

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Κινητές και Ασύρματες Επικοινωνίες

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση Ασύρματων Δικτύων 4^{ης} Γενιάς
LTE

Θανάσης Κυριάκου

Επιβλέπων Καθηγητής
Μάριος Ρασπόπουλος

Σεπτέμβριος 2015

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Κινητές και Ασύρματες Επικοινωνίες

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση Ασύρματων Δικτύων 4^{ης} Γενιάς
LTE

Θανάσης Κυριάκου

**Επιβλέπων Καθηγητής
Μάριος Ρασπόπουλος**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στον Κυριάκου Θανάση από τη Σχολή Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Σεπτέμβριος 2015

Περίληψη

Τα ασύρματα δίκτυα τέταρτης γενεάς αποτελούν την τελευταία λέξη της τεχνολογίας όσο αφορά τις ασύρματες επικοινωνίες. Οι περισσότεροι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας ανά το παγκόσμιο άρχισαν ήδη να μελετούν την πιθανή αναβάθμιση των δικτύων τους με συστήματα LTE. Στόχος της παρούσας διατριβής είναι η περιγραφή των ασύρματων δικτύων 4^{ης} γενιάς και η παρουσίαση της διαδικασίας διαστασιολόγησης ενός τέτοιου δικτύου. Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται μια ανασκόπηση στην βιβλιογραφία στο πρώτο κεφάλαιο, όπου γίνεται μια αναφορά στην αρχιτεκτονική και την εξέλιξη των ασύρματων δικτύων 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς. Επίσης περιγράφεται και η διαδικασία της διαστασιολόγησης ενός ασύρματου δικτύου. Το επόμενο κεφάλαιο αναφέρεται στην αρχιτεκτονική και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας LTE όπως τεχνολογίες πρόσβασης, ρυθμοί δεδομένων, τεχνικές διαμόρφωσης σήματος. Η διαδικασία της διαστασιολόγησης ενός τέτοιου δικτύου περιγράφεται αναλυτικά στο τρίτο κεφάλαιο, όπου επεξηγείται αναλυτικά η διαδικασία υπολογισμού των επιμέρους στοιχείων από τα οποία αποτελείται μια ολοκληρωμένη διαδικασία διαστασιολόγησης, τα οποία είναι ο προϋπολογισμός των δύο ζεύξεων (ανόδου και καθόδου), η διαστασιολόγηση χωρητικότητας και η διαστασιολόγηση κάλυψης. Επίσης στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται μια οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος όπου υπολογίζει το χρόνο απόσβεσης μιας τέτοιας επένδυσης. Στο τεταρτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το εργαλείο διαστασιολόγησης το οποίο δημιουργήθηκε στα πλαίσια της διατριβής και στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται κάποιες μελέτες περίπτωσης με βάση το εργαλείο αυτό. Το έκτο και τελευταίο κεφάλαιο είναι ο επίλογος της διατριβής όπου αναφέρονται οι πιθανοί χρήστες του εργαλείου, τρόποι βελτιώσεις και συμπεράσματα.

Summary

The fourth generation wireless networks are the latest technology regarding wireless communications. Most mobile operators worldwide have already begun to study possible upgrading their networks to LTE systems. The objective of this thesis is the description of wireless networks fourth generation and presentation of the design process of such a network. In the chapters that follow is a review of the literature in the first chapter, which is a reference to the architecture and evolution of wireless networks 1st, 2nd and 3rd generation. Also described and the process of design of a wireless network. The next chapter discusses the architecture and specifications of the LTE technology as access technologies, data rates, signal modulation techniques. The design process of such a network is described in detail in the third chapter, where the process of calculation of the individual elements is explained in detail making up an integrated design process, which is the Uplink and Downlink link budgets, the capacity dimensioning and coverage dimensioning. Furthermore, in the third chapter is described also the feasibility study of the system which calculates the payback of such investment. In the fourth is described in detail a web tool which was implemented under this thesis and in the fifth chapter analyzes some case studies based on this tool. The sixth and last chapter is the conclusion of the thesis and this chapter is referred to the potential users of the tool, improvement ways of the tool and also some conclusions described in this chapter.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μάριο Ρασπόπουλο για την δυνατότητα που μου χάρισε να ασχοληθώ με το θέμα αυτό αλλά και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Επίσης θέλω να τον ευχαριστήσω για την προθυμία με την οποία ανταποκρινόταν όποτε του ζητούσα οποιαδήποτε βοήθεια. Η επιστημονική του καθοδήγηση και οι συνεχείς υποδείξεις του κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής αυτής συνέβαλαν καθοριστικά στο τελικό αποτέλεσμα.

Τέλος ευχαριστώ βαθύτατα και την οικογένεια μου για την ενθάρρυνση και την υποστήριξη τους.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή - Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας.....	1
1.1 Εισαγωγή στην Κινητή Τηλεφωνία.....	1
1.1.1 Βασικά Στοιχεία Αρχιτεκτονικής και Δρομολόγησης Τηλεφωνικής Κλήσης.....	2
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	4
1.2.1 Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 1 ^{ης} Γενιάς.....	4
1.2.2 Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 2 ^{ης} Γενιάς.....	5
1.2.3 Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 2.5 Γενιάς.....	6
1.2.4 Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 3 ^{ης} Γενιάς.....	7
1.2.4 Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 4 ^{ης} Γενιάς.....	8
1.3 Διαστασιολόγηση LTE Δικτύου.....	10
1.3.1 Διαδικασία Διαστασιολόγησης.....	10
2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Αρχιτεκτονική Τεχνολογίας LTE.....	13
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά LTE.....	16
2.3 Αρχιτεκτονική LTE.....	16
2.4 Τεχνολογίες Πρόσβασης και Διαμόρφωσης Σήματος.....	18
3. Διαστασιολόγηση LTE Δικτύου και Τεχνοοικονομική Μελέτη.....	26
3.1 Εισαγωγή.....	26
3.2 Προϋπολογισμός Ζεύξης (Link Budget).....	27
3.3 Διαστασιολόγηση Κάλυψης (Coverage Dimensioning).....	31
3.4 Διαστασιολόγηση Χωρητικότητας (Capacity Dimensioning).....	32
3.5 Τεχνοοικονομική Μελέτη (Techno-financial Study).....	37
4. Περιγραφή Εργαλείου Διαστασιολόγησης.....	39
4.1 Τρόπος Υλοποίησης του Εργαλείου.....	39
4.2 Τρόπος Λειτουργίας του Εργαλείου.....	40
5. Αποτελέσματα και Μελέτη Περίπτωσης (Case Study).....	43
5.1 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study) 1.....	43
5.2 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study) 2.....	45
5.3 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study) 3.....	45
5.4 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study) 4.....	46
6. Επίλογος.....	47
6.1 Περίληψη και Συμπεράσματα.....	47
6.2 Πιθανοί Χρήστες και Τρόποι Βελτίωσης.....	47
Βιβλιογραφία.....	49

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή - Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

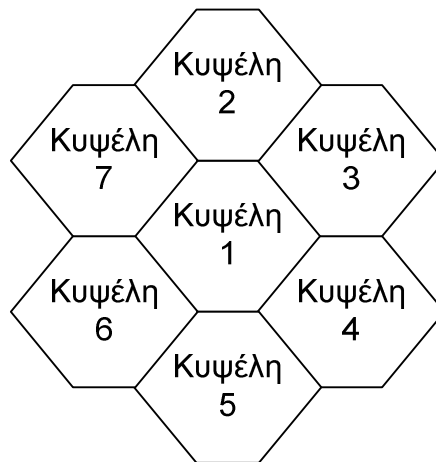
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή και ιστορική αναδρομή στην κινητή τηλεφωνία, αναφέρονται οι διάφορες γενιές κινητής τηλεφωνίας καθώς επίσης και οι διαφορές σε τεχνικά χαρακτηριστικά από την 1η μέχρι την 4η γενιά κινητής τηλεφωνίας. Επίσης γίνεται μια αναφορά στην δρομολόγηση τηλεφωνικής κλήσης και περιγράφεται και ο τρόπος διαστασιολόγησης ενός LTE δικτύου ο οποίος θα αναλυθεί λεπτομερώς στα επόμενα κεφάλαια.

1.1 Εισαγωγή στην Κινητή Τηλεφωνία

Κινητή τηλεφωνία ονομάζεται η τεχνολογία που κατά κύριο λόγο το τηλέφωνο δεν εξαρτάται από κάποια φυσική καλωδιακή σύνδεση ή από κάποια τοπική ασύρματη συσκευή σε σχέση με την σταθερή τηλεφωνία. Αυτή την τεχνολογία την απολαμβάνουμε εμείς σαν χρήστες σήμερα και χάραξε μια επανάσταση στο τομέα των επικοινωνιών γιατί μηδένισε τοπικούς και χρονικούς περιορισμούς και έφερε τον κόσμο πιο κοντά, βοήθησε στην βελτίωση της κοινωνικής και προσωπικής ζωής του ανθρώπου αλλά και στις επαγγελματικές δραστηριότητες του [01].

Η κινητή τηλεφωνία έκανε την εμφάνισή της το 1980 μέσω της αναλογικής τεχνολογίας αλλά λόγω των πολλών προβλημάτων που αντιμετώπιστηκαν όπως συμφόρηση/έλλειψη συχνοτήτων, ασυμβατότητα δικτύων και μη βέλτιστη χρήση συχνοτήτων, στην συνέχεια εξελίχθηκε μέσω της ψηφιακής τεχνολογίας [02].

Την λύση στα πιο πάνω προβλήματα έφεραν τα κυψελωτά δίκτυα (cellular networks) όπου στα κυψελωτά δίκτυα γίνεται επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Τα κανάλια επικοινωνίας κάθε κυψέλης δεν χρησιμοποιούνται από τις γειτονικές κυψέλες και οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε συστάδες 4,7,13 για αποφυγή παρεμβολών [02].



Εικόνα 1: Ομαδοποίηση 7 κυψελών

1.1.1 Βασικά Στοιχεία Αρχιτεκτονικής και Δρομολόγησης Τηλεφωνικής Κλήσης

Τα βασικά στοιχεία ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας είναι:

- Ο κινητός σταθμός ή τερματικό (π.χ. κινητά τηλέφωνα).
- Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (BSS - Base Station Subsystem), το οποίο διαχειρίζεται τις κλήσεις σε μια γεωγραφική περιοχή μέσω ενός συνόλου κεραιών σαν αυτές που μπορούμε να εντοπίσουμε σε λόφους και ταράτσες διαφόρων κτηρίων. Το BSS χωρίζεται σε δυο κύρια μέρη, το Βασικό Σταθμό Πομποδέκτη (BTS - Base Transceiver Station) ο οποίος είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία μεταξύ του κινητού και του δικτύου και το Βασικό Σταθμό Ελέγχου (BSC - Base Station Controller) ο οποίος ελέγχει τα σήματα παίρνοντας διάφορα BTS και επίσης εκχωρεί και απελευθερώνει κανάλια [03,04].
- Υποσύστημα Δικτύου Μεταγωγής (NNS - Network Switching Subsystem) το οποίο αποτελείται από το Κέντρο Διανομής (MSC - Mobile Switching Center) όπου είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση, τον έλεγχο και την δρομολόγηση των

κλήσεων μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενός άλλου δικτύου (σταθερό δίκτυο) και το Κέντρο Πιστοποίησης (AuC - Authentication Centre) το οποίο είναι υπεύθυνο για την διαχείριση δεδομένων για την πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη [03, 04].

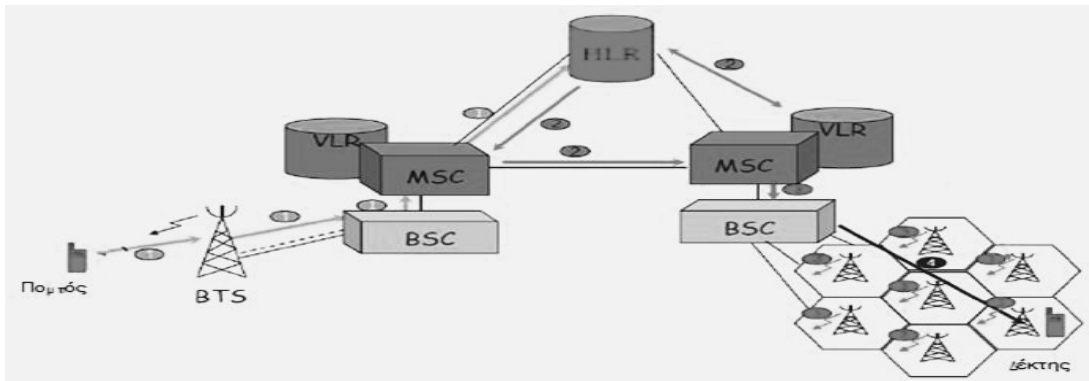
- Τα Τοπικά Κέντρα Εγγραφής (HLR - Home Location Register) και ο Καταχωρητής Θέσης Αναζήτησης Επισκεπτών (VLR - Visitors Location Register) είναι βάσεις δεδομένων οι οποίες αποθηκεύουν στοιχεία για το προφίλ του συνδρομητή και πληροφορίες για την τρέχουσα θέση του [03, 04].

Ένα κινητό μόλις ενεργοποιηθεί ανταλλάσσει σηματοδότηση με το ισχυρότερο BSS (Base Station System) της περιοχής του ώστε να καταγραφεί στο δίκτυο. Έτσι ο MSC (Mobile Switching Center) και ο VLR (Visitors Location Register) οι οποίοι έχουν επικοινωνία με όλους τους BS της περιοχής του να γνωρίζουν ανά πάσα στιγμή που βρίσκεται ο χρήστης [03, 04].

Σε περίπτωση που κάποιο κινητό δέχεται μια κλήση, ο MSC ειδοποιεί το καλούμενο κινητό (MS - Mobile Station) μέσω όλων το BSS της περιοχής του. Το καλούμενο κινητό απαντά στο MSC μέσω του ισχυρότερου BSS της περιοχής του. Αυτό το BSS θα χρησιμοποιηθεί για την διεκπεραίωση της κλήσης [03, 04].

Στην συνέχεια γίνεται πιστοποίηση ταυτότητας χρήστη και το VLR στέλνει στο MSC τις απαραίτητες παραμέτρους με το μήνυμα διεκπεραίωση κλήσης το οποίο θα σταλεί στο κινητό. Το MSC στέλνει το μήνυμα έναρξης στο κινητό και το κινητό στην συνέχεια απαντά με ένα μήνυμα επιβεβαίωσης λήψης [03, 04].

Τότε το BSS εκχωρεί το κανάλι για επικοινωνία με το κινητό και το MSC μέσω αυτού του καναλιού δίνει εντολή στο κινητό για ειδοποίηση του χρήστη [03, 04].



Διάγραμμα 1: Δρομολόγηση Κλήσης [1].

1.2 Ιστορική Αναδρομή

1.2.1 Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 1ης Γενιάς

Τα δίκτυα πρώτης γενιάς εμφανιστήκαν στις αρχές τις δεκαετίας του 80 και ήταν αναλογικά. Η πρώτη γενιά χρησιμοποιούσε τεχνικές αναλογικής μετάδοσης στις συχνότητες των 900MHz και την τεχνική πολυπλεξίας FDMA (Frequency Division Multiply Access) και υποστήριζε μόνο υπηρεσίες φωνής [05, 06].

Χαρακτηριστικά πρώτης γενιάς:

- Προβληματική υποστήριξη κινητικότητας χρηστών.
- Χαμηλή ποιότητα μετάδοσης φωνής.
- Έλλειψη ποικίλων υπηρεσιών.
- Χαμηλό επίπεδο ασφάλειας.
- Ογκώδης και βαριές συσκευές.

Τα κυριότερα συστήματα που αναπτύχθηκαν είναι:

- TACS (Total Access Communication System) το οποίο σχεδιάστηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1983.

- NMT (Nordic Mobile Telephone) το οποίο σχεδιάστηκε σε Φινλανδία, Σουηδία, Δανία και Νορβηγία το 1981.
- AMPS (Advanced Mobile Phone Service) το οποίο σχεδιάστηκε στην Αμερική το 1983.

1.2.2 Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 2^{ης} Γενιάς

Στην δεύτερη γενιά συστημάτων κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιείται η ψηφιακή μετάδοση σε αντίθεση με την αναλογική η οποία χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη γενιά συστημάτων [07, 08].

Η κύρια τεχνολογία στα δίκτυα δεύτερης γενιάς είναι το GSM (Global System for Mobile Communication) το οποίο χρησιμοποιεί συχνότητες των 900 MHz, 1800 MHz και 1900 MHz, επιπλέον η ψηφιακή τεχνολογία επιτρέπει την χρήση των τεχνικών TDMA (Time Division Multiply Access) και CDMA (Code Division Multiply Access) και έτσι ένα κανάλι διαιρείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλούς διαφορετικούς χρήστες [07, 08].

Τα συστήματα δεύτερης γενιάς έχουν ασφαλώς μεγαλύτερη χωρητικότητα και περισσότερες δυνατότητες έναντι των συστημάτων πρώτης γενιάς [07, 08].

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων έναντι των αναλογικών είναι:

- Ανοσία στον θόρυβο.
- Δυνατότητα κρυπτογράφησης για την ασφάλεια της μετάδοσης.
- Ευελιξία στην ανάπτυξη και επέκταση των δικτύων.
- Παρέχουν υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.

Τα κυριότερα συστήματα που αναπτυχθήκαν είναι:

- GSM (Global System for Mobile Communication) το οποίο αναπτύχθηκε το 1987 στην Ευρώπη.

- D-AMPS (Digital - AMPS) το οποίο αναπτύχθηκε σε Ηνωμένες Πολιτείες και Καναδά το 1990.
- PDC (Personal Digital Cellular) το οποίο αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία το 1991.

Από τα οποία το GSM είναι το πιο πετυχημένο και διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς [07, 08].

1.2.3 Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 2.5 Γενιάς

Η δυνατότητα υποστήριξης υπηρεσιών δεδομένων στα συστήματα 2ης γενιάς ήταν περιορισμένη και η ανάγκη παροχής υπηρεσιών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ώστε να μεταδίδονται εικόνες υψηλής ποιότητας και video πραγματικού χρόνου και η πρόσβαση στο διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες οδήγησαν στην σχεδίαση των συστημάτων 2.5ης γενιάς [09].

Τα συστήματα 2.5ης γενιάς στηρίζονται στα συστήματα 2ης γενιάς και προσφέρουν υπηρεσίες δεδομένων υψηλότερης ταχύτητας υποστηρίζοντας τεχνολογίες μεταγωγής πακέτου. Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η παροχή κινητικότητας IP, φέρνοντας τους χρήστες κινητών επικοινωνιών πιο κοντά στο διαδίκτυο [09].

Οι τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τα συστήματα 2.5ης γενιάς είναι:

- HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) το οποίο παρείχε ρυθμούς μετάδοσης ως 50kbps. Το βασικότερο μειονέκτημα του ήταν η χρήση μεταγωγής κυκλώματος. Αυτός ο τρόπος μεταγωγής είχε ως αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων του δικτύου [09].
- GPRS (General Packet Radio Service) το οποίο παρείχε ρυθμούς μετάδοσης ως 115kbps και χρησιμοποιούσε την τεχνολογία μεταγωγής πακέτου, επομένως δεσμεύει τους πόρους του δικτύου μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για αποστολή δεδομένων [09].

- EDGE (Enhanced Data for Global Evolution) το οποίο παρείχε ρυθμούς μετάδοσης ως 384kbps και η βασική διαφορά του από το GPRS είναι ότι χρησιμοποιούσε διαφορετικό τρόπο διαμόρφωσης (8-PSK) [09].

1.2.4 Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 3ης Γενιάς

Η επόμενη γενιά δικτύων που ακολουθεί είναι η γενιά 3G. Το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της γενιάς συστημάτων κινητής τηλεφωνίας είναι η υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων και οι ρυθμοί μετάδοσης φτάνουν μέχρι και τα 2Mbps. Με τον όρο εφαρμογές πολυμέσων αναφερόμαστε σε υπηρεσίες κατά τις οποίες υπάρχει συνδυασμός εικόνας, ήχου και κειμένου [10, 11].

Ο βασικός στόχος της ανάπτυξης των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς είναι η παροχή των κινητών υπηρεσιών οπουδήποτε και κάθε στιγμή. Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης κινητών δικτύων τρίτης γενιάς μπορεί να μετακινείται οπουδήποτε και να εξυπηρετείται ακόμα και σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κάλυψη από συστήματα τρίτης γενιάς, αλλά υπάρχουν άλλου είδους ασύρματα δίκτυα [10, 11].

Τα δίκτυα 3ης γενιάς βασίζονται κυρίως στην τεχνολογία WCDMA, η τεχνολογία αυτή μπορεί να παρέχει ασύρματες επικοινωνίες με υψηλό εύρος ζώνης ώστε να υποστηριχθούν υπηρεσίες Internet, Multimedia, Video και γενικά υπηρεσίες που είναι απαιτητικές ως προς το εύρος ζώνης [10, 11].

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της 3ης γενιάς είναι:

- Υποστήριξη ασύμμετρης και συμμετρικής κυκλοφορίας.
- Υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων και μεταγωγής κυκλώματος.
- Υποστήριξη παράλληλης εκτέλεσης εφαρμογών στο ίδιο τερματικό.
- «προς τα πίσω» συμβατότητα με συστήματα δεύτερης γενιάς.

Η εξέλιξη των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας 3ης γενιάς είναι τα συστήματα 3G+ ή 3.5G όπου γίνεται η εισαγωγή της τεχνολογίας HSPA (High Speed Packet Access). Με

την τεχνολογία αυτή οι πάροχοι των δικτύων είναι πλέον σε θέση να παράσχουν εμπορικές υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου υψηλών ταχυτήτων όπως πρόσβαση στο διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, ανάκτηση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με συνημμένα αρχεία, πρόσβαση σε ασύρματες υπηρεσίες ήχου και βίντεο, ανάκτηση εικόνων πολύ μεγάλης ανάλυσης [10].

Το HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις που πραγματοποιηθήκαν τόσο στον κατερχόμενο σύνδεσμο (downlink) μέσω του HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) όσο και στον ανερχόμενο σύνδεσμο (uplink) μέσω του HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). Το HSDPA υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης ως και 14.5Mbps και το HSUPA μέχρι και 5.8Mbps [10].

Η βασική ιδέα του HSPA είναι η προσθήκη ενός ευζωνικού καναλιού το οποίο θα είναι βελτιστοποιημένο για πολύ ψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Στο κανάλι αυτό έχουν ενσωματωθεί διάφορες τεχνικές που αποσκοπούν στην βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων του όσο αφορά το ρυθμό μετάδοσης [10].

1.2.4 Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 4^{ης} Γενιάς

Η αύξηση της χρήσης των κινητών δεδομένων και η εμφάνιση νέων εφαρμογών όπως online gaming, video/mp3 streaming, video telephony, video conference, mobile TV και πολλές άλλες εφαρμογές οδήγησαν στην εξέλιξη των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας και συγκεκριμένα στα συστήματα 4ης γενιάς τα οποία είναι ακόμα σε εξέλιξη.

Σε αυτήν την νέα γενιά συστημάτων οι χρήστες θα μπορούν να χρησιμοποιούν υπηρεσίες οι οποίες θα παρέχονται από τα διάφορα ασύρματα δίκτυα, δηλαδή τα 4G συστήματα δεν είναι μόνο τηλεπικοινωνιακού χαρακτήρα αλλά επίσης θα παρέχουν υπηρεσίες πολυμέσων και δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι τα συστήματα αυτά θα πρέπει να είναι σταθερά και να υπάρχει υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων [12, 13].

Στόχος της γενιάς αυτής είναι η ανάπτυξη συστημάτων πλήρως βασισμένα στην τεχνολογία IP. Αυτό πρόκειται να επιτευχθεί με την σύγκλιση ενσύρματων και ασύρματων τεχνολογιών και θα είναι δυνατόν να παρέχουν ταχύτητες μετάδοσης από

100 Mbit/s έως και 1 Gbit/s, με εξαιρετική ποιότητα και υψηλό επίπεδο ασφαλείας [12, 13].

Τα πλεονεκτήματα της 4G είναι κυρίως η αποδοτικότητα φάσματος του συστήματος, η υψηλή χωρητικότητα του δικτύου, η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών για την υποστήριξη των πολυμέσων της επόμενης γενιάς, η τεχνολογία μεταγωγής πακέτου [12, 13].

1G	Voice signal only Analogue cellular phones NMT, AMPS
2G	Voice and Data signals Digital fidelity cellular phone GSM,CDMA,TDMA
2.5G	Enhance 2G Higher data rates GPRS, EDGE
3G	Voice, Video and Data signals Video telephony/internet surfing 3G, W-CDMA, UMTS
4G	Enhance 3G High speed and IP Based Mobile IP

Πίνακας 1: Βασικές διαφορές 1G-4G.

Χαρακτηριστικά 4ης γενιάς:

- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.
- Υψηλή ποιότητα υπηρεσιών.
- Πανταχού κάλυψη υπηρεσιών.
- Βελτιωμένη συνδεσιμότητα.
- Συνεχής σύνδεση.

Τα κυριότερα συστήματα που αναπτύχθηκαν είναι το LTE (Long Term Evolution), με το οποίο θα ασχοληθούμε και στην συνέχεια της παρούσας διατριβής, το Mobile WiMAX και το UMB (Ultra-Mobile Broadband) με επικρατέστερο το LTE [12, 13].

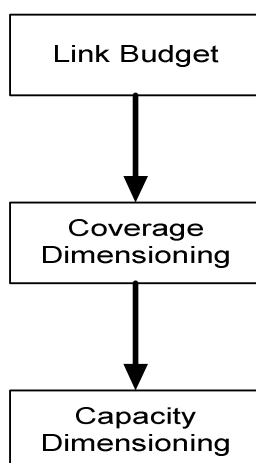
1.3 Διαστασιολόγηση LTE Δικτύου

Η διαστασιολόγηση ενός δικτύου, στοχεύει σε μια θεωρητική προσέγγιση των απαιτούμενων σταθμών βάσης για την κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην ομοιόμορφη κατανομή των συνδρομητών και την ομοιογενές μορφολογία.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας της διαστασιολόγησης βοηθούν στην διαδικασία του επιχειρηματικού σχεδιασμού (business plan) και στον προγραμματισμό του προϋπολογισμού (budget plan).

1.3.1 Διαδικασία Διαστασιολόγησης

Με βάση τα [16, 17] η διαδικασία διαστασιολόγησης ενός δικτύου LTE περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια/διαδικασίες: Link Budget, Coverage and Capacity dimensioning.



Διάγραμμα 2: Διαδικασία διαστασιολόγησης

Link Budget

Η διαδικασία Link Budget έχει σημαντική σημασία στην σχεδίαση ενός LTE δικτύου, μας βοηθάει στον υπολογισμό της μέγιστης εξασθένησης σήματος (signal attenuation),

δηλαδή την Μέγιστη Επιτρεπόμενη Απώλεια Διάδοσης (Maximum Allowable Path Loss). Η διαδικασία Link Budget πρέπει να υπολογίζεται και στην ζεύξη ανόδου (uplink) αλλά και στην ζεύξη καθόδου (downlink) [15, 16].

Για τον υπολογισμό της Μέγιστης Επιτρεπόμενης Απώλειας Διάδοσης λαμβάνονται υπόψη όλα τα κέρδη (Gain) και απώλειες (Losses) από το πομπό στο δέκτη όπου αυτά περιλαμβάνουν κέρδη πομπού και δέκτη, απώλειες ασύρματου μέσου, απώλειες ελεύθερου χώρου (Free Space Loss), fast fading και slow fading [15, 16].

Μια βασική εξίσωση υπολογισμού του Link Budget είναι:

$$Path_Loss_{dB} = P_{Tr,dB} + G_{Tr,dB} - L_{Tr,dB} - SINR_{dB} + G_{Rec,dB} - L_{Rec,dB} - N_{Rec,dB} \quad \text{όπου:}$$

$Path_Loss_{dB}$: Total Path Loss

$P_{Tr,dB}$: Transmitter Power (dBm)

$G_{Tr,dB}$: Transmitter Antenna Gain (dB)

$L_{Tr,dB}$: Transmitter Losses (dB)

$SINR_{dB}$: Signal to Interference plus Noise ration (dB)

$G_{Rec,dB}$: Receiver Antenna Gain (dB)

$L_{Rec,dB}$: Receiver Losses (dB)

$N_{Rec,dB}$: Receiver Noise (dBm)

Coverage Dimensioning

Η διαδικασία Κάλυψης Διαστασιολόγησης (Coverage Dimensioning/Estimation) ίσως είναι η πιο βασική διαδικασία στην διαστασιολόγηση ενός LTE δικτύου. Στην διαδικασία αυτή περιλαμβάνονται η διαδικασία Link Budget και η ανάλυση της κάλυψης των σταθμών βάσης (Coverage Analysis) [15, 16].

Η διαδικασία Coverage Dimensioning χρησιμοποιείται για να καθορίσει την περιοχή κάλυψης του κάθε σταθμού βάσης (Base Station). Δηλαδή η διαδικασία αυτή υπολογίζει την περιοχή όπου ένας σταθμός βάσης μπορεί να ανιχνευτεί από ένα χρήστη, υπολογίζει την μέγιστη έκταση που μπορεί να καλύψει ένας σταθμός βάσης. Ωστόσο ένας σταθμός βάσης μπορεί να ανιχνευθεί από τον δέκτη αλλά δεν είναι απαραίτητο ότι η σύνδεση (π.χ. μια τηλεφωνική κλήση) θα διεκπεραιωθεί μέσω του συγκεκριμένου σταθμού βάσης [15, 16].

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας Coverage Dimensioning είναι η εκτίμηση του αριθμού των σταθμών βάσης για την κάλυψη μιας συγκεκριμένης περιοχής.

Capacity Dimensioning

Το επόμενο στάδιο μετά την διαδικασία Coverage Dimensioning είναι η διαδικασία εκτίμησης της μέγιστης χωρητικότητας. Η διαδικασία αυτή δίνει μια εκτίμηση των πόρων που απαιτούνται για την υποστήριξη ενός συγκεκριμένου φορτίου με αποτέλεσμα μια καλή ποιότητα υπηρεσιών (π.χ. throughput, blocking probability). Ο αριθμός των σταθμών βάσης που εγκαθίστανται στο δίκτυο περιορίζουν και την χωρητικότητα του δικτύου.

Επίσης η αύξηση των παρεμβολών και του θορύβου από την αύξηση των χρηστών μειώνει την κάλυψη του σταθμού βάσης. Στα LTE δίκτυα ο κύριος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την χωρητικότητα ενός δικτύου είναι το SINR (Signal to Interference plus Noise ratio).

Κεφάλαιο 2

Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Αρχιτεκτονική Τεχνολογίας LTE

Στο κεφάλαιο το οποίο ακολουθεί παρουσιάζεται μια ανάλυση σε βάθος στο τρόπο λειτουργίας της τεχνολογίας LTE. Γίνονται αναφορές στα τεχνικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αυτής όπως τεχνικές διαμόρφωσης, εύρος ζώνης και συχνότητες οι οποίες χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία LTE. Επίσης παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός δικτύου LTE και περιγράφονται τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα δίκτυο LTE.

2.1 Εισαγωγή

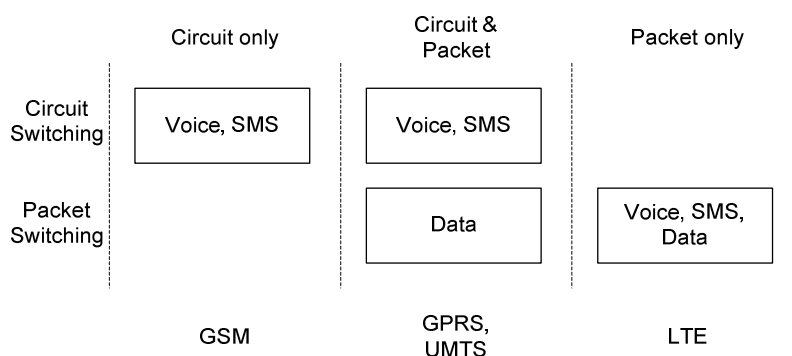
Η τεχνολογία LTE είναι το επόμενο βήμα στην εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών και ιδιαίτερα στο τομέα των κυψελοειδών δικτύων. Για την ανάπτυξη της τεχνολογίας LTE και των κυψελοειδών δικτύων, καθοριστικό ρόλο είχαν οι ανάγκες των καταναλωτών που μέσω των έξυπνων κινητών (Smartphone) αναζητούν ολοένα και πιο γρήγορες υπηρεσίες δεδομένων αλλά και οι νέες εφαρμογές οι οποίες υποστηρίζονται από τα έξυπνα κινητά χρειάζονται πιο υψηλές αλλά και πιο σταθερές ταχύτητες δεδομένων για καλύτερη εξυπηρέτηση του καταναλωτή.

Στόχος των συστημάτων LTE είναι η παροχή υψηλού ρυθμού δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και βελτιστοποιημένη τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης πακέτων η οποία στηρίζει την ανάπτυξη ενός ευέλικτου εύρους ζώνης. Θα χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει σε ποιότητα και αξία τις απαιτήσεις των εφαρμογών της τέταρτης γενιάς

που αναμένονται, όπως mobile TV, υπηρεσίες φωνής και δεδομένων οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή [13,17].

Το LTE ανεβάζει το πήχη ψηλά και θέτει φιλόδοξους στόχους προκειμένου να ξεπεράσει τους ρυθμούς μετάδοσης των 14.4Mbps και των 5.8Mbps που επιτυγχάνονται στο HSDPA και HSUPA αντίστοιχα, και να φτάσει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 300Mbps στο downlink και των 75Mbps στο uplink [13,17].

Η τεχνολογία LTE θέτει ως κυρίαρχο στόχο της, την απλοποίηση του υπάρχοντος δικτύου καθώς μεταμορφώνει το υβριδικό δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος και μεταγωγής πακέτου 3G σε ένα ομογενές IP επίπεδο σύστημα αρχιτεκτονικής. Το σύστημα LTE σχεδιάστηκε με στόχο την εξέλιξη της τεχνολογίας ράδιο-πρόσβασης έτσι ώστε όλες οι υπηρεσίες να στηρίζονται στην μεταγωγή πακέτων και όχι στην μεταγωγή κυκλώματος όπως τα προϋπάρχοντα κινητά δίκτυα [13].



Διάγραμμα 3: Εξέλιξη στο τρόπο μετάδοσης υπηρεσιών

Για την επίτευξη των πιο πάνω στόχων πολύ σημαντικό ρόλο παίζουν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται οι οποίες είναι η OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) και η MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) [13,14].

Τα συστήματα LTE όπως αναφέρθηκε πιο πάνω χρησιμοποιούν την τεχνολογία OFDM, συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η τεχνολογία OFDMA για την ζεύξη καθόδου (downlink) και η τεχνολογία SCFDMA για την ζεύξη ανόδου (uplink). Επίσης οι τεχνικές διαμόρφωσης (modulation) που χρησιμοποιούνται είναι QPSK, 16QAM και 64QAM στην ζεύξη καθόδου και ανόδου.

Η τεχνική διαμόρφωσης επιλέγεται με βάση το παράγοντα SINR, δηλαδή οι συνδρομητές που βρίσκονται μακριά από το eNodeB δηλαδή με χαμηλές τιμές SINR χρησιμοποιούν μια ισχυρή τεχνική διαμόρφωσης ενώ οι συνδρομητές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το eNodeB με υψηλές τιμές SINR χρησιμοποιούν πιο αδύνατες τεχνικές διαμόρφωσης.

Επίσης σημαντικό ρόλο στην τεχνολογία αυτή έχει η αρχιτεκτονική του δικτύου που όπως έχουμε προαναφέρει θα είναι βασισμένη σε μια απλοποιημένη αρχιτεκτονική 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). Οι προηγούμενες γενιές δικτύων 2G και 3G χρησιμοποιούσαν την τεχνολογία circuit switched για τις υπηρεσίες φωνής και την τεχνολογία packet switched για τις υπηρεσίες δεδομένων. Το EPC ενοποιεί φωνή και δεδομένα μέσω της αρχιτεκτονικής IP.

Χαρακτηριστικά LTE:

- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης.
- Χαμηλές καθυστερήσεις κατά την μεταφορά δεδομένων.
- Βελτιωμένη υποστήριξη στις κινητές συσκευές ακόμη και εν ώρα κίνησης τους.
- Απλούστερη αρχιτεκτονική δικτύου.
- Τεχνολογία μεταγωγής πακέτων.
- Δίκτυο αρχιτεκτονικής IP.

2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά LTE

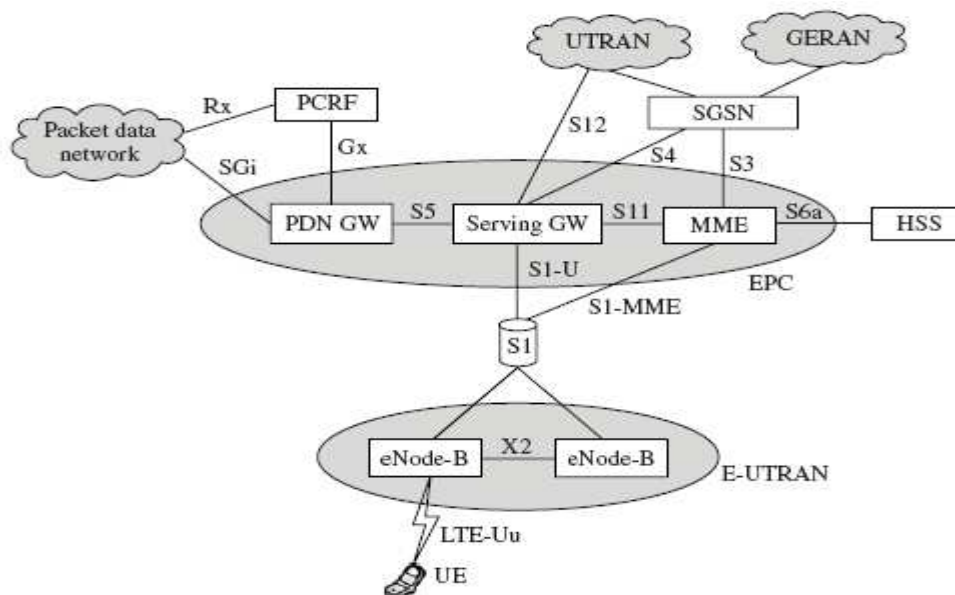
Το πρότυπο LTE έχει σχεδιαστεί ως ένα εντελώς νέο πρότυπο, το οποίο αλλάζει κυριολεκτικά την εξέλιξη των κυψελοειδών δικτύων. Παρακάτω ακολουθούν τεχνικά χαρακτηριστικά του προτύπου LTE.

- **Δίκτυο:** Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων το πρότυπο LTE όπως έχουμε προαναφέρει έχει σχεδιαστεί να υποστηρίζει την μεταγωγή πακέτων και όλες οι υπηρεσίες να υποστηρίζονται από την μεταγωγή πακέτων και όχι από την μεταγωγή κυκλώματος [18].
- **Ρυθμός δεδομένων και καθυστερήσεις:** Το πρότυπο LTE έχει ανεβάσει το πήχη ψηλά στους ρυθμούς δεδομένων της κατερχομένης και ανερχομένης ζεύξης και στοχεύει σε ρυθμούς δεδομένων της τάξης των 100Mbps και 50Mbps αντίστοιχα και σε καθυστερήσεις της τάξης των 100ms [18].
- **Απαιτήσεις απόδοσης:** Οι επιδόσεις του προτύπου LTE επηρεάζονται από την αποτελεσματικότητα του φάσματος, την κινητικότητα και την περιοχή κάλυψης της κυψέλης. Το πρότυπο LTE αυξάνει το μέσο ρυθμό δεδομένων ανά χρήστη στην κατερχομένη και ανερχομένη ζεύξη κατά 3 έως 4 φορές σε σχέση με το 3G. Επίσης το πρότυπο LTE είναι σε θέση να υποστηρίξει την μεταβίβαση (handover) κλήσης από μια κυψέλη σε άλλη με πολύ μικρές υποβαθμίσεις στην ποιότητα και αυτό πάντα εξαρτάται από την ταχύτητα την οποία κινείται το τερματικό [18].
- **Ευελιξία φάσματος:** Το πρότυπο LTE σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος φάσματος για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανά το παγκόσμιο και σε διαφορετικά είδη περιοχών. Για αυτό και το εύρος του καναλιού μπορεί να καθοριστεί από 1.4MHz έως 20MHz [18].

2.3 Αρχιτεκτονική LTE

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αρχιτεκτονική του LTE δικτύου και των διαφόρων στοιχείων που το απαρτίζουν. Το δίκτυο αποτελείται από το δίκτυο πρόσβασης (E-

UTRAN) το οποίο είναι ένα δίκτυο από eNodeBs και από το δίκτυο κορμού (EPC) το οποίο είναι υπεύθυνο για τον συνολικό έλεγχο των τερματικών και την ανάπτυξη των ράδιο φορέων.



Διάγραμμα 4: Αρχιτεκτονική δικτύου LTE [18].

Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά τα στοιχεία από τα οποία απαρτίζεται το δίκτυο LTE:

- **UE (User Equipment):** Είναι ένα τερματικό, είναι η συσκευή η οποία χρησιμοποιείται από τον χρήστη [18].
- **eNodeB:** Είναι το μόνο φυσικό στοιχείο στο δίκτυο πρόσβασης (E-UTRAN). Είναι ένας σταθμός βάσης και είναι το πρώτο στοιχείο επικοινωνίας του τερματικού με το δίκτυο [18].
- **Mobility Management Entity (MME):** Είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο πρόσβασης στο δίκτυο, την επικύρωση και την παρακολούθηση της κατάστασης κάποιου τερματικού. Επίσης είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των ράδιο φορέων και την επιλογή του SGW (Serving GW) [18].
- **Serving Gateway (Serving GW):** Η πύλη εξυπηρέτησης είναι υπεύθυνη για την δρομολόγηση των πακέτων μεταξύ E-UTRAN και EPC [18].

- **Packet Data Network Gateway (PDN GW):** Το PDN GW δρομολογεί τα πακέτα μεταξύ του δικτύου κορμού (EPC) και των εξωτερικών δικτύων. Επίσης διαθέτει τις IPs στα τερματικά και ένα τερματικό μπορεί να είναι ταυτόχρονα συνδεδεμένο με περισσότερες από μια PDN GW [18].
- **S1 Interface:** Είναι η διεπαφή η οποία χωρίζει το δίκτυο πρόσβασης (E-UTRAN) και το δίκτυο κορμού (EPC). Αποτελείται από 2 μέρη, το S1-U το οποίο μεταφέρει δεδομένα μεταξύ eNodeB και Serving GW και το δεύτερο μέρος S1-MME η οποία είναι επαφή σηματοδοσίας μεταξύ eNodeB και MME [18].
- **X2 Interface:** Είναι η διεπαφή μεταξύ των eNodeB και αποτελείται από το τμήμα X2-C το οποίο αποσκοπεί στον έλεγχο μεταξύ eNodeB και BS και το X2-U όπου είναι η διεπαφή χρήστη μεταξύ eNodeB και BS [18].

2.4 Τεχνολογίες Πρόσβασης και Διαμόρφωσης Σήματος

Ένα από τα βασικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του προτύπου LTE είναι η τεχνολογία πρόσβασης OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) και συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η τεχνολογία OFDMA στην ζεύξη καθόδου και η τεχνολογία SC-FDMA στην ζεύξη ανόδου λόγω ότι υπήρχαν διαφορετικές απαιτήσεις μεταξύ των δύο κατευθύνσεων. Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιλέχθηκε γιατί μέσω αυτής, ένα υψηλό εύρος δεδομένων μεταδίδεται πιο αποτελεσματικά γιατί παρέχει μεγάλο βαθμό ανθεκτικότητας σε παρεμβολές και πολυδιαδρομικές διαλείψεις (multipath fading).

Η βασική ιδέα της διαμόρφωσης OFDM είναι η διαίρεση του ευρυζωνικού (wideband) σήματος που πρόκειται να μεταδοθεί σε μεγάλο αριθμό παράλληλων σημάτων στενής ζώνης (narrowband). Στην διαμόρφωση OFDM τα δεδομένα που πρόκειται να μεταδοθούν διοχετεύονται παράλληλα στα υπό-κανάλια, με χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολλά ισοδύναμα συστήματα τα οποία μεταδίδουν ταυτόχρονα το καθένα ένα μικρό μέρος της πληροφορίας, με αργό ρυθμό

μετάδοσης, ώστε το καθένα να είναι σήμα στενής ζώνης ενώ ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης παραμένει σταθερός [19].

Πλεονεκτήματα διαμόρφωσης OFDM:

- Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης διαμόρφωσης είναι η **χαμηλή εξασθένιση σήματος** και αυτό επιτυγχάνεται όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω με την διαίρεση του καναλιού σε πολλαπλά σήματα στενής ζώνης.
- **Ανθεκτικότητα στις παρεμβολές:** Μπορεί να επηρεαστεί ένα υπό-κανάλι από παρεμβολές έτσι δεν θα χαθούν όλα τα δεδομένα.
- **Πολύ ανθεκτική στις μεταξύ συμβόλων και μεταξύ πλαισίων παρεμβολές** (Inter-symbol, Inter-frame Interference).

Μια άλλη βασική παράμετρος η οποία σχετίζεται άμεσα με την τεχνολογία πρόσβασης OFDM στο πρότυπο LTE είναι η επιλογή του εύρους ζώνης (Bandwidth). Το εύρος ζώνης επηρεάζει διάφορους παράγοντες όπως τον αριθμό των φερόντων (carriers) σε ένα σήμα OFDM και το μήκος του συμβόλου. Προφανώς όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης τόσο μεγαλύτερη είναι και η χωρητικότητα του καναλιού. Το πρότυπο LTE υποστηρίζει 6 διαφορετικά εύρη καναλιού 1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz και 20MHz [20].

Επίσης όπως έχουμε αναφέρει στην ζεύξη καθόδου χρησιμοποιείται μια παραλλαγή της τεχνολογίας πρόσβασης OFDM. Στην ζεύξη καθόδου χρησιμοποιείται η τεχνολογία πρόσβασης SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Μια από της βασικές παραμέτρους που επηρεάζει όλα τα κινητά είναι διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ακόμη και αν η απόδοση στις μπαταρίες των κινητών έχει βελτιωθεί, πρέπει να διασφαλιστεί ότι κατά την λειτουργία τους, τα κινητά τηλέφωνα πρέπει να χρησιμοποιούν όσο το δυνατόν λιγότερη μπαταρία. Έτσι με βάση τον ενισχυτή ισχύος RF που μεταδίδει το σήμα ραδιοσυχνότητας μέσω της κεραίας του σταθμού βάσης να είναι το υψηλότερο σημείο ρεύματος εντός του κινητού σταθμού, είναι αναγκαίο να λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά. Αυτό μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από τη μορφή της διαμόρφωσης ραδιοσυχνοτήτων και τη μορφή του σήματος. Σήματα που έχουν υψηλή κορυφή προς μέση αναλογία και απαιτούν γραμμική ενίσχυση δεν

προσφέρονται για τη χρήση αποτελεσματικών ενισχυτών ισχύος RF. Άρα είναι αναγκαίο να χρησιμοποιείται ένας τρόπος μετάδοσης που έχει ως αποτέλεσμα ένα σταθερό επίπεδο ισχύος κατά τη λειτουργία. Δυστυχώς, η τεχνολογία πρόσβασης OFDM έχει υψηλή κορυφή προς μέση αναλογία. Ενώ αυτό δεν είναι ένα πρόβλημα για τον σταθμό βάσης όπου η δύναμη δεν είναι ένα ιδιαίτερο πρόβλημα, είναι απαράδεκτο για το κινητό. Ως αποτέλεσμα, το πρότυπο LTE να χρησιμοποιεί την τεχνολογία πρόσβασης SC-FDMA. Η τεχνολογία πρόσβασης SC-FDMA συνδυάζει την χαμηλή τυπική απόκλιση σήματος συστημάτων ενός φέροντος με την ανθεκτικότητα σε παρεμβολές πολυδιαδρομικής διάδοσης και ελαστικότητας στην ανάθεση συχνοτήτων στους subcarriers που παρέχεται από την διαμόρφωση OFDM [20].

Στην ζεύξη καθόδου έχει επιλεγεί μια άλλη τεχνολογία πρόσβασης σε σχέση με την ζεύξη ανόδου, η τεχνολογία OFDMA. Το OFDM σήμα το οποίο χρησιμοποιείται στο πρότυπο LTE περιλαμβάνει το μέγιστο 2048 υπό-φέροντα των 15KHz. Αν και τα κινητά είναι υποχρεωτικά να έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν και τα 2048, οι σταθμοί βάσης είναι σε θέση να υποστηρίζουν την μετάδοση 72 υπό-φερόντων σημάτων. Έτσι με το τρόπο αυτό όλα τα κινητά είναι σε θέση να επικοινωνήσουν με οποιονδήποτε σταθμό βάσης [20].

Στην ζεύξη καθόδου το πρότυπο LTE υποστηρίζεται από τρεις τεχνικές διαμόρφωσης σήματος:

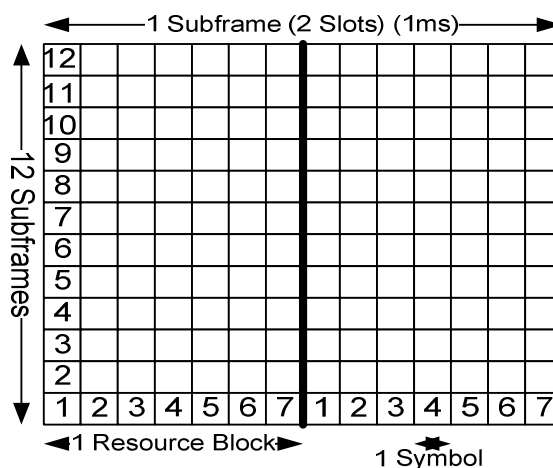
- QPSK or 4QAM (2 bits per symbol)
- 16QAM (4 bits per symbol)
- 64QAM (6 bits per symbol)

Η τεχνική διαμόρφωσης επιλέγεται ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Οι χαμηλές μορφές διαμόρφωσης όπως QPSK δεν απαιτούν τόσο μεγάλο λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR), αλλά δεν είναι σε θέση να στείλουν τα δεδομένα τόσο γρήγορα. Μόνο όταν υπάρχει ένας επαρκής λόγος σήματος προς θόρυβο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μεγαλύτερη μορφή διαμόρφωσης.

Επιπλέον στην ζεύξη καθόδου τα υπό-φέροντα (sub-carriers) σήματα χωρίζονται σε μπλοκ πόρων (resource blocks). Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να κατακερματίσει τα δεδομένα σε καθορισμένους αριθμούς των υπό-φερόντων. Το εύρος ζώνης ενός μπλοκ πόρων είναι 180KHz και περιλαμβάνει 12 υπό-φέροντα των 15KHz, ανεξάρτητα από το συνολικό εύρος ζώνης του σήματος. Καλύπτουν επίσης μια υποδοχή στο χρονικό πλαίσιο. Αυτό σημαίνει ότι τα διαφορετικά εύρη ζώνης του σήματος θα έχουν διαφορετικούς αριθμούς μπλοκ πόρων [20].

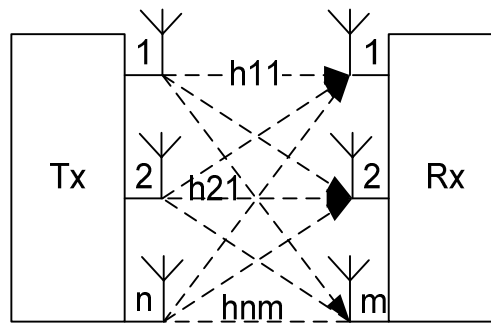
Channel Bandwidth (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Number of resource blocks	6	15	25	50	75	100

Πίνακας 2: Resource Blocks



Διάγραμμα 5: Resource Blocks.

Επιπλέον μια άλλη καινοτόμα τεχνική η οποία χρησιμοποιήθηκε για την βελτίωση της απόδοσης του προτύπου LTE είναι η τεχνική MIMO (Multiple Input Multiple Output). Αν και η τεχνική MIMO παρέχει κάποιου είδους πολυπλοκότητα στο πρότυπο λόγω του αριθμού των κεραιών που απαιτούνται και της επεξεργασίας του σήματος, έχει επιλεγεί για το λόγω ότι επιτρέπει την μετάδοση πολύ υψηλών ρυθμών δεδομένων σε συνδυασμό με πολύ βελτιωμένη φασματική απόδοση.



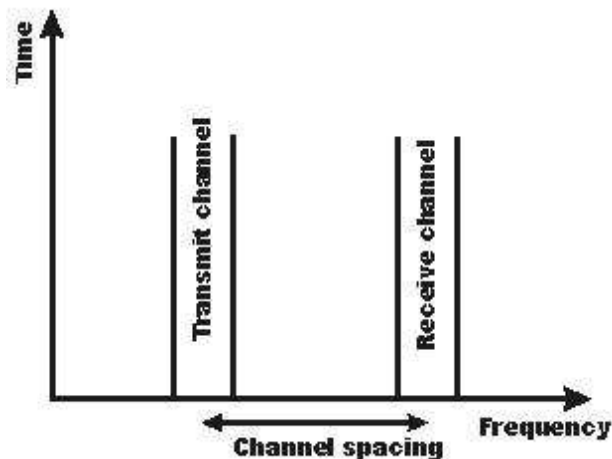
Διάγραμμα 6: Τεχνική MIMO.

Η βασική ιδέα της τεχνικής MIMO χρησιμοποιεί τις πολλαπλές διαδρομές από την μετάδοση κάποιου σήματος που αυτό συναντιέται σε όλες τις επίγειες επικοινωνίες. Αυτές οι διαδρομές αντί να δημιουργούν παρεμβολές στη μετάδοση ενός σήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πλεονέκτημα. Όταν πομπός και ο δέκτης έχουν περισσότερες από μία κεραίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την επεξεργαστική διαθέσιμη ισχύ σε κάθε άκρο της σύνδεσης και είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν τις διαφορετικές διαδρομές που υπάρχουν μεταξύ πομπού και δέκτη και να βελτιώσουν την ταχύτητα δεδομένων [20].

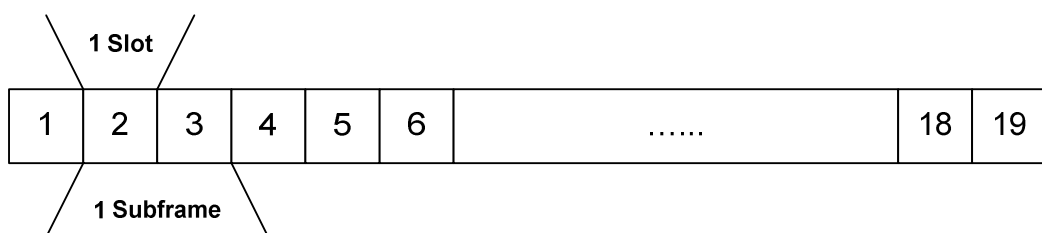
Επίσης για ένα σύστημα τηλεπικοινωνιών είναι πολύ σημαντικό οι χρήστες του συστήματος να είναι σε θέση να επικοινωνούν και στις δύο κατευθύνσεις, δηλαδή να είναι ένα σύστημα αμφίδρομης όψης (Duplex Schemes). Ένα τέτοιο σύστημα παρέχει ένα είδος οργάνωσης μεταξύ του πομπού και του δέκτη έτσι ώστε να μπορούν να λάβουν και να μεταδώσουν πληροφορία ταυτόχρονα. Για να επιτευχθεί αυτό υπάρχουν διάφορες τεχνικές οι οποίες επιτρέπουν στους χρήστες να μοιράζονται τους διαθέσιμους πόρους του συστήματος τόσο στο πεδίο του χρόνου, όσο και στο πεδίο της συχνότητας. Οι τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στο πρότυπο LTE για το σκοπό αυτό είναι η τεχνική TDD (Time Division Duplex) και η τεχνική FDD (Frequency Division Duplex) [20].

Η βασική ιδέα για την τεχνική FDD (Frequency Division Duplex) είναι ότι η μετάδοση και η λήψη επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές συχνότητες. Με την τεχνική αυτή ο πομπός και ο δέκτης είναι σε θέση να λαμβάνουν και να μεταδίδουν πληροφορία ταυτόχρονα αλλά να μην είναι συντονισμένοι στην ίδια συχνότητα. Επίσης για να επιτευχθεί αυτό πρέπει μεταξύ των δύο συχνοτήτων να υπάρχει ένα κανάλι

διαχωρισμού το οποίο να είναι επαρκές έτσι ώστε να μην επηρεάζονται τα δύο σήματα. Η δομή ενός πλαισίου (Frame) FDD όπως φαίνεται και στο επόμενο διάγραμμα αποτελείται από 20 σχισμές (slots) των 0.5ms, οι οποίες αποτελούν 10 υπό-πλαίσια των δύο σχισμών [20].



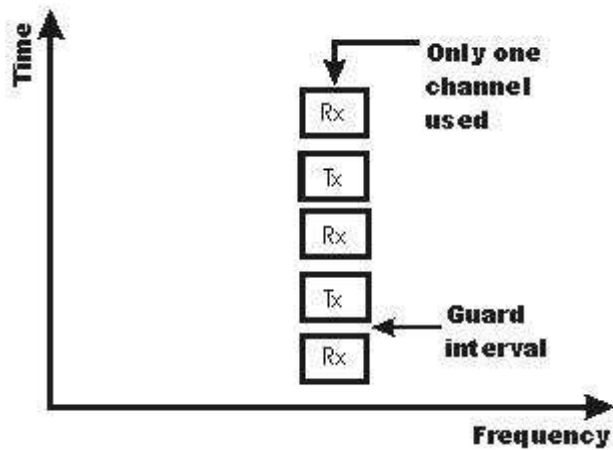
Διάγραμμα 7: Frequency Division Duplex.



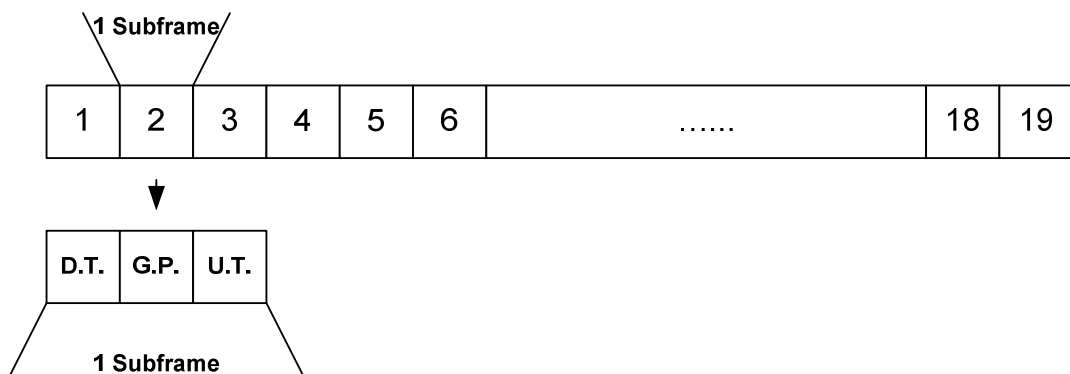
Διάγραμμα 8: Δομή πλαισίου FDD LTE.

Η τεχνική TDD (Time Division Duplex) χρησιμοποιεί μόνο μια συχνότητα αλλά διαχωρίζει το κανάλι με βάση το χρόνο. Δηλαδή μεταδίδεται ένας όγκος δεδομένων ανά κάθε χρονική σχισμή, μεταξύ κάθε χρονικής σχισμής υπάρχει κάποιο χρονικό περιθώριο διαχωρισμού έτσι ώστε να μην επηρεάζονται τα δύο σήματα.

Η δομή ενός πλαισίου (Frame) TDD όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 8, αποτελείται από 10 υπό-πλαίσια του 1ms και κάθε υπό-πλαίσιο αποτελείται από 3 σχισμές οι οποίες καθορίζουν το χρόνο καθόδου (Downlink time), το περιθώριο διαχωρισμού (Guard period) και το χρόνο ανόδου (Uplink time) [20].



Διάγραμμα 9: Time Division Duplex.



Διάγραμμα 10: Δομή πλαισίου TDD LTE.

Η βασική διαφορά στο τρόπο χρήσης των δύο τεχνικών είναι ότι τα συστήματα TDD χρησιμοποιούνται συχνά σε σενάρια όπου απαιτούνται μικρές αποστάσεις, με τη δυνατότητα της μη ισορροπημένης κυκλοφορίας δεδομένων και τα συστήματα FDD είναι καλύτερα σε μεγαλύτερες αποστάσεις και όπου η κυκλοφορία είναι ισορροπημένη, δηλαδή παρόμοια και στις δύο κατευθύνσεις [20].

Βασικές διαφορές μεταξύ των δυο συστημάτων:

- Η τεχνική TDD χρησιμοποιεί μόνο μια συχνότητα για αποστολή και λήψη δεδομένων σε σχέση με την τεχνική FDD η οποία χρησιμοποιεί δύο συχνότητες. Έτσι η απόδοση φάσματος στην τεχνική FDD ίσως να μην είναι τόσο αποτελεσματική.

- Η τεχνική TDD είναι πιο αποτελεσματική σε κοντινές αποστάσεις σε σχέση με την τεχνική FDD η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε κοντινές αποστάσεις όσο και στις μακρινές αποστάσεις.
- Στην τεχνική TDD μπορεί να παρουσιαστεί κάποια καθυστέρηση λόγω της πολυπλεξίας ενώ στην τεχνική FDD δεν παρουσιάζονται καθυστερήσεις.
- Η τεχνική TDD απαιτεί πιο χαμηλό κόστος γιατί δεν απαιτεί επιπλέον συστήματα για την απομόνωση πομπού και δέκτη, σε σχέση με την τεχνική FDD η οποία απαιτεί την χρήση επιπλέον φίλτρων.

Γενικές Παράμετροι προτύπου LTE	
Ταχύτητα ζεύξης καθόδου Modulation 64QAM	100Mbps (SISO), 172Mbps (2x2 MIMO), 326Mbps (4x4 MIMO)
Ταχύτητα ζεύξης ανόδου	50Mbps (QPSK), 57Mbps (16QAM), 86Mbps (64QAM)
Τρόπος μετάδοσης δεδομένων	Μεταγωγής πακέτου (δεδομένα και φωνή)
Εύρη καναλιών	1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz και 20MHz.
Duplex schemes	FDD TDD
Τεχνολογίες πρόσβασης	OFDMA (Downlink) SC-FDMA (Uplink)
Υποστηριζόμενες τεχνικές διαμόρφωσης	QPSK (4QAM), 16QAM, 64QAM

Πίνακας 3: Γενικές παράμετροι προτύπου LTE

Κεφάλαιο 3

Διαστασιολόγηση LTE Δικτύου και Τεχνοοικονομική Μελέτη

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση, βήμα προς βήμα, στο τρόπο διαστασιολόγησης ενός LTE δικτύου. Περιγράφονται τα βήματα και οι σχέσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για να υλοποιηθεί το εργαλείο διαστασιολόγησης. Γίνεται λεπτομερής αναφορά στο τρόπο υπολογισμού του προϋπολογισμού ζεύξης ανόδου και καθόδου (Downlink and Uplink Link Budgets), καθώς και του υπολογισμού της διαστασιολόγησης κάλυψης και χωρητικότητας (Coverage and Capacity Dimensioning).

3.1 Εισαγωγή

Όπως προαναφέρθηκε ο σκοπός της διαδικασίας διαστασιολόγησης ενός δικτύου είναι η θεωρητική προσέγγιση των απαιτούμενων σταθμών βάσης για την κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής, η οποία αποτελείται από τις παρακάτω 3 σημαντικές διεργασίες:

- Προϋπολογισμός Ζεύξης (Link Budget)
- Διαστασιολόγηση Κάλυψης (Coverage Dimensioning)
- Διαστασιολόγηση Χωρητικότητας (Capacity Dimensioning)

Οπού η κάλυψη του συστήματος σχετίζεται με την περιοχή στην οποία μπορεί να καλύψει το σύστημα και να έχει μια επαρκή ισχύ σήματος για την διεκπεραίωση μιας

κλήσης με την απαιτούμενη ποιότητα κλήσης. Η χωρητικότητα του συστήματος σχετίζεται με την ικανότητα του συστήματος να υποστηρίξει ένα δεδομένο αριθμό χρηστών και η ποιότητα του συστήματος σχετίζεται με την ικανότητα του να είναι σε θέση να παρέχει επαρκώς τις επιθυμητές υπηρεσίες. Οι πιο πάνω ποσότητες είναι αλληλένδετες μεταξύ τους κατά την διαδικασία του σχεδιασμού και διαστασιολόγησης ενός LTE δικτύου.

3.2 Προϋπολογισμός Ζεύξης (Link Budget)

Η διαδικασία Link Budget αποσκοπεί στον υπολογισμό της μέγιστης εξασθένησης σήματος (signal attenuation), δηλαδή την Μέγιστη Επιτρεπόμενη Απώλεια Διάδοσης (Maximum Allowable Path Loss). Είναι το ισοζύγιο των κερδών και των απωλειών σήματος από την εκπομπή προς την λήψη. Η διαδικασία Link Budget πρέπει να υπολογίζεται στην ζεύξη ανόδου (uplink) δηλαδή από το τερματικό του χρήστη προς τον σταθμό βάσης αλλά και στην ζεύξη καθόδου (downlink) δηλαδή από το σταθμό βάσης προς το τερματικό του χρήστη [16,17].

Η πιο πάνω διαδικασία υλοποιείται και στις δύο ζεύξης, ανόδου και καθόδου, για τον απλό λόγο ότι λαμβάνονται υπόψη διαφορετικά χαρακτηριστικά προς την κάθε ζεύξη. Για παράδειγμα η ισχύς μετάδοσης ενός σήματος ενός τερματικού είναι μικρότερη από αυτήν του σταθμού βάσης, επίσης η ευαισθησία του δέκτη ενός σταθμού βάσης είναι καλύτερη από την ευαισθησία του δεκτή ενός τερματικού.

Για τον υπολογισμό της Μέγιστης Επιτρεπόμενης Απώλειας Διάδοσης λαμβάνονται υπόψη όλα τα κέρδη (Gain) και απώλειες (Losses) από το πομπό στο δέκτη όπου αυτά περιλαμβάνουν κέρδη πομπού και δέκτη, απώλειες ασύρματου μέσου, απώλειες ελεύθερου χώρου (Free Space Loss), fast fading και slow fading [16,17].

Προϋπολογισμός Ζεύξης Καθόδου (Downlink Link Budget)

Ο Προϋπολογισμός Ζεύξης Καθόδου υπολογίζεται από την παρακάτω φόρμουλα:

$$L_{p\max} = EIRP_{DL} - S_{UE} - LNF - IM_{DL} - L_{pen} - L_{bodyloss} + G_{EU_Antenna} \quad \text{όπου}$$

$L_{p_{max}}$: Downlink Link Budget (dB)

$EIRP$: Equivalent Isotropic Radiated Power (dB)

S_{UE} : User Equipment Sensitivity (dB)

LNF : Log-Normal Fading Margin (dB)

IM : Interference Margin (dB)

L_{pen} : Penetration loss (dB)

$L_{bodyloss}$: Body-loss (dB)

$G_{EU_Antenna}$: Gain Antenna (dBi)

Η Ενεργός Ισοτροπικά Ακτινοβολούμενη Ισχύς προσδιορίζεται αφαιρώντας τις απώλειες και προσθέτοντας τα κέρδη στο πομπό ενός καναλιού.

$$EIRP_{DL} = P_{eNB_Tx} - L_{eNB-feeders} - L_{eNB-jumpers} - L_{eNB-connectors} + G_{antennas}$$

Με τον όρο User Equipment Sensitivity προσδιορίζουμε το ελάχιστο επίπεδο σήματος στο οποίο μπορεί ακόμη να μεταδοθεί το σήμα με επιτυχία.

$$S_{UE} = N_i + SINR + F_{noise} + 10 \log B \text{ όπου,}$$

N_i : Thermal noise power (dB)

$SINR$: Signal to Interference and Noise Ration (dB)

F_{noise} : Receiver noise figure (dB)

B : Bandwidth

Η παράμετρος Log-Normal Fading Margin αναφέρεται στις απώλειες οι οποίες προκύπτουν λόγω των διαλείψεων και της σκίασης ενός σήματος ανάλογα με το είδος της περιοχής. Οι αγροτικές περιοχές και τα προάστια ή γενικά οι περιοχές οι οποίες δεν είναι πυκνό-κατοικημένες έχουν μικρότερες απώλειες σήματος και αυτό φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα που παρουσιάζει τυπικές τιμές.

Είδος Περιοχής	Log-Normal Fading Margin
Αγροτικές περιοχές και Προάστια	6dB
Εσωτερικοί χώροι Προαστίων	10dB
Εσωτερικοί χώροι Αστικών Περιοχών	12dB
Πυκνό-κατοικημένες Αστικές Περιοχές	6dB

Πίνακας 4: Παράμετρος Log-Normal Fading Margin

Επιπλέον απώλειες σχετικές με τα κτήρια είναι και οι απώλειες οι οποίες εμφανίζονται όταν ο δέκτης βρίσκεται στο εσωτερικό των κτηρίων και οφείλονται στους τοίχους τους οποίους πρέπει να διαπεράσει το σήμα για να φτάσει στο δέκτη. Οι απώλειες αυτές είναι της τάξης των 20-25dB και καθορίζονται από τον όρο Penetration Loss.

Επίσης απώλειες στο σήμα της τάξης των 0-3dB προκαλεί και το ανθρώπινο σώμα λόγω της θέσης του ως προς το πομπό. Αυτές καθορίζονται στην πιο πάνω φόρμουλα με το όρο Body-loss.

Ο όρος Interference Margin δηλώνει τις απώλειες οι οποίες προκαλούνται λόγω της κυκλοφορίας στο σύστημα δηλαδή από παρεμβολές από άλλους χρήστες του συστήματος, οι οποίες κυμαίνονται στις τάξεις των 1-4.2dB.

Το κέρδος μιας κεραίας (Gain), το οποίο είναι και μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους στην φόρμουλα προϋπολογισμού ζεύξης καθόδου, υποδηλώνει την ικανότητα μιας κεραίας να εκπέμπει το σήμα της προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Υπολογισμός Link Budget ζεύξης ανόδου (Uplink Link Budget)

Όπως έχουμε αναφέρει η διαδικασία του προϋπολογισμού ζεύξης πρέπει να υλοποιείται και προς τις δυο ζεύξεις λόγω του ότι λαμβάνονται υπόψη διαφορετικά χαρακτηριστικά προς την κάθε ζεύξη. Η παρακάτω φόρμουλα υπολογίζει το προϋπολογισμό ζεύξης στην ζεύξη ανόδου.

$$L_{p \max} = EIRP_{UP} - S_{eNB} - LNF - IM_{UP} - L_{pen} - L_{bodyloss} + G_{eNB_Antenna} + G_{eNB-TMA} \text{ όπου}$$

$L_{p \max}$: Uplink Link Budget (dB)

$EIRP$: Equivalent Isotropic Radiated Power (dB)

S_{eNB} : eNodeB Sensitive (dB)

LNF : Log-Normal Fading Margin (dB)

IM : Interference Margin (dB)

L_{pen} : Penetration loss (dB)

$L_{bodyloss}$: Body-loss (dB)

$G_{eNB_Antenna}$: Gain eNodeB Antennas (dBi)

$G_{eNB-TMA}$: Gain eNodeB Tower Mount Amplifier

Οι πιο πάνω παράμετροι αναφέρονται και στο προϋπολογισμό ζεύξης καθόδου με μόνη διαφορά τον ενισχυτή Tower Mount Amplifier, ο οποίος εφαρμόζεται σε μια κεραία για να βελτίωση το επίπεδο του λαμβανόμενου σήματος στο σταθμό βάσης.

Επίσης για τον υπολογισμό της Ενεργού Ισοτροπικά Ακτινοβολούμενης Ισχύς λαμβάνονται υπόψη διαφορετικές απώλειες όπως φαίνεται και στη πιο κάτω σχέση.

$$EIRP_{UP} = P_{UE,tx} + G_a - L_{Bodyloss} \text{ όπου}$$

$P_{UE,tx}$: Power of User Equipment

G_a : Antenna Gain

$L_{Bodyloss}$: Body Loss

Για τον υπολογισμό της ευαισθησίας στο σταθμό βάσης (eNodeB Sensitivity) όλες οι παράμετροι είναι οι ίδιες με τον υπολογισμό ευαισθησίας του τερματικού (User Equipment Sensitivity) με την μόνη διαφορά στην τιμή της παραμέτρου SINR όπου υπολογίζεται με βάση διαφορετικά δεδομένα.

$$S_{eNodeB} = N_t + SINR + F_{noise} + 10 \log B \text{ όπου,}$$

N_t : Thermal noise power (dB)

$SINR$: Signal to Interference and Noise Ration (dB)

F_{noise} : Receiver noise figure (dB)

B : Bandwidth

3.3 Διαστασιολόγηση Κάλυψης (Coverage Dimensioning)

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας του προϋπολογισμού ζεύξης σειρά έχει η διαδικασία Διαστασιολόγηση Κάλυψης (Coverage Dimensioning), η οποία καθορίζει την περιοχή κάλυψης του κάθε σταθμού βάσης (Base Station/eNodeB). Δηλαδή η διαδικασία αυτή υπολογίζει την περιοχή όπου ένας σταθμός βάσης μπορεί να ανιχνευτεί από ένα χρήστη, υπολογίζει την μέγιστη έκταση που μπορεί να καλύψει ένας σταθμός βάσης. Ωστόσο ένας σταθμός βάσης μπορεί να ανιχνευθεί από τον δέκτη αλλά δεν είναι απαραίτητο ότι η σύνδεση (π.χ. μια τηλεφωνική κλήση) θα διεκπεραιωθεί μέσω του συγκεκριμένου σταθμού βάσης.

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας Coverage Dimensioning είναι η εκτίμηση του αριθμού των σταθμών βάσης για την κάλυψη μιας συγκεκριμένης περιοχής. Για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διαδικασίας χρειάζεται επίσης ο υπολογισμός της ακτίνας κάθε κελιού ο οποίος υπολογίζεται μέσω της παρακάτω σχέσης με την βοήθεια του μοντέλου Cost231 με την παρακάτω σχέση [21].

$$\log_{10}(d) = \frac{L_{p_{max}} - 46.3 - 33.91 \log_{10}(f) + 13.82 \log_{10}(h_b) + ah_m - C_m}{(44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b))} \quad \text{όπου:}$$

$L_{p_{max}}$: Maximum Allowable Path Loss (dB)

f : Frequency (MHz)

h_b : Base Station Height (m)

ah_m : Mobile Station Antenna height correction factor

d : Cell Radius (Km)

C_m : Correction Factor

Στην συνέχεια μετά και την ολοκλήρωση του υπολογισμού της ακτίνας κελιού μπορούμε να υπολογίσουμε την περιοχή κάλυψης κάθε κελιού με βάση την ακόλουθη σχέση.

$$A_{cell} = k \times d^2 \text{ όπου}$$

A_{cell} : Cell Area

k : K-factor όπου δίνονται ενδεικτικές τιμές στο πίνακα 5.

Site configuration	Omni or no sector	Two sectors	Three sectors	Four sectors
Value of k	2.6	1.3	1.95	2.6

Πίνακας 5: Ενδεικτικές τιμές k-factor

Έτσι εύκολα μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των σταθμών βάσης για την κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής.

$$A_{site} = A_{cell} \times S \text{ όπου}$$

S : Sector number

$$N_{eNB} = A / A_{site} \text{ όπου}$$

A : Total Area to Cover

3.4 Διαστασιολόγηση Χωρητικότητας (Capacity Dimensioning)

Το τρίτο στάδιο στην διαδικασία της διαστασιολόγησης είναι η διαδικασία Διαστασιολόγησης Χωρητικότητας (Capacity Dimensioning). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η διαδικασία αυτή δίνει μια εκτίμηση των πόρων που απαιτούνται για την υποστήριξη ενός συγκεκριμένου φορτίου με αποτέλεσμα μια καλή ποιότητα

υπηρεσιών (π.χ. throughput, blocking probability). Ο αριθμός των σταθμών βάσης που εγκαθίστανται στο δίκτυο περιορίζουν και την χωρητικότητα του δικτύου. Επίσης η αύξηση των παρεμβολών και του θορύβου από την αύξηση των χρηστών μειώνει την κάλυψη του σταθμού βάσης.

Το πρώτο βήμα στην διαδικασία της Διαστασιολόγησης Χωρητικότητας είναι ο υπολογισμός των χρηστών του συστήματος, οποίος μπορεί να υπολογισθεί με την ακόλουθη φόρμουλα.

$$U_n = U_o(1 + gf)^n \text{ όπου:}$$

U_n : Number of users in 'n' years

U_o : Initial number of users (based on urban/sub-urban area) όπου για σκοπούς απλοποίησης του εργαλείου ο υπολογισμός των χρηστών γίνεται μόνο για μια κατηγορία (Urban or Sub-urban), δεν γίνεται συνδυασμός.

n : Planned years

gf : Number of user growth factor

Στην συνέχεια, με βάση την ακόλουθη σχέση μπορούμε να υπολογίσουμε την πυκνότητα χρηστών (User Density) ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, τους οποίους διαχωρίζουμε και σε δυο κατηγορίες χρηστών, κινητών τηλεφώνων και φορητών υπολογιστών, με βάση τα ποσοστά τα οποία ορίζει ο χρήστης του εργαλείου.

$$C = U_n / L \text{ όπου:}$$

C : User Density

U_n : Number of users in 'n' years

L : Area Wide

Επίσης για σκοπούς απλοποίησης του εργαλείου, ορίσαμε μερικές εφαρμογές και την χρήση που κάνει η κάθε κατηγορία χρηστών για κάθε μια από τις συγκεκριμένες εφαρμογές όπως φαίνεται στο πίνακα 5.

Εφαρμογή	Χρήστες Κινητών Τηλεφώνων	Χρήστες Φορητών Υπολογιστών
Email	0.1 MB	3 MB
Facebook	1 MB	8 MB
Youtube	1 MB	20 MB
BBC News Feed	1 MB	5 MB
BBC News Text	0.5 MB	1 MB
Google Earth	0.3 MB	15 MB
VoIP	5 MB	20 MB
Web	0.5 MB	5 MB

Πίνακας 6: Χρήση εφαρμογών ανά Κατηγορία Χρηστών

Στην συνέχεια χωρίσαμε τους χρήστες σε υποκατηγορίες (High, Low, Medium) και ορίσαμε για κάθε υποκατηγορία ένα βαθμό δραστηριότητας από το 1 μέχρι το 5 όπως φαίνεται στους πίνακες 6 και 7.

Εφαρμογή	Βαθμός Δραστηριότητας Χρηστών Κινητών Τηλεφώνων		
	High	Medium	Low
Email	5	2.5	1.25
Facebook	5	2.5	1.25
Youtube	2	1	0.5
BBC News Feed	3	1.5	0.75
BBC News Text	1	0.5	0.25
Google Earth	2	1	0.5
VoIP	1	0.5	0.25
Web	3	1.5	0.75

Πίνακας 7: Βαθμός Δραστηριότητας Χρηστών Κινητών Τηλεφώνων

	Βαθμός Δραστηριότητας Χρηστών Φορητών Υπολογιστών		
Εφαρμογή	High	Medium	Low
Email	5	2.5	1.25
Facebook	5	2.5	1.25
Youtube	2	1	0.5
BBC News Feed	3	1.5	0.75
BBC News Text	1	0.5	0.25
Google Earth	2	1	0.5
VoIP	1	0.5	0.25
Web	3	1.5	0.75

Πίνακας 8: Βαθμός Δραστηριότητας Χρηστών Φορητών Υπολογιστών

Ακολουθως υπολογίσαμε την συνολική χρήση δεδομένων ανά υποκατηγορία με την ακόλουθη σχέση.

$$Data_per_Type = \sum_1^{\infty} application_usage \times activity_factor \text{ όπου:}$$

application_usage : Ποσότητα χρήσης ανά εφαρμογή με βάση το πίνακα 5.

activity_factor : Βαθμός δραστηριότητας με βάση τους πίνακες 6 και 7.

Στην συνέχεια υπολογίσαμε για κάθε κατηγορία χρηστών τον συνολικό αριθμό δεδομένων ανά υποκατηγορία, με βάση τα ποσοστά κάθε υποκατηγορίας τα οποία ορίζονται από τον χρήστη τους εργαλείου, με την βοήθεια της ακόλουθης σχέσης.

$$Total_Data_per_Type = Data_per_Type \times number_of_users$$

Έτσι προσθέτοντας για κάθε υποκατηγορία (High, Low, Medium) και για τις δυο κατηγορίες χρηστών (κινητών τηλεφώνων, φορητών υπολογιστών) το συνολικό αριθμό δεδομένων, υπολογίσαμε την συνολική πυκνότητα δεδομένων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

$$Total_Data_Density = \sum_1^6 Total_Data_per_Type$$

Ακολουθως υπολογίσαμε τη χρήση δεδομένων ανά ώρα αιχμής με την ακόλουθη σχέση

$$Busy_Hour_Duration = (Total_Data_Density \times Traffic_in_Busy_Hour) / 3600 \text{ όπου:}$$

Traffic_in_Busy_Hour : Ποσοστό δεδομένων σε ώρα αιχμής

Και με βάση την χρήση δεδομένων ανά ώρα αιχμής και την περιοχή την οποία επιθυμούμε να καλύψουμε υπολογίσαμε την απαιτούμενη χωρητικότητα δεδομένων σε όλη την γεωγραφική περιοχή την οποία επιθυμούμε να καλύψουμε.

$$Capacity_requirements = coverage_area \times Busy_Hour_Duration \text{ όπου:}$$

coverage_area : περιοχή την οποία επιθυμούμε να καλύψουμε

Μετά και τον υπολογισμό της απαιτούμενης χωρητικότητας δεδομένων, το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της χωρητικότητας που μπορεί να προσφέρει κάθε σταθμός ούτως ώστε να υπολογίσουμε τον αριθμό των σταθμών που χρειαζόμαστε. Για να προχωρήσουμε όμως σε αυτό το βήμα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε τον αριθμό των resource elements και στην συνέχεια για κάθε πιθανή διαμόρφωση τον μέγιστο ρυθμό δεδομένων (peak data rate), τα πιο πάνω μπορούμε να τα υπολογίσουμε με τις παρακάτω φόρμουλες.

$Resource_Elements = (2_{slots} \times 7_{OFDMA_Symbols} - PDCCH_{symbols}) \times 12 \times R.B$ όπου ο αριθμός των 2 slots προσδιορίζει τις σχισμές (slot) ανά υπό-πλαίσιο (subframe) στην τεχνολογία LTE και στην κάθε σχισμή υπάρχουν 7 OFDMA σύμβολα, άρα σύνολο 14, από τα οποία ανααιρούμε τα PDCCH σύμβολα τα οποία χρησιμοποιούνται σαν overhead και είναι συνήθως 3 PDCCH σύμβολα. Το R.B είναι ο μέγιστος αριθμός resource blocks ο οποίος προσδιορίζεται με βάση το εύρος ζώνης όπως φαίνεται και στο πίνακα 2 (σελ. 19).

$Peak_data_rate = Resource_Elements \times Modulation_bits$ όπου το Modulation_bits προσδιορίζει τον αριθμό των bits κάθε διαμόρφωσης, όπου για την διαμόρφωση QPSK έχουμε 2 bits, για την διαμόρφωση 16-QAM έχουμε 4 bits, για την διαμόρφωση 64-QAM έχουμε 6 bits και σύνολο έχουμε 29 διαμορφώσεις όπου οι 10 από αυτές είναι QPSK, οι 8 είναι 16-QAM και οι υπόλοιπες 11 είναι 64-QAM.

Μετά τον υπολογισμό των data rates το μόνο που απομένει είναι ο υπολογισμός των σταθμών βάσης ο οποίος εύκολα υπολογίζεται με το μέσο όρο όλων των data rates δια την απαιτούμενη χωρητικότητα δεδομένων όλης της γεωγραφικής περιοχής.

$$eNBs = Capacity_requirements / Peak_Data_Rate_{average}$$

Επίσης μετά και τον υπολογισμό των σταθμών βάσης μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε και την περιοχή κάλυψης κάθε κελιού η οποία ισούται με την περιοχή την οποία θέλουμε να καλύψουμε δια τον αριθμό των σταθμών βάσης, $A_{cell} = area / eNBs$. Έτσι στην συνέχεια υπολογίζουμε και την ακτίνα κάθε κελιού η οποία ισούται με την τετραγωνική ρίζα της περιοχής κάλυψης κάθε κελιού δια τον παράγοντα k (k-factor), $d = \sqrt{A_{cell} / k}$.

Με βάση τα αποτελέσματα της Διαστασιολόγησης Κάλυψης (Coverage Dimensioning) και της Διαστασιολόγησης Χωρητικότητας (Capacity Dimensioning), ο τελικός αριθμός σταθμών βάσης ο οποίος θα καλύπτει ικανοποιητικά την συγκεκριμένη περιοχή είναι ο μεγαλύτερος εκ των δυο.

3.5 Τεχνοοικονομική Μελέτη (Techno-financial Study)

Το εργαλείο το οποίο υλοποιήσαμε έχει επίσης την δυνατότητα να προσδιορίζει μιας απλής μορφής τεχνοοικονομική μελέτη όπου υπολογίζει τους μήνες που χρειάζονται για να αποσβέσει η εταιρεία παροχής υπηρεσιών την επένδυση που πρόκειται να κάνει αν υλοποιήσει το συγκεκριμένο σύστημα και αυτό επιτυγχάνεται με την παρακάτω φόρμουλα.

$$F_S = \frac{eNBs \times Capex_site}{(Customer_Revenue \times Customers) - ((Opex_site \times eNBs) + System_Opex)} \quad \text{όπου}$$

F_S : Feasibility Study

$eNBs$: Τελικός αριθμός σταθμών βάσης

$Capex_site$: Είναι το ποσό το οποίο ξοδεύεται από την εταιρεία παροχής υπηρεσιών για συντήρηση/βελτίωση των υπηρεσιών.

$Customer_Revenue$: Έσοδα από του πελάτες ανά μήνα

Customers : Πελάτες οι οποίοι θα εξυπηρετούνται από τους συγκεκριμένους σταθμούς βάσης.

Opex_site : Είναι το ποσό το οποίο ξοδεύεται από την εταιρεία παροχής υπηρεσιών ανά μήνα για την λειτουργία του κάθε σταθμού βάσης.

System_Opex : Είναι το ποσό το οποίο ξοδεύεται από την εταιρεία παροχής υπηρεσιών ανά μήνα για την λειτουργία του συστήματος.

Κεφάλαιο 4

Περιγραφή Εργαλείου Διαστασιολόγησης

Στο κεφάλαιο το οποίο ακολουθεί περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του εργαλείου διαστασιολόγησης, αναφέρονται οι γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιηθήκαν για την υλοποίηση του, καθώς επίσης παρουσιάζονται και οι οθόνες διεπαφής (interface) οι οποίες αποτελούν το εργαλείο.

4.1 Τρόπος Υλοποίησης του Εργαλείου

Στα πλαίσια της διατριβής υλοποιήθηκε ένα εργαλείο διαστασιολόγησης ενός LTE δικτύου όπως έχουμε προαναφέρει. Το εργαλείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το υπολογισμό της διαστασιολόγησης κάλυψης και της διαστασιολόγησης χωρητικότητας ενός LTE δικτύου. Επίσης στο εργαλείο εφαρμόζεται και μια απλή τεχνοοικονομική μελέτη όπου υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης του παρόχου, σε περίπτωση που αποφασίσει να υλοποιήσει το δίκτυο.

Το εργαλείο το οποίο υλοποιήθηκε είναι βασισμένο σε τεχνολογίες διαδικτύου (Web Base Tool) και για την υλοποίηση του χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού HTML (HyperText Markup Language) για τον σχεδιασμό του εργαλείου και την υλοποίηση των οθόνων διεπαφής (interface) και επίσης χρησιμοποιήθηκε και η γλώσσα προγραμματισμού PHP για την δια-δραστικότητα του εργαλείου με τον άνθρωπο όπου επεξεργάζεται τα δεδομένα τα οποία εισάγει ο χρήστης και του εμφανίζει τα αποτελέσματα. Το εργαλείο αυτό είναι προσβάσιμο από οποιοδήποτε υπολογιστή μέσο ενός προγράμματος περιήγησης (Browser).

4.2 Τρόπος Λειτουργίας του Εργαλείου

Πιο κάτω φαίνεται η πρώτη οθόνη του εργαλείου διαστασιολόγησης όπου αναφέρει μερικές πληροφορίες για το εργαλείο και ο χρήστης επιλέγοντας τον σύνδεσμο “Είσοδος στο Εργαλείο Διαστασιολόγησης” εισέρχεται στην φόρμα εισόδου των δεδομένων.

<h1>Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου</h1> <h2>Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα</h2>	
<h3>Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση Ασύρματων Δικτύων 4ης Γενιάς - LTE</h3>	
Φοιτητής: Θανάσης Κυριάκου	Επ. Καθηγητής: Μάριος Ρασπόπουλος
<p>Το εργαλείο αυτό υλοποιήθηκε στα πλαίσια της διατριβής με θέμα “Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση Ασύρματων Δικτύων 4ης Γενιάς - LTE”. Είναι ένα απλό εργαλείο για τον σχεδιασμό ενός Ασύρματου Δικτύου LTE. Στόχος του εργαλείου είναι η εξαγωγή του αριθμού των σταθμών βάσης, όπως και ο υπολογισμός της ελάχιστης μεταξύ τους απόστασης που απαιτείται ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η συνολική κάλυψη (coverage) σε όλη την γεωγραφική περιοχή. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με τον υπολογισμό του Coverage Dimensioning (Διαστασιολόγηση Κάλυψης) είτε με τον υπολογισμό του Capacity Dimensioning (Διαστασιολόγηση Χωρητικότητας).</p>	
Είσοδος στο Εργαλείο Διαστασιολόγησης	

Οθόνη 1: Αρχική σελίδα

Η επόμενη οθόνη είναι η φόρμα εισαγωγής των δεδομένων από τον χρήστη, ο οποίος μετά την εισαγωγή των δεδομένων μπορεί να πατήσει το κουμπί Submit για τον υπολογισμό της διαστασιολόγησης κάλυψης και της διαστασιολόγησης χωρητικότητας. Στην οθόνη 3 εμφανίζονται τα αποτελέσματα με βάση τα δεδομένα που όρισε ο χρήστης στην οθόνη 2.

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα

Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση Ασύρματων Δικτύων 4ης Γενιάς - LTE

Downlink Link Budget		Uplink Link Budget	
Power eNodeB:	30 in dBm	Power UE:	5 in dBm
Gain:	15 in dBi	Gain:	1 in dBi
eNodeB-Feeders Losses:	0dB	Gain Antennas_eNB:	15 in dBi
eNodeB-Jumbers Losses:	0dB	Gain TMA_eNB:	15 in dBi
eNodeB-Connectors Losses:	0dB	Throughput:	3 in Mbps
Log-Normal Fading Margin:	Αγροτικές περιοχές και Προάστια	Log-Normal Fading Margin:	Αγροτικές περιοχές και Προάστια
Interference Margin:	1dB	Interference Margin:	1dB
Penetration Loss:	20dB	Penetration Loss:	20dB
Body Loss:	0dB	Receiver Noise Figure:	1dB
Temperature:	33 in Celsius	Temperature:	33 in Celsius
Bandwidth:	1.4MHz	Bandwidth:	1.4MHz
Receiver Noise Figure:	1dB		
Throughput:	2 in Mbps		
Gain Antennas_EU:	1 in dBi		
Coverage Dimensioning			
Frequency:	150 in MHz	Base Station Antenna Height:	30 in m
Mobile Station Antenna Height:	1 in m	Cm:	Μεσαίου μεγέθους πόλεις και προάστια
Sector Number:	1	Total Area to Cover:	50 in Km ²
Capacity Dimensioning			
Population:	1445892 People	Cellular Penetration	80 %
LTE Penetration:	10 %	LTE Provider Penetration	10 %
Planned Years:	5	User Growth Factor	5 %
Number of Mobile Users:	90 %	Number of Laptop Users:	25 %
Mobile High Users:	25 %	Laptop High Users:	25 %
Mobile Medium Users:	50 %	Laptop Medium Users:	50 %
Mobile Low Users:	25 %	Laptop Low Users:	25 %
Techno-financial Study			
Capex per Site:	25000 Euro	Opex per Site:	3000 Euro per Month
System Opex:	75000 Euro per Month	Revenue per Customer:	15 Euro per Month
<input type="button" value="Submit"/>		<input type="button" value="Reset"/>	

Οθόνη 2: Εισαγωγή δεδομένων από το χρήστη

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα

Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση Ασύρματων Δικτύων 4ης Γενιάς LTE

Coverage Dimensioning

Downlink Link Budget:	110.423 dB	Uplink Link Budget:	33.792 dB
Cell Radius (d):	0.663 Km	Cell Area:	1.143 Km ²
Site Area:	1.143 Km ²	Number of Base Stations:	44 Base Stations (eNodeB)

Capacity Dimensioning

User Prediction in 5 years :	14763 Users	User Density	296 Users / Km ²
Number of Mobile Users:	266 Users / Km ²	Number of Laptop Users	74 Users / Km ²
Total Data Density:	10035 MB / Km ²	Busy Hour Duration	16 MBps / Km ²
Capacity Requirements:	781 MBps	Cell Area	304.225 Km ²
Cell Radius (d):	10.817 Km	Number of Base Stations:	1 Base Stations (eNodeB)

Με βάση τα πιο πάνω αποτελέσματα, ο επιθυμητός αριθμός σταθμών βάσης για να καλύψουμε την περιοχή 50 Km² είναι 44 σταθμοί βάσεις. Επίσης με βάση τα δεδομένα τα οποία ορίσατε για τεχνοοικονομική μελέτη, πιθανή απόσβεση των εξόδων για υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος θα έχετε 76.16 σε μήνες.

Για να επιστρέψετε στην αρχική σελίδα πατήστε [εδώ](#).

Οθόνη 3: Αποτελέσματα

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα και Μελέτη Περίπτωσης (Case Study)

Στο πιο κάτω κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποιες μελέτες περίπτωσης και γίνονται και κάποιες συγκρίσεις μεταξύ της Διαστασιολόγησης Κάλυψης (Coverage Dimensioning) και της Διαστασιολόγησης Χωρητικότητας (Capacity Dimensioning).

5.1 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study) 1

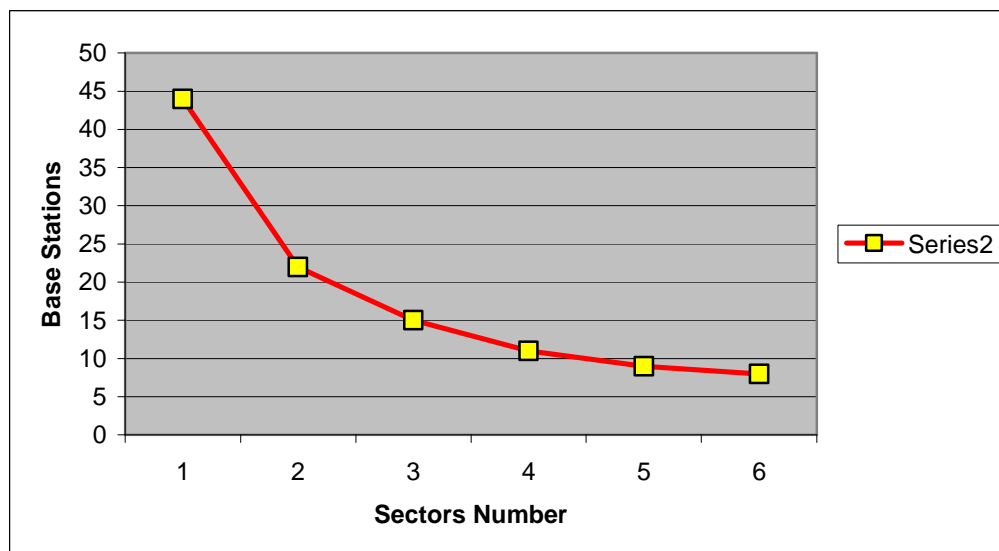
Στην μελέτη περίπτωσης η οποία ακολουθεί πιο κάτω και με βάση τα δεδομένα στο πίνακα 9 ο αναμενόμενος αριθμός σταθμών βάσης για να καλύψουμε την περιοχή και να έχουμε ένα καλό αποτέλεσμα σε θέματα ποιότητας των υπηρεσιών είναι 44 σταθμοί βάσης.

Όπως φαίνεται όμως και στην γραφική παράσταση 1, αλλάζοντας τον αριθμό των sectors σε κάθε σταθμό βάσης, ο αριθμός των σταθμών βάσης για να καλύψουμε την ίδια γεωγραφική περιοχή μειώνεται δραματικά.

Downlink Link Budget		Uplink Link Budget	
Power eNodeB:	30 in dBm	Power UE:	5 in dBm
Gain:	15 in dBi	Gain:	1 in dBi
eNodeB-Feeders Losses:	0 dB	Gain Antennas_eNB:	15 in dBi
eNodeB-Jumpers Losses:	0 dB	Gain TMA_eNB:	15 in dBi
eNodeB-Connectors Losses:	0 dB	Throughput:	3 in Mbps
Log-Normal Fading Margin:	6 dB	Log-Normal Fading Margin:	6 dB
Interference Margin:	1 dB	Interference Margin:	1 dB
Penetration Loss:	20 dB	Penetration Loss:	20 dB
Body Loss:	0 dB	Receiver Noise Figure:	1 dB

Temperature:	33 in Celsius	Temperature:	33 in Celsius
Bandwidth:	1.4 in MHz	Bandwidth:	1.4 in MHz
Receiver Noise Figure:	1 dB		
Throughput:	2 in Mbps		
Gain Antennas_EU:	1 in dBi		
Coverage Dimensioning			
Frequency:	150 in MHz	Base Station Antenna Height:	30 in m
Mobile Station Antenna Height:	1 in m	Cm:	0 dB
Sector Number:	1	Total Area to Cover:	50 in Km ²
Capacity Dimensioning			
Population:	1445892 People	Cellular Penetration	80 %
LTE Penetration:	10 %	LTE Provider Penetration	10 %
Planned Years:	5	User Growth Factor	5 %
Number of Mobile Users:	90 %	Number of Laptop Users:	25 %
Mobile High Users:	25 %	Laptop High Users:	25 %
Mobile Medium Users:	50 %	Laptop Medium Users:	50 %
Mobile Low Users:	25 %	Laptop Low Users:	25 %
Techno-financial Study			
Capex per Site:	25000 Euro	Opex per Site:	3000 Euro/Month
System Opex:	75000 Euro/Month	Revenue per Customer:	30 Euro/Month

Πίνακας 9: Μελέτης Περίπτωσης 1



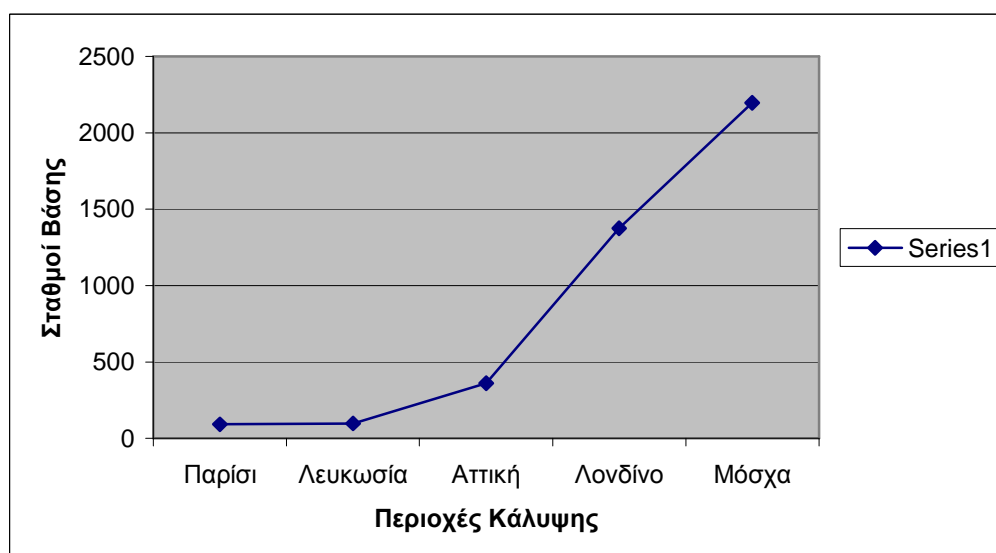
Γραφική Παράσταση 1: Αποτελέσματα Μελέτης Περίπτωσης 1

5.2 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study) 2

Με βάση την παρακάτω μελέτη περίπτωσης μπορούμε να παρατηρήσουμε στην γραφική παράσταση 2 το αριθμό των σταθμών βάσης σε διάφορες ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις. Τα δεδομένα στο εργαλείο διαστασιολόγησης παρέμειναν τα ίδια με αυτά της μελέτης περίπτωσης 1, εκτός από την έκταση της κάθε μεγαλούπολης, όπου διαφοροποιήθηκε σχετικά με το πίνακα 10 που ακολουθεί.

	Λευκωσία	Λονδίνο	Αθήνα/Αττική	Παρίσι	Μόσχα
Έκταση	111 Km ²	1572 Km ²	412 Km ²	106 Km ²	2511 Km ²

Πίνακας 10: Δεδομένα Μελέτης Περίπτωσης 2

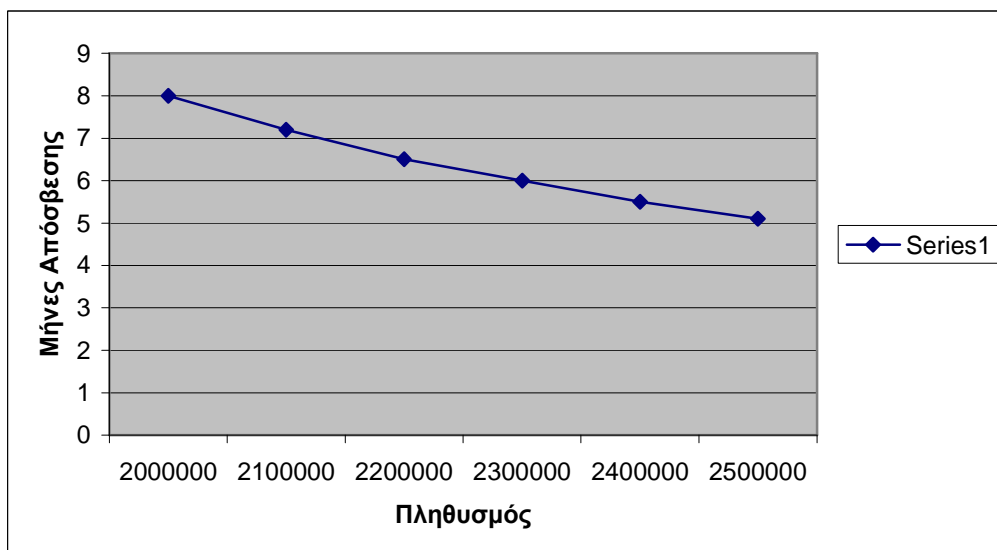


Γραφική Παράσταση 2: Αποτελέσματα Μελέτης Περίπτωσης 2

Το βασικό συμπέρασμα με βάση την μελέτη περίπτωσης 2 και την γραφική παράσταση 2 είναι ότι όσο αυξάνεται η περιοχή η οποία θέλουμε να καλύψουμε, αυξάνονται δραματικά και οι σταθμοί βάσης.

5.3 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study) 3

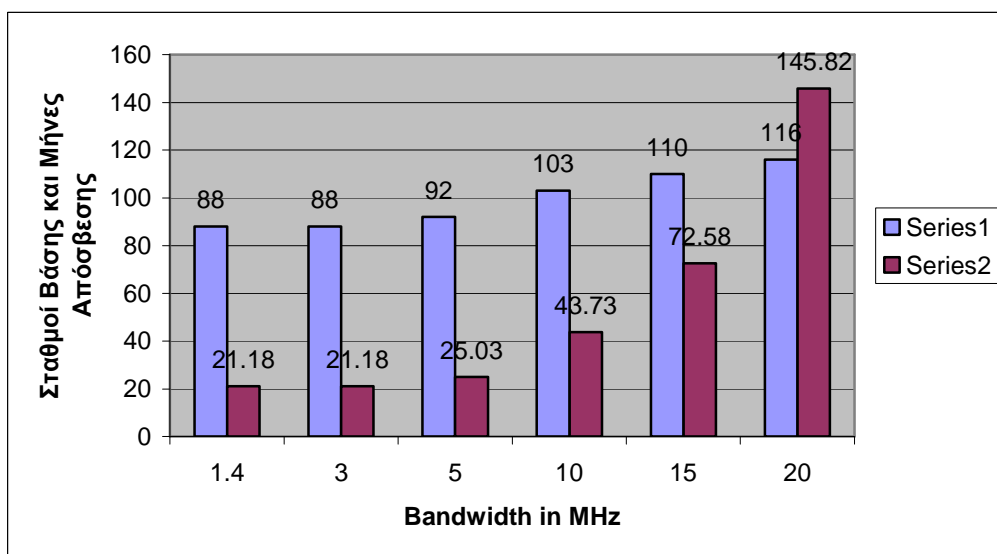
Στην μελέτη περίπτωσης 3 παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται ο πληθυσμός μιας περιοχής τόσο πιο γρήγορα γίνεται η απόσβεση του δικτύου. Αυτό φαίνεται στην γραφική παράσταση 3 όπου σε μια περιοχή των 100 Km² αυξάναμε κατά 100000 τον πληθυσμό και ο χρόνος απόσβεσης του συστήματος μειώνεται κατακόρυφα.



Γραφική Παράσταση 3: Αποτελέσματα Μελέτης Περίπτωσης 3

5.4 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study) 4

Όπως έχουμε αναφέρει και στο κεφάλαιο 2 σελ. 20 το πρότυπο LTE υποστηρίζει 6 διαφορετικά εύρη καναλιού 1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz και 20MHz. Στην γραφική παράσταση που ακολουθεί μπορούμε να δούμε τον αριθμό των σταθμών βάσης για να καλύψουμε μια περιοχή ανάλογα με τα διαφορετικά εύρη καναλιού και επίσης τους μήνες τους οποίους χρειάζεται για να γίνει απόσβεση ενός τέτοιου συστήματος.



Γραφική Παράσταση 4: Αποτελέσματα Μελέτης Περίπτωσης 4

Κεφάλαιο 6

Επίλογος

Στο 6 και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια μικρή περίληψη της διατριβής και συμπεράσματα, καθώς επίσης και τρόποι βελτίωσης τους εργαλείου αλλά και οι πιθανοί χρήστες ενός τέτοιου εργαλείου.

6.1 Περίληψη και Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της διατριβής έγινε μια ιστορική αναδρομή στα συστήματα και τις τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Παρουσιάστηκε μια περιγραφή εις βάθος στο τρόπο λειτουργίας και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας LTE καθώς επίσης και μια αναλυτική παρουσίαση στο τρόπο και την διαδικασία διαστασιολόγησης ενός LTE δικτύου αλλά και η υλοποίηση ενός εργαλείου για τον υπολογισμό της διαστασιολόγησης και τεχνοοικονομικής μελέτης ενός τέτοιου συστήματος.

Βασικό συμπέρασμα είναι ότι η διαδικασία διαστασιολόγησης αλλά και τα εργαλεία διαστασιολόγησης είναι πολύ σημαντικά για μια εταιρεία τηλεπικοινωνιών καθώς μπορούν να μειώσουν το χρόνο σχεδιασμού ενός δικτύου αλλά και να μειώσουν τα έξοδα κατά την υλοποίηση του δικτύου καθώς δεν θα εγκαθίστανται περιττοί σταθμοί βάσης, έτσι με τα εργαλεία αυτά οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών επωφελούνται κερδίζοντας χρόνο και μειώνοντας τα έξοδα τους.

6.2 Πιθανοί Χρήστες και Τρόποι Βελτίωσης

Πιθανοί χρήστες του εργαλείου το οποίο υλοποιήθηκε μπορεί να είναι:

- Μετά από μερική βελτίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από παρόχους τηλεπικοινωνιών για την διαστασιολόγηση των δικτύων τους.

- Διάφορα εκπαιδευτικά ιδρύματα για εκπαιδευτικούς σκοπούς στα πλαίσια διαφόρων μαθημάτων τηλεπικοινωνιών αλλά και για την κατανόηση της διαδικασίας διαστασιολόγησης από τους φοιτητές.

Πιθανές βελτιώσεις του εργαλείου είναι:

- Η μετατροπή του από SISO (Single Input Single Output) σε MIMO (Multiple Input Multiple Output).
- Ο υπολογισμός της παραμέτρου SINR εξολοκλήρου καθώς στο εργαλείο το οποίο υλοποιήθηκε η παράμετρος αυτή υπολογίζεται μέσω πινάκων οι οποίοι είναι αποτελέσματα προσομοιωτών (system simulation).

Βιβλιογραφία

01 Ιστότοπος:

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CF%8C_%CF%84%CE%B7%CE%BB%CE%AD%CF%86%CF%89%CE%BD%CE%BF

02 Μ. Θεολόγου, “Βιβλίο: Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών”, κεφ. 3, σελ. 131.

03 Μ. Θεολόγου, “Βιβλίο: Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών”, κεφ. 15, σελ. 808.

04 Α. Κανάτα, “Βιβλίο: Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών”, κεφ. 6, σελ. 347.

05 Α. Κανάτα, “Βιβλίο: Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών”, κεφ. 1, σελ. 22.

06 Ιστότοπος: <http://en.wikipedia.org/wiki/1G>

07 Ιστότοπος:

http://el.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications

08 Α. Κανάτα, “Βιβλίο: Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών”, κεφ. 1, σελ. 23.

09 Α. Κανάτα, “Βιβλίο: Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών”, κεφ. 1, σελ. 27.

10 Α. Κανάτα, “Βιβλίο: Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών”, κεφ. 1, σελ. 28.

11 Ιστότοπος: <http://en.wikipedia.org/wiki/3G>

12 Vasco Pereira, Tiago Sousa, “Άρθρο: Evolution of mobile communication: from 1g to 4g”.

- 13 Βιβλίο: Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη Κινητής Τηλεφωνίας: Γεφυρώνοντας τον κόσμο,LTE.
<http://www.scribd.com/doc/107153769/%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B1-4%CE%B7%CF%82-%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%AC%CF%82-4g-lte>
- 14 Bharathi Upase, Mythi Hunukumbure, Sunil Vadgana, “Άρθρο: Radio Network Dimensioning and Planning for WiMax Networks”, May 2007.
- 15 Nafiz Imtiaz Bin Hamid, Mohammad T. Kawser, Md. Ashraful Hoque , “Άρθρο: Coverage and capacity analysis of LTE radio network planning considering Dhaka city”, May 2012.
- 16 Nelly M. Hussein, Muhammad Nabil, Abd El-Rahman Ashraf, and Amr Saeed, “Άρθρο: LTE Network Dimensioning Tool Using Java”, September 2012.
- 17 Ιστότοπος: <http://el.wikipedia.org/wiki/LTE>
- 18 A. Ghosh, J. Zhung, J. Andrews, R. Muhamed, “Βιβλίο: Fundamentals of LTE”.
- 19 A. Κανάτα, “Βιβλίο: Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών”, κεφ. 4, σελ. 236.
- 20 Ιστοτοπος: <http://www.radio-electronics.com/info/cellularcomms/lte-long-term-evolution/3g-lte-basics.php>
- 21 Z. Talukder, S. Islam, D. Mahjabeen, A. Ahmed, S. Rafique and M. Rashid “Άρθρο: Cell Coverage Evaluation for LTE and WiMAX in Wireless Communication System”, 2013