

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ MPLS ΚΑΙ PROXY MIPv6 ΓΙΑ
ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4^{ΗΣ} ΚΑΙ 5^{ΗΣ} ΓΕΝΕΑΣ**

Μιχάλης Κωμοδρόμος

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάιος 2015

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ MPLS ΚΑΙ PROXY MIPv6 ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ
ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4^{ΗΣ} ΚΑΙ 5^{ΗΣ} ΓΕΝΕΑΣ

Μιχάλης Κωμοδρόμος

Επιβλέπων Καθηγητής
Βάσος Βασιλείου

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των
απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του
Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάιος 2015

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βασο Βασιλείου για την υποστήριξη και καθοδήγηση που μου πρόσφερε κατά την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και την οικογένεια μου που με στήριξε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η εξέλιξη είναι στην φύση του ανθρώπου από την αρχή των χρόνων. Τα τελευταία χρόνια δεν θα μπορούσε να μην υπάρχει εξέλιξη στον τομέα της πληροφορικής. Και όταν αναφερόμαστε σε αυτόν τον τομέα δεν γίνεται να μην επηρεάζε και τον τομέα που αφορά στα κινητά δίκτυα. Τα κινητά δίκτυα στις μέρες μας είναι παντού, στα πλείστα κομμάτια της ζωής μας, ασχέτως αν τους δίνουμε την κατάλληλη σημασία. Τον τελευταίο καιρό γίνεται μια προσπάθεια ώστε μια νέα γενεά δικτύου να εισαχθεί στον τόπο μας.

Για το θέμα της διπλωματικής μου εργασίας έχω μελετήσει την διασύνδεση των πρωτοκόλλων MPLS και Proxy MIPv6 για την χρήση τους σε κινητά δίκτυα 4^{ης} και 5^{ης} γενεάς.

Όπως θα δούμε και στην συνέχεια έπρεπε να γίνει κατανόηση των διαφόρων πρωτοκόλλων και αρχιτεκτονικών έτσι ώστε να δούμε αν μπορούσε να γίνει η διασύνδεση μεταξύ τους, και πως μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε στα 4G και 5G δίκτυα.

Τα συμπεράσματα που βγάλαμε και θα παρουσιάσουμε είναι ότι τέτοιο πράγμα είναι εφικτό.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	7
	1.1 Γενική αναφορά και σκοπός διπλωματικής εργασίας	8
Κεφάλαιο 2	Βασικές έννοιες και απαιτούμενη γνώση.....	10
	2.1 Δίκτυα Υπολογιστών	11
	2.2 Είδη Δικτύων	12
	2.3 Πλεονεκτήματα Δικτύων	14
	2.4 Πρωτόκολλα Επικοινωνίας	15
Κεφάλαιο 3	Τεχνολογίες και Πρωτόκολλα Δικτύου.....	17
	3.1 GSM	18
	3.2 UMTS	 22
	3.3 Δίκτυα 4G-5G	24
	3.4 LTE-A	27
	3.5 MPLS	30
	3.6 Proxy MIPv6	35
Κεφάλαιο 4	Διαγράμματα Αλληλουχίας μηνυμάτων Πρωτοκόλλων	 37
	4.1 Στάδια PMIPv6-LTE	38
	4.1 PMIPv6 διάγραμμα αλληλουχίας μηνυμάτων	38
	4.2 LTE-A διάγραμμα αλληλουχίας μηνυμάτων	44
Κεφάλαιο 5	Διάγραμμα Συχνότητων PMIPv6-LTE-A,MPLS	 46
	5.1 Εισαγωγή	47
	5.2 Τοπολογία	47
	5.1 Mobility Management Procedures	49
	5.2 PMIPv6-LTE-MPLS διάγραμμα αλληλουχίας μηνυμάτων	51

Κεφάλαιο 6	Συμπεράσματα και Μελλοντική εργασία	 55
6.1	Εισαγωγή	56
6.2	Μελλοντική εργασία	56
Βιβλιογραφία		57

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Γενική αναφορά και σκοπός διπλωματικής εργασίας	8
---	---

1.1 Γενική αναφορά και σκοπός διπλωματικής εργασίας

Με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας στις μέρες μας ήταν λογικό ότι θα επέλθει και η ανάπτυξη στα κινητά δίκτυα. Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η διασύνδεση των πρωτοκόλλων MPLS (Multiprotocol Label Switching) και PROXY MIPv6 (Mobile Internet Protocol version 6) για χρήση τους σε κινητά δίκτυα 4ης και 5ης Γενιάς.

Ως σκοπό είχαμε θέσει την κατανόηση γενικών θεμάτων που αφορούσαν τα Ασύρματα Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας όπως το πρότυπο GSM (Global System for Mobile communications) και το UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Το έγγραφο αυτό αρχικά μας περιγράφει την θεωρητική πλευρά των πρωτοκόλλων και τεχνολογιών που θα χρησιμοποιηθούν. Ξεκινώντας παρουσιάζεται η τεχνολογία δικτύου MPLS (Multi-Protocol Label Switching), δίνοντας τους βασικούς ορισμούς, τον τρόπο διαχείρισης των πακέτων και τις διαφορές με ένα IP δίκτυο. Έπειτα γίνεται η εξήγηση για το τι είναι PMIPv6 (Proxy Mobile IPv6) και πως διαχειρίζεται τα πακέτα.

Επίσης ένας από τους σκοπούς της διπλωματικής ήταν η κατανόηση των αρχιτεκτονικών LTE (Long Term Evolution) και LTE-A (LTE-Advanced) των 4G/5G καθώς και τα πρότυπα 3GPP (3rd Generation Partnership Project) και IETF (Internet Engineering Task Force). Ακολούθως θα πρέπει να μελετήσουμε πως το LTE λειτουργεί με PMIP και MPLS και πως αλληλεπιδρούν τα ερευνώμενα πρωτόκολλα.

Ουσιαστικά το κίνητρο μας για αυτή την διπλωματική εργασία είναι να προσπαθήσουμε να ενώσουμε τα πιο πάνω πρωτόκολλα που αναφέραμε έτσι ώστε η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων στα δίκτυα 4G και 5G να είναι σαφώς καλύτερη από τα προηγούμενα δίκτυα που έχουμε και πρέπει να τα συνδυάσουμε έτσι ώστε να γίνεται καλύτερη χρήση της τοπολογίας ώστε να έχουμε καλύτερη απόδοση. Τα δίκτυα στις μέρες μας πλέον θα έχουν αυτή την μορφή.

Η μεθοδολογία που θα χρησιμοποιήσουμε για να καταφέρουμε τους στόχους μας είναι πρώτα από όλα να πάρουμε τα τρία πρωτόκολλα μας, δηλαδή το PMIPv6, το MPLS και το LTE και να μελετήσουμε το κάθε ένα ξεχωριστά για να κατανοήσουμε πως

ενεργούν. Στην συνέχεια θα πάρουμε την αρχιτεκτονική του LTE και του MIPv6 και αφού της μελετήσουμε πάλι χωριστά στην αρχή, στην συνέχεια θα προσπαθήσουμε να βάλουμε τις δύο αρχιτεκτονικές μαζί ώστε να δούμε πως θα καταφέρουμε να τις συνδυάσουμε. Τέλος θα προσπαθήσουμε να συνδυάσουμε τα τρία πρωτόκολλα μεταξύ τους και να δούμε πως αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο.

Κεφάλαιο 2

Βασικές έννοιες και Απαιτούμενη Γνώση

2.1 Δίκτυα Υπολογιστών	11
2.2 Είδη Δικτύων	12
2.3 Πλεονεκτήματα Δικτύων	14
2.4 Πρωτόκολλα Επικοινωνίας	15

2.1 Δίκτυα Υπολογιστών

Ένα δίκτυο υπολογιστών είναι ένα σύστημα επικοινωνίας δεδομένων που συνδέει δύο ή περισσότερους αυτόνομους και ανεξάρτητους υπολογιστές και περιφερειακές συσκευές. Δύο υπολογιστές θεωρούνται διασυνδεδεμένοι όταν μπορούν να ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες.

Τα δίκτυα δημιουργήθηκαν για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες που προέκυψαν από την εξάπλωση της χρήσης των υπολογιστών. Βασικός σκοπός της ύπαρξης των δικτύων είναι ο διαμερισμός των πόρων του συστήματος και η ανταλλαγή πληροφοριών κάθε μορφής (προγράμματα, αρχεία, δεδομένα). Πόροι του συστήματος μπορούν να είναι είτε υλικό (hardware), π.χ. υπολογιστές, εκτυπωτές, plotters, σκληροί δίσκοι είτε λογισμικό (software), π.χ. δεδομένα, προγράμματα εφαρμογών, υπηρεσίες. Τα προγράμματα, τα δεδομένα και οι συσκευές (σκληροί δίσκοι, εκτυπωτές, κλπ) είναι διαθέσιμα σε οποιονδήποτε είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, ανεξάρτητα από τη φυσική του θέση. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται εξοικονόμηση χρημάτων, αύξηση της απόδοσης του συστήματος, κεντρικός έλεγχος και εύκολη επεκτασιμότητα. Σε ένα δίκτυο μπορούμε να έχουμε ανταλλαγή δεδομένων, προγραμμάτων, χρήση κοινών βάσεων δεδομένων, αρχείων, αποστολή μηνυμάτων (electronic mail). Επιπλέον, ανεξάρτητα της τεχνολογίας, ένα δίκτυο είναι ένα πανίσχυρο μέσο επικοινωνίας ανθρώπων που βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη.



Σχήμα 1 Δίκτυο Υπολογιστών

Η αρχιτεκτονική των δικτύων καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι υπολογιστές και οι λοιπές συσκευές συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα σύστημα επικοινωνίας που θα επιτρέπει στους χρήστες να διαμοιράζονται πληροφορίες και συσκευές του δικτύου.

Σε ένα δίκτυο δεδομένων περιλαμβάνονται:

1. Τερματικοί Κόμβοι. Ελέγχουν τους πόρους του δικτύου (λογισμικό και υλικό).
2. Υποδίκτυα Φυσικά μέσα μετάδοσης, πρωτόκολλα επικοινωνίας, τοπολογία, τερματικοί κόμβοι, πόροι που μπορούν να διαφέρουν πολύ ανά υποδίκτυο.
3. Συσκευές Διασύνδεσης Διασυνδέουν τα ετερογενή υποδίκτυα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η επικοινωνία τερματικών κόμβων που βρίσκονται σε διαφορετικά υποδίκτυα.

2.2 Είδη δικτύων

Όταν θέλουμε να συνδέσουμε ένα σύνολο υπολογιστών σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, πρέπει πρώτα να εξασφαλίσουμε τον τρόπο σύνδεσής τους με τη βοήθεια του κατάλληλου υλικού (hardware). Ανάλογα με το μέσο σύνδεσης που επιλέγουμε χαρακτηρίζουμε τη σύνδεση **ενσύρματη** (σύνδεση με καλώδια) ή **ασύρματη** (σύνδεση χωρίς καλώδια).

Ενσύρματη Σύνδεση

Η πιο συχνή σύνδεση υπολογιστών γίνεται με τη βοήθεια καλωδίων (Εικόνα 4.3) χρησιμοποιώντας την κάρτα δικτύου κάθε υπολογιστή.

Ασύρματη Σύνδεση

Τα τελευταία χρόνια έχουμε τη δυνατότητα να συνδέσουμε υπολογιστές χωρίς καλώδια με τη βοήθεια ασύρματων καρτών δικτύου.

Στην περίπτωση που έχουμε να συνδέσουμε μόνο δύο υπολογιστές μεταξύ τους, μπορούμε εναλλακτικά να χρησιμοποιήσουμε και τις θύρες σύνδεσης των υπολογιστών. Για ενσύρματη σύνδεση μπορούμε να επιλέξουμε μεταξύ των θυρών: παράλληλη, usb, firewire. Αντίστοιχα, για ασύρματη σύνδεση μπορούμε να επιλέξουμε τις θύρες

υπερύθρων ή blue-tooth. Για να συνδέσουμε παραπάνω από δυο υπολογιστές, είναι απαραίτητη μια επιπλέον συσκευή (hub), που επιτρέπει τη διασύνδεση όλων των υπολογιστών μεταξύ τους.

Μετά την φυσική σύνδεση των υπολογιστών χρειάζεται να εξασφαλίσουμε το απαραίτητο λογισμικό, ώστε οι υπολογιστές να ανταλλάσσουν ομαλά τα δεδομένα μεταξύ τους. Τα περισσότερα σύγχρονα Λειτουργικά Συστήματα έχουν το κατάλληλο λογισμικό, για να υποστηρίζουν δίκτυα υπολογιστών, αλλά το καθένα από αυτά διαχειρίζεται τα δίκτυα με διαφορετικό τρόπο. Η εκλογή του κατάλληλου Λειτουργικού Συστήματος εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος του δικτύου που θέλουμε να υλοποιήσουμε.

Ακόμη με βάση την γεωγραφική ανάπτυξη διακρίνονται σε :

Δίκτυα ευρείας περιοχής (Wide Area Networks, WAN), που καλύπτουν αποστάσεις μερικών χιλιομέτρων (συνήθως άνω των 5 km) στην ίδια πόλη, μέχρι χιλιάδων χιλιομέτρων σε διαφορετικές πόλεις - κράτη - ηπείρους. Αποτελούνται από υπολογιστές, τηλεπικοινωνιακές συσκευές και γραμμές. Παραδείγματα τέτοιων δικτύων είναι τα δίκτυα των αεροπορικών εταιρειών,, τα τραπεζικά δίκτυα, τα δημόσια δίκτυα δεδομένων κλπ.

Δίκτυα μικρών αποστάσεων ή τοπικά δίκτυα (Local Area Networks, LAN) που καλύπτουν μικρές αποστάσεις (μερικών εκατοντάδων μέτρων ή λίγων χιλιομέτρων) και περιορίζονται στα πλαίσια μιας επιχείρησης. Ο διαχωρισμός τους από τα δίκτυα ευρείας περιοχής οφείλεται στο ότι χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές λειτουργίας.

Αστικά Δίκτυα (Metropolitan Area Networks, MAN), που καλύπτουν δίκτυα που δεν ξεπερνούν τα σύνορα μιας πόλης. Είναι ταχύτερα από τα τοπικά δίκτυα και μπορούν να μεταδίδουν εικόνα, φωνή και δεδομένα αποδοτικότερα.

Με βάση τον τηλεπικοινωνιακό φορέα εξυπηρέτησης διακρίνονται σε :

Ιδιωτικά δίκτυα (Private Networks). Ανήκουν εξ ολοκλήρου σε ιδιωτικούς οργανισμούς και χρησιμοποιούν είτε αποκλειστικές γραμμές επικοινωνίας δημόσιων τηλεπικοινωνιακών φορέων (leased lines) χωρίς να τις μοιράζονται με άλλους χρήστες ή ιδιόκτητες γραμμές επικοινωνίας.

Δημόσια δίκτυα (Public Networks) που εξυπηρετούν τις διασυνδέσεις μεταξύ απομακρυσμένων σημείων. Χρησιμοποιούνται όταν η απόσταση είναι μεγάλη και καθίσταται απαγορευτική, λόγω κόστους, η χρήση αποκλειστικών γραμμών ή όταν ο φόρτος μεταξύ των σημείων δεν είναι μεγάλος και επιτυγχάνεται έτσι μεγάλη ταχύτητα μεταφοράς.

2.3 Πλεονεκτήματα Δικτύων

Τα δίκτυα των υπολογιστών έχουν μεγάλη εφαρμογή στις καθημερινές μας δραστηριότητες (π.χ. τραπεζικές συναλλαγές, έκδοση αεροπορικών ή ακτοπλοϊκών εισιτηρίων, κρατήσεις ξενοδοχείων ή θεάτρων, αυτοματοποίηση διαφόρων δημόσιων υπηρεσιών) καθώς μας διευκολύνουν, ώστε μέσα σε πολύ λίγο χρόνο να διεκπεραιώνουμε τις εργασίες μας. Αν θέλουμε, για παράδειγμα, να πάρουμε χρήματα από μία Τράπεζα, χρησιμοποιούμε μια Αυτόματη Ταμειολογιστική Μηχανή (ATM) που είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο υπολογιστών της τράπεζας .

Η γρήγορη διεκπεραίωση των εργασιών μας δεν είναι όμως το μοναδικό πλεονέκτημα των δικτύων. Υπάρχουν αρκετά ακόμα, που κάνουν τη χρήση τους ιδιαίτερα σημαντική, όπως:

Επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών και ανταλλαγή δεδομένων

Έχουμε τη δυνατότητα να ανταλλάσσουμε μηνύματα, δεδομένα ή εργασίες με τους συμμαθητές μας από υπολογιστή σε υπολογιστή μέσω του δικτύου χωρίς να χρησιμοποιούμε δισκέτες ή CD. Αυτό το πλεονέκτημα ίσως να μη μας φαίνεται με μία πρώτη σκέψη τόσο σημαντικό. Αν όμως φανταστούμε ότι πολλοί εργαζόμενοι είναι

αναγκασμένοι πολύ συχνά να ανταλλάσσουν τις εργασίες τους μετακινούμενοι ανάμεσα σε διαφορετικούς ορόφους, σε διαφορετικά κτήρια ή ακόμα και σε άλλες πόλεις, τότε το πλεονέκτημα της μέσω δικτύου αποκτά μεγάλη αξία. Ήδη το Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο έχει σε μεγάλο βαθμό αντικαταστήσει το παραδοσιακό ταχυδρομείο για την ανταλλαγή επιστολών.

Τα δίκτυα διευκολύνουν όλες τις φάσεις της επεξεργασίας των δεδομένων για την παροχή χρήσιμων πληροφοριών:

Συλλογή: Εισαγωγή μεγάλου αριθμού στοιχείων από διαφορετικούς υπολογιστές ή και από διαφορετικά γεωγραφικά σημεία. Για παράδειγμα, εισαγωγή των παραγγελιών ενός εστιατορίου από φορητές συσκευές (palmtops), που συνδέονται ασύρματα με έναν κεντρικό υπολογιστή στην κουζίνα του εστιατορίου.

Επεξεργασία: Μοίρασμα του όγκου των εργασιών μας σε διαφορετικούς υπολογιστές, ώστε να έχουμε γρηγορότερα αποτελέσματα.

Αποθήκευση: Αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων και σε πολλά αντίγραφα σε διαφορετικούς σκληρούς δίσκους.

Διανομή: Πρόσβαση σε χρήσιμες πληροφορίες από διαφορετικά μέρη. Για παράδειγμα, πρόσβαση από το σπίτι μας στον κεντρικό υπολογιστή του σχολείου, για να διαβάσουμε χρήσιμες ανακοινώσεις ή να δούμε τη βαθμολογία μας.

2.4 Πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Η λέξη "πρωτόκολλο" αναφέρεται στους κανόνες που ακολουθεί ένα δίκτυο για την αποστολή ή λήψη δεδομένων μεταξύ των κόμβων. Τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα επικοινωνιών είναι τα ARCnet, Token Ring, Ethernet. Τα πρότυπα των Token Ring (802.5) και Ethernet (802.3) είναι αποδεκτά από διεθνείς οργανισμούς τυποποίησης (IEEE). Η ύπαρξη των προτύπων βοηθά στη συμβατότητα ανάμεσα στους κατασκευαστές hardware και software.

Η διαδικασία μετάδοσης δεδομένων σε ένα δίκτυο περιλαμβάνει:

- τον υπολογιστή - αφετηρία
- το πρωτόκολλο επικοινωνίας

- το μεταδότη
- το καλώδιο μεταφοράς
- το δέκτη
- τον υπολογιστή - προορισμό

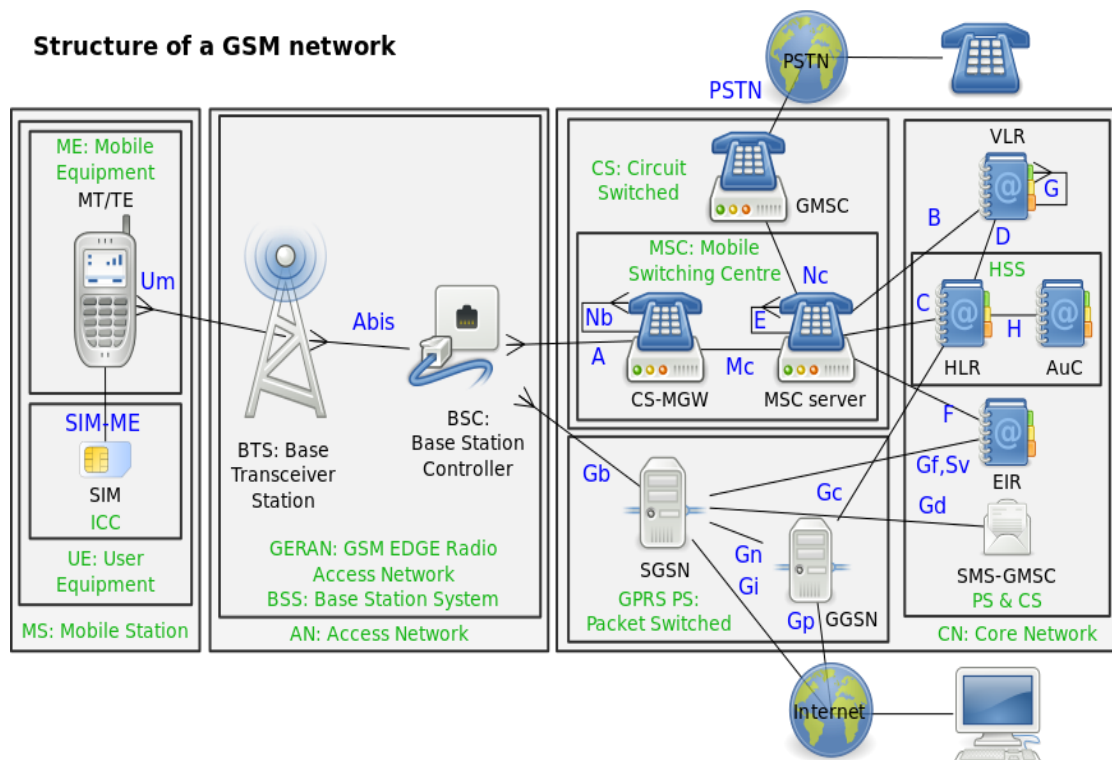
Ο υπολογιστής - αφετηρία μπορεί να είναι οποιοσδήποτε υπολογιστής του δικτύου. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας αποτελείται από ολοκληρωμένα κυκλώματα καθώς και από τα προγράμματα της κάρτας διασύνδεσης του δικτύου και είναι υπεύθυνο για τη λογική της επικοινωνίας του δικτύου. Ο μεταδότης στέλνει ηλεκτρικά σήματα μέσα από το καλώδιο. Ο δέκτης λαμβάνει τα σήματα και τα αποκωδικοποιεί για το μηχανισμό πρωτοκόλλου. Η μετάδοση ξεκινά με τον υπολογιστή που στέλνει ακατέργαστα δεδομένα (bits) στο μηχανισμό πρωτοκόλλου. Αυτός αναλαμβάνει να δημιουργήσει πλαίσια δεδομένων που περιέχουν πεδία δεδομένων, ελέγχου και της διεύθυνσης όπου θα αποσταλούν. Στη συνέχεια, μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα και προωθούνται στο δέκτη όπου πάλι ο μηχανισμός πρωτοκόλλου αναλαμβάνει να μεταβιβάσει τα δεδομένα στον υπολογιστή- προορισμό, αφού προηγουμένως ανιχνεύσει λάθη μετάδοσης και επιβεβαιώσει την ορθή λήψη, μέσω των πεδίων ελέγχου. Από την όλη διαδικασία, γίνεται φανερό, ότι το πρωτόκολλο επικοινωνίας ελέγχει τη λογική της επικοινωνίας του δικτύου. Κάθε τύπος πρωτοκόλλου έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης του δικτύου, το πλήθος των δεδομένων που μεταφέρονται, τον αριθμό των σταθμών εργασίας κλπ. Επιπλέον, το πρωτόκολλο που επιλέγεται επηρεάζει και το είδος της καλωδίωσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Κεφάλαιο 3

Τεχνολογίες και Πρωτόκολλα Δικτύου

3.1 GSM	18
3.2 UMTS	22
3.3 Δίκτυα 4G-5G	24
3.4 LTE-A	27
3.5 MPLS	30
3.6 Proxy MIPv6	35

3.1 GSM



Σχήμα 2 Δομή GSM

Το GSM είναι συντομογραφία για το Global System for Mobile communications είναι ένα κοινό Ευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Το Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Συμβούλιο (European Telecommunications Standards Institute) το 1982, άρχισε την μελέτη για την δημιουργία ενός κοινού Ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G). Αυτό το σύστημα ονομάστηκε αρχικά Group Special Mobile (GSM).

Το GSM είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων.

Ένα GSM δίκτυο χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη:

1) Τον Κινητό Σταθμό (Mobile Station): Έχει οπωσδήποτε πομπό-δέκτη, κεραία, οθόνη και την κάρτα SIM.

2) Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (Base Station Subsystem): Το BSS διαχειρίζεται τις κλήσεις σε μια γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραιών διαφόρων μεγεθών σε σειρά σαν αυτούς που βλέπουμε σε λόφους, ταράτσες πολυκατοικιών-εταιριών-σχολείων-οργανισμών κτλ. και κάθε τέτοια κεραία εξυπηρετεί και από μια κυψέλη. Το BSS χωρίζεται στο βασικό σταθμό πομπό-δέκτη Base Transceiver Station (BTS) και στο βασικό σταθμό ελέγχου Base Station Controller (BSC).

Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (BTS) φροντίζει την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου GSM και του κινητού σταθμού. Ένα BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραίες. Όταν ένας χρήστης Α θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή Β, ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημά του Α για αναζήτηση και εντοπισμό του άλλου συνδρομητή Β στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο της εταιρείας του Α. Το κέντρο της εταιρείας εντοπίζει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ο Β και στέλνει το σήμα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Από εκεί, πάλι με τη χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων, στέλνεται το σήμα στο κινητό του Β κι έτσι μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του ο Α

Το BSC (Base Station Controller-Βασικός Σταθμός Ελέγχου) ελέγχει τα σήματα παίρνοντας τα από ένα ή περισσότερα BTS ενώ εκχωρεί και απελευθερώνει κανάλια. Τα σήματα που λαμβάνει τα κατευθύνει στο MSC- Mobile Switching Centre

3) Το Υποσύστημα Δικτύου μεταγωγής (NNS- Network Switching Subsystem) που αποτελείται από:

Το Κέντρο Διανομής (Mobile Switching Center), είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση, τον έλεγχο και την δρομολόγηση εισερχόμενων/εξερχόμενων κλήσεων μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενός άλλου δικτύου ή άλλων. Όταν ένα

MSC συνδέεται με ένα δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας θα πρέπει να δέχεται 64kbps φωνής, όταν όμως ο MSC συνδέεται με ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τότε θα πρέπει να γνωρίζει που βρίσκεται εκείνη τη δεδομένη χρονική στιγμή ο χρήστης, αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια καταχωρητών VLR (Visitor Locator Register), Home Locator Register (HLR). Ο πάτριος καταχωρητής θέσης αναζήτησης ή τοπικά κέντρα εγγραφής-HLR έχει μια Βάση Δεδομένων που κρατά στοιχεία προφίλ ενός συνδρομητή και πληροφορίες για την τρέχουσα θέση του, κάθε τέτοιο κέντρο η εμβέλεια του είναι σε τοπικό επίπεδο. Έτσι π.χ. όταν ένας συνδρομητής από το Πέραμα το HLR του χρήστη είναι το "HLR Πέραμα", επίσης σε μια πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα τοπικά κέντρα εγγραφής πχ. το Περιστέρι. Ο καταχωρητής θέσης αναζήτησης επισκεπτών ή εικονικό κέντρο εγγραφής χρήστη (VLR): Όταν ο συνδρομητής βγει από τα όρια της τοπικής περιοχής που καλύπτει το HLR δηλαδή είναι πολύ μακριά από το σπίτι του τότε αναλαμβάνει τον χρήστη ο καταχωρητής θέσης αναζήτησης ή εικονικό κέντρο εγγραφής - VLR ο οποίος έχει μια βάση δεδομένων, ο οποίος συγκρατεί προσωρινά δεδομένα καθώς και την τρέχουσα θέση του, αναλαμβάνοντας τις κλήσεις του καλύτερα κατά τις ώρες αιχμής στο κέντρο της πόλης.

Το κέντρο πιστοποίησης (Authentication Centre – AuC) ο ρόλος του οποίου έγκειται στη διαχείριση δεδομένων για την πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη.

Το κανάλι επικοινωνίας που χρησιμοποιείται κάθε φορά από ένα κινητό ορίζεται από το σταθμό βάσης. Ο τελευταίος μπορεί να χειρίζεται ταυτόχρονα μεγάλο αριθμό καναλιών με χρήση τεχνικής FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Τα πλεονεκτήματα του GSM σε σχέση με τα αναλογικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας είναι:

- Καλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος και άρα μεγαλύτερη χωρητικότητα καναλιών σε κάθε κυψέλη.
- Ψηφιακή τεχνολογία που κάνει μικρότερα, ελαφρύτερα και φτηνότερα τα κινητά τηλέφωνα.
- Σημαντικά καλύτερη ποιότητα φωνής
- Συμβατότητα με όλα τα διεθνή πρότυπα και ενσύρματα δίκτυα .

- Ευρεία διεθνής αποδοχή και εξάπλωση, πράγμα που σημαίνει συμβατότητα σε πολλές διαφορετικές χώρες και χαμηλότερο κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

3.2 UMTS

Ο όρος UMTS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων "Universal Mobile Telecommunications System" (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών). Πρόκειται για την εξέλιξη σε σχέση με την χωρητικότητα, την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και την ύπαρξη νέων υπηρεσιών, των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς.

Το σύστημα κινητής τηλεφωνίας UMTS είναι η εφαρμογή της τεχνολογίας τρίτης γενιάς κινητής τηλεφωνίας που επιτρέπει την μετάδοση δεδομένων (εικόνα και ήχο) με πολύ υψηλές ταχύτητες και σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ενός ευρέος φάσματος επικοινωνίας (μεγέθους 5MHz.) μεταξύ κινητού και σταθμού βάσης.

Στο σύστημα UMTS, η πρόσβαση των συνδρομητών στο δίκτυο μπορεί και γίνεται ταυτόχρονα στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, επειδή διαχωρίζονται με την χρήση κωδικών. Σε αντίθεση με το σύστημα GSM, οι δυο γειτονικοί σταθμοί βάσης μιας εταιρείας μπορούν να εκπέμπουν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων και κάθε συνδρομητής μπορεί να εξυπηρετείται ταυτόχρονα από δυο ή περισσότερους σταθμούς βάσης.

Το μέγεθος της κυψέλης που καλύπτει ο σταθμός βάσης δεν είναι σταθερό, αλλά μπορεί να μεταβάλλεται. Συγκεκριμένα, όταν ένας σταθμός UMTS πρέπει να εκπέμπει μεγάλο όγκο πληροφοριών είτε επειδή λειτουργούν πολλά κινητά τηλέφωνα στις κυψέλες του είτε επειδή υπάρχει απαίτηση υψηλών ρυθμών μεταφοράς δεδομένων από λίγες συσκευές, μειώνεται η ισχύς εκπομπής από την κεραία αυτή, ώστε να μικρύνει η περιοχή κάλυψης του σταθμού. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αναπνοή της κυψέλης (cell breathing) και έχει στόχο την αποφυγή των παρεμβολών στους γειτονικούς σταθμούς.

Ένα δίκτυο UMTS αποτελείται από δύο βασικές οντότητες:

α) το δίκτυο κορμού (CN - core network)

β) δίκτυο επίγειας ασύρματης πρόσβασης (UTRAN - UMTS terrestrial radio-access network).

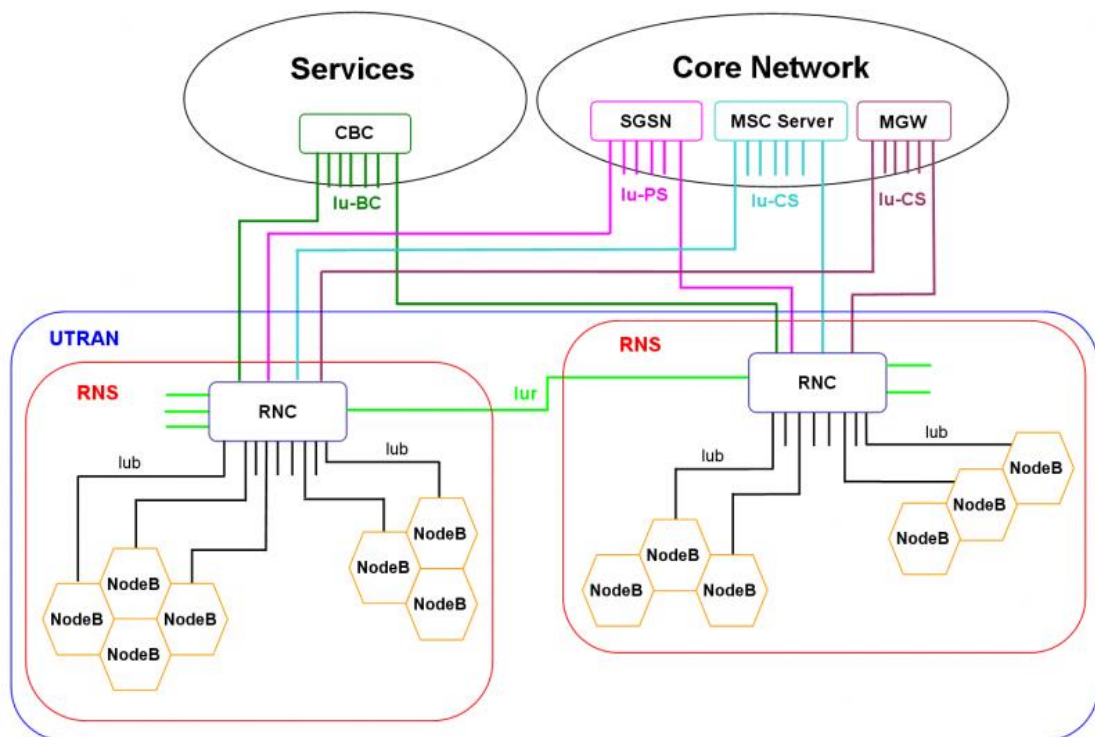
Το δίκτυο κορμού είναι υπεύθυνο για την δρομολόγηση των τηλεφωνημάτων καθώς και για τις συνδέσεις για μεταφορά δεδομένων με εξωτερικά δίκτυα.

Αντίθετα, το **UTRAN** είναι υπεύθυνο για οτιδήποτε σχετίζεται με το ασύρματο μέρος του δικτύου.

Το CN αποτελείται από δύο domain:

α) circuit-switched (CS - μεταγωγή κυκλώματος), το οποίο παρέχει πρόσβαση στο PSTN/ISDN

β) packet-switched (PS - μεταγωγή πακέτου), το οποίο παρέχει πρόσβαση στα IP δίκτυα.



Σχήμα 3 Δομή δικτύου UMTS

3.3 4G-5G

Με τον όρο 4G εννοούμε την τέταρτη γενεά της τηλεφωνικής τηλεπικοινωνίας, που επιπρόσθετα από τις υπηρεσίες που παρείχε η τρίτη γενεά, η τέταρτη γενεά μας παρέχει ευρυζωνική κινητή πρόσβαση στο διαδίκτυο, για παράδειγμα στους φορητούς υπολογίστες με ασύρματο μοντεμ, τα smartphones, και άλλες συσκευές.

Για την τέταρτη γενεά έχουν αναπτυχθεί δύο συστήματα, το Mobile WiMax που χρησιμοποιήθηκε πρώτα στην Ν. Κορέα το 2007, και το LTE(Long Term Evolution) που χρησιμοποιήθηκε στην Νορβηγία και Σουηδία το 2009. Η 4ης γενεάς τεχνολογίες έχουν σχεδιαστεί για να προσφέρουν φωνή με βάση το IP, δεδομένα και πολυμέσα ροής με ταχύτητες τουλάχιστον 100 Mbit/s και μέχρι 1 Gbit/s.

Το LTE αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και εξέλιξη του GSM/UMTS. Ο στόχος του LTE είναι να αυξήσει τη χωρητικότητα και τη ταχύτητα των υφιστάμενων δικτύων με τη χρησιμοποίηση καινοτόμων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας και διαμόρφωσης σήματος. Λειτουργεί σε διαφορετικό εύρος ζώνης συχνοτήτων καθώς η διεπαφή του δεν είναι συμβατή με τα υφιστάμενα δίκτυα 2ης και 3ης γενιάς.

Το πρότυπο του LTE είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στη καθοδική ζεύξη (downlink) της τάξης των 300 Mbps και στην ανοδική (uplink) μέχρι και 75 Mbps. Το εύρος ζώνης του φέροντος σήματος είναι μεταβλητό, κυμαινόμενο από τα 1.4 έως τα 20 MHz και υποστηρίζονται τόσο η διπλεξία διαίρεσης (FDD) όσο και η διπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDD). Η αρχιτεκτονική του δικτύου βασίζεται σε μια απλοποιημένη μορφή αρχιτεκτονικής IP, το Evolved Packet Core (EPC), το οποίο σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει το GPRS Core Network και υποστηρίζει την απρόσκοπτη μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και φωνής ακόμα και σε δίκτυα με παλαιότερη τεχνολογία δικτύου (GSM, UMTS, CDMA2000). Η απλούστερη αρχιτεκτονική αποσκοπεί σε χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα.

Οι κύριοι στόχοι του LTE είναι

- τα αυξημένα ποσοστά downlink δεδομένων και uplink
- Κλιμακωτό εύρο ζώνης
- Όλα τα IP δίκτυα
- Μια διεπαφή ενός προτύπου που μπορεί να υποστηρίξει μια πληθώρα τύπων χρηστών.

Το πρότυπο του LTE υποστηρίζει μεταγωγή πακέτων, αφού η δομή του βασίζεται στην αρχιτεκτονική δικτύου IP. Οι τηλεφωνικές κλήσεις που πραγματοποιούνται στα δίκτυα GSM, UMTS και CDMA2000 αποτελούν μεταγωγή κυκλώματος. Έτσι οι πάροχοι θα πρέπει να επαναπροσδιορίσουν τη λειτουργία του δικτύου κατά τη πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων. Πάνω σε αυτό το θέμα αναπτύχθηκαν τρεις εναλλακτικές επιλογές. Αρχικώς, οι μεγάλοι χρηματοδότες του εγχειρήματος του LTE, προώθησαν το VoLTE (Voice over LTE). Ωστόσο, η έλλειψη στην υποστήριξη εφαρμογών τόσο στις τερματικές συσκευές όσο και στις συσκευές του πυρήνα του δικτύου οδήγησαν ορισμένους πάροχους στη προώθηση του VoLGA (Voice over LTE Generic Access) ως μια ενδιάμεση λύση. Η ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες αρχές στις οποίες βασίστηκε το GAN (Generic Access Network), το οποίο καθορίζει τα πρωτόκολλα μέσω των οποίων ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να πραγματοποιεί τηλεφωνικές κλήσεις χρησιμοποιώντας μια ιδιωτική σύνδεση στο Διαδίκτυο, συνήθως μέσω ενός ασύρματου τοπικού δικτύου. Όμως το VoLGA δεν έτυχε μεγάλης αναγνώρισης, καθώς το VoLTE υποσχόταν μεγαλύτερη ευελιξία υπηρεσιών παρ' όλο το κόστος αναβάθμισης ολόκληρων των υποδομών του δικτύου. Παρ' όλο που η βιομηχανία του LTE φαινομενικά έχει καταλήξει στο VoLTE για μελλοντική υλοποίηση, η ανάγκη για την άμεση και ομαλή πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων, οδήγησε τους παρόχους LTE στην εισαγωγή του CSFB (Circuit Switched FallBack) ως μια προσωρινή λύση. Με αυτό το μηχανισμό, οι συσκευές LTE θα διεκπεραιώνουν τη κλήση μέσω των δικτύων 2G ή 3G για όσο διαρκεί η κλήση.

Το 5G εννοεί την 5ή γενεά στις κινητές τηλεπικοινωνίες. Το 5G αναφέρεται ως τεχνολογία κινητής επικοινωνίας περαν του 2020. Υπολογίζεται ότι θα έχει bandwidth μεγαλύτερο από 1 gbps

3G VS 4G VS 5G			
	3G	4G	5G
DEPLOYMENT	2004-05	2006-10	BY 2020
BANDWIDTH	2mbps	200mbps	>1gbps
TECHNOLOGY	Broadband with/CDMA/IP technology	Unified IP and seamless combination of LAN/WAN/WLAN/PAN	4G + WWW
SERVICE	Integrated high-quality audio, video and data	Dynamic information access, variable devices	Dynamic information access, variable devices with all capabilities

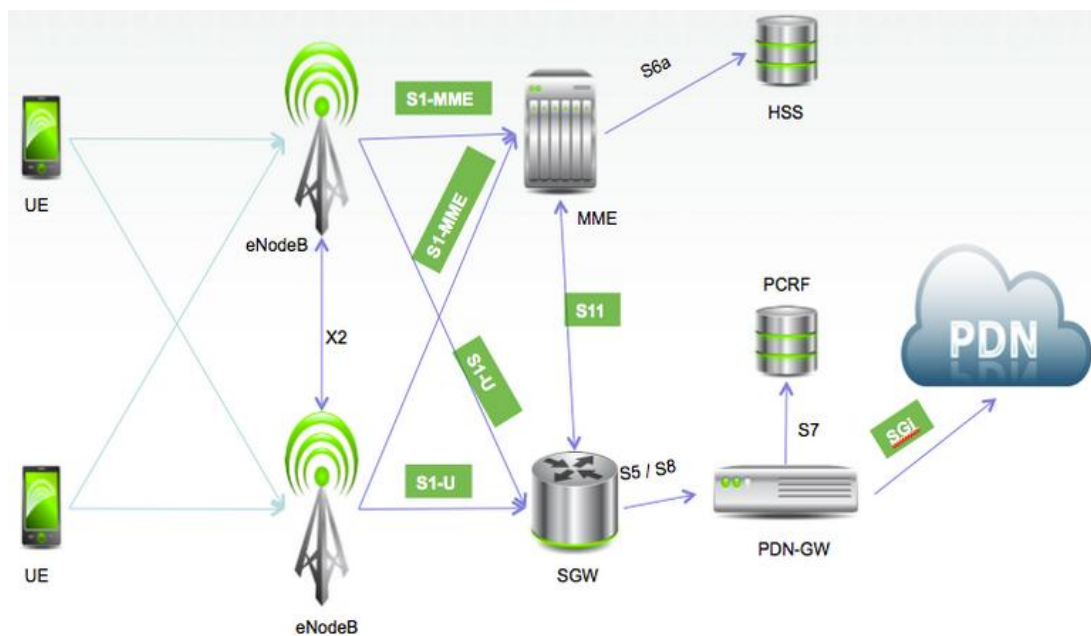
Source: online

Σχήμα 6 Πίνακας διαφορών 3G-4G-5G

3.4 LTE-A

Το LTE-Advanced είναι ένα πρότυπο κινητών επικοινωνιών και μια σημαντική ενδυνάμωση του LTE. Ο σκοπός του ήταν για να ξεπεράσει τις απαιτήσεις που είχε International Telecommunication Union τις οποίες δεν ξεπερνούσε το LTE.

Ένα από τα πλεονεκτήματα του LTE-A είναι ότι έχει την ικανότητα να επωφελείται από προηγμένα δίκτυα τοπολογίας, βελτιστοποιημένα ετερογενή δίκτυα με ένα μείγμα από μακροκυστέλες με χαμηλής ενέργειας κόμβους. Το επόμενο σημαντικό άλμα στην απόδοση στα ασύρματα δίκτυα θα έρθει από την καλύτερη αξιοποίηση της τοπολογίας, και φέρνει το δίκτυο πιο κοντά στο χρήστη προσθέτοντας πολλούς από αυτούς τους χαμηλούς σε ενέργεια κόμβους,. Ακόμη το LTE-A βελτιώνει την χωρητικότητα και την κάλυψη, και εξασφαλίζει την αμεροληψία στο χρήστη. Επίσης παρουσιάζει τον πολυμεταφορέα ώστε να μπορεί να χρησιμοποιεί εξαιρετικά μεγάλο εύρος συχνοτήτων, έως 100 MHz του φάσματος και θα υποστηρίξει πολύ υψηλές ταχύτητες δεδομένων.



Σχήμα 7 Δίκτυο LTE-A

Τα κύρια συστατικά τού LTE-A είναι τα εξής:

eNodeB: Διασυνδέετε με τον UE και φιλοξενεί το physical, MAC, RLC και PDCP layers. Ακόμη φιλοξενεί την λειτουργικότητα RRC που αντιστοιχεί στο επίπεδο ελέγχου. Εκτελεί πολλές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των πόρων του radio resource management, τον έλεγχο αποδοχής, τον προγραμματισμό, την εκτέλεση των διαπραγματεύσεων UL QoS, πληροφορίες εκπομπής κυψέλης, κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση των δεδομένων του χρήστη και του επιπέδου ελέγχου

PDN GW(Packet Data Network Gateway): παρέχει συνδεσιμότητα του UE με εξωτερικά δίκτυα πακέτων δεδομένων με το να είναι το σημείο εξόδου και εισόδου της κυκλοφορίας για το UE. Ένα UE μπορεί να έχει ταυτόχρονες συνδέσεις με περισσότερα από ένα PDN GW για την πρόσβαση σε πολλαπλά PDNs. Το PDN GW εκτελεί επιβολή της πολιτικής, φιλτράρισμα πακέτων για κάθε χρήστη, φόρτιση υποστήριξης, νόμιμη παρακολούθηση και διαλογή πακέτων.

MME(Mobility Management Entity): διαχειρίζεται και αποθηκεύει το πλαίσιο του UE(για κατάσταση αδράνειας: ταυτότητες UE/χρήστη, κατάσταση κινητικότητας του UE, παραμέτρους ασφαλείας του χρήστη) Παράγει προσωρινές ταυτότητες και τις κατανέμει στους UEs. Ελέγχει το authorization, και πιστοποιεί το χρήστη.

Serving Gateway: Το SGW δρομολογεί και προωθεί τα πακέτα δεδομένων του χρήστη, ενώ επίσης ενεργεί ως άγκυρα κινητικότητας για το επίπεδο ελέγχου του χρήστη κατά την διάρκεια της μεταφοράς μεταξύ των eNB και ως άγκυρα για την κινητικότητα μεταξύ του LTE και άλλων 3GPP τεχνολογιών. Δηλαδή δρα σαν δρομολογητής και προωθεί δεδομένα μεταξύ του σταθμού βάσης και του PDN GW.

PCRF(Policy and Charging Rules Function): Καθορίζει τους κανόνες. Λειτουργεί στον πυρήνα του δικτύου και έχει πρόσβαση στις βάσεις δεδομένων των συνδρομητών . Υποστηρίζει την δημιουργία κανόνων και αυτόματα παίρνει αποφάσεις πολιτικής για κάθε συνδρομητή που είναι ενεργός στο δίκτυο

SGSN(Serving GPRS support node): Ένας SGSN είναι υπεύθυνος για την παράδοση των πακέτων δεδομένων από και προς τους κινητούς σταθμούς στην περιοχή του. Στους στόχους του περιλαμβάνεται δρομολόγηση και μεταφορά πακέτων, έλεγχος κινητικότητας, πιστοποίηση

HSS(Home Subscriber Server): μια κεντρική βάση δεδομένων που περιέχει πληροφορίες για όλους τους συνδρομητές του δικτύου.

3.5 MPLS

Το MPLS (Multiprotocol Label Switching) είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο δημιουργήθηκε από την IETF με στόχο να αυξήσει την ευελιξία και την απόδοση του παραδοσιακού IP και ταυτόχρονα να δώσει την δυνατότητα για την παροχή νέων υπηρεσιών στο Διαδίκτυο.

Το MPLS χρησιμοποιεί την τεχνική της μεταγωγής εικονικών κυκλωμάτων μέσω ετικετών η οποία είναι μια υβριδική τεχνική ανάμεσα στην μεταγωγή κυκλώματος και την μεταγωγή πακέτων που προσπαθεί να εκμεταλλευθεί τα καλύτερα στοιχεία κάθε μιας. Η μορφή αυτή χρησιμοποιεί πολυπλέκει και μετάγει πακέτα για να κάνει καλύτερη εκμετάλλευση των ζευξεων, αλλά δημιουργεί και συνδέσεις (εικονικά κυκλώματα) για να έχει έλεγχο του φόρτου κάθε ζεύξης και να κάνει πιο γρήγορη τη μεταγωγή των πακέτων μέσω ετικετών. Έτσι μπορεί να υποστηρίξει υπηρεσίες που απαιτούν ποιότητα (ζωντανές υπηρεσίες ροής φωνής και βίντεο) αλλά και την δημιουργία ιδιωτικών νοητών δικτύων (VPN-Virtual Private Networks), μια υπηρεσία με μεγάλη ζήτηση από τράπεζες, μεγάλες εταιρείες και οργανισμούς.

Για να γίνουν αυτά κατανοητά πρέπει να δούμε λίγο πιο προσεκτικά πως λειτουργούν αυτές οι αρχές στα πραγματικά δίκτυα ξεκινώντας από το πρώτο ιστορικά δίκτυο το τηλεφωνικό που έζησε πολλές τεχνολογικές μεταλλάξεις. Όταν δημιουργείται μια τηλεφωνική σύνδεση, ο εξοπλισμός μεταγωγής μέσα στο τηλεφωνικό σύστημα αποκαθιστά ένα φυσικό αγωγίμο μονοπάτι που διατρέχει όλη την διαδρομή από το τηλέφωνο του καλούντος στο τηλέφωνο του καλουμένου. Εξ ου και η ονομασία της τεχνικής αυτής «μεταγωγή κυκλώματος» (Circuit Switching). Όταν μια κλήση περνά μέσω ενός μεταγωγικού κέντρου αποκαθίσταται μια σύνδεση μεταξύ της γραμμής εισόδου στον μεταγωγέα και μιας από τις εξερχόμενες γραμμές που διαρκεί για όσο χρόνο διαρκεί η κλήση. Η βασική αρχή της μεταγωγής κυκλώματος είναι η ανάγκη να σχηματισθεί ένα "μονοπάτι" (κύκλωμα) μεταξύ των άκρων πριν από κάθε αποστολή δεδομένων που θα συνεχίσει να υφίσταται μέχρις ότου τερματιστεί η κλήση.

Όταν αυτό γίνει, μετά δεν απαιτείται καμία ενέργεια μεταγωγής για την πληροφορία των χρηστών που διασχίζει κάθε κόμβο σχεδόν ακαριαία (όσο χρειάζεται για διάδοση του σήματος) σε αντίθεση με τα πακέτα που πρέπει να βρεθεί η σωστή έξοδος για το καθένα χωριστά σε κάθε κόμβο. Ένα δεύτερο εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό είναι

ότι το εύρος ζώνης που διατίθεται σ' αυτή τη σύνδεση είναι σταθερό και αποκλειστικής χρήσης και συνεπώς δεν υπάρχει κίνδυνος συμφόρησης, δηλ. όταν η σύνδεση έχει αποκατασταθεί η ονομαστική διατεθείσα επικοινωνιακή ικανότητα είναι πάντα και σταθερά διαθέσιμη. Αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα συμφόρησης αυτό θα εκδηλωθεί κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης (και πιθανώς θα την αποτρέψει) και ποτέ κατά την διάρκεια της ζωής της.

Στην μεταγωγή πακέτων (Packet Switching) δεν εγκαθίσταται προκαταβολικά κανένα φυσικό ή νοητό μονοπάτι μεταξύ πομπού και δέκτη. Αντίθετα, κάθε φορά που ο πομπός έχει να στείλει ένα τμήμα δεδομένων το προωθεί στον πρώτο κόμβο μεταγωγής όπου αποθηκεύεται προσωρινά για να προωθηθεί κατόπιν με άλματα από κόμβο σε κόμβο. Κάθε πακέτο πρέπει να διαθέτει αρκετά στοιχεία για τον τελικό προορισμό αφού δεν ακολουθεί ένα μονοπάτι με μοναδική κατάληξη αλλά περνά από κοινόχρηστα κανάλια όπου περνούν και άλλα πακέτα που πιθανόν να έχουν κοινή μόνο μία ή λίγες ζεύξεις. Το πακέτο αυτό των δεδομένων λαμβάνεται ολόκληρο, εξετάζεται για τυχόν λάθη και κατόπιν η διεύθυνση προορισμού (που πρέπει να είναι μοναδική στον κόσμο και άρα όχι πολύ σύντομη) αναζητείται σε ένα πίνακα που ονομάζεται πίνακας δρομολόγησης. Ο πίνακας αντιστοιχίζει σε κάθε διεύθυνση την σωστή πόρτα εξόδου στην οποία πρέπει να οδηγηθεί το πακέτο και να μεταδοθεί στην γραμμή εξόδου. Το δίκτυο που μεταχειρίζεται αυτήν την τακτική ονομάζεται δίκτυο αποθήκευσης και προώθησης (store-and-forward) και πιο κοινό παράδειγμα είναι το Διαδίκτυο (Internet).

Το MPLS αποκαθιστά συνδέσεις, την κατάσταση των οποίων τηρεί ο κάθε κόμβος. Αυτές χαρακτηρίζονται από ένα αριθμό ο οποίος είναι διαφορετικός για κάθε ροή πακέτων και μπαίνει σε μια ετικέτα στην επικεφαλίδα του πακέτου. Με την βοήθεια αυτού του πεδίου στην ετικέτα ξεχωρίζουν τα διαφορετικά πακέτα παρότι χρησιμοποιούν την ίδια φυσική ζεύξη. Με τα νοητά κυκλώματα επιτυγχάνεται επίσης η πολύπλεξη των πακέτων στο ίδιο φυσικό κανάλι για λόγους οικονομίας αλλά με την εγκατάσταση της κλήσης είναι δυνατός ο προκαταβολικός έλεγχος της επάρκειας πόρων πριν την αποδοχή της κίνησης για την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (σε συνδυασμό με την χρήση μηχανισμών διαχείρισης προτεραιοτήτων στις ουρές και κράτησης πόρων στην εγκατάσταση των συνδέσεων).

Το MPLS ξεκίνησε με σκοπό να επιταχύνει την προώθηση όταν το Διαδίκτυο μεγάλωσε πολύ, αλλά σήμερα περισσότερο χρησιμοποιείται για:

- την επίτευξη ρητής δρομολόγησης (explicit routing),
- τον σχεδιασμό κίνησης (traffic engineering) και
- την δημιουργία Ιδιωτικών Νοητών Δικτύων (Virtual Private Networks)
- Την υποστήριξη κλάσεων υπηρεσίας (Class of Service)

Στην μεταγωγή κυκλώματος, οποιοδήποτε αχρησιμοποίητο εύρος ζώνης ξοδεύεται άχρηστα. Στην μεταγωγή πακέτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλα πακέτα από άλλες πηγές κατευθυνόμενα σε διάφορους άλλους προορισμούς με τους οποίους μοιράζονται ένα μέρος και μόνο της διαδρομής, επειδή τα κυκλώματα δεν είναι αφιερωμένα για κάτι συγκεκριμένο. Παρόλα αυτά, ακριβώς επειδή δεν αφιερώνονται κάποια κυκλώματα, μπορεί ένα ξαφνικό κύμα κίνησης από πολλές εισόδους να κατακλύσει κάποια έξοδο ενός κόμβου μεταγωγής, ξεπερνώντας την χωρητικότητα αποθήκευσης του ταμιευτήρα της εξόδου προκαλώντας απώλεια πακέτων. Το πρόβλημα ξεκινά από την αδυναμία εκτίμησης της κίνησης που θα εμφανισθεί αφού δεν προηγείται καμία συνεννόηση όπως όταν εγκαθίσταται μια κλήση, με αποτέλεσμα να είναι σημαντικές οι πιθανότητες συμφόρησης και υπερχείλισης των ταμιευτήρων των κόμβων κατά την διάρκεια ζωής μιας συνεδρίας. Αντίθετα, με τη χρήση νοητών κυκλωμάτων, αλλά και της ρητής επιλογής διαδρομών ώστε να μοιραστεί η κίνηση σε διαφορετικές διαδρομές (σχεδιασμός κίνησης - traffic engineering), ο φόρτος των κόμβων γίνεται προβλέψιμος. Τούτο διότι, αφενός γίνεται εφικτή η αναγγελία των απαιτούμενων πόρων κατά την εγκατάσταση του νοητού κυκλώματος και δεν αποφασίζεται ο επόμενος κόμβος με λογική βήμα-βήμα(Hop-by-hop) όπως στο IP routing. Αυτά σε συνδυασμό με ένα πεδίο που δείχνει την κλάση υπηρεσίας (Class of Service) στην ετικέτα και την χρήση μηχανισμών διαχείρισης προτεραιοτήτων στις ουρές, επιτρέπουν στο MPLS να υποστηρίξει υπηρεσίες τύπου ζώσης φωνής και βίντεο που δεν μπορούν να μεταδοθούν ικανοποιητικά μέσω μηχανισμών που βασίζονται σε απώλειες και αναμεταδόσεις πακέτων. Οι υπηρεσίες αυτές πρέπει να έχουν εξασφαλισμένους πόρους και σε εναντία περίπτωση να απορρίπτονται από την αρχή (συγκρίνατε με το σήμα κατειλημμένου στην τηλεφωνία που αναγγέλλει την αδυναμία υποστήριξης μιας κλήσης) αντί να εμφανίζουν διαλείψεις που τις καθιστούν άχρηστες.

Τα κύρια συστατικά της τεχνολογίας MPLS είναι τα εξής:

Ετικέτα (Label): Είναι η επικεφαλίδα/ετικέτα που χρησιμοποιείται από τους LSR (Label Switch Router) για την προώθηση των πακέτων. Οι LSRs διαβάζουν μόνο τις ετικέτες αυτού του τύπου, και όχι τις επικεφαλίδες IP των πακέτων. Οι ετικέτες έχουν νόημα μόνο σε τοπικό επίπεδο, δηλαδή μόνο μεταξύ δύο συσκευών που επικοινωνούν.

Δρομολογητής ετικέτας (Label Switch Router (LSR)): Αποτελεί την συσκευή κορμού του δικτύου που μετάγει πακέτα εφοδιασμένα με την κατάλληλη ετικέτα, σύμφωνα με τους προϋπολογισμένους πίνακες μεταγωγής.

Δρομολογητής ετικέτας άκρου (Edge Label Switch Router (Edge LSR)): Είναι η συσκευή που τοποθετείται στο άκρο του κυρίως δικτύου, η οποία εκτελεί την αρχική επεξεργασία και κατηγοριοποίηση του κάθε πακέτου και του αναθέτει την πρώτη ετικέτα.

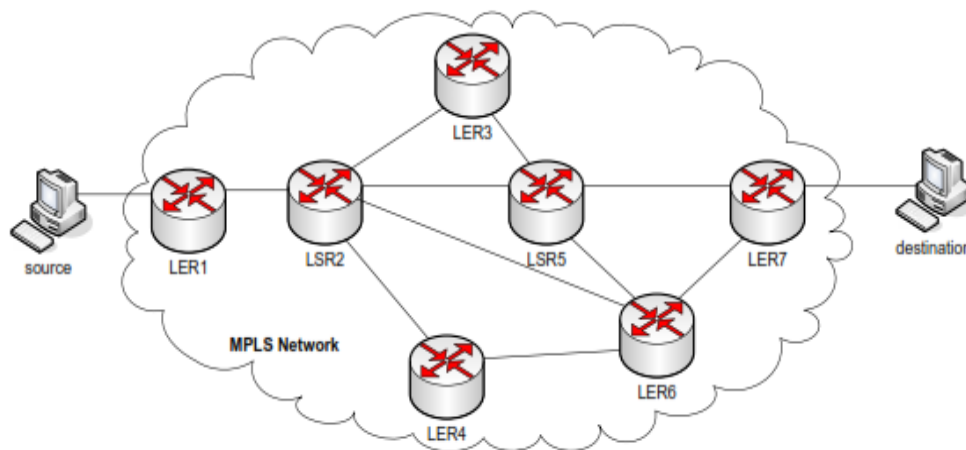
Μονοπάτι ετικέτας (Label Switched Path (LSP)): Είναι το "μονοπάτι" που ορίζεται από τις ετικέτες που δημιουργούνται και ανατίθενται στο κάθε πακέτο, μεταξύ των τελικών σημείων του δικτύου. Ένα LSP μπορεί να είναι ορισμένο είτε στατικά είτε δυναμικά. Το τελευταίο προσδιορίζεται αυτόματα χρησιμοποιώντας πληροφορίες δρομολόγησης. Τα στατικά LSPs χρησιμοποιούνται σπανιότερα.

Πρωτόκολλο διανομής ετικετών (Label Distribution Protocol (LDP)): Είναι το πρωτόκολλο που έχει σαν ρόλο την απόδοση ετικετών στα πακέτα, καθώς και τη μετάφραση των πληροφοριών τους από τους LSRs. Αναθέτει ετικέτες στα πακέτα από τις δικτυακές συσκευές στις άκρες και στον πυρήνα του δικτύου, έτσι ώστε να καθοριστούν τα αναγκαία LSPs. Η απόδοση των ετικετών γίνεται σε συνδυασμό με κάποια πρωτόκολλα δρομολόγησης, όπως τα Open Shortest Path First (OSPF), Intermediate System to Intermediate System (IS-IS), Routing Information Protocol (RIP), Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP) ή Border Gateway Protocol (BGP).

Λειτουργία του MPLS

Ας αρχίσουμε από τη μορφή του προθέματος ή ταμπέλας (tag) την οποία τοποθετεί το MPLS μπροστά σε κάθε πακέτο.

Η ταμπέλα ξεκινά με το πεδίο της ετικέτας αυτής καθεαυτήν που αποτελείται από 20 bits, ακολουθεί το πεδίο CoS (Class of Service) με 3 bits, το πεδίο S (stack-στοίβα ετικετών) του 1 bit και τέλος το πεδίο TTL με 8 bits. Το πεδίο S επιτρέπει να τοποθετηθούν πολλές ετικέτες ενθυλακούμενες η μια στην άλλη οπότε το πεδίο έχει τιμή 1 στον πάτο της στοίβας, δηλ. παίρνει τιμή 1 στην πιο εσωτερική ετικέτα. Το πεδίο TTL λειτουργεί όπως στο πακέτο IP δηλ. μειώνεται με κάθε προώθηση και εάν φθάσει ποτέ στο 0, τότε το πακέτο απορρίπτεται. Το πεδίο CoS προσδιορίζει οκτώ επίπεδα προτεραιότητας ώστε τα πιο επείγοντα πακέτα να προωθούνται πρώτα (δηλ. αυτά που αντιστοιχούν σε χρονικά ευαίσθητες υπηρεσίες). Αυτό βέβαια απαιτεί ανάλογα κυκλώματα ανάγνωσης της τιμής του πεδίου CoS και διαχείρισης της ουράς αναμονής των πακέτων.



Σχήμα 4 MPLS network.

3.6 Proxy Mobile Ipv6

Το Proxy Mobile IPv6 είναι ένα πρωτόκολλο διαχείρισης κινητικότητας από το IETF. Είναι ένα πρωτόκολλο για τη δημιουργία μιας κοινής και προσβάσιμης τεχνολογία ανεξαρτήτως από τα δίκτυα κινητής τεχνολογίας πυρήνα, φιλοξενώντας διάφορες τεχνολογίες πρόσβασης, όπως WiMAX, 3GPP, 3GPP2 και αρχιτεκτονικές βάση του WLAN. Το Proxy Mobile IPv6 είναι το πρωτόκολλο διαχείρισης κινητικότητας βάση δικτύου που τυποποιήθηκε από την IETF.

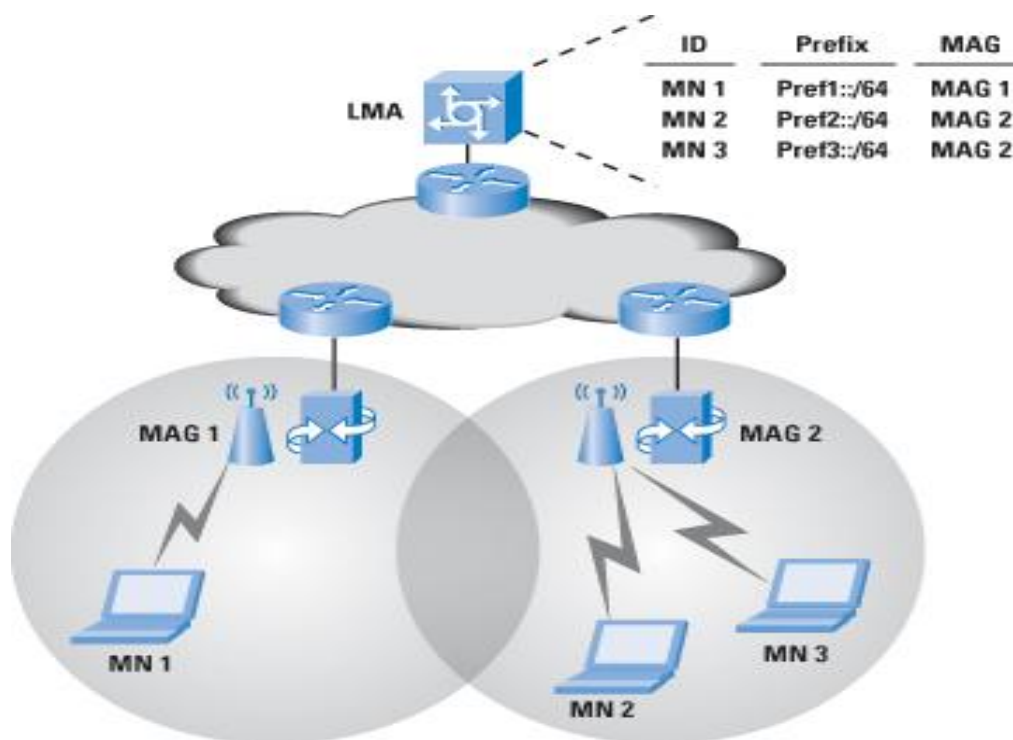
Η κύρια ιδέα του PMIPv6 είναι ότι ο κινητός κόμβος δεν εμπλέκεται σε κανένα επίπεδο IP σηματοδότησης της κινητικότητας. Ο κινητός κόμβος είναι μια συμβατική συσκευή IP (δηλαδή, τρέχει την στάνταρ στοίβα πρωτοκόλλου). Ο σκοπός του PMIPv6 είναι να εξασφαλίζει την κινητικότητα σε συσκευές IP χωρίς την ανάμιξη των συσκευών αυτών. Η διάταξη αυτή επιτυγχάνεται με την μετεγκατάσταση σχετικών λειτουργιών για τη διαχείριση της κινητικότητας από το κινητό κόμβο του δικτύου.

Το PMIPv6 παρέχει υποστήριξη της κινητικότητας μέσα σε μια τοπική περιοχή, την Localized Mobility Domain (LMD) ή PMIPv6 domain. Καθώς κινείται μέσα στην LMD, ο κινητός κόμβος διατηρεί την IP address του, και το δίκτυο είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση της τοποθεσίας του. Το PMIPv6 βασίζεται στο Mobile IPv6 (MIPv6), επαναχρησιμοποιώντας την έννοια Home Agent, αλλά καθορίζοντας τους κόμβους στο δίκτυο που πρέπει να σηματοδοτήσουν τις αλλαγές στην τοποθεσία του κινητού κόμβου για λογαριασμό του.

Οι λειτουργικές οντότητες στην αρχιτεκτονική δικτύου του PMIPv6 περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

Mobile Access Gateway (MAG): Αυτή η οντότητα εκτελεί την σηματοδότηση της κινητικότητας για λογαριασμό των κινητών κόμβων που είναι συνδεδεμένοι στα links πρόσβασης της. Το MAG είναι συνήθως ο δρομολογητής πρόσβασης του κινητού κόμβου, δηλαδή, ο first-hop router μέσα στην υποδομή Localized Mobility Management. Είναι υπεύθυνο να παρακολουθεί τις κινήσεις του κινητού κόμβου στο LMD. Ένα LMD έχει πολλαπλά MAGs.

Local Mobility Anchor (LMA): Αυτή η οντότητα μέσα στο πυρήνα του δικτύου διατηρεί μια συλλογή από διαδρομές για κάθε κινητό κόμβο που είναι συνδεδεμένος με το LMD. Οι διαδρομές δείχνουν στα MAGs διαχειρίζοντας τα links όπου οι κινητοί κόμβοι βρίσκονται. Πακέτα που στέλνονται ή λαμβάνονται προς ή από τον κινητό κόμβο δρομολογούνται μέσω των τούνελ μεταξύ της LMA και της αντίστοιχης MAG. Η LMA είναι μια τοπολογική άγκυρα για τις διευθύνσεις που ανατίθενται στους κινητούς κόμβους στο LMD, που σημαίνει ότι τα πακέτα με αυτές τις διευθύνσεις ως προορισμό δρομολογούνται προς την LMA.



Σχήμα 5 Δομή Proxy Mobile IPv6

Κεφάλαιο 4

Διαγράμματα Αλληλουχίας Μηνυμάτων Πρωτοκόλλων

4.1 Στάδια PMIPv6-LTE-A	38
4.2 PMIPv6 διάγραμμα αλληλουχίας μηνυμάτων	38
4.3 LTE-A διάγραμμα αλληλουχίας μηνυμάτων	48

4.1 Στάδια PMIPv6-LTE

Το MIPv6 χωρίζεται σε 5 στάδια εκτέλεσης.

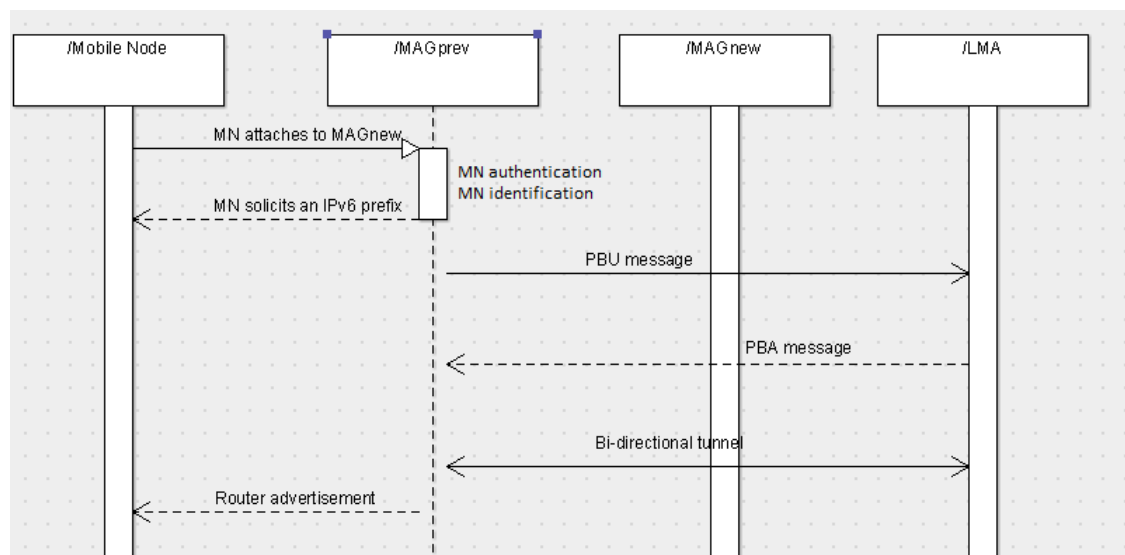
Στο πρώτο στάδιο όταν ο κινητός κόμβος μπει σε μια PMIPv6 περιοχή προσδένεται στην MAG. Στην συνέχεια η MAG και η LMA δημιουργούν τούνελ μεταξύ τους και ενημερώνεται ο κινητός κόμβος ενημερώνεται με τις πληροφορίες. Ακολούθως το 4^ο στάδιο όταν ο κινητός κόμβος μετακινείται μέσα στην περιοχή αποσυνδέεται από την 1^η MAG, και στην επόμενη φάση προσδένεται σε άλλη MAG

Το LTE το χώρισα σε 6 φάσεις εκτέλεσης:

Στην πρώτη φάση η συσκευή του χρήστη ενώνεται με τον eNodeB. Στην δεύτερη φάση η συσκευή ενώνεται με την MME. Ακολούθως το MME και το HSS μιλούν ώστε να εκτελέσουν τις λειτουργίες ασφαλείας, όπως πχ το authentication. Στην επόμενη φάση το MME επικοινωνά με τη SGW. Στην συνέχεια δημιουργείται το τούνελ μεταξύ της SGW και της PDN-GW. Στην τελευταία φάση η SGW δημιουργά τούνελ με τον eNodeB και ενημερώνονται οι συσχετιζόμενες οντότητες.

4.2 PMIPv6 διάγραμμα αλληλουχίας μηνυμάτων

A mobile node joins PMIPv6



Σχήμα 8 PMIPv6 sequence diagram

1. Attaching

Ο κινητός κόμβος αποδίδει στο MAG μέσω ενός σημείου προς σημείο σύνδεσης και καθιερώνει το στρώμα ζεύξης. Κάθε τεχνολογία πρόσβασης είναι δυνατή με την προϋπόθεση ότι μιμείται συμπεριφορά σημείου προς σημείο.

2. Identification

MAGprev πιστοποιεί τον κινητό κόμβο βάση της διεύθυνσης του στρώματος ζεύξης και διαπιστώνει τι επιτρέπεται να κάνει ο κινητός κόμβος(authorization).

3. Router solicitation

Ο κινητός κόμβος στέλνει αίτημα να λάβει ένα IPv6 prefix. MAGprev δεν θα στείλει router advertisement μέχρι να λάβει ένα πρόθεμα για τον κινητό κόμβο από το LMA.

4. Proxy Binding Update(PBU)

Ο MAGprev στέλνει ένα Proxy Binding Update στο LMA. Το PBU συσχετίζει την διεύθυνση του MAGprev με την ταυτότητα του κινητού κόμβου.

5. Allocate prefix, update BC

Το LMA διανέμει ένα πρόθεμα στον κινητό κόμβο(Home Network Prefix). Το LMA δημιουργεί μια εισαγωγή στο BC του. Η εισαγωγή περιέχει την ταυτότητα του κινητού κόμβου, την διεύθυνση του MAG και το πρόθεμα που ανατέθηκε στο κινητό κόμβο.

6. Proxy Binding ack (PBA)

Το LMA στέλνει ένα PBA μήνυμα πίσω στο MAGprev. Το PBA περιέχει πληροφορίες για την εισαγωγή BPC που δημιουργήθηκε στο βήμα 5.

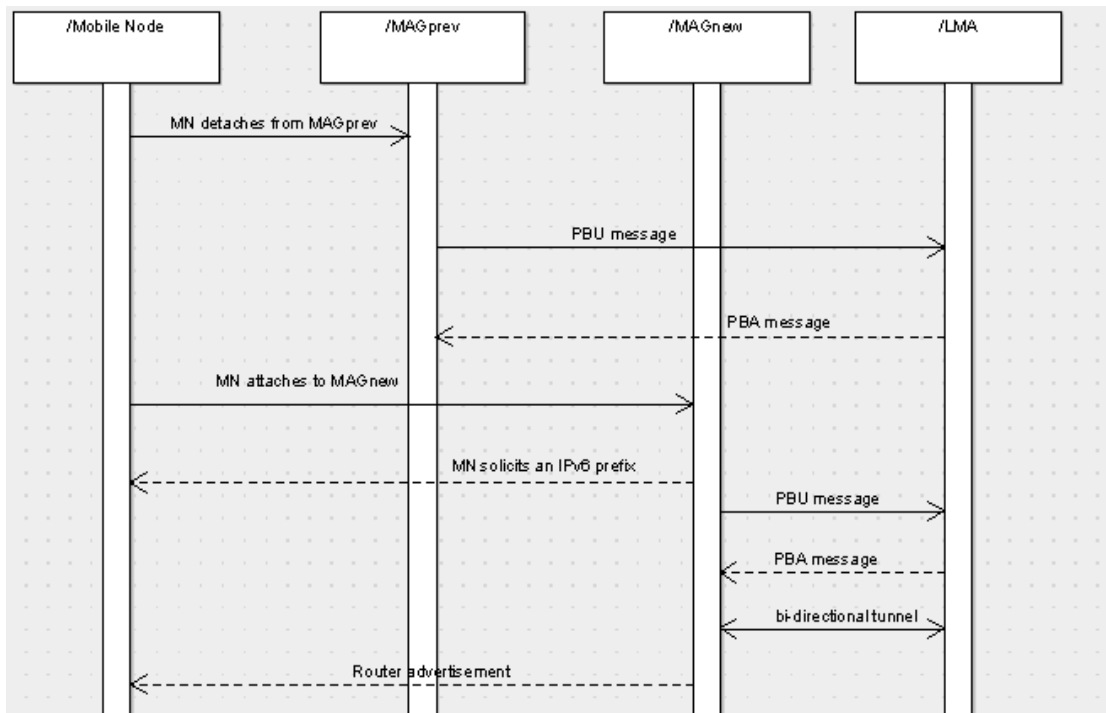
7. Tunnel setup

Το LMA και MAGprev καθιερώνουν ένα αμφίδρομο τούνελ που χρησιμοποιείται για να στέλνει πακέτα από και προς τον κινητό κόμβο. Το LMA ορίζει μια διαδρομή μέσω του τούνελ για την κυκλοφορία που απευθύνεται στον κινητό κόμβο.

8. Router advertisement

Ο MAGprev στέλνει ένα router advertisement με το αποδοθέντα πρόθεμα του κινητού κόμβου. Ο κινητός κόμβος θα αναθέσει το πρόθεμα μέσω άστατης αυτόματης διαμόρφωσης. Ο κινητός κόμβος δημιουργεί μια εισαγωγή στον πίνακα δρομολόγησης για το πρόθεμα.

Handoff from MAGprev to MAGnew



Σχήμα 9 PMIPv6 sequence diagram

1.Detaching

Ο κινητός κόμβος αποσυνδέεται από τον MAGprev. Ο MAGprev εντοπίζει αυτό το γεγονός μέσω ενός μηχανισμού έξω από το PMIPv6.

2.Deregistration

Ο MAGprev στέλνει ένα PBU με αίτημα για διαγραφή από τον κινητό κόμβο.

3.Start timer

Ο LMA ξεκινά ένα χρονόμετρο για την καταχώρηση proxy binding cache του κινητού κόμβου. Κατά την διάρκεια της χρονικής περιόδου το LMA αφήνει όσα πακέτα πήρε ο κινητός κόμβος. Αν το LMA δεν λάβει PBU από το MAGnew μέσα στην περίοδο χρόνου, μπορεί να αφήσει την καταχώρηση από τον κινητό κόμβο από το binding cache του. Έτσι το χρονόμετρο επιτρέπει στο LMA να διαγράψει τις καταχωρήσεις στο binding cache σε περίπτωση που ο κινητός κόμβος φύγει από το LMD για τα καλά.

4. Proxy binding ack(PBA)

Το LMA στέλνει ένα PBA πίσω στο MAGprev. Το PBA περιέχει πληροφορίες για την καταχώρηση BPC που δημιουργήθηκε στην φάση ένωσης.

5. Attaching to MAGnew

Ο κινητός κόμβος προσδένεται στο MAGnew με τον ίδιο τρόπο όπως ενώθηκε με το MAGprev στην LMD φάση ένωσης. Ο κινητός κόμβος και το MAGnew θα καθιερώσουν το στρώμα σύνδεσης.

6. Router solicitation

Ο κινητός κόμβος στέλνει αίτημα να λάβει ένα IPv6 prefix. MAGnew δεν θα στείλει router advertisement μέχρι να λάβει ένα πρόθεμα για τον κινητό κόμβο από το LMA.

7.Proxy binding update(PBU)

Ο MAGnew στέλνει ένα Proxy Binding Update στο LMA. Το PBU συσχετίζει την διεύθυνση του MAGnew με την ταυτότητα του κινητού κόμβου.

8.Update of the binding cache entry(BCE)

Το LMA εντοπίζει ότι ο κινητός κόμβος είναι ήδη καταχωρημένος στο binding cache και γι αυτό ενημερώνει την καταχώρηση(update) του κινητού κόμβου. Ο κινητός κόμβος είναι τώρα συσχετισμένος με το MAGnew. Το πρόθεμα του κινητού κόμβου παραμένει το ίδιο.

9. Proxy Binding ack (PBA)

Το LMA στέλνει ένα PBA μήνυμα πίσω στο MAGnew. Το PBA περιέχει πληροφορίες για την εισαγωγή BPC που δημιουργήθηκε στο βήμα 8

10. Tunnel setup

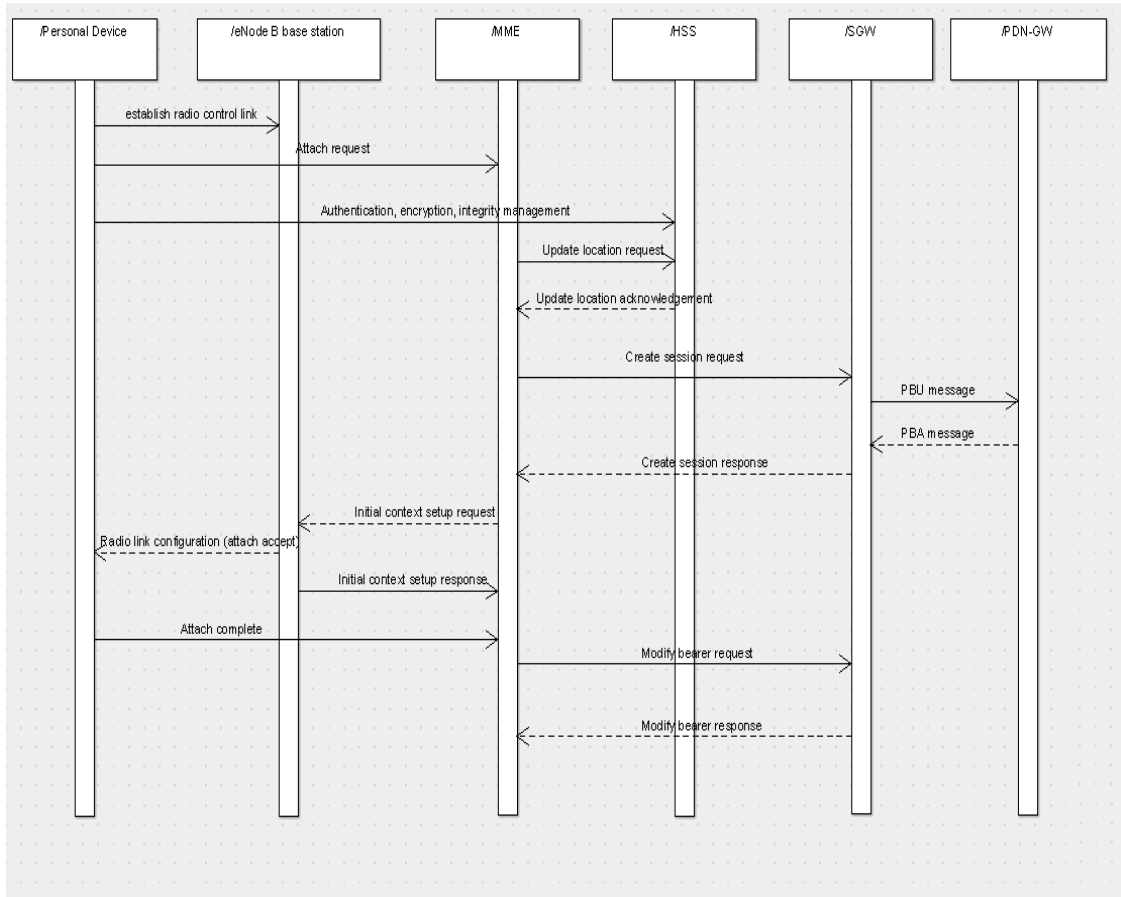
Το LMA και MAGnew καθιερώνουν ένα αμφίδρομο τούνελ που χρησιμοποιείται για να στέλνει πακέτα από και προς τον κινητό κόμβο. Το LMA ορίζει μια διαδρομή μέσω του τούνελ για την κυκλοφορία που απευθύνεται στον κινητό κόμβο.

11. Router advertisement

Ο MAGnew στέλνει ένα router advertisement με το αποδοθέντα πρόθεμα του κινητού κόμβου. Ο κινητός κόμβος θα αναθέσει το πρόθεμα μέσω άστατης αυτόματης διαμόρφωσης. Ο κινητός κόμβος δημιουργεί μια εισαγωγή στον πίνακα δρομολόγησης για το πρόθεμα.

4.3 LTE-A διάγραμμα αλληλουχίας μηνυμάτων

Personal Device attaching to the network up until the connection to the PDN is established



Σχήμα 10: LTE-A sequence diagram

Όταν η συσκευή καθιερώσει ένα σύνδεσμο απομακρυσμένου ελέγχου για να στέλνει και να δέχεται σήματα ελέγχου με των eNodeB, στέλνει ένα αίτημα πρόσδεσης με το MME. Η συσκευή και το MME εκτελούν τις απαραίτητες διαδικασίες ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένου της ταυτοποίησης, της κρυπτογράφησης και της ακεραιότητας.

Το MME στέλνει την αίτημα ενημέρωσης θέσης στον Home Subscriber Server(HSS), και ο HSS σημειώνει ότι η συσκευή ενώθηκε κάτω από MME.

Για να ξεκινήσει η εγκατάσταση μιας διαδρομής μετάδοσης στο προεπιλεγμένο PDN, το MME στέλνει ένα αίτημα δημιουργίας σύνδεσης με το SGW.

Όταν το SGW πάρει το αίτημα από το MME, στέλνει PBU message στο PGW. Ο PGW κατανέμει μια IP διεύθυνση στην συσκευή και ειδοποιεί τον SGW για τις πληροφορίες της στέλνοντας ένα PBA message. Αυτή η διαδικασία καθιερώνει μια συνεχόμενη διαδρομή επικοινωνίας πυρήνα δικτύου μεταξύ του PGW και του SGW για την κατανομημένη διεύθυνση IP.

Ο SGW ετοιμάζει μια απομακρυσμένης πρόσβασης κομιστή από τον εαυτό του στον enodeB, και στέλνει σήμα απάντηση για δημιουργία σύνδεσης στο MME. Το σήμα αυτό περιέχει πληροφορίες που χρειάζονται για να διαμορφωθεί ο κομιστής από τον enodeB στο SGW, συμπεριλαμβανομένου πληροφοριών που εκδίδονται από τον SGW και την IP διεύθυνση που κατανομήθηκε στην συσκευή.

Το MME στέλνει πληροφορίες στο σήμα για δημιουργία σύνδεσης στον enodeB σε ένα initial context setup request signal. Αυτό το σήμα περιέχει ειδοποιήσεις όπως η αποδοχή εγκατάστασης. Όταν πάρει αυτήν την ειδοποίηση η συσκευή στέλνει απάντηση στο MME, ειδοποιώντας το ότι η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί.

Ο enodeB κατανέμει τον radio data link και στέλνει την αποδοχή εγκατάστασης. Επίσης διαμορφώνει το radio access bearer από τον eNodeB στο SGW και στέλνει ένα initial context setup response στον MME. Το initial context setup response περιέχει πληροφορίες που εκδόθηκαν από τον eNodeB και απαιτούνται για την εγκατάσταση του radio access bearer από τον SGW στον eNodeB.

Το MME στέλνει πληροφορίες μέσω initial context setup response στο SGW σε ένα modify bearer request signal. Ο SGW τελειώνει την διαμόρφωση του προηγουμένως έτοιμου radio bearer από τον SGW στον eNodeB και στέλνει ένα modify bearer response στον MME.

Κεφάλαιο 5

Διάγραμμα Συχνοτήτων PMIPv6-LTE-MPLS

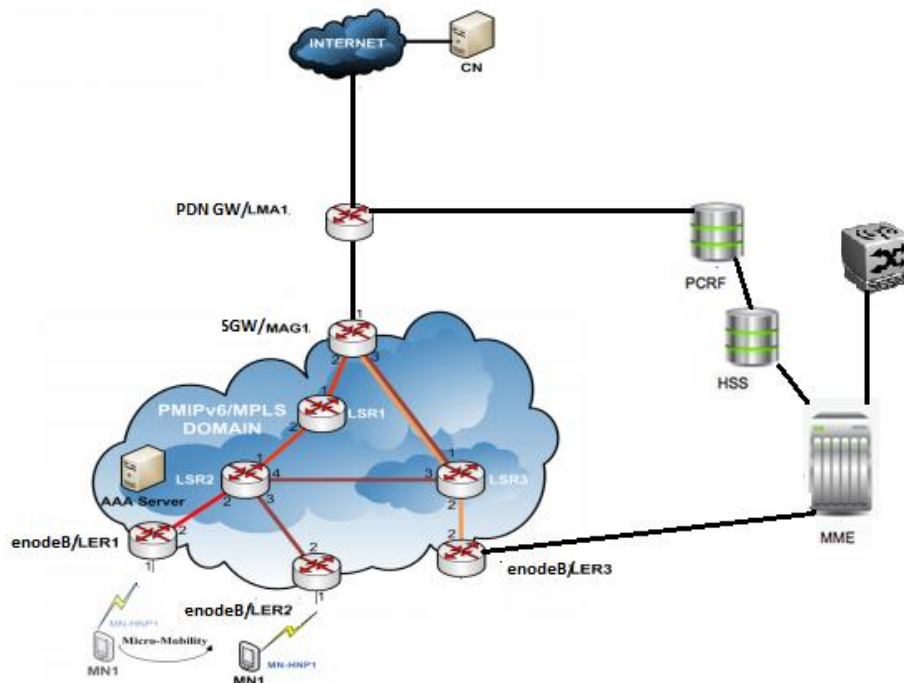
5.1 Εισαγωγή	47
5.2 Τοπολογία	47
5.3 Mobility Management Procedures	49
5.4 PMIPv6-LTE-MPLS διάγραμμα αλληλουχίας μηνυμάτων	51

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε πως τα πρωτόκολλα PMIPv6, LTE-A και MPLS συνδέονται μεταξύ τους. Αυτό μας ενδιαφέρει λόγω του ότι τα δίκτυα αναμένεται να έχουν την μορφή που θα δείξουμε πιο κάτω. Είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο πως κάθε πρωτόκολλο συμπεριφέρεται και τι κάνει από μόνο του, τώρα θα προσπαθήσουμε να δείξουμε πως θα είναι όταν μπουν και τα τρία πρωτόκολλα μαζί. Πιο κάτω θα δούμε την τοπολογία που κατά την άποψη μου μπορεί να σχηματιστεί ώστε να εισάξουμε τα πρωτόκολλα μαζί, θα δούμε δούμε κάποιες διαδικασίες που εκτελούν οι οντοτητες των σχεδιαγραμμάτων και στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε το διάγραμμα αλληλουχίας μηνυμάτων.

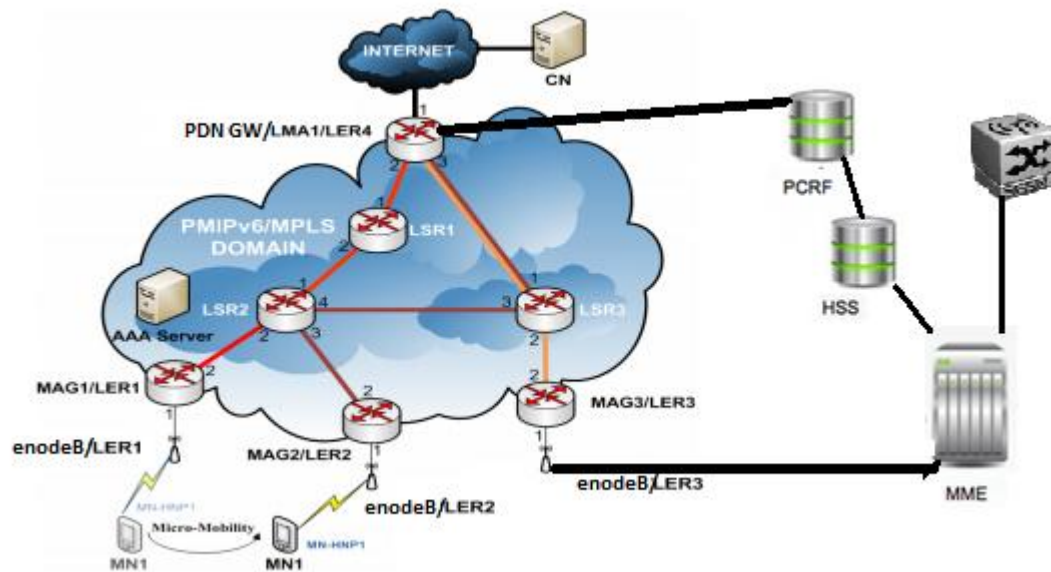
5.2 Τοπολογία

Στο πρώτο σχήμα παρατηρούμε την τοπολογία του δικτύου μας όταν το MPLS πρωτόκολλο βρίσκεται μεταξύ enodeB και SGW



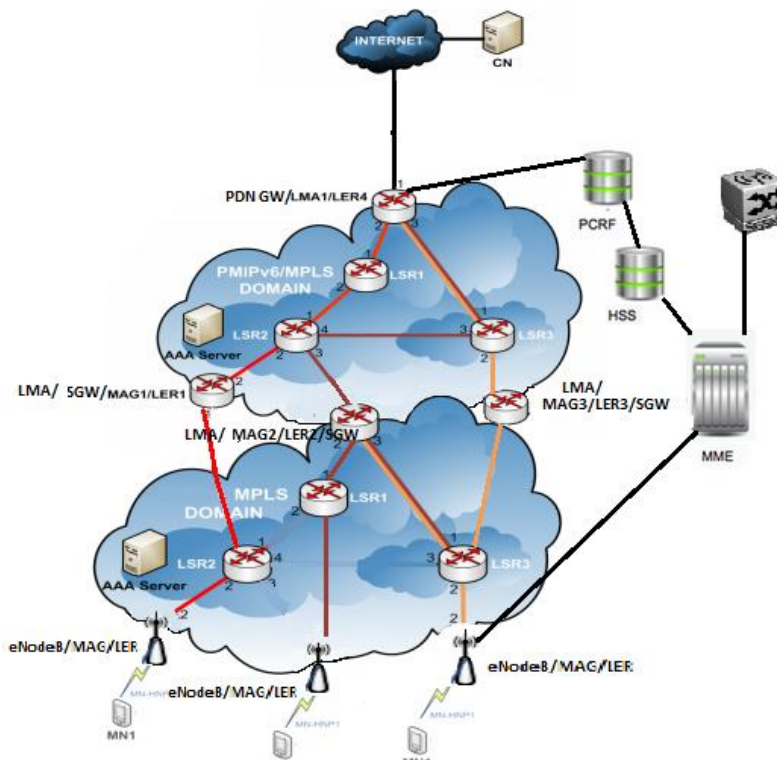
Σχήμα 11 eNB-SGW tunnel

Στο σχήμα 12 έχουμε το MPLS πρωτόκολλο μεταξύ SGW(MAG) και του PDN-GW(LMA)



Σχήμα 12 MAG-LMA tunnel

Τέλος στο σχήμα 13 έχουμε το πρωτόκολλο MPLS στα τούνελ μεταξύ του eNodeB(MAG)-SGW(LMA) και SGW(MAG)-PDN-GW(LMA)



Σχήμα 13 tunnel eNB-SGW και MAG-LMA

5.3 Mobility Management procedures

PMIPv6-PDN connection creation

To MAG στέλνει ένα PBU στο LMA για να καταχωρηθεί.

To MAG εκτελεί την procedure ‘ Mobile Node Attachment and Initial Binding Registration ‘

To LMA στέλνει PBA μήνυμα στο MAG για να επιβεβαιώσει την εγκατάσταση.

To LMA εκτελεί την Initial Binding Registration(new Mobility session).

PMIPv6 - PDN connection Handover procedure

Εκτελείται από το MAG2. To MAG2 στέλνει PBU στο LMA.

To MAG εκτελεί την Mobile Node attachment and Initial Binding Registration.

To LMA επιβεβαιώνει την ενημέρωση στέλνοντας PBA στο MAG.

To LMA εκτελεί την Binding Lifetime Extension (‘After Handoff’ and ‘Processing Proxy Binding Update’)

PMIPv6-PDN MAG Initiated PDN Connection Deletion

To MAG στέλνει ένα PBU στο LMA για να διαγραφεί.

To MAG εκτελεί την ‘Mobile Node Detachment and Binding De-Registration’

To LMA στέλνει PBA μήνυμα στο MAG για να επιβεβαιώσει την διαγραφή

To LMA εκτελεί την ‘Initiate Binding De-Registration’

PMIPv6 –PDN LMA Initiated PDN Connection Deletion

To LMA στέλνει BRI στο MAG για να ανακαλέσει την δέσμευση

To LMA εκτελεί την ‘Local Mobility Anchor Revokes a PMIPv6 Binding procedure’

To MAG επιβεβαιώνει την ανάκληση στέλνοντας BRA

To MAG ‘Local Mobility Anchor Revokes a PMIPv6 Binding procedure’

Intra-LTE and Inter-eNodeB Handover with SGW

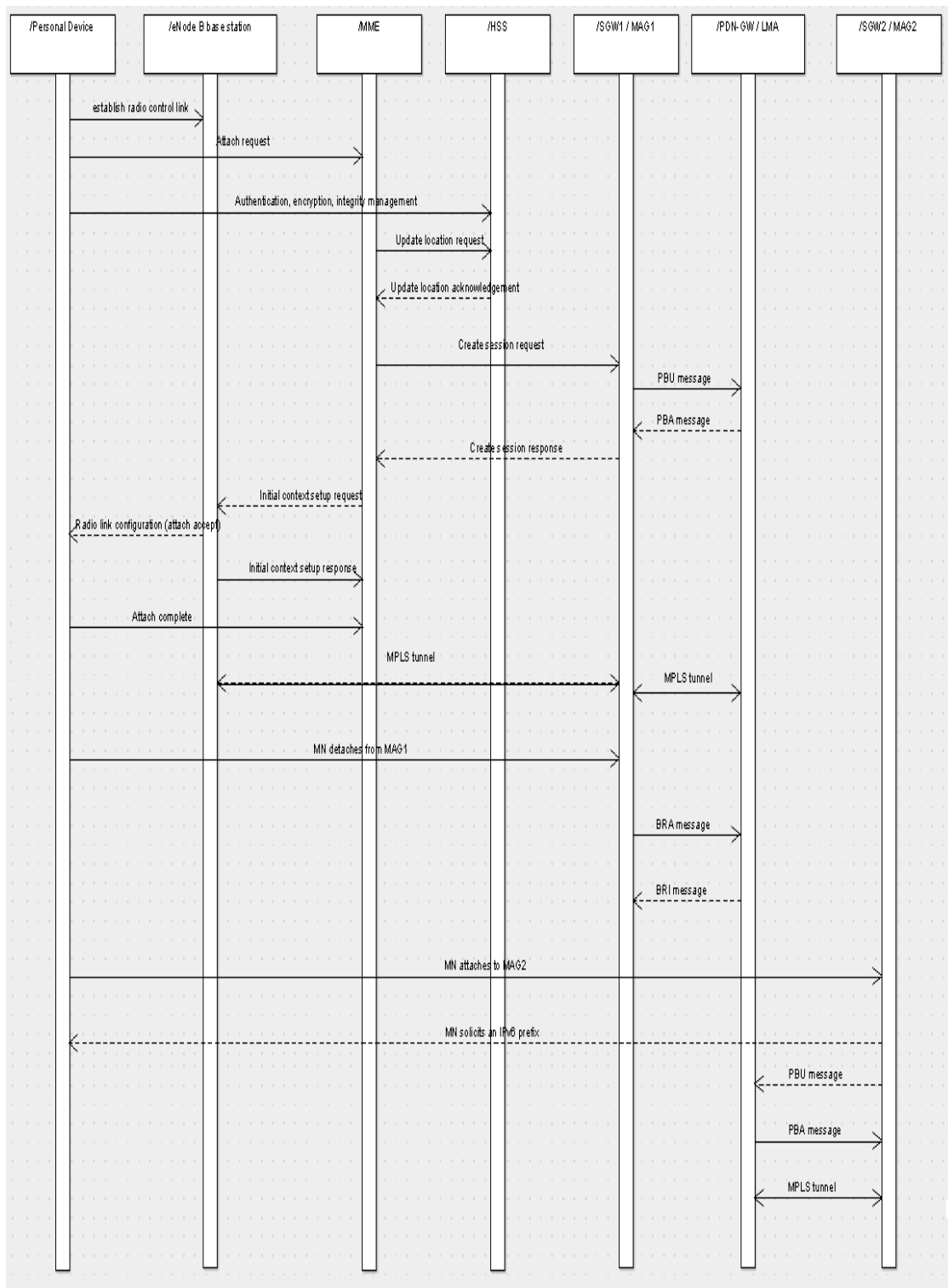
Το SGW ακολουθεί την ίδια διαδικασία με του MAG: PMIPv6 - PDN connection Handover

Το PDN-GW ακολουθεί την ίδια διαδικασία με του LMA: PMIPv6 - PDN connection Handover

HSS/AAA Initiated Detach

Το ίδιο με την PMIPv6 De-registration

5.4 PMIPv6-LTE-MPLS διάγραμμα αλληλουχίας μηνυμάτων

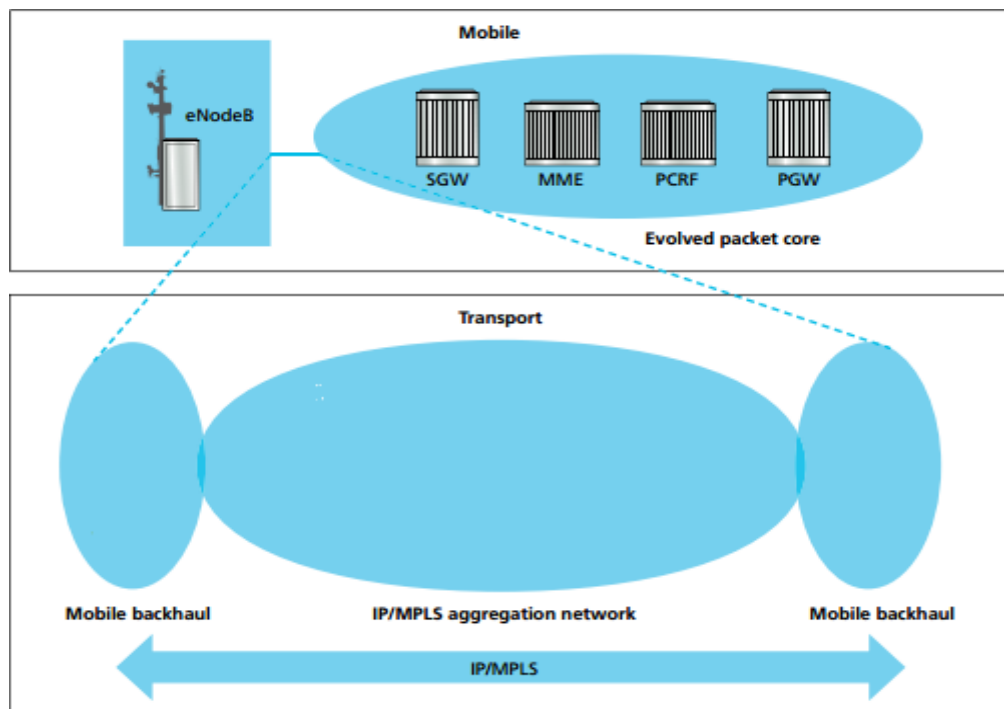


Σχήμα 14 PMIPv6-MPLS-LTE-A diagram

Στο πιο πάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η διασύνδεση των πρωτοκόλλων MPLS και Proxy MIPv6 για χρήση σε κινητά δίκτυα 4^{ης} και 5^η Γενιάς. Πιο συγκεκριμένα φαίνονται τα διαγράμματα συχνότητων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4 καθώς επίσης η αλληλεπίδραση των διάφορων πρωτοκόλλων. Όπως παρατηρούμε από το sequence diagram μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το MPLS πρωτόκολλο μεταφοράς μεταξύ του eNodeB και του SGW. Το eNodeB και το SGW χρησιμοποιούν το s1-u interface το οποίο προσφέρει την δυνατότητα παράδοσης του user plane PDUs μεταξύ του eNodeB και του SGW.

Το s1-MME interface είναι υπεύθυνο για την παράδοση πρωτοκόλλων σηματοδότησης μεταξύ του eNodeB και του MME. Το s1-MME αποτελείται από Stream Control Transmission Protocol (SCTP) πάνω από IP και υποστηρίζει πολλαπλούς UEs μέσω ενός SCTP συνδέσμου. Το application signaling protocol είναι s1-AP. Το s1-MME είναι υπεύθυνο για εγκατάσταση EPS bearers και παράδοση σημάτων.

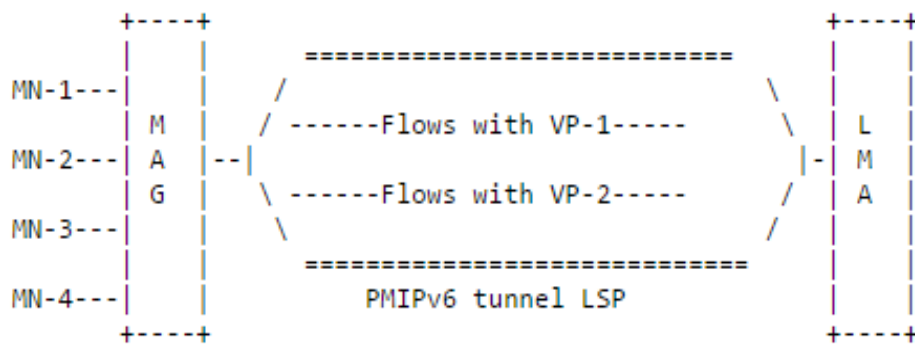
Η διασύνδεση του eNodeB με πολλαπλά MME/SGW υποστηρίζεται στην αρχιτεκτονική EPC/UTRAN. Έτσι η συνάρτηση NAS node selection που είναι τοποθετημένη στον eNodeB, για να καθορίσει την MME συσχέτιση του UE, βασισμένο στο προσωρινό identifier του UE, που είχε ανατεθεί στον UE από τον CN.



Σχήμα 15 MPLS between eNB and SGW

Μεταξύ του SGW και PDN-GW χρησιμοποιείται το s5/s8 interface και μπορεί να είναι σχέση πολλά προς πολλά. Αν ένας συνδρομητής GTP εισέλθει σε PMIP δίκτυο, οι PDN-GWs που επιλέχθηκε για local breakout υποστηρίζει PMIP, ενώ οι PDN-GWs για home routed traffic χρησιμοποιούν GTP. Αυτό σημαίνει ότι το SGW που επιλέχθηκε για αυτούς τους συνδρομητές μπορεί να χρειαστεί να υποστηρίζει και GTP και PMIP. Για αυτό τον SGW ο MME πρέπει να του υποδείξει ποιο από τα 2 πρωτόκολλα θα χρησιμοποιείσει πάνω από s5/s8.

Για να δούμε τώρα πως θα λειτουργήσει το πρωτόκολλο MPLS στον PMIPv6 για μεταφορά των δεδομένων μεταξύ του MAG και του LMA.



Σχήμα 16 MPLS between MAG and LMA

Ας υποθέσουμε ότι θα μεταφέρουμε δεδομένα από το MAG που θα λειτουργήσει ως ingress LSR στο LMA που θα λειτουργήσει ως egress LSR, μέσω MPLS δικτύου. Υποθέτουμε ότι υπάρχει ένα Label Switch Path (LSP) από το MAG στο LMA. Υποθέτουμε ότι το MAG κάνει ένα πακέτο να παραδοθεί στο LMA σπρώχνοντας μια ετικέτα στο πακέτο και στέλνοντας το αποτέλεσμα σε ένα από τους γείτονες του.

Το LSP τούνελ απλώς παίρνει τα πακέτα από το MAG στο LMA. Η αντίστοιχη ετικέτα δεν λέει στο LMA τι να κάνει το φορτίο. Πρέπει να υπάρχει μια ετικέτα, η οποία γίνεται ορατή στο LMA, και λέει στο LMA πως να φερθεί στο πακέτο που έλαβε.

Έτσι όταν το MAG στέλνει πακέτο στο LMA, πρώτα στέλνει την ετικέτα στην στόιβα ετικετών του, και μετά στέλνει στο tunnel label. Το tunnel label παίρνει το MPLS πακέτο από το MAG στο LMA και αντίστροφα. Η ετικέτα δεν είναι ορατή μέχρι το MPLS πακέτο φτάσει στο LMA ή στο MAG. Η επεξεργασία του πακέτου από το LMA βασίζεται στην ετικέτα.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και Μελλοντική εργασία

6.1 Συμπεράσματα	56
6.1 Μελλοντική εργασία	56

6.1 Συμπεράσματα

Ξεκινώντας την διπλωματική εργασία είχαμε θέσει ως στόχο την κατανόηση γενικών θεμάτων που αφορούσαν τα Δίκτυα, και ειδικά τα Ασύρματα Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας όπως το πρότυπο GSM (Global System for Mobile communications) και το UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Στην αρχή είδαμε την θεωρητική πλευρά των πρωτόκολλων και τεχνολογιών που θα χρησιμοποιηθούν. Ξεκινώντας παρουσιάσαμε την τεχνολογία δικτύου MPLS (Multi-Protocol Label Switching), δίνοντας τους βασικούς ορισμούς, τον τρόπο διαχείρισης των πακέτων και τις διαφορές με ένα IP δίκτυο. Έπειτα μελετήσαμε το PMIPv6 (Proxy Mobile IPv6) και πως διαχειρίζεται τα πακέτα. Επίσης ένας από τους σκοπούς της διπλωματικής ήταν η κατανόηση των αρχιτεκτονικών LTE (Long Term Evolution) και LTE-A (LTE-Advanced) των 4G/5G καθώς και τα πρότυπα 3GPP (3rd Generation Partnership Project) και IETF (Internet Engineering Task Force). Ακολούθως είδαμε πως το LTE λειτουργεί με PMIP και MPLS και πως αλληλεπιδρούν τα ερευνώμενα πρωτόκολλα.

Παρατηρήσαμε ότι υπάρχουν πολλοί τρόποι για να συνδυάσουμε τα πρωτόκολλα μας αλλά κατά την άποψη μου ο τρόπος που διαλέξαμε ήταν ο πιο καλός, όσο αφορά την καλύτερη εκμετάλλευση της τοπολογίας ώστε οι οντότητες μας να εκτελούν τις λειτουργίες τους ανεπηρέαστες.

6.2 Μελλοντική εργασία

Ως μελλοντική εργασία θα μπορούσε να ήταν μια διαφορετική προσέγγιση για τον συνδυασμό των πρωτοκόλλων που να είναι καλύτερη σε διάφορους τομείς από την δική μας τοπολογία.

Ακόμη θα μπορούσαν την προσέγγιση μας εμάς αν είναι η πιο βέλτιστη να γινόταν σε πραγματική κλίμακα για την χρησιμοποίηση της τοπολογίας μας στα δίκτυα 4^{ης} γενεάς

Βιβλιογραφία

- [1] <http://www.teletopix.org/4g-lte/s1-interface-a-single-interface-between-lte-ran-and-evolved-packet-core/>
- [2] <http://www.slideshare.net/4G-Seminar/understanding-3-gpp-bearers>
- [3] http://www.cse.unt.edu/~rdantu/FALL_2013_WIRELESS_NETWORKS/LTE_Alcatel_White_Paper.pdf
- [4] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/12.04.00_60/ts_136300v120400p.pdf
- [5] <http://www.lteandbeyond.com/2012/01/functions-of-main-lte-packet-core.html>
- [6] <http://lteguide.blogspot.com/2011/11/s5s8-interface.html>
- [7] <http://tools.ietf.org/html/draft-xia-mipshop-mpls-tunnel-00>
- [8] <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1107/1107.4110.pdf>
- [9] <http://tools.ietf.org/html/draft-xia-mipshop-mpls-tunnel-00>
- [10] <http://www.alcatel-lucent.com/solutions/ip-mpls-mobile-backhaul>
- [11] <https://books.google.com.cy/books?id=4YdqAAAQBAJ&pg=PA431&lpg=PA431&dq=enodeb+mpls+4g&source=bl&ots=C00ay89V19&sig=nPGZyOnho2gMgqxeLJIab0Mdx5w&hl=el&sa=X&ei=TM1VVc6pOoHwUMqogegB&ved=0CGUQ6AEwCA#v=onepage&q=sgw-%20enodeb%20mpls%204g&f=false>

[12] http://www.rmv6tf.org/wp-content/uploads/2012/11/Cisco_Suthar_Designing-LTE-with-IPv6_26-April-20111.pdf

[13] http://lte.alcatel-lucent.com/locale/en_us/downloads/wp_mobile_core_technical_innovation.pdf

[14] http://www.cisco.com/web/ME/expo2011/saudiarabia/pdfs/LTE_Design_and_Deployment_Strategies-Zeljko_Savic.pdf

[15] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/129200_129299/129275/10.01.00_60/ts_129275v100100p.pdf