόν το χρόνο ξαναεπιλέγει έναν τυχαίο προορισμό και ξαναεπιλαμβάνει την όλη διαδικασία από την αρχή μέχρι να τελειώσει ο χρόνος της προσομοίωσης, ο οποίος είναι 20000 δευτερόλεπτα.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, ο MS έρχεται σε επαφή με τον SGSN. Πιο συγκεκριμένα, υποθέτουμε πως την στιγμή που ξεκινάει η προσομοίωσή μας, ο MS εισέρχεται στην εμβέλεια του SGSN και άρα του στέλνει την πρώτη αίτηση για σύνδεση. Ο SGSN αφού λάβει την αίτηση αυτή, στέλνει την πρώτη αίτηση για πιστοποίηση στο HLR/AuC, το οποίο του απαντά στέλνοντας του υποτίθεται και τον πίνακα με τα Authentication Vectors (AVs). Γίνεται, δηλαδή, το πρώτο ADR και UAR. Επομένως, έχει ξεκινήσει η διαδικασία της αμοιβαίας πιστοποίησης, η οποία περιγράφηκε λεπτομερώς σε προηγούμενη ενότητα. Έτσι, μέχρι να τελειώσει η προσομοίωση θα έχουν αποσταλεί ένα σωρό ADRs και UARs καθώς και πίνακες με AVs.

Να αναφέρουμε, πως υπάρχει περίπτωση ο MS να φύγει από την εμβέλεια του SGSN και να ξαναεισέλθει πάλι σε αυτόν λίγο ή πολύ αργότερα.

Λαμβάνουμε, λοιπόν, υπόψη μας και τον χρόνο παραμονής του MS μέσα στην εμβέλεια του SGSN και για όσες φορές ο MS εισέλθει στην εμβέλεια του SGSN μετράμε το πλήθος των ADRs.

- 2^η Φάση: Στην ίδια τοπολογία με την 1^η φάση εισάγουμε την δυνατότητα να στέλνει ο SGSN μηνύματα/πακέτα στον MS. Η αποστολή αυτή των πακέτων διαρκεί για όσο χρόνο διαρκέσει ο χρόνος μέχρι να γίνει η επόμενη αίτηση για σύνδεση του MS στον SGSN. Μόλις ο SGSN έχει στείλει συνολικά στον MS ένα συγκεκριμένο πλήθος μηνυμάτων, έστω T, τότε ο SGSN επικοινωνεί με το HLR/AuC για την απόκτηση νέου πίνακα με νέα AVs. Και εδώ μετράμε το πλήθος των ADRs.

4.2.2 Άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία της προσομοίωσής μας

Πρέπει να αναφέρουμε πως έχουμε επιλέξει σαν πρωτόκολλο δρομολόγησης το AODV. Επειδή, η τοπολογία μας αποτελείται από λίγους κόμβους εκ των οποίων μόνο ο ένας κινείται, θα μπορούσαμε να είχαμε διαλέξει και οποιοδήποτε άλλο πρωτόκολλο δρομολόγησης. Ωστόσο, η επιλογή του AODV έγινε, διότι πρόκειται για ένα διαδραστικό πρωτόκολλο, το οποίο βρίσκει ένα μονοπάτι προς έναν προορισμό όποτε απαιτείται επικοινωνία.

Επιπλέον, για να γίνει η ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ του MS και του SGSN, καθώς και μεταξύ του SGSN και του HLR/AuC, χρησιμοποιούμε UDP agents οι οποίοι στέλνουν udp πακέτα μεταξύ των κόμβων. Η επιλογή του ποιος θα στείλει σε ποιόν και σε ποια χρονική στιγμή γίνεται σε εκθετικό χρόνο. Πιο αναλυτικά, ο MS στέλνει αίτηση σύνδεσης στον SGSN σε χρόνο που είναι εκθετικά κατανομημένος. Το ίδιο συμβαίνει για τις αιτήσεις που στέλνει ο SGSN στο HLR/AuC. Επιπρόσθετα, ο χρόνος που παραμένει κάθε φορά ο MS μέσα στην εμβέλεια του SGSN είναι και αυτός εκθετικά κατανομημένος. Τέλος, η αποστολή των μηνυμάτων που στέλνει ο SGSN στον MS για να του δώσει τα δεδομένα που ζήτησε γίνεται σε έναν άλλον εκθετικό χρόνο.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων με το ns-2

5.1.1 Περιγραφή αρχείων

Το ns-2 δέχεται συγκεκριμένο τύπο αρχείων για επεξεργασία με συγκεκριμένη σύνταξη και δομή. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήσαμε ένα αρχείο "1_fasi.tcl" για την 1^η φάση της τοπολογίας μας και ένα αρχείο "2_fasi.tcl" για την 2^η φάση της τοπολογίας μας. Και τα δύο αρχεία περιέχουν τα ίδια ακριβώς στοιχεία μόνο που στο δεύτερο αρχείο έχουμε ενσωματώσει και το γεγονός πως ο SGSN στέλνει πακέτα στον MS.

1^η Φάση :

Έτσι για την 1^η φάση το αρχείο "1h_fasi.tcl" περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

```
=====
#
# Initialize Global Variables
#

if {$argc > 2 || $argc < 2} {
    puts "Usage: ns 1_fasi.tcl \[K\] \[parametre for l=xm\]"
    exit
}
if {$argc == 2} {
    set K [lindex $argv 0]
    set p [lindex $argv 1]
}

# create simulator instance
set ns_ [new Simulator]

# set wireless channel, radio-model and topography objects
set wchan [new $opt(chan)]
set wprop [new $opt(prop)]
set wtopo [new Topography]

# create trace object for ns and nam
```


Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

```
set tracefd [open $opt(tr) w]
$ns_ trace-all $tracefd
set namtrace [open $opt(nam) w]
$ns_ namtrace-all-wireless $namtrace $opt(x) $opt(y)
$ns_ color 0 blue
```

```
# create trace object for recording the packet send from SGSN to HLR/AuC
```

```
set trace_number_udp [open number_trace.tr a+]
```

```
# define topology
```

```
$wtopo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)
```

```
$wprop topography $wtopo
```

```
#
```

```
# create God
```

```
#
```

```
set god_ [create-god $opt(nn)]
```

```
=====
```

Στην αρχή, δημιουργούμε μία προσομοίωση ns, ένα ασύρματο κανάλι (wchan), ένα μοντέλο μετάδοσης (wprop) και μία τοπολογία που θα περιλαμβάνει τους κόμβους (wtopo). Επίσης, δημιουργούμε τα αρχεία που θα καταγράφουν τα γεγονότα τόσο για το ns (tracefd) όσο και για το nam (namtrace), καθώς και το αρχείο στο οποίο καταγράφουμε το πλήθος των ADRs (trace_number_udp).

```
=====
```

```
#
```

```
# define how nodes should be created
```

```
#
```

```
# set up for hierarchical routing (needed for routing over a basestation)
```

```
puts "start hierarchical addressing"
```

```
$ns_ node-config -addressType hierarchical
```

```
AddrParams set domain_num_ 1 ;# domain number
```

```
lappend cluster_num 1 ;# cluster number for each domain
```

```
AddrParams set cluster_num_ $cluster_num
```

```
lappend eilastlevel $opt(nn) ;# number of nodes for each cluster
```

```
# (two for mobile nodes + base
```

```
# station)
```

```
AddrParams set nodes_num_ $eilastlevel
```

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS
puts "Configuration of hierarchical addressing done"

```
# global node setting for base station (SGSN) and HLR/AuC
```

```
$ns_ node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \  
    -llType $opt(ll) \  
    -macType $opt(mac) \  
    -ifqType $opt(ifq) \  
    -ifqLen $opt(ifqlen) \  
    -antType $opt(ant) \  
    -propType $opt(prop) \  
    -phyType $opt(netif) \  
    -topoInstance $wtopo \  
    -agentTrace ON \  
    -routerTrace ON \  
    -macTrace ON \  
    -movementTrace ON \  
    -channel $wchan \  
    -wiredRouting ON
```

```
#
```

```
# create the specified number of base stations [$opt(bs)] (SGSN) and HLR/AuC and  
# "attach" them to the channel.
```

```
for {set i 0} {$i < $opt(bs) + 1} {incr i} {
```

```
    set node_($i) [$ns_ node 0.0.[expr $i]]
```

```
    $node_($i) random-motion 0                ;# disable random motion
```

```
    $node_($i) topography $wtopo
```

```
    if { $i == 0 } {
```

```
        $node_($i) set X_ 170.00
```

```
        $node_($i) set Y_ 170.00
```

```
        $node_($i) set Z_ 0.0000000
```

```
        # create the UDP agent to base station (SGSN) for sending packets to
```

```
        # node(1) (HLR/AuC)
```

```
        set udp_($i) [new Agent/UDP]
```

```
        $ns_ attach-agent $node_($i) $udp_($i)
```

```
# Create the Null agent to base station (SGSN) for receiving packets from
# mobile node(2) (MS)
set null_($i) [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $node_($i) $null_($i)
} else {
    $node_($i) set X_ 150.00
    $node_($i) set Y_ 150.00
    $node_($i) set Z_ 0.000000

    # create a Null agent and attach it to node(1)(HLR/AuC) for receiving
    # packets from bs(SGSN)
    set null_($i) [new Agent/LossMonitor]
    $ns_ attach-agent $node_($i) $null_($i)

    # attach the 2 agents (bs->node(1))
    $ns_ connect $udp_(0) $null_($i)
}
}
```

Στη συνέχεια, τίθενται τα χαρακτηριστικά του κόμβου που αφορά τον SGSN και το HLR/AuC. Ο SGSN είναι ένας κόμβος ακίνητος, με έναν UDP agent για την αποστολή των πακέτων στο HLR/AuC και έναν agent LossMonitor¹² για την λήψη των αιτήσεων που θα δεχτεί από τον MS. Επίσης, στην αρχή γίνεται η ρύθμιση για την ιεραρχική διευθυνσιοδότηση¹³. Ο HLR/AuC με τη σειρά του είναι και αυτός ένας κόμβος ακίνητος με έναν agent LossMonitor για την λήψη των αιτήσεων που θα δεχτεί από τον SGSN.

```
# for mobile node
$ns_ node-config -wiredRouting OFF

set number_udp_packets1_0 0
set general_number_udp_packets1_0 0
set general_number_udp_packets0_2 0
```

```
# seed the default RNG
```

¹² Πρόκειται για μία τοπολογία του ns, έναν agent, που χρησιμεύει για την λήψη των πακέτων που δέχεται κάποιος κόμβος του δικτύου.

¹³ Αφορά τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η ανάθεση διευθύνσεων στους κόμβους του δικτύου. Με βάση αυτήν την τεχνική η οργάνωση των διευθύνσεων γίνεται σε επίπεδα ανάλογα με τη σχέση των κόμβων.

```
global default_RNG
```

```
$default_RNG seed 0
```

```
# create the RNGs and set them to the correct substream
```

```
set arrivalRNG [new RNG]
```

```
set residenceRNG [new RNG]
```

```
set sizeRNG [new RNG]
```

```
# time in SGSN's area is an exponential random variable
```

```
set time_residence [new RandomVariable/Exponential]
```

```
$time_residence set avg_ 10510.0
```

```
$time_residence use-rng $residenceRNG
```

```
# arrival_ is a exponential random variable describing the time between
```

```
# consecutive packet arrivals
```

```
set InterArrivalT [new RandomVariable/Exponential]
```

```
$InterArrivalT set avg_ [expr 10510.0/$p.0]
```

```
$InterArrivalT use-rng $arrivalRNG
```

```
# size_ is a exponential random variable describing packet sizes
```

```
set pktSize [new RandomVariable/Exponential]
```

```
$pktSize set avg_ [expr round(10000.0/(8*20.0))]
```

```
$pktSize use-rng $sizeRNG
```

```
=====
```

Τώρα ξεκινάνε οι ρυθμίσεις για τον κινητό κόμβο MS και το HLR/AuC.

Χρησιμοποιούμε τρεις μετρητές:

- number_udp_packets1_0: οι αιτήσεις σύνδεσης που στέλνει ο MS στον SGSN
- general_number_udp_packets1_0: οι ολικές αιτήσεις σύνδεσης που στέλνει ο MS στον SGSN
- general_number_udp_packets2_0: οι ολικές αιτήσεις σύνδεσης που στέλνει ο SGSN στο HLR/AuC

Έπειτα, τίθενται ο εκθετικός χρόνος αποστολής των αιτήσεων:

- InterArrivalT: ο χρόνος αποστολής αίτησης από τον MS στον SGSN και από τον SGSN στον HLR/AuC.

Τίθενται ο εκθετικός χρόνος παραμονής του MS στην εμβέλεια του SGSN: time_residence.

Τίθενται το μέγεθος των πακέτων που θεωρούμε ότι ακολουθεί την εκθετική κατανομή: pktSize.

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

Για τη δημιουργία των εκθετικών χρόνων χρησιμοποιούμε τη γεννήτρια τυχαίων αριθμών που προσφέρει το ns-2 (RNG).

=====

```
# create MS
```

```
for {set j 2} {$j < $opt(nn)} {incr j} {
```

```
    set node_($j) [$ns_ node 0.0.[expr $j]]
```

```
    $node_($j) random-motion 0           ;# disable random motion
```

```
    $node_($j) topography $wtopo
```

```
    $node_($j) base-station [AddrParams addr2id [$node_(0) node-addr]]
```

```
    # create a UDP agent and attach it to mobile node(2) for sending packets to bs
    # (SGSN)
```

```
    set udp_($j) [new Agent/UDP]
```

```
    $ns_ attach-agent $node_($j) $udp_($j)
```

```
    # Attach the 2 agents (mobile node(2)->bs)
```

```
    $ns_ connect $udp_($j) $null_(0)
```

```
}
```

=====

Έπειτα, δημιουργείται ο MS, στον οποίο συνδέεται ένας UDP agent για την αποστολή των αιτήσεων σύνδεσης.

=====

```
set done 0
```

```
proc sendpacket1 {} {
```

```
global ns_ xr2 xr1 K udp_ InterArrivalT time_residence pktSize
```

```
number_udp_packets1_0 general_number_udp_packets0_2 done
```

```
for {set k 2} {$k < 3} {incr k} {
```

```
    set time [$ns_ now]
```

```
    if { $xr2 > 20000 } {
```

```
        puts "o xronos 2 kseperase ta 20000 sec sthn snd1"
```

```
        set xr2 [expr $time + [$time_residence value]]
```

```
    }
```

```
    if { $time > $xr2 } {
```

```
        puts "o xronos prosomoiwsis kseperase ton xrono 2 sthn snd1"
```

```
        set xr2 [expr $time + [$time_residence value]]
```

```

}

if { $xr1 <= $xr2 && $xr2 <= 20000 } {
    if { $done == 0 } {
        puts "esteila apo ton 1->SB"
        set bytes [$pktSize value]
        $udp_($k) send $bytes
        incr number_udp_packets1_0
    }
    if { ($number_udp_packets1_0 == $K) && ($K != 1) } {
        set number_udp_packets1_0 0
    } else {
        if { $number_udp_packets1_0 == 1 } {
            set xr1 [expr $time + [$InterArrivalT value]]
            if { $xr1 <= $xr2 } {
                set done 0
                $ns_ at $xr1 "sendpacket2"
            } else {
                set done 1
            }
        }
        If { $K == 1 } {
            set number_udp_packets1_0 0
        }
    }
    set xr1 [expr $time + [$InterArrivalT value]]
    $ns_ at $xr1 "sendpacket1"
} else {
    set xr1 [expr $time + [$InterArrivalT value]]
    $ns_ at $xr1 "sendpacket1"
}
}
}

proc sendpacket2 {} {
    global ns_ udp_ pktSize general_number_udp_packets0_2
    for {set k 0} {$k < 1} {incr k} {

```

```
        set bytes [$pktSize value]
        $udp_($k) send $bytes

        incr general_number_udp_packets0_2
    }
}
```

=====

Σε αυτό το σημείο είναι ο κώδικας της όλης διαδικασίας που έχουμε περιγράψει στην 1^η φάση, όπου η συνάρτηση sendpacket1 χρησιμοποιείται για την αποστολή των αιτήσεων σύνδεσης του MS στον SGSN, δηλαδή των UARs και η συνάρτηση sendpacket2 για την αποστολή των αιτήσεων του SGSN στο HLR/AuC, δηλαδή των ADRs. Να αναφέρουμε πως xr2 είναι ο χρόνος παραμονής του MS μέσα στην εμβέλεια του SGSN και πάντα γίνεται έλεγχος να μην ξεπεράσει τον χρόνο της προσομοίωσής μας που είναι 20000 seconds. Ο χρόνος xr1 είναι ο χρόνος στον οποίο γίνονται οι αιτήσεις σύνδεσης από τον MS στον SGSN. Είναι φανερό πως ο χρόνος αυτός πρέπει να είναι μικρότερος από τον xr2 και από τον χρόνο που διαρκεί η προσομοίωσή μας.

=====

```
#
# Define node movement model
#
puts "Loading scenario file..."
source $opt(sc)

set time [$ns_ now]
set xr2 [expr $time + [$time_residence value]]
set xr1 [expr $time + [$InterArrivalT value]]

puts " sthn main xr2 = $xr2"
puts " sthn main xr1 = $xr1"

$ns_ at $xr1 "sendpacket1"

=====

Εδώ, εισάγουμε το σενάριο της κίνησης του MS και ενεργοποιούμε την συνάρτηση sendpacket1.

=====

# finish function
proc finish {} {
    global ns_ tracefd namtrace trace_number_udp
    general_number_udp_packets0_2
```

```
if { $general_number_udp_packets0_2 != 0 } {  
    puts $trace_number_udp "$general_number_udp_packets0_2"  
    puts "$general_number_udp_packets0_2"  
}  
  
$ns_ flush-trace  
  
close $tracefd  
close $namtrace  
close $trace_number_udp  
  
#    exec nam -r 30m mine_nam.nam &  
    exit 0  
}
```

```
puts $tracefd "M 0.0 nn $opt(nn) x $opt(x) y $opt(y) rp $opt(adhocRouting)"  
puts $tracefd "M 0.0 sc $opt(sc) seed $opt(seed)"  
puts $tracefd "M 0.0 prop $opt(prop) ant $opt(ant)"
```

```
#Call the finish procedure after 20000 seconds simulation time  
$ns_ at 20000.0 "finish"
```

```
puts "Starting Simulation..."  
$ns_ run
```

=====

Τέλος, φτιάχνουμε την συνάρτηση finish η οποία όταν θα κληθεί θα κλείσει όλα τα αρχεία που είχαμε ανοίξει για να γίνει η καταγραφή των γεγονότων και μεταφέρουμε στο αρχείο " number_trace.tr " το πλήθος των ADRs που έχει τελικά καταγράψει ο μετρητής general_number_udp_packets0_2.

Επίσης, να τονίσουμε πως κάθε φορά την παράμετρο K, που αφορά το μέγεθος του πίνακα με τα AVs, την πληκτρολογούμε εμείς, καθώς και την παράμετρο ρ, που δείχνει τη σχέση μεταξύ των ρυθμών λ και μ (λ: ο ρυθμός αποστολής αιτήσεων σύνδεσης του MS στον SGSN – μ: ο χρόνος παραμονής του MS στην εμβέλεια του SGSN).

2^η Φάση:

Για την 2^η φάση απλά πειράξαμε λίγο την συνάρτηση sendpacket1 και προσθέσαμε κάποια επιπλέον στοιχεία στον SGSN και στον MS. Οπότε προέκυψε το αρχείο με τίτλο

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS “2h_fasi.tcl” το οποίο έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το αρχείο “1h_fasi.tcl” αλλά με τις εξής διαφορές:

```
=====
# create the UDP agent to base station (SGSN) for sending packets to
# mobile node(2) (MS)
set udp00 [new Agent/UDP]
$ns_ attach-agent $node_($i) $udp00
=====
```

Στο σημείο που δημιουργούμε τον κόμβο SGSN ενσωματώνουμε το παραπάνω κομμάτι κώδικα, όπου δημιουργούμε έναν ακόμη udp agent για την αποστολή μηνυμάτων από τον SGSN στον MS.

```
=====
set arrival2RNG [new RNG]
set durationRNG [new RNG]
```

```
# duration is an exponential random variable describing the call duration time
set duration [new RandomVariable/Exponential]
$duration set avg_ [expr 10510.0/$p2.0]
$duration use-rng $durationRNG
```

```
# arrival2 is an exponential random variable describing the time between
# consecutive packet arrivals
set arrival2 [new RandomVariable/Exponential]
$arrival2 set avg_ 4.0
$arrival2 use-rng $arrival2RNG
```

```
=====
Έπειτα, στο σημείο που δημιουργούμε τις τυχαίες μεταβλητές, εισάγουμε την παραπάνω τυχαία μεταβλητή, arrival2, η οποία είναι εκθετικά κατανομημένη με μέση τιμή 4 δευτερόλεπτα και αφορά τον χρόνο με τον οποίο στέλνονται τα μηνύματα από τον SGSN στον MS, 1 μήνυμα κάθε 4 δευτερόλεπτα. Επίσης, εισάγουμε και την τυχαία μεταβλητή duration η οποία αφορά το χρονικό διάστημα που διαρκεί η αίτηση σύνδεσης του MS στον SGSN.
```

```
=====
# create a Null agent and attach it to mobile node(2) (MS) for receiving packets
#from bs (SGSN)
set null11 [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $node_($j) $null11

# attach the 2 agents (bs->mobile node(2))
```

```
$ns_ connect $udp00 $null11
```

=====

Στο σημείο που δημιουργούμε τον MS τοποθετούμε και έναν agent LossMonitor για την λήψη των μηνυμάτων από τον SGSN.

=====

```
set done 0
```

```
proc sendpacket1 {} {
```

```
    global K ns_ xr2 xr1 xr3 dur udp_ InterArrivalT time_ residence arrival2 duration
    pktSize number_udp_packets1_0 general_number_udp_packets0_2 done done2
    general_number_udp_packets0_1
```

```
    for {set k 2} {$k < 3} {incr k} {
```

```
        set time [$ns_ now]
```

```
        if { $xr2 > 20000 } {
```

```
            puts "o xronos 2 kseperase ta 20000 sec sthn snd1"
```

```
            set xr2 [expr $time + [$time_ residence value]]
```

```
        }
```

```
        if { $time > $xr2 } {
```

```
            puts "o xronos prosomoiwsis kseperase ton xrono 2 sthn snd1"
```

```
            set xr2 [expr $time + [$time_ residence value]]
```

```
        }
```

```
    if { $xr1 <= $xr2 && $xr2 <= 20000 } {
```

```
        if { $done == 0 || $number_udp_packets1_0 == 0 } {
```

```
            puts "esteila apo ton MS->SGSN"
```

```
            set bytes [$pktSize value]
```

```
            $udp_($k) send $bytes
```

```
            incr number_udp_packets1_0
```

```
            set dur [expr $time + [$duration value]]
```

```
        }
```

```
        if { ($number_udp_packets1_0 == $K) && ($K != 1) } {
```

```
            set number_udp_packets1_0 0
```

```
        } else {
```

```
            if { $number_udp_packets1_0 == 1 } {
```

```
                set xr1 [expr $time + [$InterArrivalT value]]
```

```
                if { $xr1 <= $xr2 } {
```

```
                    set done 0
```

```

        $ns_ at $xr1 "sendpacket2"
      } else {
        set done 1
      }
    }

    if { $K == 1 } {
      set number_udp_packets1_0 0
    }
  }
  set xr1 [expr $time + [$InterArrivalT value]]
  if { $dur <= $xr1 } {
    set time [$ns_ now]
    set xr3 [expr $time + [$arrival2 value]]
    $ns_ at $xr3 "sendpacket3 $dur"
  }
  $ns_ at $xr1 "sendpacket1"
} else {
  set xr1 [expr $time + [$InterArrivalT value]]
  $ns_ at $xr1 "sendpacket1"
}
}
}

```

Επίσης, πειράξαμε λίγο την sendpacket1, έτσι ώστε όσο διαρκεί η αίτηση σύνδεσης του MS προς τον SGSN, μεταβλητή dur, ο SGSN να στέλνει μηνύματα στον MS σε εκθετικά κατανομημένες χρονικές στιγμές xr3.

```

proc sendpacket3 {dur} {
  global ns_ udp00 pktSize arrival2 general_number_udp_packets0_1
  number_udp_packets1_0 xr3 T

  set time [$ns_ now]
  if { $xr3 <= $dur && $time <= 20000 } {

    set bytes [$pktSize value]
    $udp00 send $bytes
  }
}

```

```
incr general_number_udp_packets0_1
if { $general_number_udp_packets0_1 == $T } {
    $ns_ at $time "sendpacket2"
    set general_number_udp_packets0_1 0
    set number_udp_packets1_0 0
}
set xr3 [expr $time + [$arrival2 value]]
$ns_ at $xr3 "sendpacket3 $dur"
}
}
```

Τέλος, δημιουργήσαμε μία νέα συνάρτηση, sendpacket3, η οποία στέλνει μηνύματα από τον SGSN στον MS. Μάλιστα, όταν τα μηνύματα αυτά φτάσουν ένα συγκεκριμένο νούμερο, T που εισάγουμε από το πληκτρολόγιο, τότε καλείται η συνάρτηση sendpacket2 για την αποστολή αιτήσεων από τον SGSN στον HLR/AuC.

Επίσης, να τονίσουμε πως κάθε φορά την παράμετρο K, που αφορά το μέγεθος του πίνακα με τα AVs, την πληκτρολογούμε εμείς, καθώς και την παράμετρο p1, που δείχνει τη σχέση μεταξύ των ρυθμών λ και μ (λ: ο ρυθμός αποστολής αιτήσεων σύνδεσης του MS στον SGSN – μ: ο χρόνος παραμονής του MS στην εμβέλεια του SGSN) όπως επίσης και την παράμετρο p2, που αφορά τη σχέση μεταξύ των d και μ (d: ο χρόνος που διαρκεί η αίτηση σύνδεσης του MS προς τον SGSN).

Επιπλέον, έχουμε δημιουργήσει άλλα δύο αρχεία τα οποία είναι scripts αρχεία¹⁴ για το τρέξιμο της προσομοίωσής μας. Το ένα έχει τίτλο "mine_script2.sh" και αφορά την 1^η φάση και το άλλο έχει τίτλο "mine_script.sh" και αφορά την 2^η φάση.

1^η Φάση – mine_script2.sh:

```
#!/bin/bash

for ((K=1;K<=20;K++)); do
    for ((i=1;i<=100;i++)); do
        ns 1_fasi.tcl $K $i
    done
    mawk -f "awk2.awk" -v K=$K < "number_trace.tr"
    rm "number_trace.tr"
done
```

¹⁴ Είναι αρχεία του συστήματος που περιέχουν κατάλληλες εντολές για την εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών.

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

Σε αυτό το αρχείο απλά τρέχουμε την 1^η φάση της προσομοίωσής μας και το τελικό αποτέλεσμα με το πλήθος των ADRs μπαίνει στο αρχείο "number_trace.tr". Την προσομοίωση την τρέχουμε 100 φορές, ώστε τα αποτελέσματά μας να είναι όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ενός άλλου αρχείου "awk2.awk" επεξεργαζόμαστε το αρχείο "number_trace.tr" για να βγάλουμε την μέση τιμή για το πλήθος των ADRs που είναι το $E[N]$ και να μπορέσουμε να κάνουμε την γραφική παράσταση του $E[N]$ συναρτήσει του K που παίρνει ακέραιες τιμές από το 1 μέχρι και το 20. Το \$1 είναι η παράμετρος ρ που αφορά τη σχέση των ρυθμών λ και μ .

2^η Φάση – mine_script.sh:

```
=====
#!/bin/bash

for ((T=200;T<=2000;T=T+100)); do
    for ((i=1;i<=100;i++)); do
        ns 2_fasi.tcl $T $1 $2 $3
    done
    mawk -f "awk.awk" -v T=$T < "number_trace.tr"
    rm "number_trace.tr"
done
```

Με όμοια λογική με πριν σε αυτό το αρχείο τρέχουμε την 2^η φάση της προσομοίωσής μας και το τελικό αποτέλεσμα με το πλήθος των ADRs μπαίνει στο αρχείο "number_trace.tr". Την προσομοίωση την τρέχουμε 100 φορές, ώστε τα αποτελέσματά μας να είναι όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ενός άλλου αρχείου "awk2.awk" επεξεργαζόμαστε το αρχείο "number_trace.tr" για να βγάλουμε την μέση τιμή για το πλήθος των ADRs που είναι το $E[N]$ και να μπορέσουμε να κάνουμε την γραφική παράσταση του $E[N]$ συναρτήσει του T που παίρνει ακέραιες τιμές από το 200 μέχρι και το 2000 με βήμα 100. Τα \$1, \$2 και \$3 είναι οι παράμετροι K , ρ_1 και ρ_2 αντίστοιχα που αφορούν το μέγεθος του πίνακα με τα AVs, τη σχέση των ρυθμών λ και μ , τη σχέση των d και μ αντίστοιχα.

"awk2.awk":

Τώρα παραθέτουμε το αρχείο "awk2.awk", το οποίο επεξεργάζεται το αρχείο "number_trace.tr" που δέχεται σαν είσοδο. Στο συγκεκριμένο αρχείο αθροίζουμε το πλήθος των ADRs και το διαιρούμε με το πλήθος τους για να βγάλουμε την μέση τιμή. Έπειτα, το αποτέλεσμα μαζί με το αντίστοιχο K εισάγεται στο αρχείο "data" για να κάνουμε την γραφική παράσταση.

```
=====
BEGIN {
    total_contacts_bs_node2 = 0
    total_number_of_simulations = 0
}
```

```
{

    total_contacts_bs_node2 = total_contacts_bs_node2 + $1
    total_number_of_simulations = total_number_of_simulations + 1
}

END {
    avg_of_total_contacts = (total_contacts_bs_node2 /
    total_number_of_simulations)
    print "K= ", K
    printf("\nAverage of total contacts from BS to node2 with number of simulations
    %d is: %.4f\n\n", total_number_of_simulations, avg_of_total_contacts)
    printf("%d %.4f\n", K, avg_of_total_contacts) >> "data"
}

=====
```

“awk.awk”:

Τώρα παραθέτουμε το αρχείο “awk.awk”, το οποίο επεξεργάζεται το αρχείο “number_trace.tr” που δέχεται σαν είσοδο. Στο συγκεκριμένο αρχείο αθροίζουμε το πλήθος των ADRs και το διαιρούμε με το πλήθος τους για να βγάλουμε την μέση τιμή. Έπειτα, το αποτέλεσμα μαζί με το αντίστοιχο T εισάγεται στο αρχείο “data” για να κάνουμε την γραφική παράσταση.

```
=====

BEGIN {
    total_contacts_bs_node2 = 0
    total_number_of_simulations = 0
}

{

    total_contacts_bs_node2 = total_contacts_bs_node2 + $1
    total_number_of_simulations = total_number_of_simulations + 1
}

END {
    avg_of_total_contacts = (total_contacts_bs_node2 /
    total_number_of_simulations)
    print "T= ", T
}
```

```
printf("\nAverage of total contacts from BS to node2 with number of simulations  
%d is: %.4f\n\n", total_number_of_simulations, avg_of_total_contacts)  
  
printf("%d %.4f\n", T, avg_of_total_contacts) >> "data"  
  
}
```

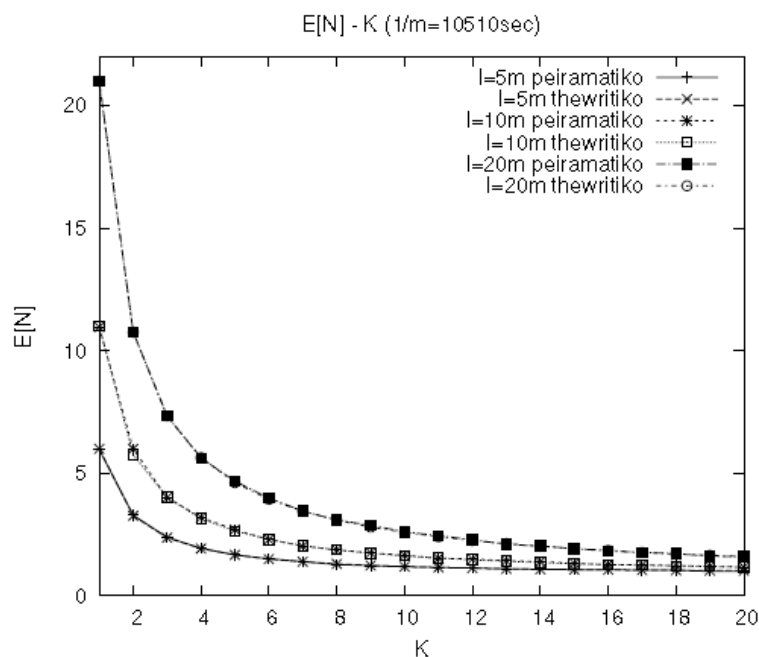
=====

5.1.2 Τα αποτελέσματα των αρχείων

Όπως έχουμε αναφέρει και στην προηγούμενη ενότητα, την προσομοίωση μας την έχουμε χωρίσει σε δύο φάσεις. Έτσι, λοιπόν, θα περιγράψουμε τα αποτελέσματά μας ανάλογα με το σε ποια φάση είμαστε.

1^η Φάση:

Μόλις, τρέξουμε το αρχείο “mine_script2.sh” με τη βοήθεια του αρχείου “awk2.awk” δημιουργείται το αρχείο “data” που περιέχει τα ζεύγη E[N] και K. Για να μπορέσουμε, όμως, να κάνουμε τη γραφική παράσταση αυτών θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο GNU PLOT¹⁵. Το αποτέλεσμα της γραφικής παράστασης φαίνεται στο σχήμα 7.



Σχήμα 7: Γραφική παράσταση E[N] – K

Παρατηρούμε, πως τα θεωρητικά αποτελέσματα συμπίπτουν με τα πειραματικά για $\lambda=5\mu$, $\lambda=10\mu$ και $\lambda=20\mu$.

Με βάση τον τύπο:

¹⁵ Πρόκειται για μία εφαρμογή γραμμής εντολών για τον σχεδιασμό γραφικών παραστάσεων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλά λειτουργικά συστήματα, όπως τα OS/2, MS WINDOWS, OSX και πολλά άλλα, και υποστηρίζει πολλών ειδών γραφικών παραστάσεων είτε δισδιάστατης μορφής είτε τρισδιάστατης.

$$E[N] = \frac{1}{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right)^K} \cdot (5)$$

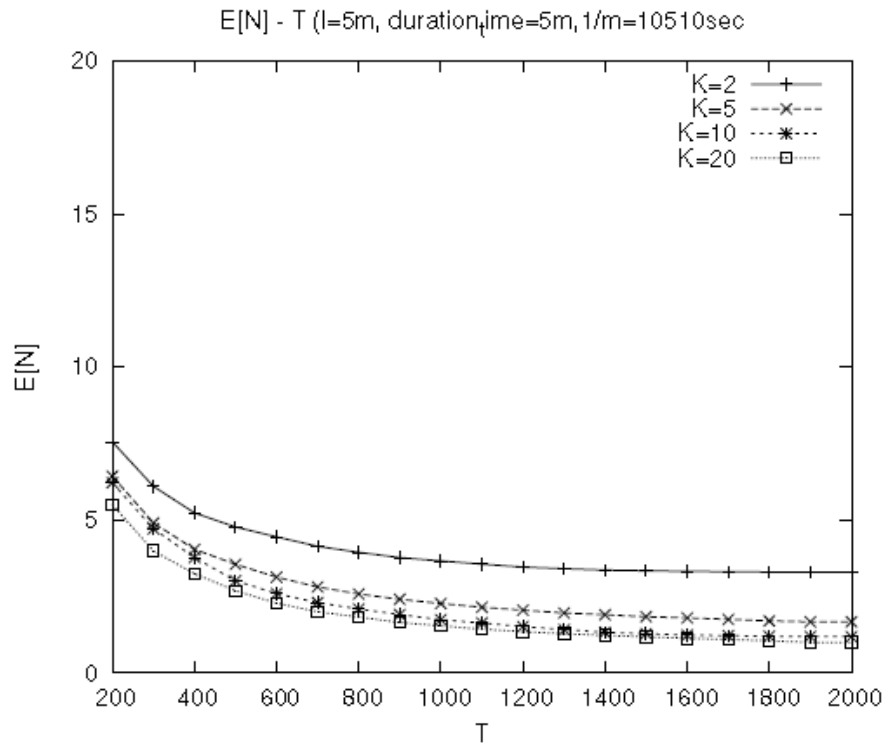
προκύπτουν τα θεωρητικά αποτελέσματα, ενώ με βάση την προσομοίωσή μας προκύπτουν τα πειραματικά. Τα αποτελέσματα αυτά θα τα βρείτε στο παράρτημα Ι, καθώς και το αρχείο “plot_K.p” που φτιάξαμε για τη γραφική αυτή παράσταση.

Τέλος, παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται το K , το $E[N]$ φθίνει κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο. Αν το K είναι αρκετά μεγάλο σημαίνει πως ο πίνακας με τα AVs θα έχει πολλά στοιχεία πιστοποίησης. Δηλαδή, ο SGSN άπαξ και αποκτήσει έναν τέτοιο πίνακα, μετά θα αργήσει αρκετά μέχρι να ξανακάνει αίτηση στο HLR/AuC για την απόκτηση άλλου πίνακα. Συνεπώς, το πλήθος των μηνυμάτων ADR θα είναι μικρό ή αλλιώς οι φορές που ο SGSN θα έρχεται σε επαφή με το HLR/AuC θα είναι λίγες. Άρα και το $E[N]$ που εκφράζει το μέσο πλήθος των ADRs θα είναι μικρό.

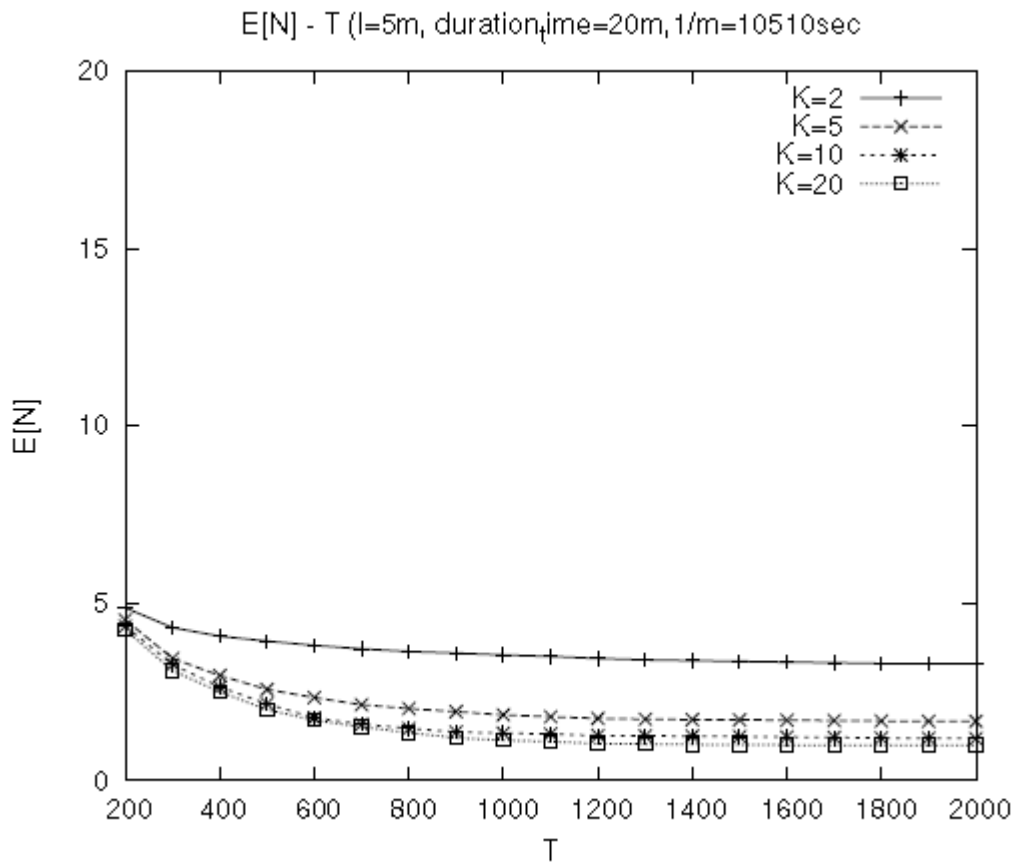
Επίσης, για $\lambda=10\mu$ και $\lambda=20\mu$ οι τιμές του $E[N]$ είναι μεγαλύτερες από εκείνες για $\lambda=5\mu$ και γενικά καθώς αυξάνεται το λ σε σχέση με το μ οι τιμές του $E[N]$ μεγαλώνουν. Και αυτό ήταν αναμενόμενο. Αν αυξήσουμε το λ , τότε το πλήθος των αιτήσεων για σύνδεση του MS με τον SGSN θα αυξηθεί. Συνεπώς, γρήγορα θα τελειώνουν τα στοιχεία πιστοποίησης AVs που θα διαθέτει ο SGSN, λόγω του πίνακα που θα έχει αποκτήσει από προηγούμενο ADR από το HLR/AuC. Οπότε, ο SGSN θα αναγκάζεται πολλές φορές να κάνει αίτηση σύνδεσης με το HLR/AuC για την απόκτηση νέου πίνακα με νέα AVs. Δηλαδή, οι φορές που ο SGSN θα έρχεται σε επαφή με το HLR/AuC θα αυξηθούν και άρα και τα ADRs οπότε και το $E[N]$.

2^η Φάση:

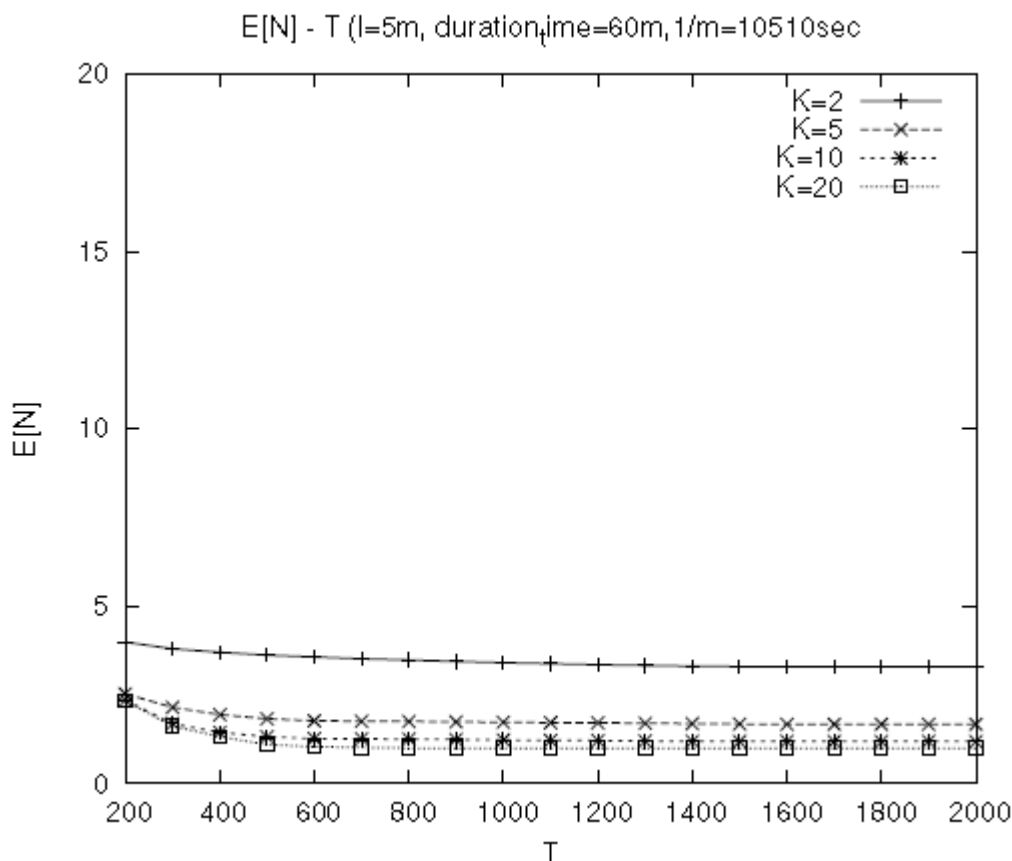
Σε αυτήν τη φάση τρέχουμε το αρχείο “mine_script.sh” με τη βοήθεια του αρχείου “awk.awk”. Πάλι χρησιμοποιούμε το εργαλείο GNU PLOT. Ωστόσο, για να μπορέσουμε να περιγράψουμε όσο πιο καλά γίνεται τη σχέση του K και των άλλων παραμέτρων του δικτύου με το πλήθος των ADRs, δημιουργήσαμε αρκετές γραφικές παραστάσεις.



Σχήμα 8: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



Σχήμα 9: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



Σχήμα 10: Γραφική παράσταση E[N] – T

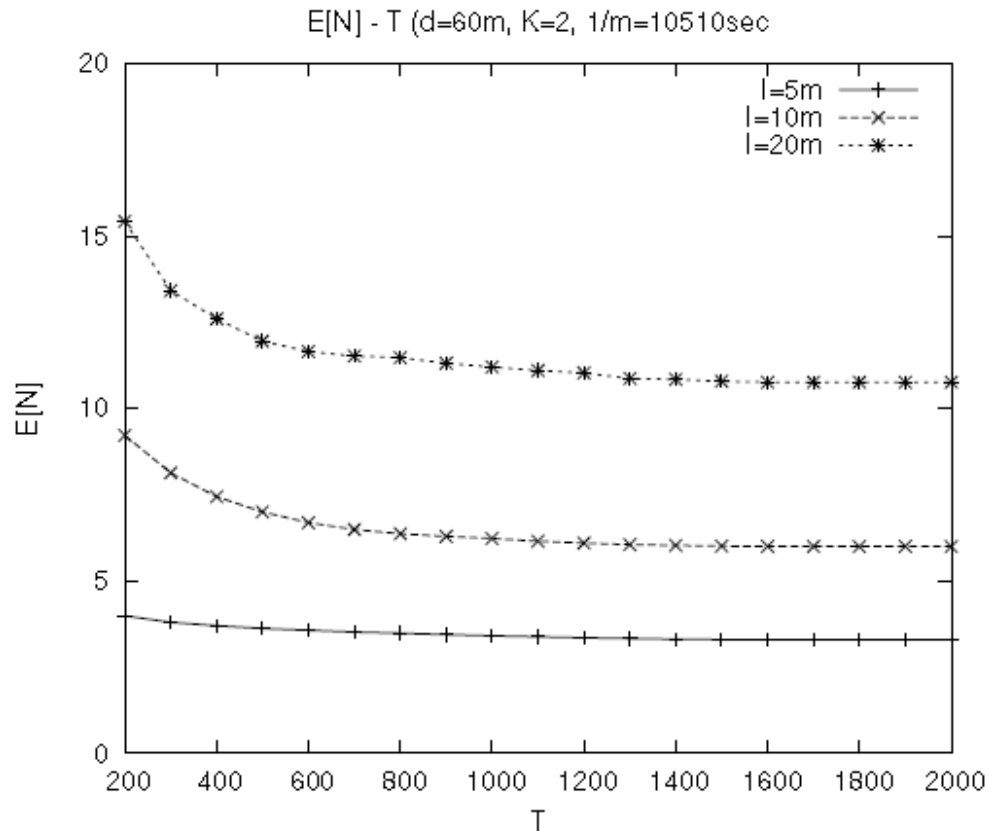
Στα σχήματα 8, 9 και 10 φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις των E[N] συναρτήσει των T για λ=5μ, d=5μ, 20μ, 60μ αντίστοιχα.

Αν, λοιπόν, διατηρήσουμε σταθερό το λ, το d και απλά μεταβάλλουμε το K (K=2, 5, 10, 20), τότε καθώς αυξάνουμε το K οι τιμές των E[N] μικραίνουν. Αυτό συμβαίνει διότι, αν το K είναι αρκετά μεγάλο σημαίνει πως ο πίνακας με τα AVs θα έχει πολλά στοιχεία πιστοποίησης. Δηλαδή, ο SGSN άπαξ και αποκτήσει έναν τέτοιο πίνακα, μετά θα αργήσει αρκετά μέχρι να ξανακάνει αίτηση στο HLR/AuC για την απόκτηση άλλου πίνακα. Συνεπώς, το πλήθος των μηνυμάτων ADR θα είναι μικρό ή αλλιώς οι φορές που ο SGSN θα έρχεται σε επαφή με το HLR/AuC θα είναι λίγες. Άρα το E[N] θα είναι μικρό.

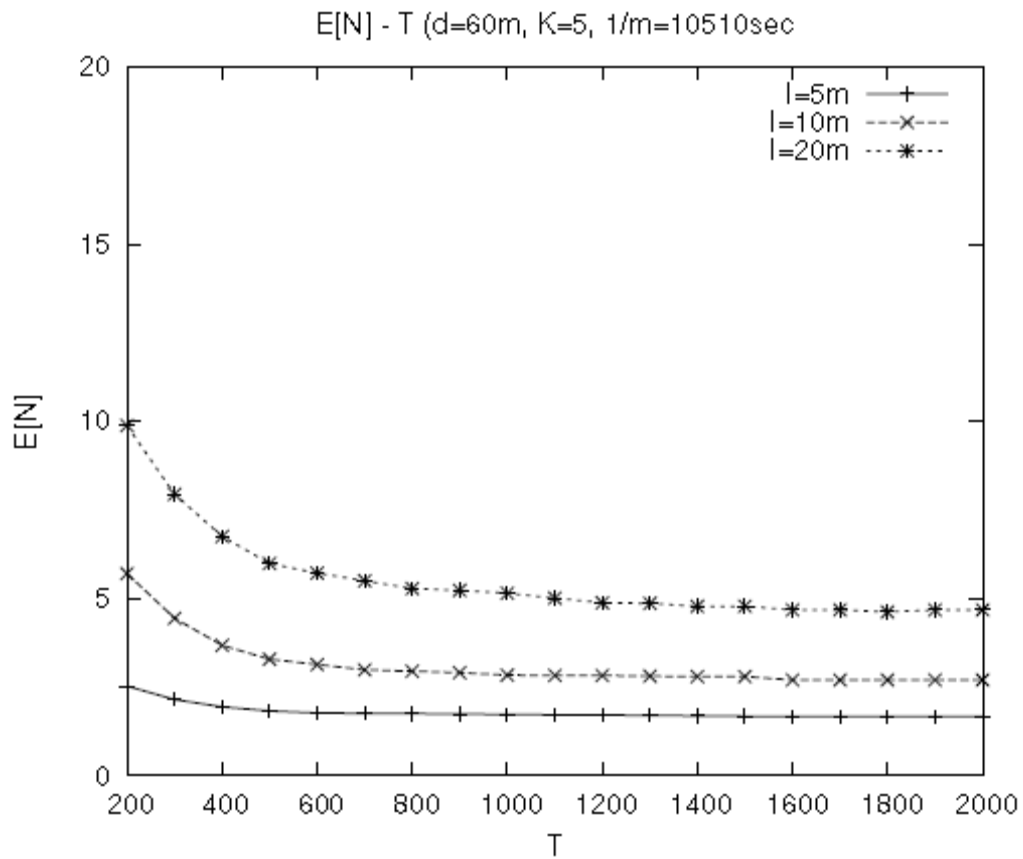
Επίσης, για σταθερό λ, d, K, παρατηρούμε πως όσο πιο μικρή είναι η παράμετρος T, που εκφράζει το γεγονός πως μόλις ο SGSN στείλει ένα συγκεκριμένο πλήθος μηνυμάτων T στον MS τότε ο SGSN κάνει αίτηση στο HLR/AuC για νέο πίνακα με AVs, τόσο η τιμή του E[N] είναι μεγάλη. Αυτό είναι λογικό, διότι αν κάθε φορά που ο SGSN στέλνει T μηνύματα στον MS κάνει αίτηση για νέο πίνακα με AVs στον HLR/AuC, τότε θα αυξάνονται αυτά τα μηνύματα ADRs. Και όσο πιο μικρό είναι το T, τόσο πιο συχνά θα κάνει αιτήσεις ο SGSN στον HLR/AuC για νέο πίνακα με νέα AVs.

Τέλος, για σταθερό λ, K παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται το d, οι τιμές του E[N] μειώνονται. Αν αυξήσουμε το d, τον χρόνο που διαρκεί μία σύνδεση από τον MS προς τον SGSN, τότε θα μειωθεί ο αριθμός αιτήσεων σύνδεσης από τον MS προς τον SGSN που θα πραγματοποιηθούν κατά τη διάρκεια της περιόδου όπου ο MS παραμένει μέσα στην εμβέλεια του SGSN. Συνεπώς, ο SGSN λίγες φορές θα προλάβει να έρθει σε επαφή με το HLR/AuC για να αποκτήσει νέο πίνακα με νέα AVs και άρα το πλήθος των ADRs θα μειωθούν. Οπότε και το E[N] θα μειωθεί.

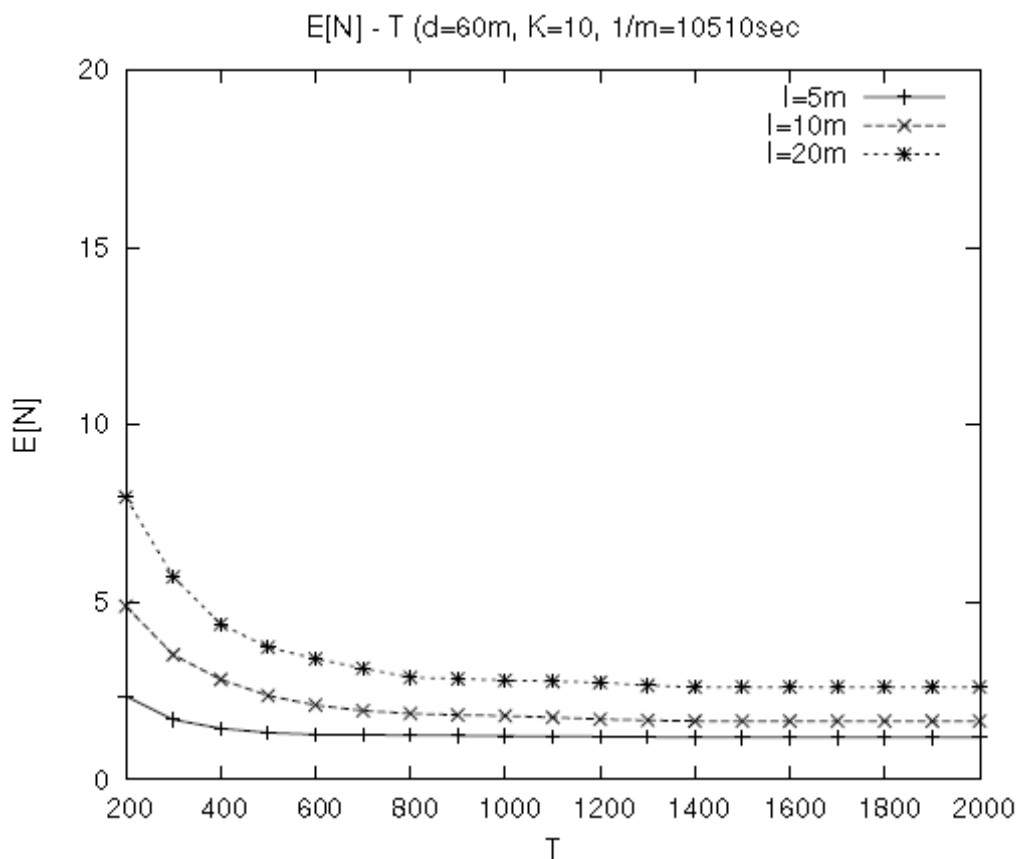
Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και από τις γραφικές παραστάσεις για $\lambda=10\mu$ και $\lambda=20\mu$ με $d=5\mu, 20\mu, 60\mu$, $K=2,5,10,20$ που υπάρχουν στα σχήματα 19 μέχρι και 24 στο παράστημα II. Επιπλέον, στο παράρτημα I θα βρείτε και τα αρχεία “mine_plot1.p”, “mine_plot2.p”, έως και “mine_plot33.p” που δημιουργηθήκαν για τις γραφικές παραστάσεις που μόλις περιγράψαμε καθώς και για όλες τις υπόλοιπες που θα ακολουθήσουν. Τέλος, στο παράρτημα I θα βρείτε και τα αρχεία “data1_K2”, “data1_K5”, έως και “data9_K20”, που περιέχουν τα πειραματικά αποτελέσματα των ζευγαριών $E[N] - T$.



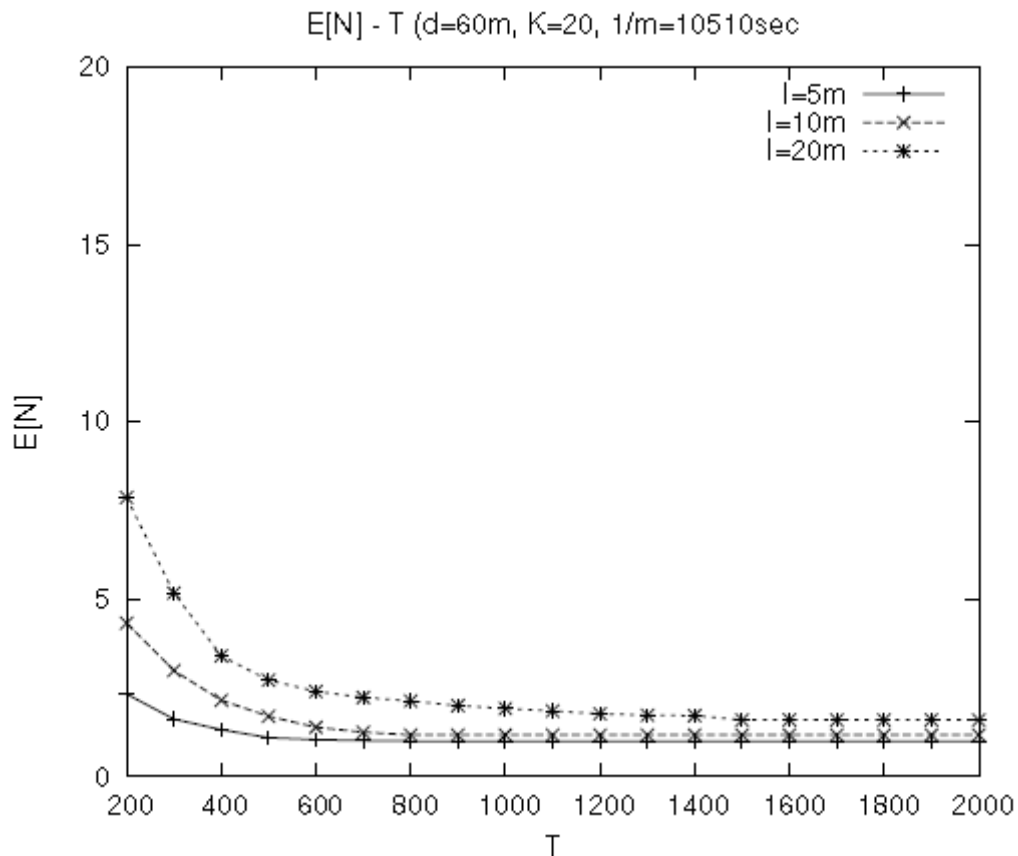
Σχήμα 11: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



Σχήμα 12: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



Σχήμα 13: Γραφική παράσταση $E[N] - T$

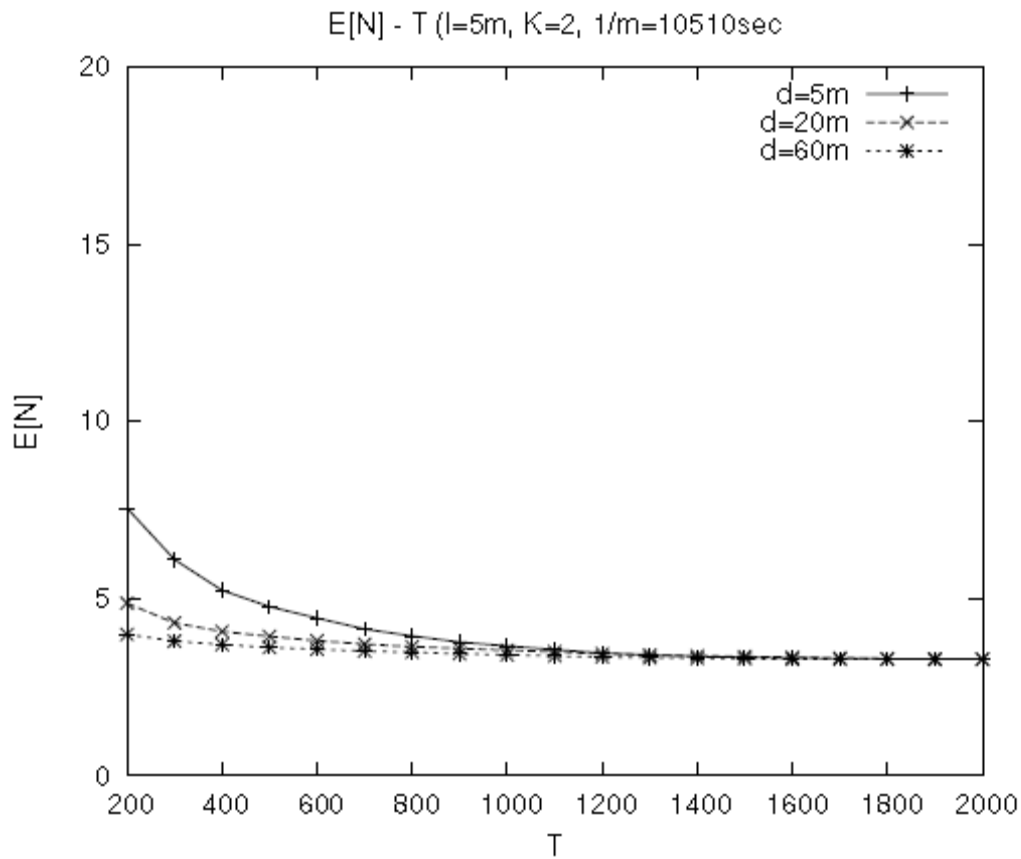


Σχήμα 14: Γραφική παράσταση E[N] – T

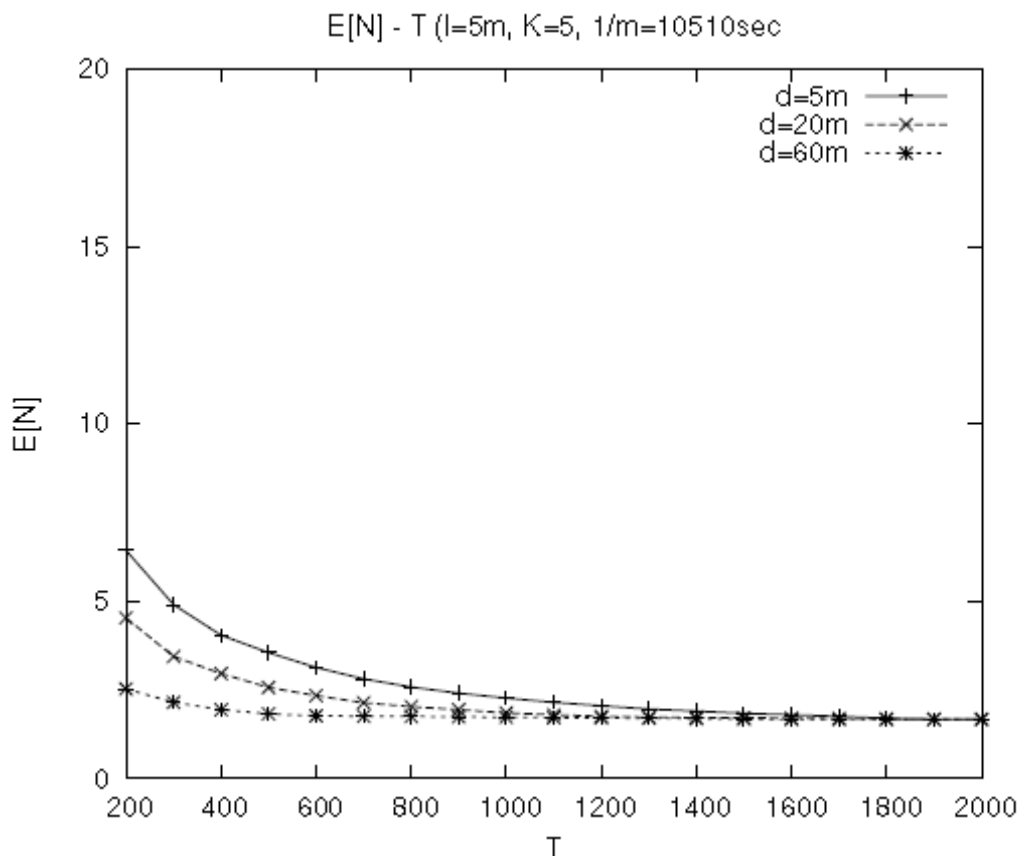
Στα σχήματα 11, 12, 13, 14 φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις των E[N] συναρτήσεων του T για d=60m με K=2, 5, 10, 20 και λ=5μ, 10μ, 20μ.

Όπως και πριν, όσο πιο μικρό είναι το T, τόσο πιο μεγάλο είναι το E[N] με σταθερό το d, K, λ. Επίσης, για σταθερό d και K, φαίνεται πως όταν μεγαλώνει το λ σε σχέση με το μ, αυξάνεται το E[N]. Ενώ με σταθερό το d και λ όταν αυξάνεται το K, μειώνεται το E[N].

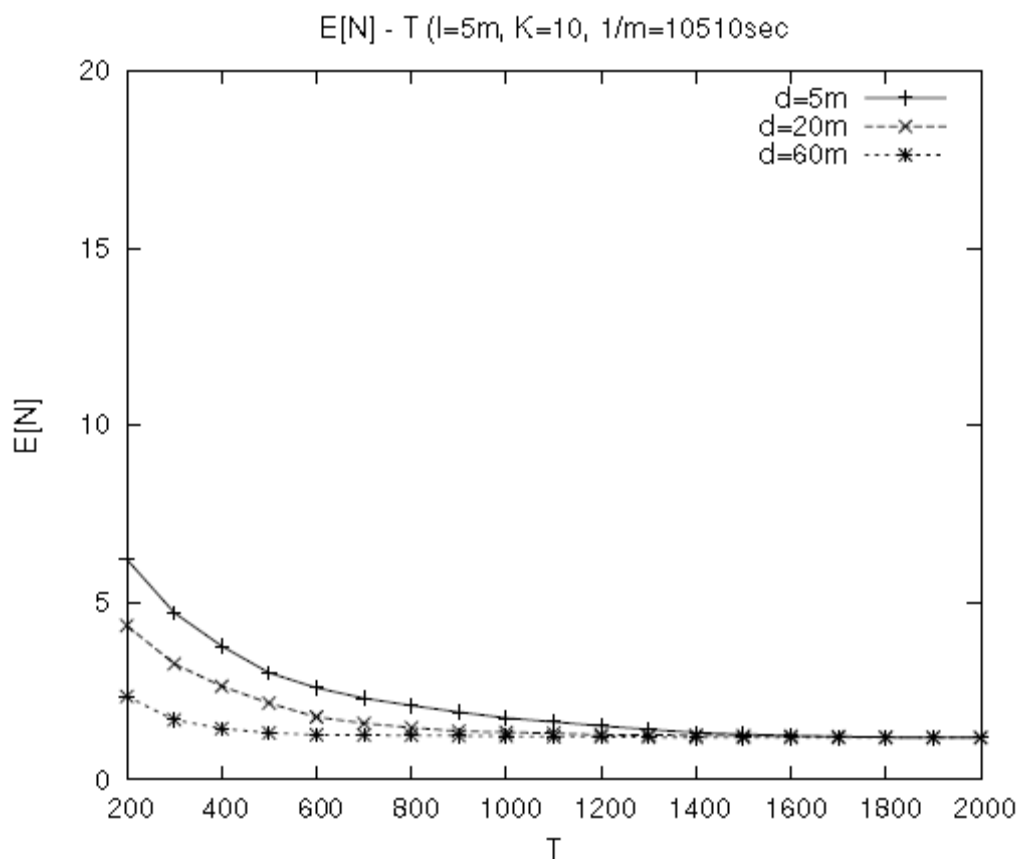
Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και από τις γραφικές παραστάσεις για d=5μ και d=20μ με λ=5μ, 10μ, 20μ, K=2,5,10,20 που υπάρχουν στα σχήματα 25 μέχρι και 32 στο παράστημα II.



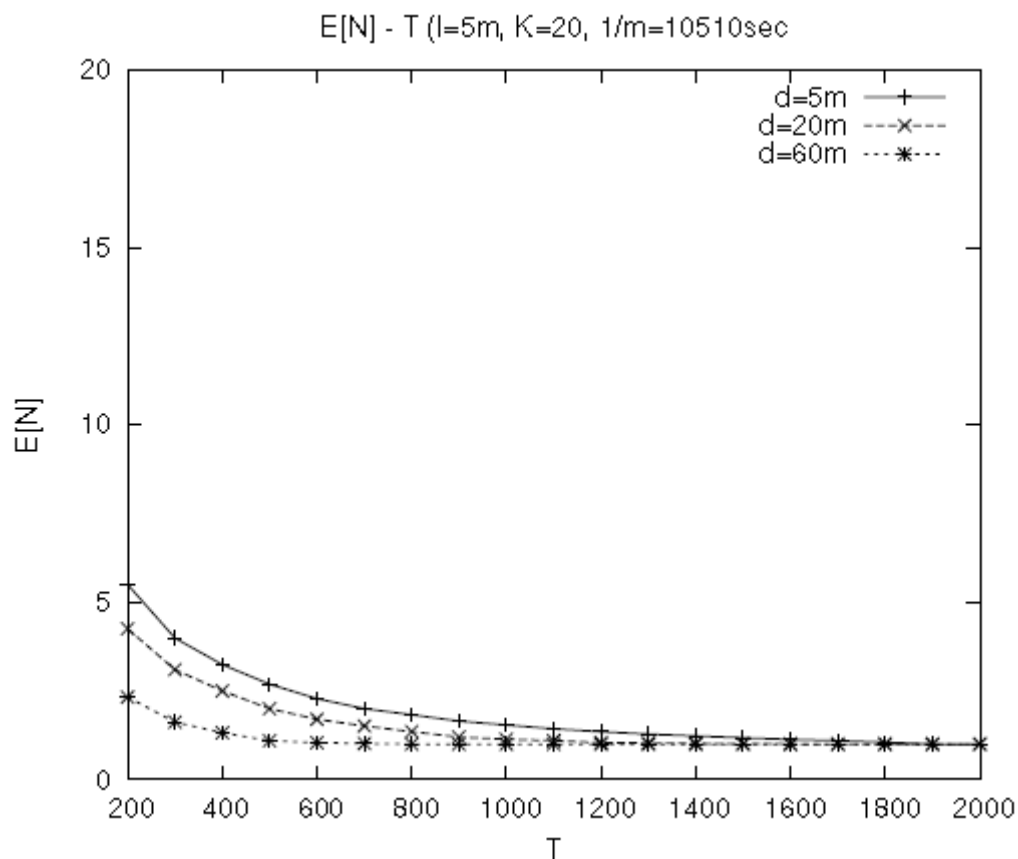
Σχήμα 15: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



Σχήμα 16: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



Σχήμα 17: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



Σχήμα 18: Γραφική παράσταση $E[N] - T$

Στα σχήματα 15, 16, 17 και 18 φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις των τιμών του $E[N]$ συναρτήσει του T για $\lambda=5\mu$ και $d=5\mu, 20\mu, 60\mu$ με $K=2, 5, 10, 20$ αντίστοιχα.

Όπως και πριν, όσο πιο μικρό είναι το T , τόσο πιο μεγάλο είναι το $E[N]$ με σταθερό το λ, K, d . Επίσης, για σταθερό λ και K , φαίνεται πως όταν μεγαλώνει το d σε σχέση με το μ , μειώνεται το $E[N]$. Ενώ με σταθερό το λ και d όταν αυξάνεται το K , μειώνεται το $E[N]$.

Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και από τις γραφικές παραστάσεις για $\lambda=10\mu$ και $\lambda=20\mu$ με $K=2, 5, 10, 20, d=5\mu, 10\mu, 20\mu$ που υπάρχουν στα σχήματα 33 μέχρι και 40 στο παράστημα II.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Τελικά συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία παρουσίασε τη σημασία της χρήσης της σηματοδότησης πιστοποίησης – authentication signaling στα δίκτυα Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), τα οποία εντάσσονται μέσα στη ευρύτερη κατηγορία των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς – Third-Generation (3G) Mobile Networks. Μελετώντας τη σηματοδότηση πιστοποίησης σε αυτά τα δίκτυα, είδαμε τη σημασία του κόστους πρόσβασης στο κέντρο πιστοποίησης – Authentication Centre (AuC) το οποίο συνδέεται και με τη βάση Home Location Register (HLR). Επιπρόσθετα, εστίασαμε στις διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν το συγκεκριμένο κόστος, όπως είναι ο ρυθμός αποστολής πακέτων από τον SGSN στον MS, ο ρυθμός αποστολής για αίτηση σύνδεσης του MS με τον SGSN και του SGSN με το HLR/AuC, ο χρόνος που διαρκεί μέχρι να γίνει η επόμενη αίτηση σύνδεσης και ο χρόνος παραμονής του MS μέσα στο δίκτυο. Επιπλέον, μία άλλη σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το κόστος στη σηματοδότηση πιστοποίησης είναι το μέγεθος K του πίνακα με τα Authentication Vectors (AVs). Τέλος, περιγράφοντας τη διαδικασία που ακολουθήσαμε, αναλύσαμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν με βάση το εργαλείο ns-2 και GNU PLOT. Είδαμε, ότι τελικά, το πλήθος των μηνυμάτων αίτησης και απόκρισης - Authentication Data Request and Response (ADRs), που ανταλλάσσονται μεταξύ του SGSN και του HLR/AuC αυξάνεται όταν:

- Το K (μέγεθος πίνακα με τα AVs) μειώνεται με σταθερές όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους.
- Ο ρυθμός με τον οποίο ο MS στέλνει αιτήσεις για σύνδεση στον SGSN (λ) αυξάνεται με σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους.
- Όταν ο χρόνος που διαρκεί η σύνδεση του MS με τον SGSN (d) μειώνεται με σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους.

Τα συγκεκριμένα συμπεράσματα αποδείχθηκαν και από τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
A	
active set	ενεργό σύνολο
Advanced Mobile Phone Service	προηγμένη υπηρεσία κινητού τηλεφώνου
agent	πράκτορας
Angle Deviation Radio	ακτίνα κάλυψης γωνία
Associatively-Based Routing	δρομολόγηση με βάση την συσχέτιση
Asynchronous Transfer Mode	ασύγχρονος τρόπος μεταφοράς
Asynchronous Transfer Mode Adaptation Layer	επίπεδο προσαρμογής ασύγχρονου τρόπου μεταφοράς
Authentication	πιστοποίηση
Authentication Center	κέντρο πιστοποίησης
Authentication Data Request and Response	αίτηση και απόκριση δεδομένου πιστοποίησης
Authentication Token	κουπόνι πιστοποίησης
Authentication Vector	στοιχείο πιστοποίησης
B	
background traffic	κίνηση στο παρασκήνιο
Broadcast Channel	κανάλι μετάδοσης
Broadcast Control Channel	κανάλι ελέγχου μετάδοσης
C	
call duration time	διάρκεια κλήσης
cell	κυψέλη
cipher key	κλειδί κρυπτογράφησης
Circuit Switch	μεταγωγή κυκλώματος
Clusterhead Gateway Switch Routing	δρομολόγηση με βάση την αλλαγή του αρχηγού ομάδας
Code Division Multiple Access	πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα
Common Control Channel	κοινό κανάλι ελέγχου
Common Packet Channel	κοινό κανάλι πακέτου
Common Traffic Channel	κοινό κανάλι κίνησης
connected	συνδεδεμένος
Core Network	κορμός δικτύου
D	
Dedicated Channel	αφιερωμένο κανάλι
Dedicated Control Channel	αφιερωμένο κανάλι ελέγχου
Dedicated Traffic Channel	αφιερωμένο κανάλι κίνησης
Destination Sequenced Distance Vector	πίνακας αποστάσεων με την συχνότητα εμφάνισης των προορισμών
detected set	ανιχνεύσιμο σύνολο
Digital Advanced Mobile Phone Service	προηγμένη υπηρεσία ψηφιακού κινητού τηλεφώνου
Downlink Shared Channel	διαμοιραζόμενο κανάλι κατερχόμενης ροής
Drift Radio Network Controller	βασικός ελεγκτής ασύρματου δικτύου
Dynamic Source Routing	δυναμική δρομολόγηση με βάση την πηγή

E	
Eight-Phase Shift Keying	είδος διαμόρφωσης στη κωδικοποίηση δεδομένων
e-mail	ηλεκτρονικό μήνυμα
Enhanced Data Rates for Global Evolution	αυξημένοι ρυθμοί δεδομένων για παγκόσμια ανάπτυξη
European Telecommunications Standards Institute	ινστιτούτο προδιαγραφών τηλεπικοινωνιών Ευρώπης
F	
first generation	πρώτη γενιά
First In First Out	πρώτο μέσα – πρώτο έξω
File Transport Protocol	πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείου
foreground traffic	κίνηση στο προσκήνιο
Forward Access Channel	κανάλι πρόσβασης προς τα εμπρός
Frequency Division Duplexing	διαίρεση συχνότητας
G	
Gateway General Packet Radio Service Support Node	κόμβος πύλης υποστήριξης της υπηρεσίας μετάδοσης πακέτου
Gateway Mobile Services Switching Center	κέντρο πύλης μεταγωγής κινητών υπηρεσιών
General Packet Radio Service	υπηρεσία μετάδοσης πακέτου
Global System for Mobile Communications	παγκόσμιο σύστημα για τις κινητές επικοινωνίες
H	
handover	μεταβίβαση
hardware	υλικό
High Speed Circuit Switched Data	μεγάλης ταχύτητας μεταγωγής κυκλώματος δεδομένων
High Speed Downlink Packet Access	μεγάλης ταχύτητας κατερχόμενη ροή για πρόσβαση πακέτου
High Speed Downlink Shared Channel	διαμοιραζόμενο κανάλι μεγάλης ταχύτητας κατερχόμενης ροής
home network	οικιακό δίκτυο
Home Location Register	καταχωρητής τοποθεσίας του οικιακού δικτύου
I	
idle	αναμονή
integrity key	κλειδί ακεραιότητας
Internet Protocol	πρωτόκολλο διαδικτύου
intersystem	πολλά συστήματα ενωμένα
inter-SGSN	αλλαγή από περιοχή σε περιοχή μέσα στην εμβέλεια του SGSN
International Mobile subscriber Identity	παγκόσμια ταυτότητα κινητού χρήστη
intra-SGSN	αλλαγή από περιοχή μέσα στην εμβέλεια του SGSN σε περιοχή έξα από την εμβέλεια του SGSN

K	
kilobits per second	μονάδα μέτρησης δεδομένων
M	
MegaHertz	μονάδα μέτρησης συχνότητας
Medium Access Control	έλεγχος μέσης πρόσβασης
Mobile Services Switching Center	κέντρο μεταγωγής κινητών υπηρεσιών
mobile station	κινητός σταθμός
Mobility Management	έλεγχος κινητικότητας
monitored set	σύνολο επίβλεψης
N	
network	διαδίκτυο/δίκτυο
network simulator-2	προσομοιωτής δικτύου-2
node	κόμβος
Node B Application Part	μέρος εφαρμογής κόμβος B
Nordic Mobile Telephone	κινητό τηλέφωνο Νορβηγίας
O	
on-demand	κατά'παίτηση
overhead	απόδοση
P	
packet	πακέτο
Packet Data Convergence Protocol	πρωτόκολλο συγχώνευσης δεδομένων πακέτου
Packet Mobility Management	έλεγχος πακέτου κινητικότητας
Packet Switch	μεταγωγή πακέτου
Paging Channel	κανάλι σελιδοποίησης
Paging Control Channel	κανάλι ελέγχου σελιδοποίησης
Personal Digital Assistant	ψηφιακός προσωπικός επιβλέπων
Personal Digital Cellular	ψηφιακό προσωπικό κινητό
ping-pong	αποστολή πακέτων από και προς κάποιον κόμβο
point-to-multipoint	από σημείο-προς-πολλά σημεία
point-to-point	από σημείο-προς-σημείο
Public Data Network	δημόσιο δίκτυο δεδομένων
Public Telephone Switched Network	δημόσιο δίκτυο μεταγωγής τηλεφώνου
Q	
Quality of Service	ποιότητα υπηρεσίας
R	
Radio Access Network Application Part	μέρος εφαρμογής ασύρματου δικτύου πρόσβασης
Radio Link Layer	ασύρματο επίπεδο ζεύξης
Radio Network Controller	ελεγκτής ασύρματου δικτύου
Radio Network Subsystem	υποσύστημα ασύρματου δικτύου
Radio Network Sublayer Application Part	μέρος εφαρμογής υποεπίπεδου

	ασύρματου δικτύου
Radio Resource Control	έλεγχος ασύρματης πηγής
random	τυχαία
Random Access Channel	κανάλι τυχαίας πρόσβασης
Random Number	τυχαίος αριθμός
registration message	μήνυμα εγγραφής
relocation	επαναπροσδιορισμός θέσης
Response	απόκριση
Routing Area	περιοχή δρομολόγησης
S	
second generation	δεύτερη γενιά
second half generation	δεύτερης και κάτι γενιάς
Serving General packet radio service Support Node	κόμβος παροχής υπηρεσίας μετάδοσης πακέτου
Service Specific Connection Oriented Protocol	πρωτόκολλο σύνδεσης συγκεκριμένης υπηρεσίας
Service Specific Coordination function of Support of Signaling at the User Network Interface	λειτουργία συγκεκριμένης υπηρεσίας υποστήριξης της σηματοδοσίας από την διεπαφή του δικτύου του χρήστη
Serving Radio Network Controller	ελεγκτής υπηρεσίας ασύρματου δικτύου
Signaling Connection Control Protocol	πρωτόκολλο ελέγχου σύνδεσης σηματοδοσίας
Signal Stability Routing	δρομολόγηση με βάση την στατικότητα του σήματος
Subscriber Identity Module	ταυτότητα χρήστη
T	
table-driven	γεγονός οδηγούμενο από έναν πίνακα
Telephone network	τηλεφωνικό δίκτυο
Third-Generation Mobile Network	κινητό δίκτυο τρίτης γενιάς
Third-Generation Partnership Project	σύλλογος ενεργειών τρίτης γενιάς
Time Division Duplex	διαίρεση χρόνου
Time Division Multiple Access	πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου
Total Access Communication System	ολικό σύστημα πρόσβασης επικοινωνιών
tracking	ανίχνευση
Transport Control Protocol	πρωτόκολλο ελέγχου μεταφοράς
traffic	κίνηση
U	
Universal Mobile Telecommunication System	παγκόσμιο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών
Universal Mobile Telecommunication System Terrestrial Radio Access Network	παγκόσμιο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών ασύρματης πρόσβασης
Universal Mobile Telecommunication System Terrestrial Radio Access Network Registration Area	περιοχή εγγραφής παγκόσμιου συστήματος κινητών τηλεπικοινωνιών ασύρματης πρόσβασης
Uplink Shared Channel	διαμοιραζόμενο κανάλι ανερχόμενης ροής
User Data Request and Response	αίτηση και απόκριση δεδομένου χρήστη
User Datagram Protocol	πρωτόκολλα δεδομενογράμματος χρήστη
User Equipment	εξοπλισμός χρήστη

User Plane Framing Protocol	πρωτόκολλο πλαισίου χρήστη
USIM	ταυτότητα του χρήστη σε δίκτυα UMTS
V	
Visitor Location Register	καταχωρητής βάσης της θέσης επίσκεψης του χρήστη
W	
Wideband Code Division Multiple Access	ευρυζωνική πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα
Wireless Routing Protocol	πρωτόκολλο ασύρματης δρομολόγησης
X	
eXpected Response	αναμενόμενη απόκριση

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

AAL	ATM Adaptation Layer
ABR	Associatively-Based Routing
ADR	Authentication Data Request and Response Or Angle Deviation Radio
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
AODV	Ad-hoc On-demand Distance Vector
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AuC	Authentication Center
AUTN	Authentication Token
AV	Authentication Vector
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
CCCH	Common Control Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CGSR	Clusterhead Gateway Switch Routing
CK	Cipher Key
CN	Core Network
CPCH	Common Packet Channel
CS	Circuit Switch
CTCH	Common Traffic Channel
D-AMPS	Digital AMPS
DCCH	Dedicated Control Channel
DCH	Dedicated Channel
DRNC	Drift RNC
DSCH	Downlink Shared Channel
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
DTCH	Dedicated Traffic Channel
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
ETSI	European Telecommunications Standards Intitution
FACH	Forward Access Channel

FDD	Frequency Division Duplex
FIFO	First In First Out
FTP	File Transport Protocol
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway MSC
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
Η.Π.Α	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HS-DSCH	High Speed DSCH
HSPDA	High Speed Downlink Packet Access
IK	Integrity Key
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
kbps	kilobits per second
MAC	Medium Access Control
MHz	Megahertz
MM	Mobility Management
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Services Switching Center
NBAP	Node B Application Part
NMT	Nordic Mobile Telephone
Ns-2	Network simulator-2
OSI	Open Systems Interconnection
PCCH	Paging Control Channel
PCH	Paging Channel
PDA	Personal Digital Assistant
PDC	Personal Digital Cellular
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDN	Public Data Network
PMM	Packet MM

PS	Packet Switch
PSTN	Public Telephone Switched Network
QoS	Quality of Service
RA	Routing Area
RACH	Random Access Channel
RANAP	Radio Access Network Application Part
RAND	Random Number
RES	Response
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RNSAP	Radio Network Sublayer Application Part
RRC	Radio Resource Control
SCCP	Signaling Connection Control Protocol
SDR	Speed Deviation Radio
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SRNC	Serving RNC
SSCF-UNI	Service Specific Coordination function of Support of Signaling at the User-Network Interface
SSCOP	Service Specific Connection Oriented Protocol
SSR	Signal Stability Routing
SONET	Synchronous Optical Network
TACS	Total Access Communication System
TCP	Transport Control Protocol
TDD	Time division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
Telnet	Telephone network
TORA	Temporally Ordered Routing Algorithm
UAR	User Authentication data Request and Response
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UP FP	User Plane Frame Protocol
URA	UTRAN Registration Area

USCH	Uplink Shared Channel
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
WCDMA	Wideband CDMA
WRP	Wireless Routing Protocol
XRES	eXpected Response
1G	first-generation
2G	second-generation
2,5G	second half-generation
3G	Third-Generation
3GPP	Third-Generation Partnership Project
8-PSK	Eight-Phase Shift Keying

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

data_5m: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$ και για την 1^η φάση

1 5.9700
2 3.2900
3 2.3900
4 1.9400
5 1.6700
6 1.5100
7 1.4000
8 1.2800
9 1.2300
10 1.1900
11 1.1600
12 1.1300
13 1.1000
14 1.0800
15 1.0700
16 1.0600
17 1.0500
18 1.0400
19 1.0000
20 1.0000

data_10m: αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$ και για την 1^η φάση

1 10.9700
2 6.0000
3 4.0100
4 3.2000
5 2.7000
6 2.3000
7 2.0200
8 1.8700
9 1.7600
10 1.6500

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

11 1.5300
12 1.5000
13 1.4300
14 1.4000
15 1.3200
16 1.2700
17 1.2600
18 1.2300
19 1.2000
20 1.1700

data_20m: αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$ και για την 1^η φάση

1 21.0000
2 10.7600
3 7.3400
4 5.6200
5 4.6800
6 3.9900
7 3.4600
8 3.0900
9 2.8800
10 2.6100
11 2.4500
12 2.2900
13 2.1000
14 2.0300
15 1.9300
16 1.8300
17 1.7700
18 1.7200
19 1.6200
20 1.6000

thewritiko_5m: αρχείο με τα θεωρητικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$

1 6.0000
2 3.2700
3 2.3700

4 1.9300
5 1.6700
6 1.5000
7 1.3900
8 1.3000
9 1.2400
10 1.1900
11 1.1600
12 1.1300
13 1.1000
14 1.0800
15 1.0700
16 1.0600
17 1.0500
18 1.0400
19 1.0300
20 1.0300

thewritiko_10m: αρχείο με τα θεωρητικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$

1 11.000
2 5.7600
3 4.0200
4 3.1500
5 2.6400
6 2.3000
7 2.0500
8 1.8700
9 1.7400
10 1.6300
11 1.5400
12 1.4700
13 1.4100
14 1.3600
15 1.3100
16 1.2800
17 1.2500
18 1.2200

19 1.2000

20 1.1700

thewritiko_20m: αρχείο με τα θεωρητικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$

1 21.0000

2 10.7600

3 7.3400

4 5.6400

5 4.6200

6 3.9400

7 3.4600

8 3.0900

9 2.8100

10 2.5900

11 2.4100

12 2.2600

13 2.1300

14 2.0200

15 1.9300

16 1.8500

17 1.7700

18 1.7100

19 1.6500

20 1.6000

plot_K.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση των πειραματικών και θεωρητικών αποτελεσμάτων της 1^{ης} φάσης

set autoscale

unset label

unset log

set xtic auto

set ytic auto

set title "E[N] - K (1/m=10510sec)"

set xlabel "K"

set ylabel "E[N]"

set xr [1:20]

```
set yr [0:22]
```

```
plot "data_5m" using 1:2 title 'l=5m peiramatiko' with linespoints, \  
    "thewritiko_5m" using 1:2 title 'l=5m thewritiko' with linespoints, \  
    "data_10m" using 1:2 title 'l=10m peiramatiko' with linespoints, \  
    "thewritiko_10m" using 1:2 title 'l=10m thewritiko' with linespoints, \  
    "data_20m" using 1:2 title 'l=20m peiramatiko' with linespoints, \  
    "thewritiko_20m" using 1:2 title 'l=20m thewritiko' with linespoints
```

data1_K2: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=5\mu$, $K=2$ και για την 2^η φάση

200	7.5500
300	6.1000
400	5.2300
500	4.7700
600	4.4500
700	4.1400
800	3.9400
900	3.7700
1000	3.6600
1100	3.5600
1200	3.4600
1300	3.4100
1400	3.3600
1500	3.3400
1600	3.3200
1700	3.3100
1800	3.3000
1900	3.2900
2000	3.2900

data1_K5: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=5\mu$, $K=5$ και για την 2^η φάση

200	6.4300
300	4.9000
400	4.0400
500	3.5500

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

600	3.1300
700	2.8100
800	2.5800
900	2.4100
1000	2.2700
1100	2.1500
1200	2.0500
1300	1.9600
1400	1.9000
1500	1.8400
1600	1.8000
1700	1.7500
1800	1.7000
1900	1.6700
2000	1.6700

data1_K10: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=5\mu$, $K=10$ και για την 2^η φάση

200	6.2200
300	4.7100
400	3.7700
500	3.0200
600	2.5900
700	2.3000
800	2.0900
900	1.9100
1000	1.7400
1100	1.6300
1200	1.5200
1300	1.4200
1400	1.3300
1500	1.2800
1600	1.2400
1700	1.2200
1800	1.2000
1900	1.1900
2000	1.1900

data1_K20: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=5\mu$, $K=20$ και για την 2^η φάση

200	5.5000
300	3.9900
400	3.2400
500	2.6900
600	2.2800
700	2.0000
800	1.8300
900	1.6500
1000	1.5400
1100	1.4300
1200	1.3500
1300	1.2800
1400	1.2300
1500	1.1800
1600	1.1300
1700	1.1000
1800	1.0500
1900	1.0000
2000	1.0000

data2_K2: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=20\mu$, $K=2$ και για την 2^η φάση

200	4.8700
300	4.3100
400	4.0700
500	3.9300
600	3.8100
700	3.7100
800	3.6400
900	3.5900
1000	3.5400
1100	3.5000
1200	3.4400
1300	3.4000
1400	3.3800

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

1500 3.3600

1600 3.3400

1700 3.3200

1800 3.3000

1900 3.2900

2000 3.2900

data2_K5: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=20\mu$, $K=5$ και για την 2^η φάση

200 4.5300

300 3.4400

400 2.9600

500 2.5700

600 2.3400

700 2.1400

800 2.0300

900 1.9400

1000 1.8500

1100 1.8000

1200 1.7500

1300 1.7300

1400 1.7200

1500 1.7100

1600 1.7000

1700 1.6900

1800 1.6800

1900 1.6700

2000 1.6700

data2_K10: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=20\mu$, $K=10$ και για την 2^η φάση

200 4.3500

300 3.2700

400 2.6400

500 2.1600

600 1.7700

700 1.5900

800	1.4700
900	1.3700
1000	1.3400
1100	1.3100
1200	1.2700
1300	1.2600
1400	1.2500
1500	1.2400
1600	1.2300
1700	1.2200
1800	1.2000
1900	1.1900
2000	1.1900

data2_K20: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=20\mu$, $K=20$ και για την 2^η φάση

200	4.2500
300	3.1000
400	2.5000
500	2.0000
600	1.7000
700	1.5100
800	1.3500
900	1.2000
1000	1.1400
1100	1.1000
1200	1.0400
1300	1.0300
1400	1.0200
1500	1.0100
1600	1.0000
1700	1.0000
1800	1.0000
1900	1.0000
2000	1.0000

data3_K2: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=60\mu$, $K=2$ και για την 2^η φάση

200	3.9900
300	3.8000
400	3.7000
500	3.6200
600	3.5700
700	3.5200
800	3.4800
900	3.4400
1000	3.4100
1100	3.3800
1200	3.3500
1300	3.3300
1400	3.3100
1500	3.3000
1600	3.2900
1700	3.2900
1800	3.2900
1900	3.2900
2000	3.2900

data3_K5: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=60\mu$, $K=5$ και για την 2^η φάση

200	2.5300
300	2.1500
400	1.9400
500	1.8300
600	1.7700
700	1.7600
800	1.7500
900	1.7400
1000	1.7300
1100	1.7200
1200	1.7100
1300	1.7000
1400	1.6900

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

1500 1.6800

1600 1.6700

1700 1.6700

1800 1.6700

1900 1.6700

2000 1.6700

data3_K10: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=60\mu$, $K=10$ και για την 2^η φάση

200 2.3500

300 1.6900

400 1.4400

500 1.3200

600 1.2700

700 1.2600

800 1.2500

900 1.2400

1000 1.2300

1100 1.2200

1200 1.2100

1300 1.2000

1400 1.1900

1500 1.1900

1600 1.1900

1700 1.1900

1800 1.1900

1900 1.1900

2000 1.1900

data3_K20: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=5\mu$, $d=60\mu$, $K=20$ και για την 2^η φάση

200 2.3300

300 1.6200

400 1.3200

500 1.1000

600 1.0400

700 1.0200

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

800 1.0000
900 1.0000
1000 1.0000
1100 1.0000
1200 1.0000
1300 1.0000
1400 1.0000
1500 1.0000
1600 1.0000
1700 1.0000
1800 1.0000
1900 1.0000
2000 1.0000

data4_K2: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=5\mu$, $K=2$ και για την 2^η φάση

200 10.5500
300 8.9400
400 7.8800
500 7.3500
600 7.0400
700 6.8500
800 6.7000
900 6.6200
1000 6.5600
1100 6.5100
1200 6.4500
1300 6.4000
1400 6.3100
1500 6.2500
1600 6.1800
1700 6.0800
1800 6.0300
1900 6.0000
2000 6.0000

data4_K5: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=5\mu$, $K=5$ και για την 2^η φάση

200 9.3600
300 7.0400
400 5.5700
500 5.0000
600 4.5800
700 4.4000
800 4.2100
900 3.9700
1000 3.7900
1100 3.6400
1200 3.4200
1300 3.3200
1400 3.2000
1500 3.1000
1600 3.0000
1700 2.9000
1800 2.8000
1900 2.7000
2000 2.7000

data4_K10: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=5\mu$, $K=10$ και για την 2^η φάση

200 7.1500
300 5.3200
400 4.1800
500 3.6800
600 3.2400
700 2.9800
800 2.8000
900 2.5900
1000 2.4400
1100 2.3400
1200 2.2100
1300 2.1500
1400 2.1000

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

1500 2.0500

1600 1.9500

1700 1.8900

1800 1.7700

1900 1.6500

2000 1.6500

data4_K20: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=5\mu$, $K=20$ και για την 2^η φάση

200 6.5100

300 4.7700

400 3.6500

500 3.0700

600 2.5700

700 2.3300

800 2.0700

900 1.9000

1000 1.7100

1100 1.6000

1200 1.4900

1300 1.4000

1400 1.3500

1500 1.2500

1600 1.2000

1700 1.1900

1800 1.1800

1900 1.1700

2000 1.1700

data5_K2: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=20\mu$, $K=2$ και για την 2^η φάση

200 10.0900

300 8.7000

400 7.7000

500 7.0700

600 6.8300

700 6.7400

800 6.6300
900 6.5700
1000 6.4800
1100 6.4200
1200 6.3700
1300 6.3100
1400 6.2500
1500 6.2000
1600 6.1500
1700 6.0800
1800 6.0100
1900 6.0000
2000 6.0000

data5_K5: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=20\mu$, $K=5$ και για την 2^η φάση

200 8.1400
300 6.3000
400 5.1500
500 4.6300
600 4.2000
700 3.9800
800 3.7000
900 3.5800
1000 3.4200
1100 3.2600
1200 3.2000
1300 3.1600
1400 3.0900
1500 3.0400
1600 2.9600
1700 2.8800
1800 2.7600
1900 2.7000
2000 2.7000

data5_K10: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=20\mu$, $K=10$ και για την 2^η φάση

200	6.5300
300	5.1500
400	4.2900
500	3.5700
600	3.2000
700	2.9100
800	2.7200
900	2.5600
1000	2.4300
1100	2.3100
1200	2.2400
1300	2.1500
1400	2.1000
1500	2.0000
1600	1.9000
1700	1.8100
1800	1.7500
1900	1.6500
2000	1.6500

data5_K20: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=20\mu$, $K=20$ και για την 2^η φάση

200	6.0800
300	4.5500
400	3.5800
500	2.9200
600	2.4600
700	2.1500
800	1.9200
900	1.7700
1000	1.5800
1100	1.4600
1200	1.3800
1300	1.2500
1400	1.1900

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

1500 1.1800

1600 1.1700

1700 1.1700

1800 1.1700

1900 1.1700

2000 1.1700

data6_K2: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=60\mu$, $K=2$ και για την 2^η φάση

200 9.2200

300 8.1300

400 7.4400

500 7.0000

600 6.6900

700 6.4900

800 6.3700

900 6.2900

1000 6.2300

1100 6.1500

1200 6.1000

1300 6.0500

1400 6.0300

1500 6.0100

1600 6.0000

1700 6.0000

1800 6.0000

1900 6.0000

2000 6.0000

data6_K5: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=60\mu$, $K=5$ και για την 2^η φάση

200 5.7000

300 4.4400

400 3.6800

500 3.2900

600 3.1400

700 2.9900

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

800	2.9500
900	2.9100
1000	2.8400
1100	2.8300
1200	2.8300
1300	2.8100
1400	2.8000
1500	2.8000
1600	2.7000
1700	2.7000
1800	2.7000
1900	2.7000
2000	2.7000

data6_K10: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=60\mu$, $K=10$ και για την 2^η φάση

200	4.8900
300	3.5200
400	2.8200
500	2.3700
600	2.1000
700	1.9400
800	1.8600
900	1.8200
1000	1.8000
1100	1.7500
1200	1.7000
1300	1.6700
1400	1.6500
1500	1.6500
1600	1.6500
1700	1.6500
1800	1.6500
1900	1.6500
2000	1.6500

data6_K20: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=10\mu$, $d=60\mu$, $K=20$ και για την 2^η φάση

200	4.3300
300	2.9900
400	2.1500
500	1.7000
600	1.3900
700	1.2500
800	1.1700
900	1.1700
1000	1.1700
1100	1.1700
1200	1.1700
1300	1.1700
1400	1.1700
1500	1.1700
1600	1.1700
1700	1.1700
1800	1.1700
1900	1.1700
2000	1.1700

data7_K2: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=5\mu$, $K=2$ και για την 2^η φάση

200	15.5900
300	13.4200
400	12.6000
500	11.9500
600	11.6500
700	11.5200
800	11.4700
900	11.3100
1000	11.2000
1100	11.1800
1200	11.1200
1300	11.0500
1400	10.9800

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

1500 10.9400

1600 10.8800

1700 10.8400

1800 10.8000

1900 10.7600

2000 10.7600

data7_K5: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=5\mu$, $K=5$ και για την 2^η φάση

200 11.6800

300 9.3100

400 8.1800

500 7.6800

600 7.4000

700 7.2000

800 7.0900

900 7.0400

1000 6.9600

1100 6.8800

1200 6.8700

1300 6.8600

1400 6.8500

1500 6.8200

1600 6.7800

1700 6.7600

1800 6.7000

1900 6.6900

2000 6.6900

data7_K10: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=5\mu$, $K=10$ και για την 2^η φάση

200 9.4500

300 7.4000

400 5.8500

500 5.0500

600 4.4500

700 4.0500

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

800	3.7000
900	3.5400
1000	3.3500
1100	3.1800
1200	3.0500
1300	2.8900
1400	2.8400
1500	2.6900
1600	2.6800
1700	2.6700
1800	2.6600
1900	2.6100
2000	2.6100

data7_K20: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=5\mu$, $K=20$ και για την 2^η φάση

200	8.0400
300	5.7800
400	4.5000
500	3.4900
600	2.9300
700	2.6200
800	2.4300
900	2.3800
1000	2.3200
1100	2.3100
1200	2.1700
1300	2.1300
1400	1.9500
1500	1.9000
1600	1.8600
1700	1.8100
1800	1.7000
1900	1.6000
2000	1.6000

data8_K2: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=20\mu$, $K=2$ και για την 2^η φάση

200 15.4200
300 13.3700
400 12.3100
500 11.8500
600 11.5600
700 11.3400
800 11.2900
900 11.2100
1000 11.1900
1100 11.1200
1200 11.0800
1300 11.0400
1400 10.9900
1500 10.9500
1600 10.8900
1700 10.8300
1800 10.7900
1900 10.7600
2000 10.7600

data8_K5: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=20\mu$, $K=5$ και για την 2^η φάση

200 10.6700
300 8.9000
400 7.5700
500 6.4700
600 5.9100
700 5.5200
800 5.3100
900 5.1900
1000 5.0800
1100 5.0200
1200 4.9600
1300 4.9300
1400 4.8900

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

1500 4.8700

1600 4.8600

1700 4.7800

1800 4.7300

1900 4.6800

2000 4.6800

data8_K10: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=20\mu$, $K=10$ και για την 2^η φάση

200 8.3000

300 5.9700

400 4.9200

500 4.1700

600 3.6100

700 3.3800

800 3.2100

900 3.1100

1000 2.9600

1100 2.8800

1200 2.7800

1300 2.7100

1400 2.7000

1500 2.6800

1600 2.6600

1700 2.6400

1800 2.6200

1900 2.6100

2000 2.6100

data8_K20: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=20\mu$, $K=20$ και για την 2^η φάση

200 7.2700

300 4.9400

400 3.9300

500 3.3500

600 2.9000

700 2.5859

800	2.3300
900	2.1500
1000	1.9800
1100	1.8500
1200	1.7900
1300	1.7700
1400	1.7500
1500	1.6900
1600	1.6600
1700	1.6500
1800	1.6300
1900	1.6000
2000	1.6000

data9_K2: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=60\mu$, $K=2$ και για την 2^η φάση

200	14.4600
300	13.0000
400	12.0000
500	11.5400
600	11.4100
700	11.3300
800	11.2600
900	11.1800
1000	11.1300
1100	11.1000
1200	11.0300
1300	10.8700
1400	10.8400
1500	10.7900
1600	10.7600
1700	10.7600
1800	10.7600
1900	10.7600
2000	10.7600

data9_K5: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=60\mu$, $K=5$ και για την 2^η φάση

200 9.8800
300 7.9400
400 6.7500
500 5.9900
600 5.7200
700 5.5000
800 5.2800
900 5.2300
1000 5.1500
1100 5.0100
1200 4.8800
1300 4.8600
1400 4.7800
1500 4.7800
1600 4.6800
1700 4.6800
1800 4.6200
1900 4.6800
2000 4.6800

data9_K10: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=60\mu$, $K=10$ και για την 2^η φάση

200 7.9600
300 5.7100
400 4.3800
500 3.7300
600 3.4000
700 3.1400
800 2.8800
900 2.8400
1000 2.8000
1100 2.7700
1200 2.7400
1300 2.6500
1400 2.6100

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

1500 2.6100

1600 2.6100

1700 2.6100

1800 2.6100

1900 2.6100

2000 2.6100

data9_K20: το αρχείο με τα πειραματικά αποτελέσματα για $\lambda=20\mu$, $d=60\mu$, $K=20$ και για την 2^η φάση

200 6.1700

300 4.1700

400 3.3000

500 2.7200

600 2.4000

700 2.2300

800 2.1300

900 2.0000

1000 1.9200

1100 1.8500

1200 1.7700

1300 1.7300

1400 1.7200

1500 1.6000

1600 1.6000

1700 1.6000

1800 1.6000

1900 1.6000

2000 1.6000

mine_plot1.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 9.

set autoscale

unset label

unset log

set xtic auto

set ytic auto

set title "E[N] - T (l=5m, duration_time=5m,1/m=10510sec"

```
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data1_K2" using 1:2 title 'K=2' with linespoints, \
      "data1_K5" using 1:2 title 'K=5' with linespoints, \
      "data1_K10" using 1:2 title 'K=10' with linespoints, \
      "data1_K20" using 1:2 title 'K=20' with linespoints
```

mine_plot2.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 9

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (l=5m, duration_time=20m,1/m=10510sec"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data2_K2" using 1:2 title 'K=2' with linespoints, \
      "data2_K5" using 1:2 title 'K=5' with linespoints, \
      "data2_K10" using 1:2 title 'K=10' with linespoints, \
      "data2_K20" using 1:2 title 'K=20' with linespoints
```

mine_plot3.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 10

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (l=5m, duration_time=60m,1/m=10510sec"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
```

```
set yr [0:20]
plot "data3_K2" using 1:2 title 'K=2' with linespoints, \
    "data3_K5" using 1:2 title 'K=5' with linespoints, \
    "data3_K10" using 1:2 title 'K=10' with linespoints, \
    "data3_K20" using 1:2 title 'K=20' with linespoints
```

mine_plot4.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 19

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (l=10m, duration_time=5m,1/m=10510sec"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data4_K2" using 1:2 title 'K=2' with linespoints, \
    "data4_K5" using 1:2 title 'K=5' with linespoints, \
    "data4_K10" using 1:2 title 'K=10' with linespoints, \
    "data4_K20" using 1:2 title 'K=20' with linespoints
```

mine_plot5.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 20

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (l=10m, duration_time=20m,1/m=10510sec"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data5_K2" using 1:2 title 'K=2' with linespoints, \
    "data5_K5" using 1:2 title 'K=5' with linespoints, \
```

```
"data5_K10" using 1:2 title 'K=10' with linespoints, \  
"data5_K20" using 1:2 title 'K=20' with linespoints
```

mine_plot6.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 21

```
set autoscale  
unset label  
unset log  
set xtic auto  
set ytic auto
```

```
set title "E[N] - T (l=10m, duration_time=60m,1/m=10510sec)"  
set xlabel "T"  
set ylabel "E[N]"  
set xr [200:2000]  
set yr [0:20]  
plot "data6_K2" using 1:2 title 'K=2' with linespoints, \  
"data6_K5" using 1:2 title 'K=5' with linespoints, \  
"data6_K10" using 1:2 title 'K=10' with linespoints, \  
"data6_K20" using 1:2 title 'K=20' with linespoints
```

mine_plot7.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 22

```
set autoscale  
unset label  
unset log  
set xtic auto  
set ytic auto
```

```
set title "E[N] - T (l=20m, duration_time=5m,1/m=10510sec)"  
set xlabel "T"  
set ylabel "E[N]"  
set xr [200:2000]  
set yr [0:20]  
plot "data7_K2" using 1:2 title 'K=2' with linespoints, \  
"data7_K5" using 1:2 title 'K=5' with linespoints, \  
"data7_K10" using 1:2 title 'K=10' with linespoints, \  
"data7_K20" using 1:2 title 'K=20' with linespoints
```

mine_plot8.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 23

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (l=20m, duration_time=20m,1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data8_K2" using 1:2 title 'K=2' with linespoints, \
      "data8_K5" using 1:2 title 'K=5' with linespoints, \
      "data8_K10" using 1:2 title 'K=10' with linespoints, \
      "data8_K20" using 1:2 title 'K=20' with linespoints
```

mine_plot9.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 24

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (l=20m, duration_time=60m,1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data9_K2" using 1:2 title 'K=2' with linespoints, \
      "data9_K5" using 1:2 title 'K=5' with linespoints, \
      "data9_K10" using 1:2 title 'K=10' with linespoints, \
      "data9_K20" using 1:2 title 'K=20' with linespoints
```

mine_plot10.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 25

```
set autoscale
unset label
```



```
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (d=5m, K=2, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data1_K2" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \
      "data4_K2" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \
      "data7_K2" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot11.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 26

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (d=5m, K=5, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data1_K5" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \
      "data4_K5" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \
      "data7_K5" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot12.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 27

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (d=5m, K=10, 1/m=10510sec)"
```

```
set xlabel "T"  
set ylabel "E[N]"  
set xr [200:2000]  
set yr [0:20]  
plot "data1_K10" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \  
      "data4_K10" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \  
      "data7_K10" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot13.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 28

```
set autoscale  
unset label  
unset log  
set xtic auto  
set ytic auto  
  
set title "E[N] - T (d=5m, K=20, 1/m=10510sec)"  
set xlabel "T"  
set ylabel "E[N]"  
set xr [200:2000]  
set yr [0:20]  
plot "data1_K20" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \  
      "data4_K20" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \  
      "data7_K20" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot14.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 29

```
set autoscale  
unset label  
unset log  
set xtic auto  
set ytic auto  
  
set title "E[N] - T (d=20m, K=2, 1/m=10510sec)"  
set xlabel "T"  
set ylabel "E[N]"  
set xr [200:2000]  
set yr [0:20]  
plot "data2_K2" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \  
      "data4_K2" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \  
      "data7_K2" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

```
"data5_K2" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \  
"data8_K2" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot15.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 30

```
set autoscale  
unset label  
unset log  
set xtic auto  
set ytic auto
```

```
set title "E[N] - T (d=20m, K=5, 1/m=10510sec)"  
set xlabel "T"  
set ylabel "E[N]"  
set xr [200:2000]  
set yr [0:20]  
plot "data2_K5" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \  
"data5_K5" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \  
"data8_K5" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot16.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 31

```
set autoscale  
unset label  
unset log  
set xtic auto  
set ytic auto
```

```
set title "E[N] - T (d=20m, K=10, 1/m=10510sec)"  
set xlabel "T"  
set ylabel "E[N]"  
set xr [200:2000]  
set yr [0:20]  
plot "data2_K10" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \  
"data5_K10" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \  
"data8_K10" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot17.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 32

```
set autoscale
```

```
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (d=20m, K=20, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data2_K20" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \
      "data5_K20" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \
      "data8_K20" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot18.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 11

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (d=60m, K=2, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data3_K2" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \
      "data6_K2" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \
      "data9_K2" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot19.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 12

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto
```

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

```
set title "E[N] - T (d=60m, K=5, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data3_K5" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \
      "data6_K5" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \
      "data9_K5" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot20.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 13

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (d=60m, K=10, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data3_K10" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \
      "data6_K10" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \
      "data9_K10" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot21.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 14

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (d=60m, K=20, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
```

Μελέτη και αξιολόγηση του κόστους της σηματοδότησης πιστοποίησης στα κινητά δίκτυα 3^{ης} γενιάς, UMTS

```
plot "data3_K20" using 1:2 title 'l=5m' with linespoints, \  
      "data6_K20" using 1:2 title 'l=10m' with linespoints, \  
      "data9_K20" using 1:2 title 'l=20m' with linespoints
```

mine_plot22.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 15

```
set autoscale  
unset label  
unset log  
set xtic auto  
set ytic auto  
  
set title "E[N] - T (l=5m, K=2, 1/m=10510sec)"  
set xlabel "T"  
set ylabel "E[N]"  
set xr [200:2000]  
set yr [0:20]  
plot "data1_K2" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \  
      "data2_K2" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \  
      "data3_K2" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot23.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 16

```
set autoscale  
unset label  
unset log  
set xtic auto  
set ytic auto  
  
set title "E[N] - T (l=5m, K=5, 1/m=10510sec)"  
set xlabel "T"  
set ylabel "E[N]"  
set xr [200:2000]  
set yr [0:20]  
plot "data1_K5" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \  
      "data2_K5" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \  
      "data3_K5" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot24.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 17

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (l=5m, K=10, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data1_K10" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \
      "data2_K10" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \
      "data3_K10" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot25.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 18

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (l=5m, K=20, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data1_K20" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \
      "data2_K20" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \
      "data3_K20" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot26.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 33

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
```

```
set ytic auto
```

```
set title "E[N] - T (l=10m, K=2, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data4_K2" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \
     "data5_K2" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \
     "data6_K2" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot27.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 34

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto
```

```
set title "E[N] - T (l=10m, K=5, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data4_K5" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \
     "data5_K5" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \
     "data6_K5" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot28.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 35

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto
```

```
set title "E[N] - T (l=10m, K=10, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
```



```
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data4_K10" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \
     "data5_K10" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \
     "data6_K10" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot29.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 36

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (l=10m, K=20, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data4_K20" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \
     "data5_K20" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \
     "data6_K20" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot30.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 37

```
set autoscale
unset label
unset log
set xtic auto
set ytic auto

set title "E[N] - T (l=20m, K=2, 1/m=10510sec)"
set xlabel "T"
set ylabel "E[N]"
set xr [200:2000]
set yr [0:20]
plot "data7_K2" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \
     "data8_K2" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \
     "data9_K2" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot31.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 38

```
set autoscale
```

```
unset label
```

```
unset log
```

```
set xtic auto
```

```
set ytic auto
```

```
set title "E[N] - T (l=20m, K=5, 1/m=10510sec"
```

```
set xlabel "T"
```

```
set ylabel "E[N]"
```

```
set xr [200:2000]
```

```
set yr [0:20]
```

```
plot "data7_K5" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \
```

```
  "data8_K5" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \
```

```
  "data9_K5" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot32.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 39

```
set autoscale
```

```
unset label
```

```
unset log
```

```
set xtic auto
```

```
set ytic auto
```

```
set title "E[N] - T (l=20m, K=10, 1/m=10510sec"
```

```
set xlabel "T"
```

```
set ylabel "E[N]"
```

```
set xr [200:2000]
```

```
set yr [0:20]
```

```
plot "data7_K10" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \
```

```
  "data8_K10" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \
```

```
  "data9_K10" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

mine_plot33.p: το αρχείο για την γραφική παράσταση του σχήματος 40

```
set autoscale
```

```
unset label
```

```
unset log
```

```
set xtic auto
```

```
set ytic auto
```

```
set title "E[N] - T (l=20m, K=20, 1/m=10510sec"
```

```
set xlabel "T"
```

```
set ylabel "E[N]"
```

```
set xr [200:2000]
```

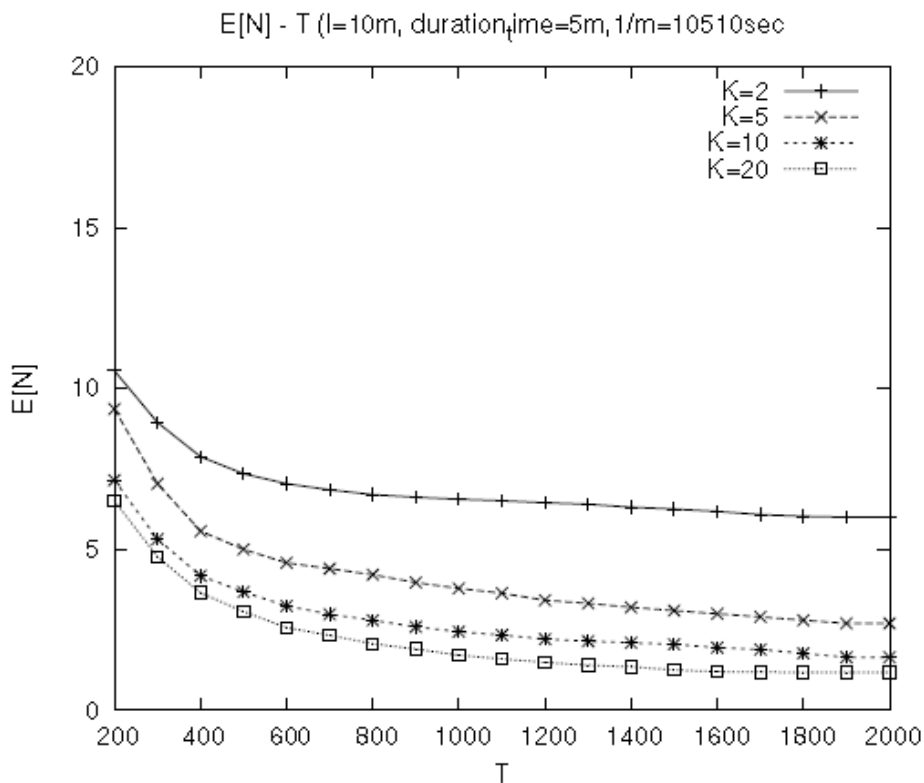
```
set yr [0:20]
```

```
plot "data7_K20" using 1:2 title 'd=5m' with linespoints, \
```

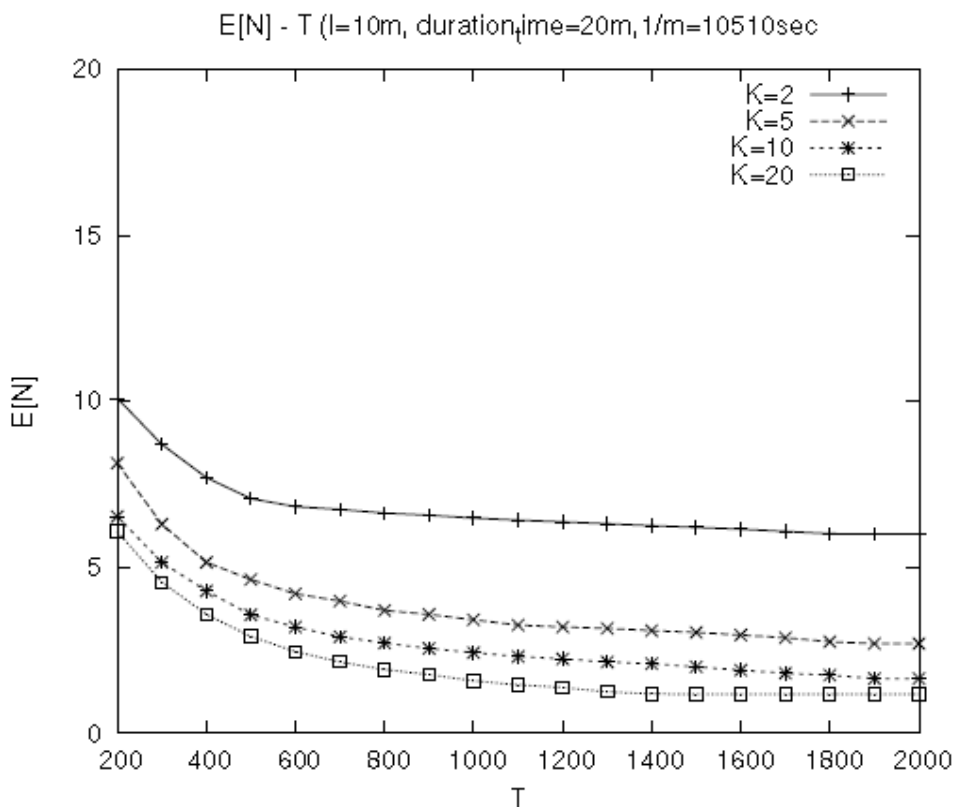
```
    "data8_K20" using 1:2 title 'd=20m' with linespoints, \
```

```
    "data9_K20" using 1:2 title 'd=60m' with linespoints
```

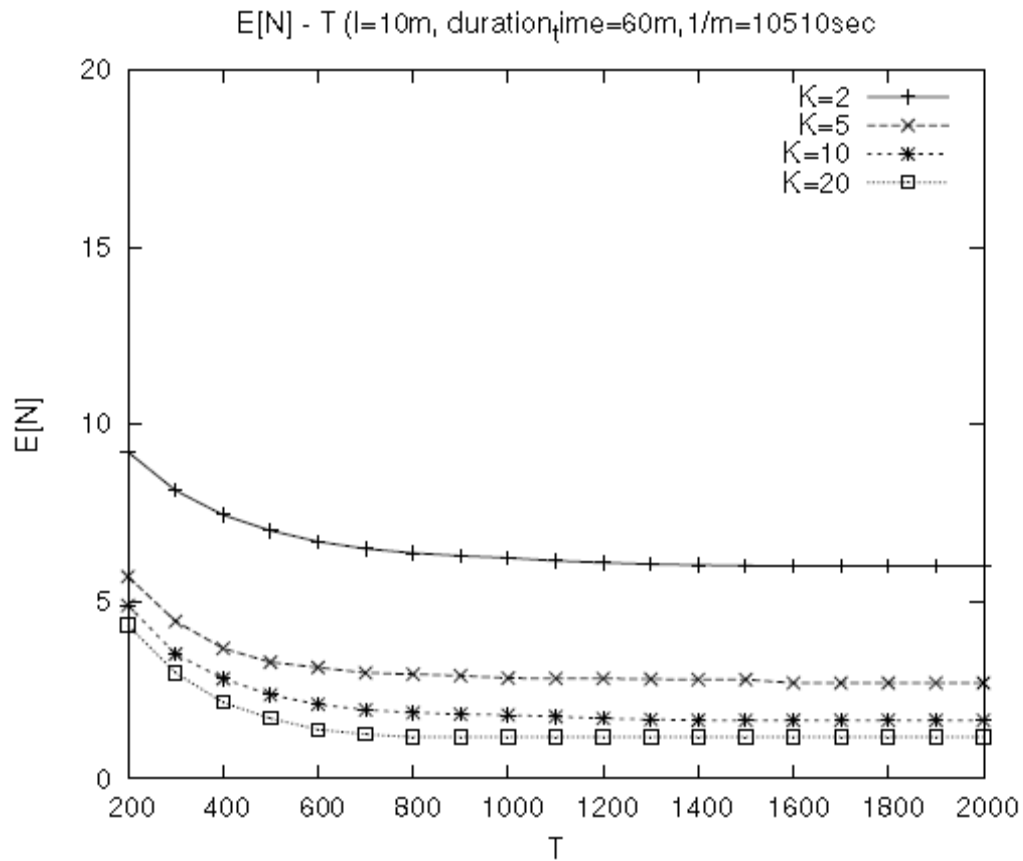
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II



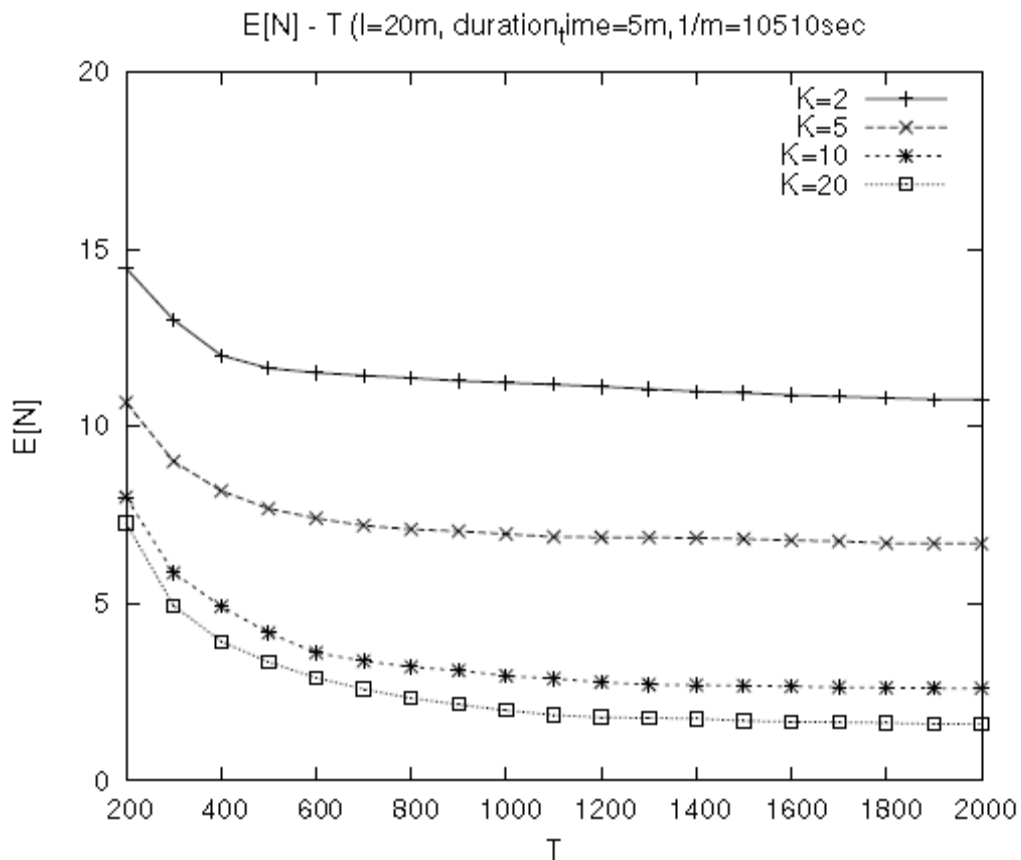
Σχήμα 19: Γραφική παράσταση E[N] – T



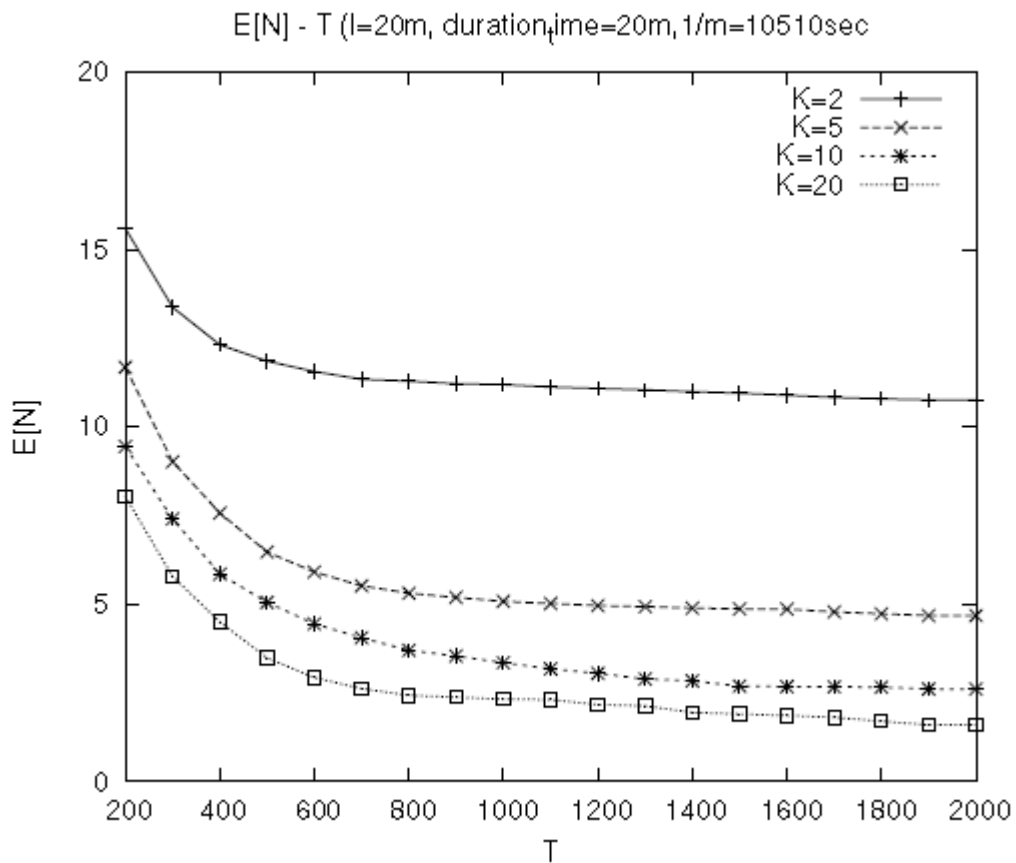
Σχήμα 20: Γραφική παράσταση E[N] – T



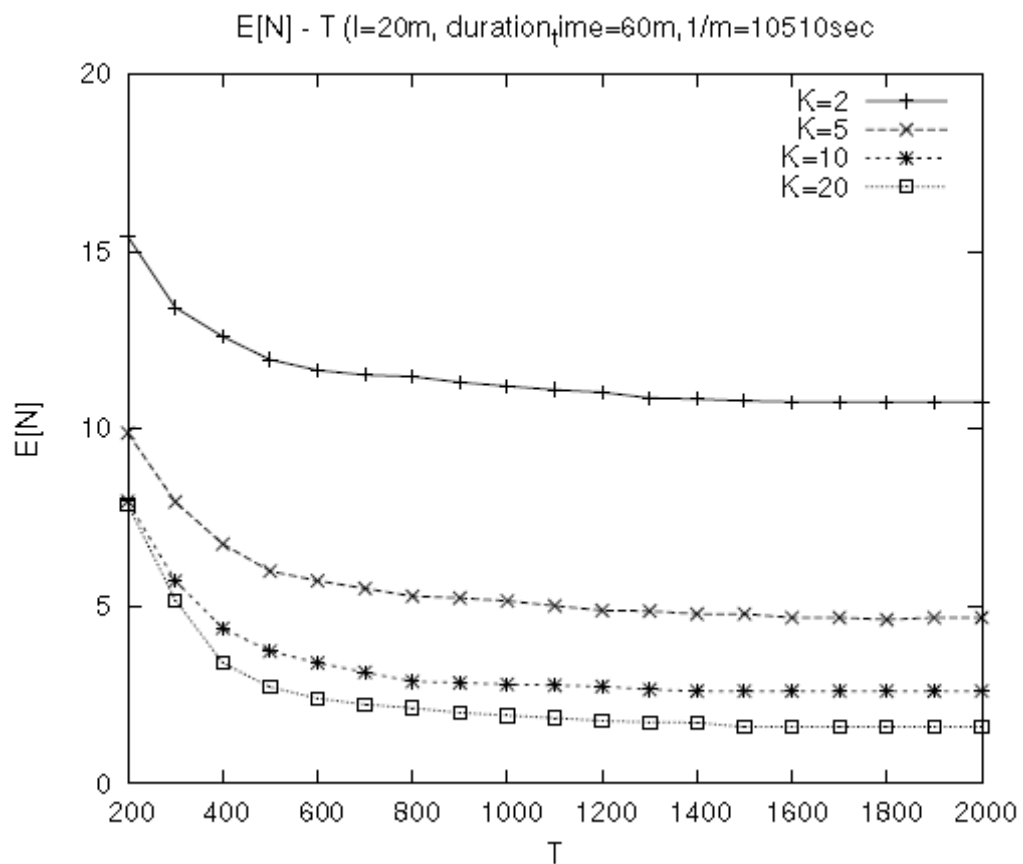
Σχήμα 21: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



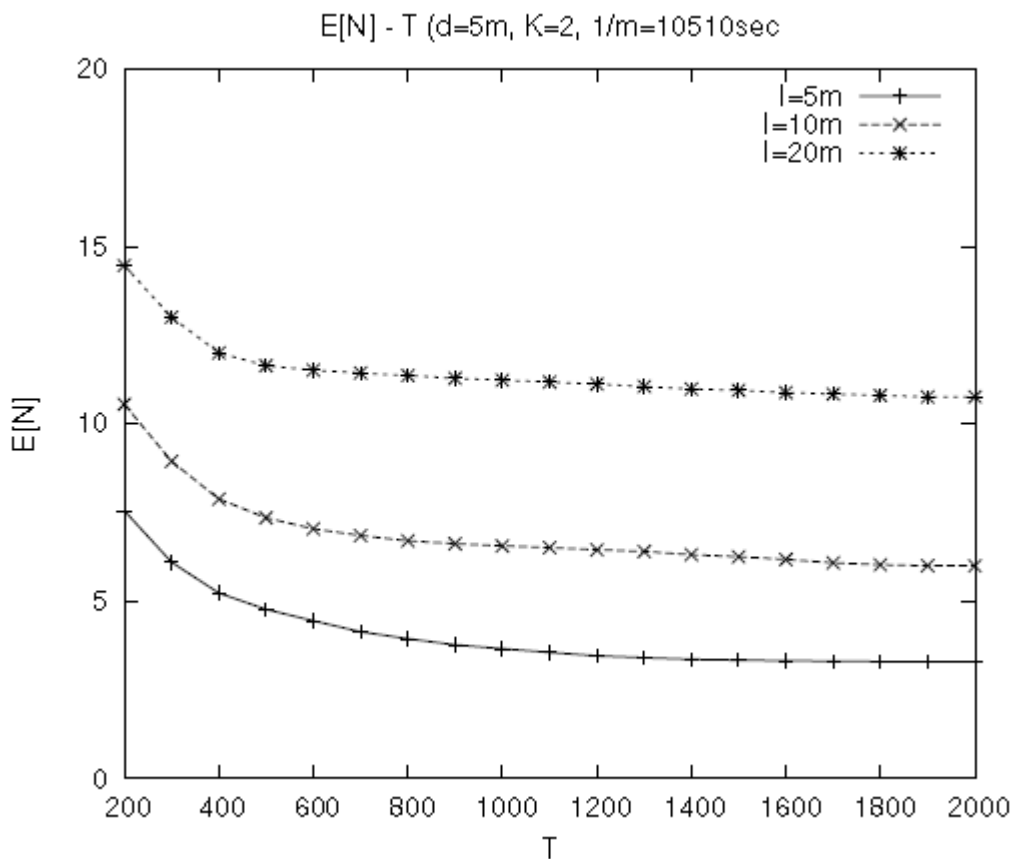
Σχήμα 22: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



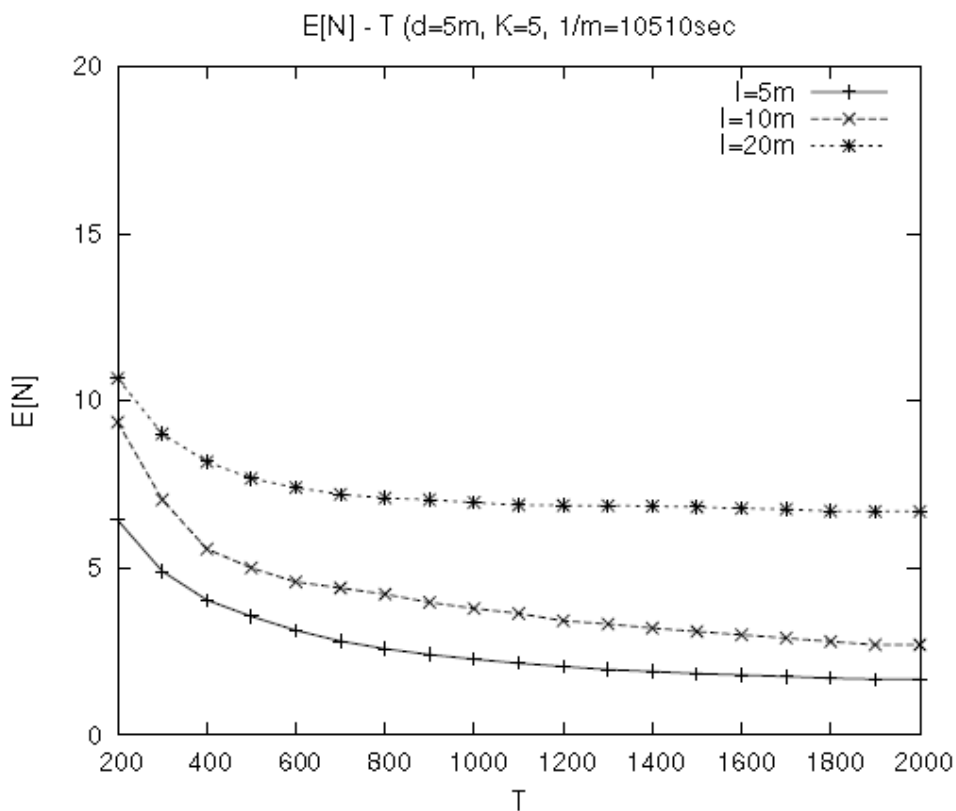
Σχήμα 23: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



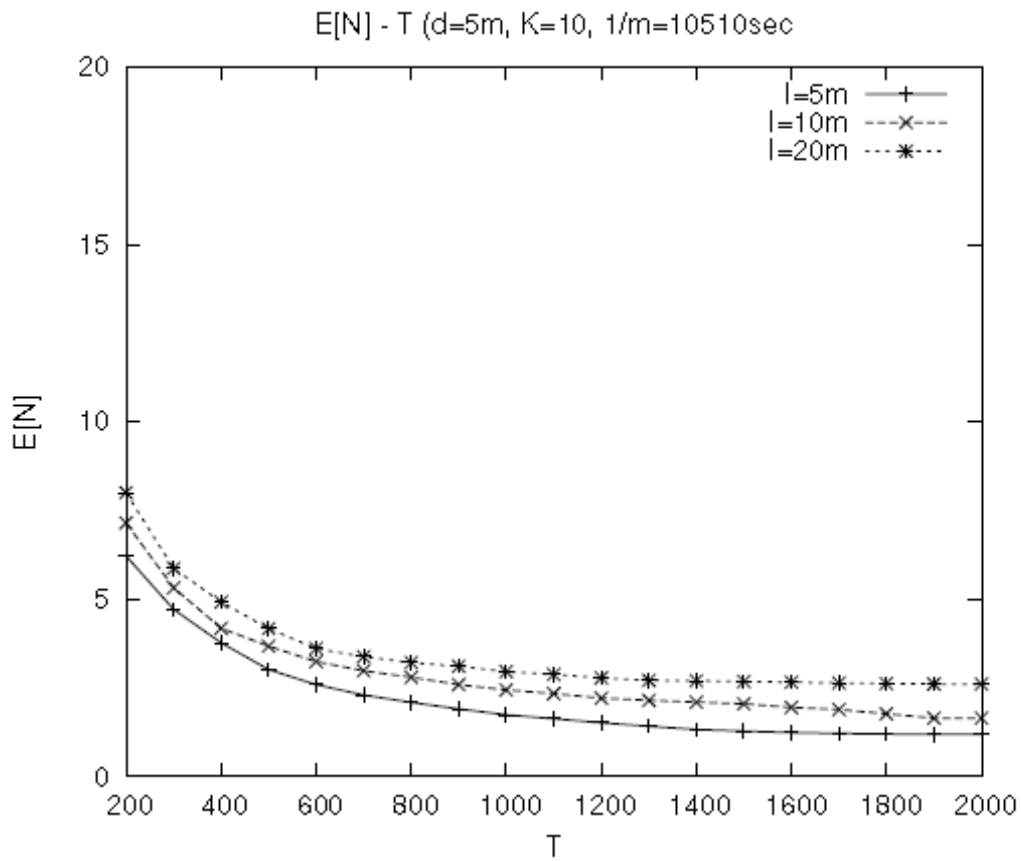
Σχήμα 24: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



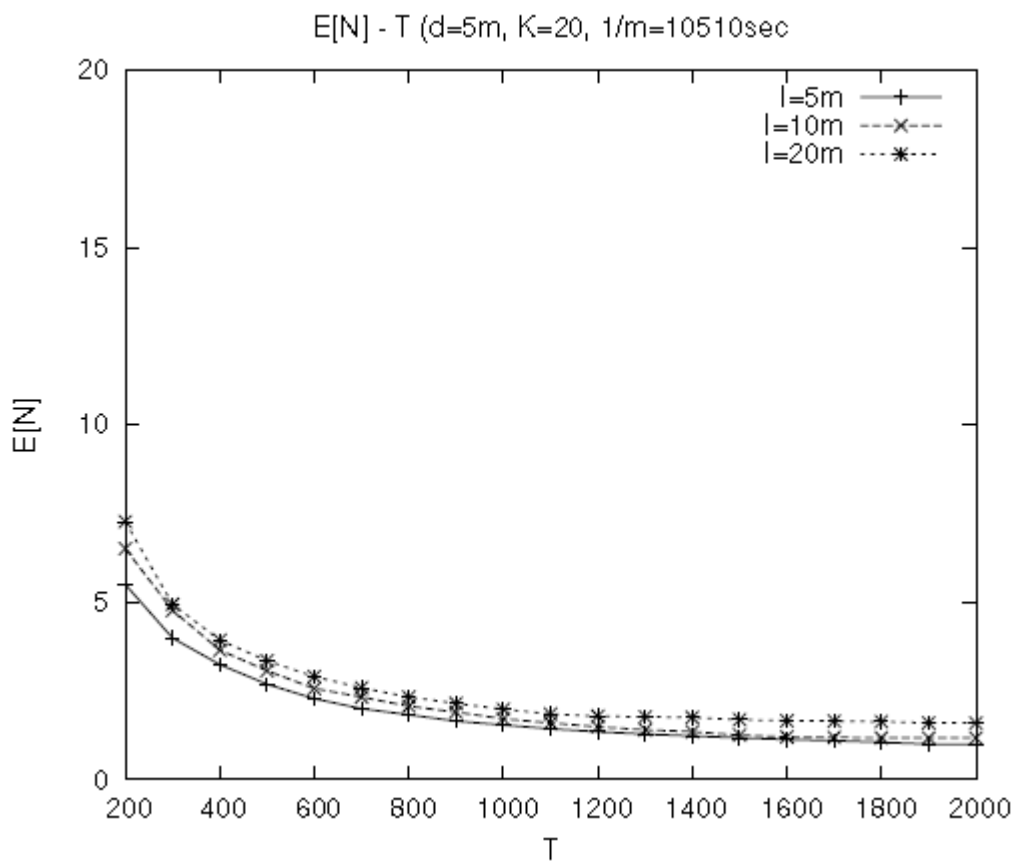
Σχήμα 25: Γραφική παράσταση E[N] – T



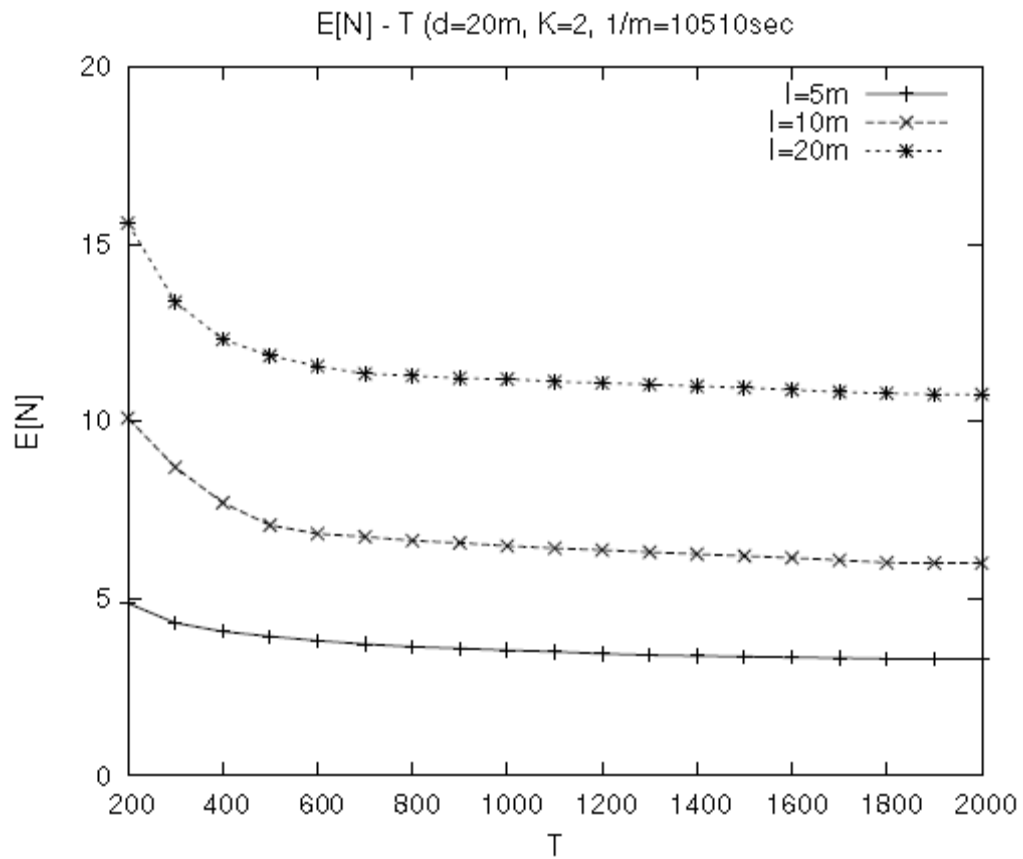
Σχήμα 26: Γραφική παράσταση E[N] – T



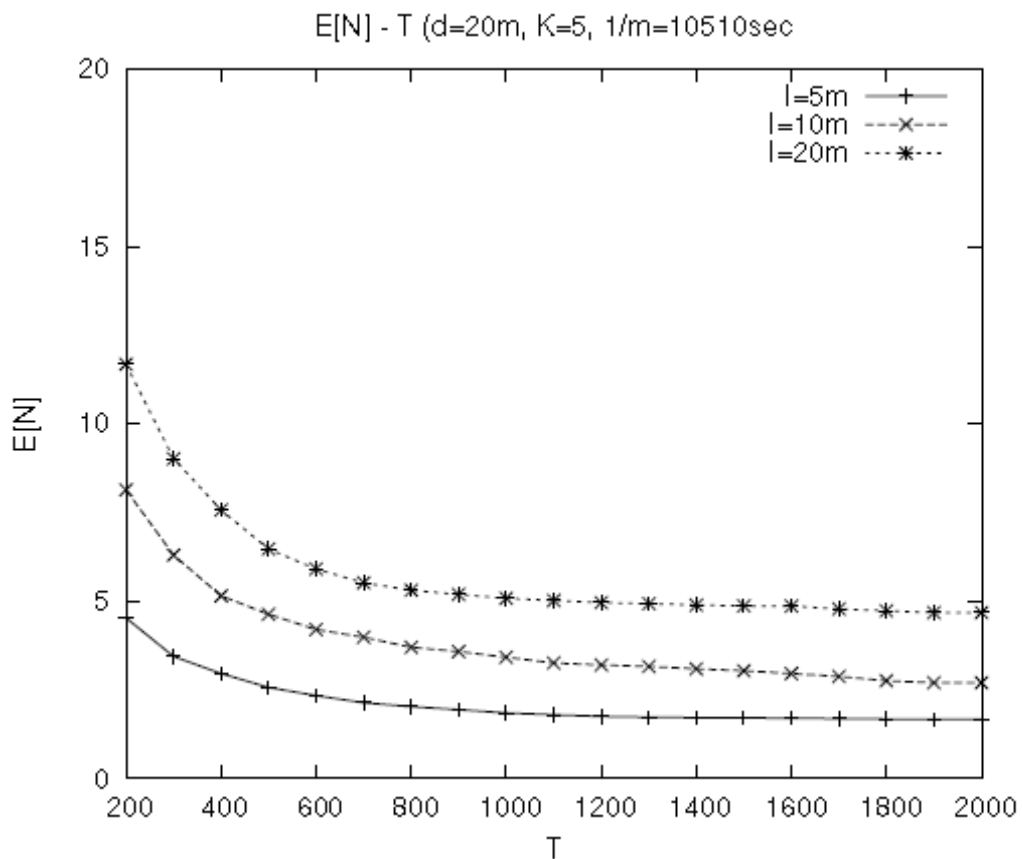
Σχήμα 27: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



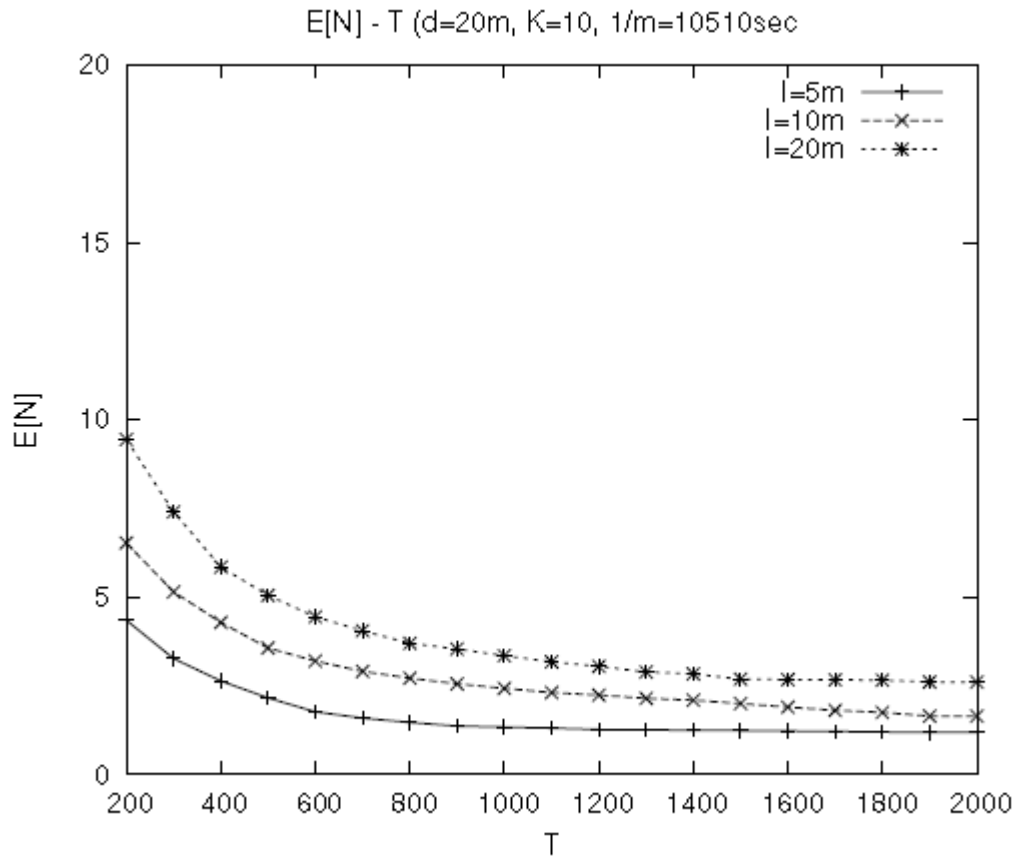
Σχήμα 28: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



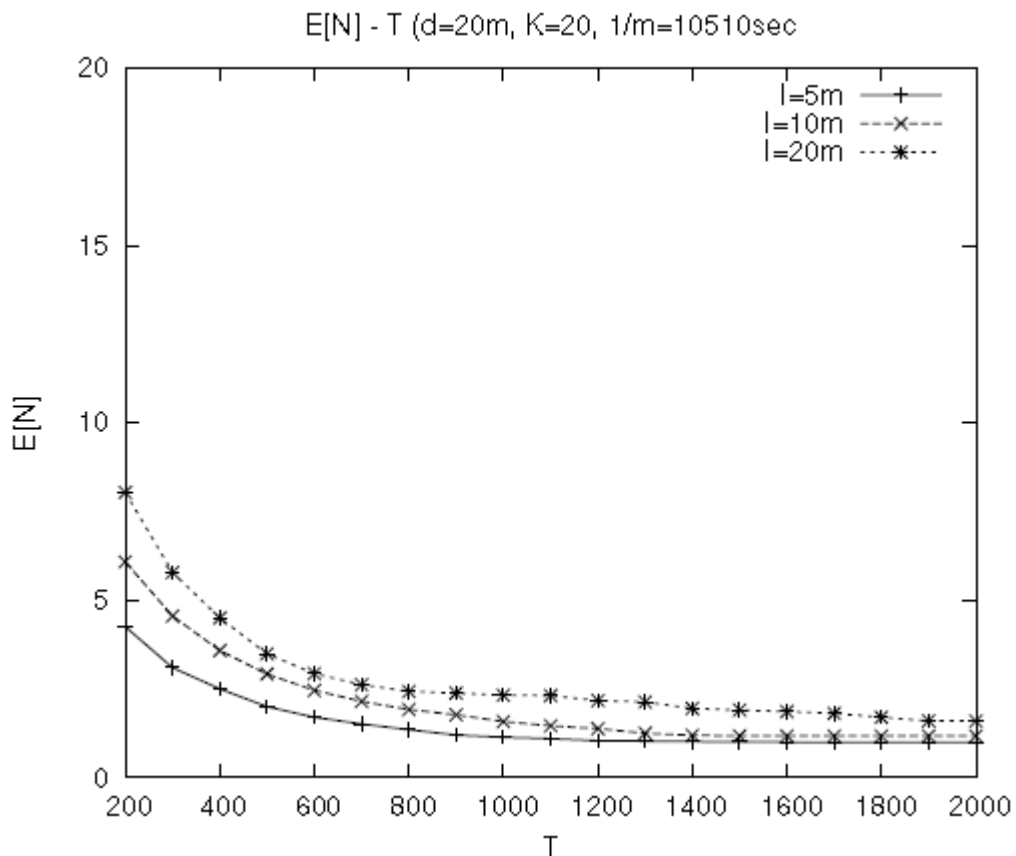
Σχήμα 29: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



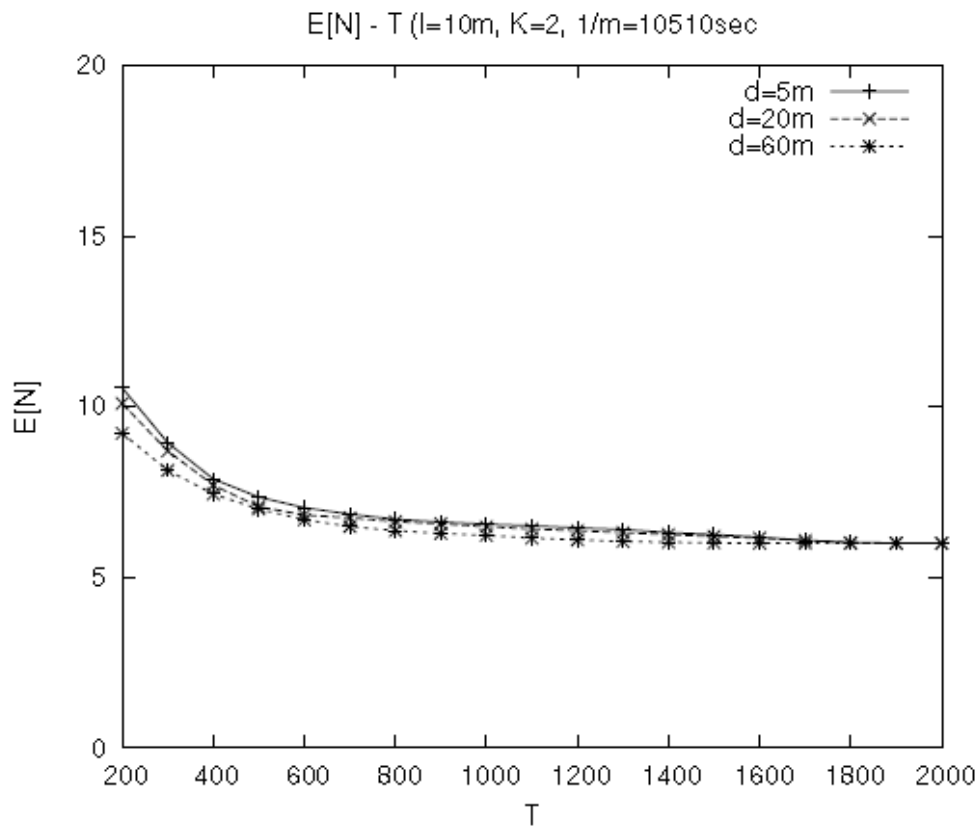
Σχήμα 30: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



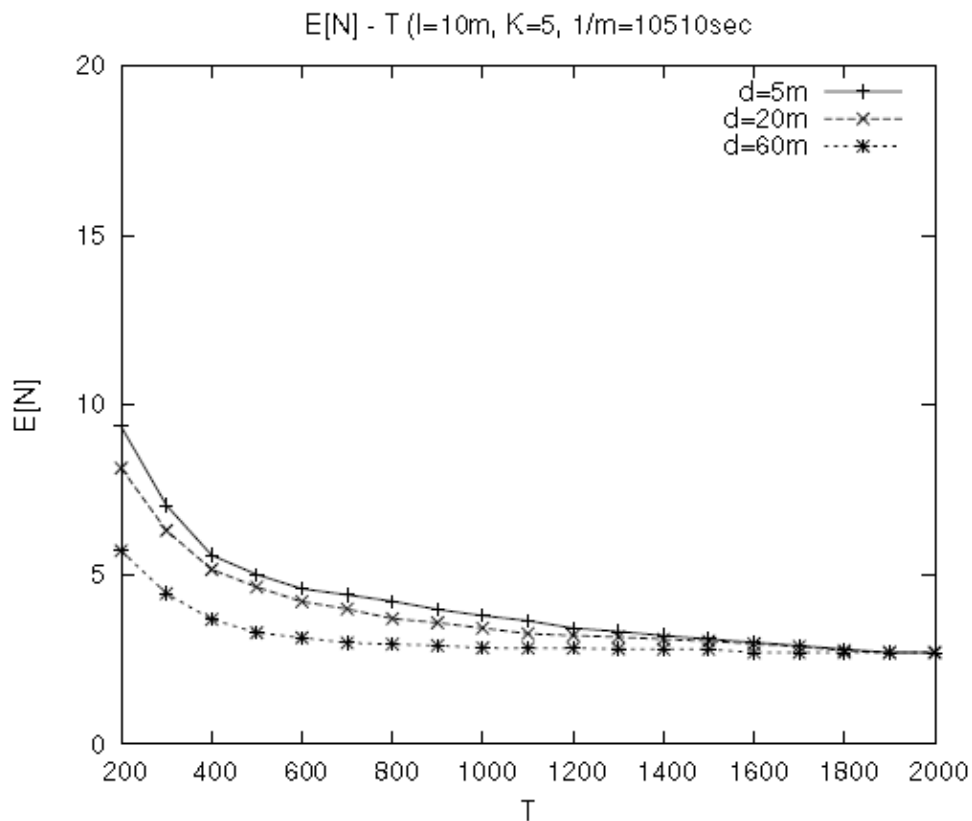
Σχήμα 31: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



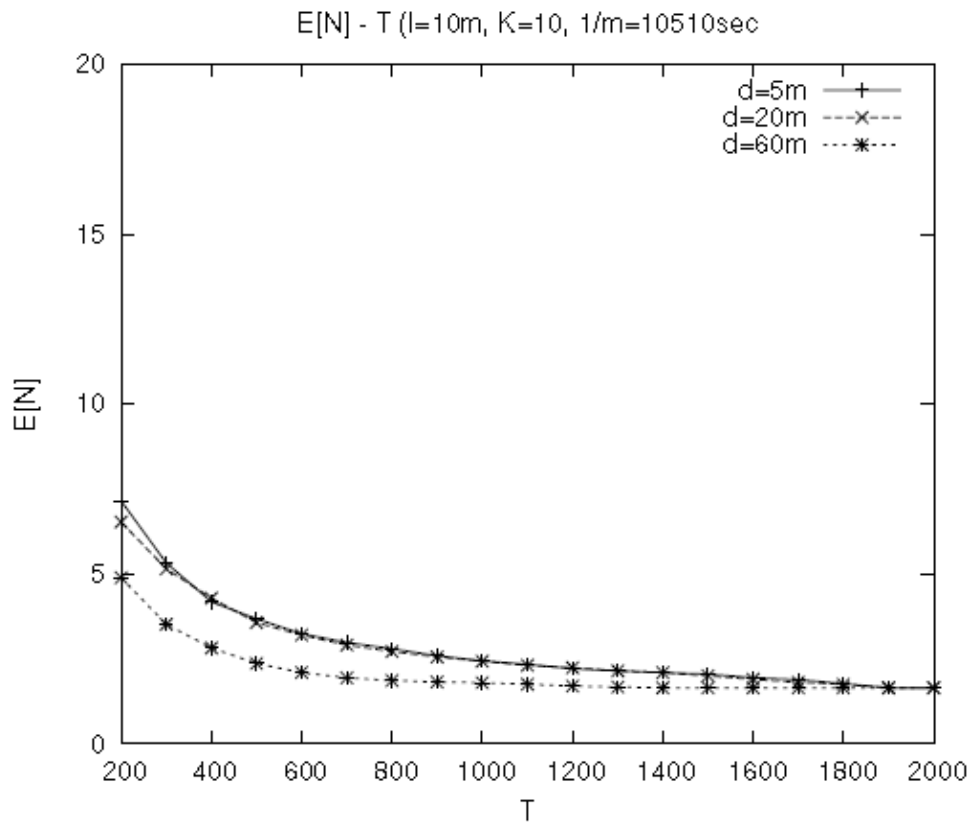
Σχήμα 32: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



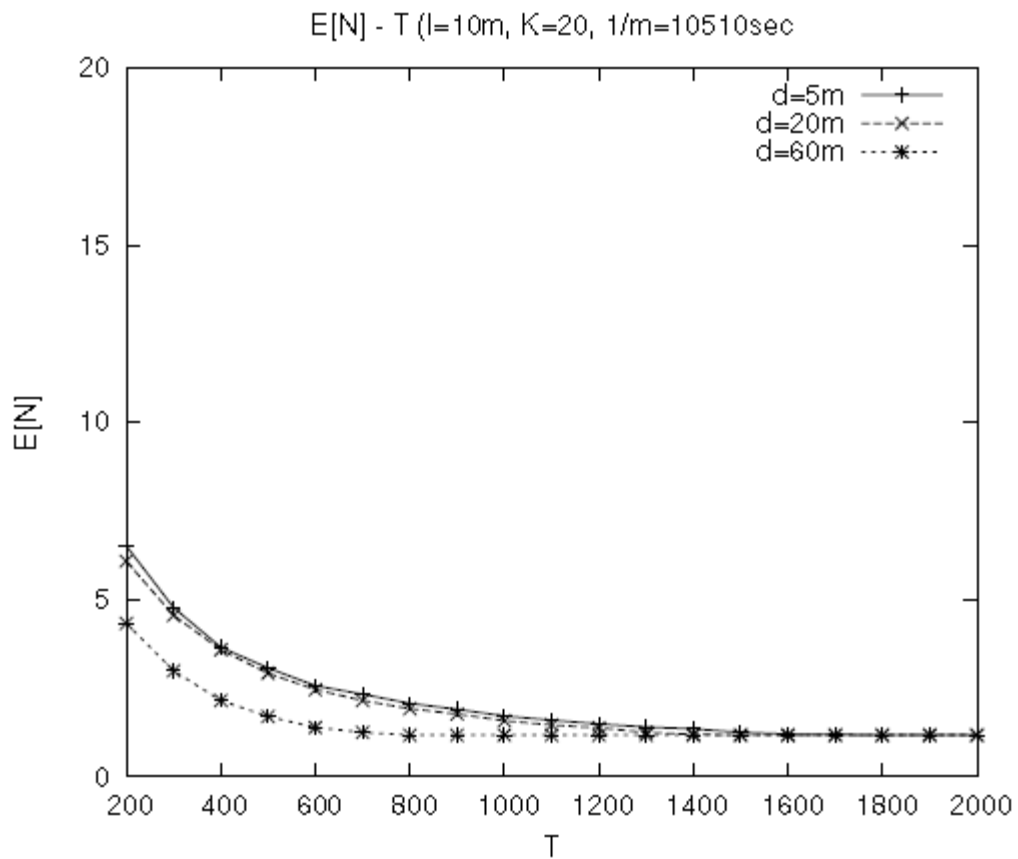
Σχήμα 33: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



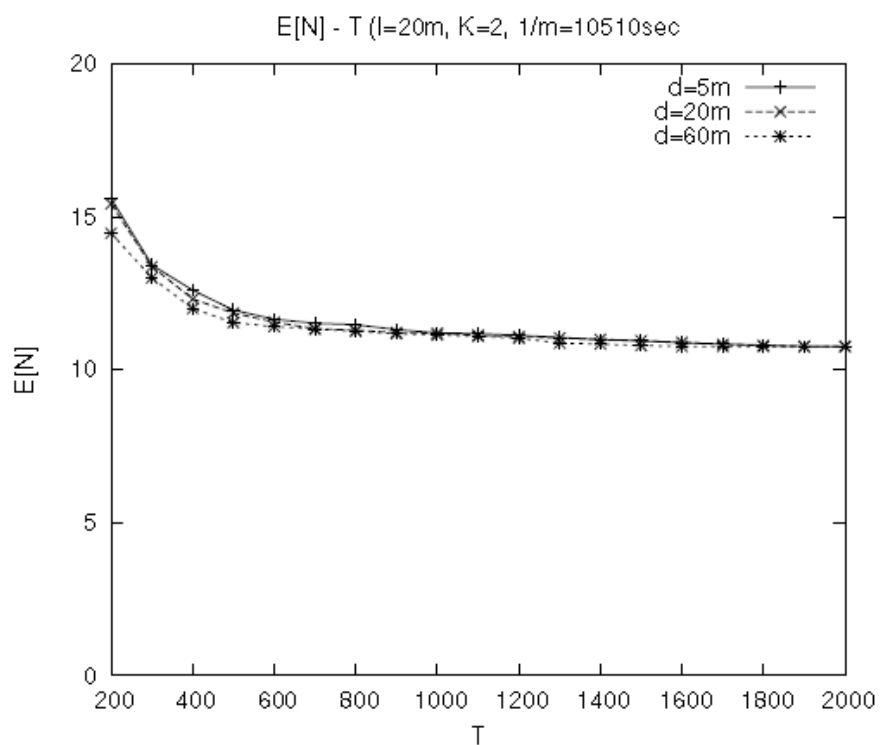
Σχήμα 34: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



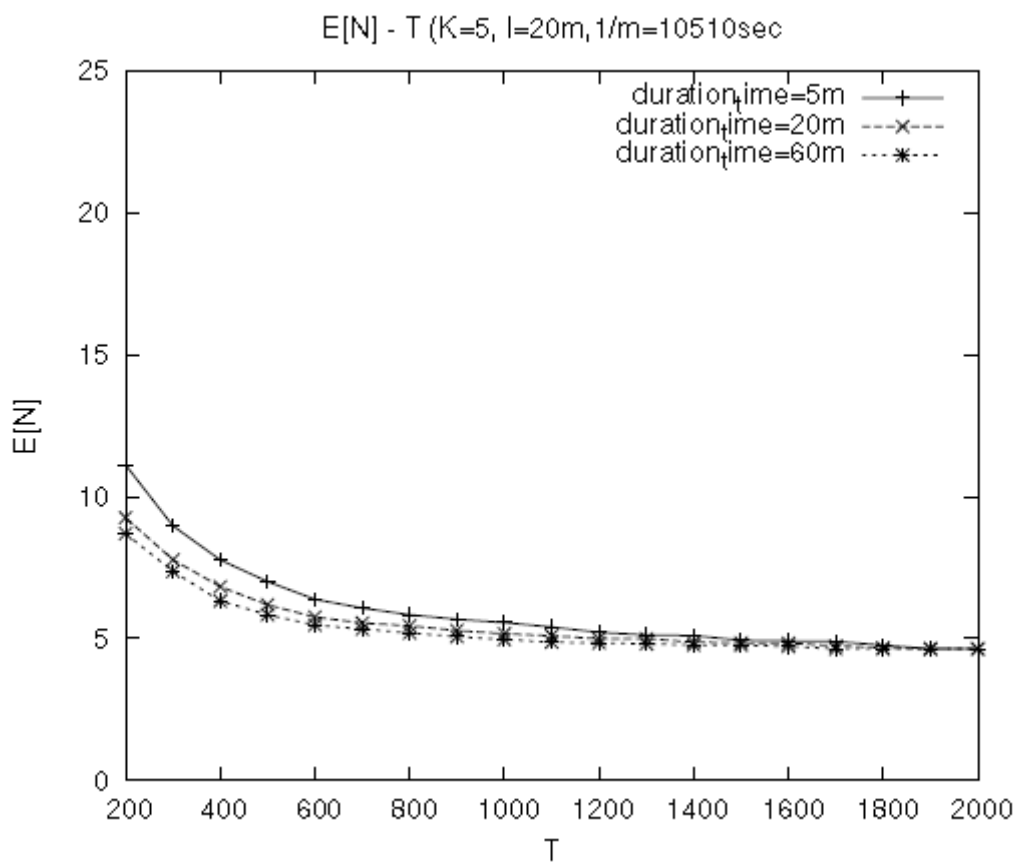
Σχήμα 35: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



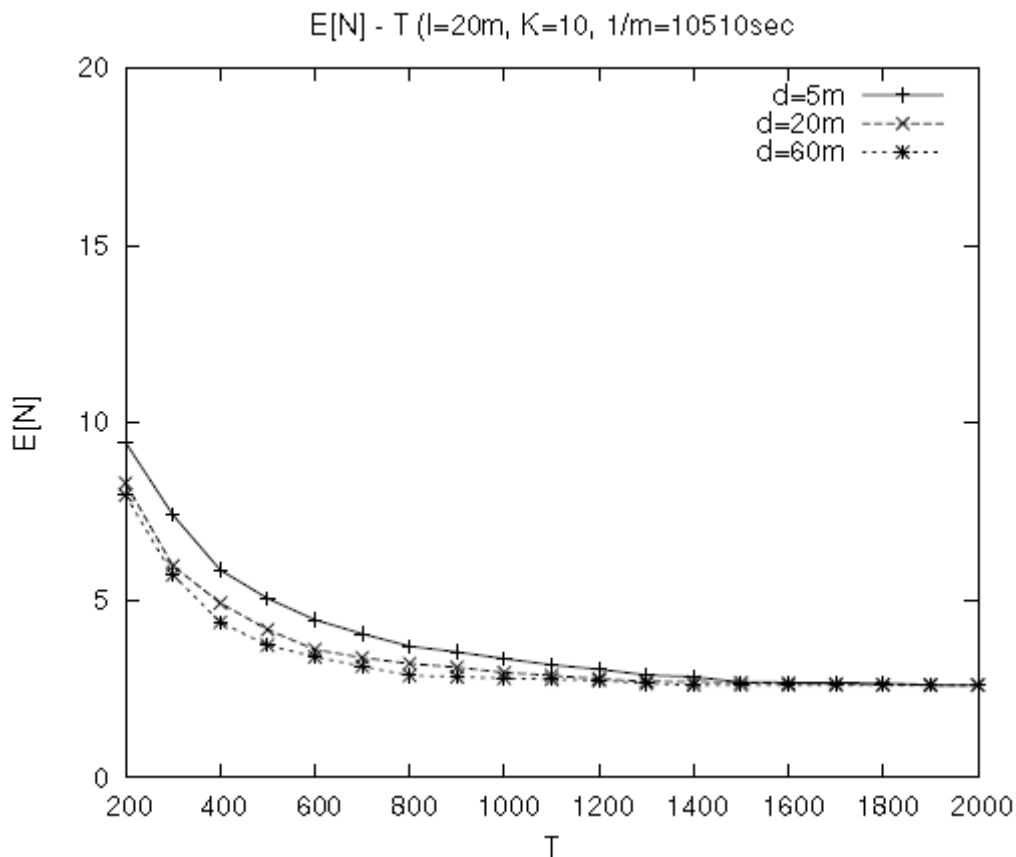
Σχήμα 36: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



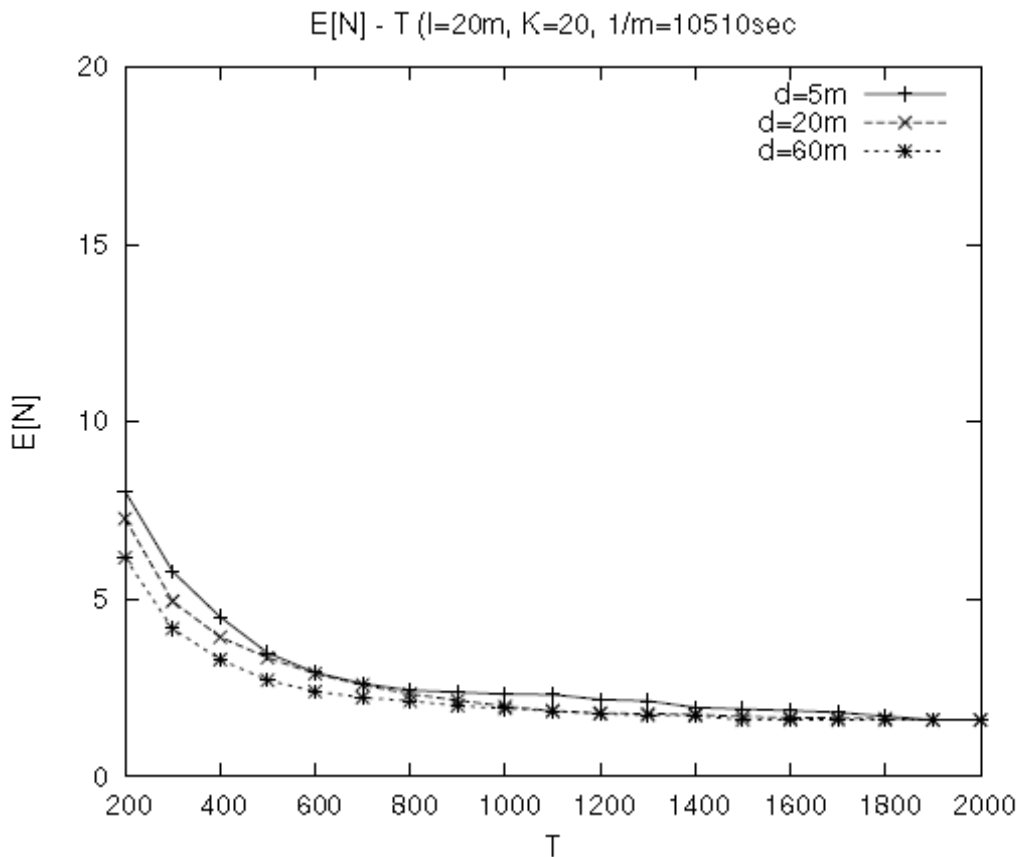
Σχήμα 37: Γραφική παράσταση E[N] – T



Σχήμα 38: Γραφική παράσταση E[N] – T



Σχήμα 39: Γραφική παράσταση $E[N] - T$



Σχήμα 40: Γραφική παράσταση $E[N] - T$

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] J. Korhonen, *Introduction to 3G Mobile Communications*, 2nd edition, Artech House, 2003.
- [2] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE*, 4th edition, John Wiley and Sons, 2007.
- [3] M. Nilsson, *Third Generation Radio Access Standards*, Ericsson Review, No. 3, 1999.
- [4] Ε. Βαρβαρίγος και Κ. Μπερμπερίδης, «Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών», Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2004.
- [5] 3GPP TS 25.308, *High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall description; Stage 2*, Version 9.0.0, 2009.
- [6] 3GPP TS 25.423, *UTRAN Iur interface Radio Network Subsystem Application Part (RNSAP) signalling*, Version 8.5.0, 2009.
- [7] J. Cai and D. Goodman, *General Packet Radio Service in GSM*, IEEE Communications Magazine, 1997, pp. 122-131.
- [8] B. Eylert, *The Mobile Multimedia Business: Requirements and Solutions*, John Wiley and Sons, 2005.
- [9] Nokia Telecommunications, white paper, *Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)*, 1999; <http://www.nokia.com/>.
- [10] UMTS Forum; <http://www.umts-forum.org/>.
- [11] Nortel, *GSM-UMTS Network Evolution Positioning Paper*, 2005
- [12] 3GPP TS 25.301, *Radio interface protocol architecture*, Version 8.5.0, 2009.
- [13] O. Spaniol, *Mobility Management in UMTS*, Datacommunication and Distributed Systems, 2003.
- [14] 3GPP TS 23.002, *Network architecture*, Version 9.0.0, 2009.
- [15] 3GPP TS 25.321, *Medium Access Control (MAC) protocol specification*, Version 8.6.0, 2009.
- [16] 3GPP TS 25.322, *Radio Link Control (RLC) protocol specification*, Version 8.5.0, 2009.
- [17] 3GPP TS 25.413, *UTRAN Iu interface Radio Access Network Application Part (RANAP) signalling*, Version 8.3.0, 2009.
- [18] A. Alexiou, C. Bouras, and V. Igglesis, *Performance Evaluation of UMTS for Mobile Internet Access*, In Proceedings of 12th Annual Meeting of the IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2004), Volendam, The Netherlands, 2004, pp. 615 – 618.
- [19] A. Alexiou, C. Bouras, and V. Igglesis, *Performance Evaluation of TCP over UMTS Transport Channels*, In Proceedings of 7th International Symposium on Communications Interworking (INTERWORKING 2004), Ottawa, Canada, 2004.
- [20] J. Perez-Romero, O. Sallent, R. Agusti, and M. Diaz-Guerra, *Radio Resource Management Strategies in UMTS*, John Wiley and Sons, 2005.
- [21] 3GPP TS 23.009, *Handover procedures*, Version 8.1.0, 2009.

- [22] 3GPP TS 23.060, *General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 2*, Version 9.1.1, 2009.
- [23] 3GPP TS 25.331, *Radio Resource Control (RRC); Protocol specification*, Version 8.7.0, 2009.
- [24] S. Yang and Y. Lin, *Performance evaluation of location management in UMTS*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 52, no. 6, 2003, pp. 1603-1615.
- [25] Y.-B. Lin and I. Chlamtac, *Wireless and Mobile Network Architectures*, New York: Wiley, 2001.
- [26] 3GPP TS 33.102, *Security Architecture*, Version 3.7.0, 2000.
- [27] Y.-B. Lin and Y.-K. Chen, “*Reducing Authentication Signaling Traffic in Third-Generation Mobile Network*”, IEEE, vol. 2, no. 3, May 2003, pp. 493-501.
- [28] E. J. Watson, *Laplace Transforms and Applications*, Cambridge, MA: Birkhauserk, 1981.
- [29] F. Fitzek and M. Reisslein, “*MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation*”, IEEE Network, Nov.-Dec. 2001, pp. 40-54.