



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη μηχανισμών device to device (D2D) σε κινητά δίκτυα πέμπτης γενιάς

Ειρήνη Μπαρρή

ΑΜ : 5463

Επιβλέπων Καθηγητής: Μπούρας Χρήστος

ΠΑΤΡΑ – 2019

Νοέμβριος

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Μπούρα Χρήστο καθώς η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την καθοδήγηση του και την επίβλεψη του.

Ευχαριστώ ακόμα, τον συνάδελφο και φίλο Βαγγέλη με τη βοήθεια του οποίου μέσα από συζητήσεις κατάφερα να διευρύνω τις γνώσεις μου στις παρούσες τεχνολογίες και την φίλη μου Μαρία για την συμπαράσταση και τη στήριξη της όλο αυτό το διάστημα εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους δύο καθηγητές, τον κ. Βλάχο Κυριάκο και τον κ. Γαροφαλάκη Ιωάννη που μαζί με τον κ. Μπούρα Χρήστο συμπληρώνουν την τριμελή επιτροπή που επί της οποίας θα παρουσιαστεί η παρούσα διπλωματική εργασία.

Μπαρρή Ειρήνη

Πάτρα 2019

Νοέμβριος

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η Μελέτη μηχανισμών device to device (D2D) σε κινητά δίκτυα πέμπτης γενιάς χωρίς σταθμό βάσης (base station). Στο πρώτο κεφάλαιο θα γίνει μια συνοπτική περιγραφή όσο αφορά την εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών μέσα στα χρόνια και συγκεκριμένα το πέρασμα από τα δίκτυα των τεσσάρων πρώτων γενεών στα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G) δίνοντας περισσότερη έμφαση στο 4G-LTE Advanced. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει μία εκτεταμένη αναφορά στα χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων 5ης γενιάς. Στο τρίτο κεφάλαιο θα αναλυθεί η λειτουργία D2D η οποία θεωρείται αναπόσπαστο μέρος των επικοινωνιών 5G. Στο τέταρτο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ο μηχανισμός και η περιγραφή του καθώς και οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν και οι μετρικές που λήφθηκαν υπόψη για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Στο πέμπτο κεφάλαιο θα εξηγηθούν οι παράμετροι και το περιβάλλον προσομοίωσης του μηχανισμού. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της εξομοίωσης καθώς και τα σενάρια των πειραμάτων και ο σχολιασμός αυτών. Στο έβδομο κεφάλαιο αφού έχουμε πλέον τα αποτελέσματα καταλήγουμε στα συμπεράσματα και στο τι πρέπει να προσέξουμε από δω και πέρα σε μελλοντικές προτάσεις που θα προταθούν κάποιες από αυτές στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας.

Abstract

The purpose of this thesis is to do a research about the D2D communication in fifth-generation cellular networks without traversing the Base Station (BS). In the first chapter there will be a brief description of the evolution of telecommunications over the years and particularly the passage of the first four generations to the fifth (5G) giving emphasis on 4G-LTE Advanced. At chapter two, there will be an extended reference to the features of 5th generation wireless networks. In the third chapter we will analyze the D2D function which is considered an integral part of 5G communications. In the fourth chapter the mechanism will be explained considering the parameters we took in mind for the results. In the fifth chapter each parameter value and the choice of simulation program will be explained. In the next chapter the results of each scenario of the simulation are commented and visualized. In the seventh chapter, having in mind the results from the previous chapter we end up in conclusions comparing the results of two scenarios and considering what we could target in next future works for the best of the networks. Some of them are proposed in the eighth and final chapter of this thesis.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 (ΟΛΕΣ ΟΙ ΓΕΝΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ)	4
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	4
ΠΡΩΤΗ ΓΕΝΙΑ 1G	5
ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΕΝΙΑ 2G	5
ΤΡΙΤΗ ΓΕΝΙΑ 3G	6
ΤΕΤΑΡΤΗ ΓΕΝΙΑ 4G	6
3G ΣΕ 4G ΚΑΙ LTE -ADVANCED.....	7
3G ΣΕ 4G.....	7
LTE- ADVANCED	9
CARRIER AGGREGATION	9
1G ΣΕ 5G ΠΕΡΙΛΗΠΤΙΚΑ	10
ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ.....	10
ΣΥΓΚΡΙΣΗ 5G ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΓΕΝΙΕΣ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 (ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ 5G)	14
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	14
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G.....	18
ΝΕΕΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ.....	19
MIMO.....	19
BEAMFORMING	19
SDN	19
NFV.....	20
UDD.....	20
CLOUD COMPUTING	21
mmWave.....	22
HetNets.....	22

D2D	23
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ 5G	23
ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	24
M2M.....	25
HEALTH CARE	25
Internet Of Things	26
USE CASES ΤΩΝ 5G	26
ΤΟ 5G ΤΩΡΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	27
5G ΚΑΙ SECURITY.....	28
ΑΝΗΣΥΧΙΕΣ ΓΙΑ 5G ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 (ΣΥΣΚΕΥΗ ΠΡΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗ)	30
D2D ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	30
LTE	29
D2D ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	31
SIDELINK	31
D2D ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ	34
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ D2D.....	35
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ.....	35
EVOLVED NODE B.....	36
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ D2D	36
INBAND	37
OUTBAND.....	38
HANDOVER	38
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ	38
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ D2D	40
DEVICE RELAYING ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΑΠΟ ΠΑΡΟΧΟ	41
DIRECT ΜΕΤΑΞΥ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΑΠΟ ΠΑΡΟΧΟ	42
ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΑΠΟ ΠΑΡΟΧΟ.....	43
DIRECT ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΑΠΟ ΣΥΣΚΕΥΗ	44
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	45
ProSe	45
ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΑΛΥΨΗΣ	47

ΣΕ ΚΑΛΥΨΗ.....	47
ΜΕΡΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ	48
ΕΚΤΟΣ ΚΑΛΥΨΗΣ	48
ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ.....	49
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ.....	49
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	50
CELLULAR MODE.....	50
DEDICATED MODE	50
REUSE MODE.....	51
SILENT MODE	51
ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΡΟΠΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	51
ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ.....	51
ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ	52
SINR	53
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ.....	53
ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ.....	53
ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗ ΣΕ D2D	53
ΜΕΤΑΞΥ D2D.....	54
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	54
SMALL CELLS ΚΑΙ ULTRA DENSE NETWORKS.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 (ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ).....	57
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ	57
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 (ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ).....	63
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	63
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 (ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ).....	66
ΣΕΝΑΡΙΟ DEDICATED MODE	67
ΣΕΝΑΡΙΟ REUSE MODE.....	69
ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 (ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ)	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 (ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ)	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 (ΚΩΔΙΚΑΣ)	78

Ακρωνύμια

1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
5GPPP	5G infrastructure Public Private Partnership
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
BDMA	Beam Division Multiple Access
BS	Base Station
CA	Carrier Aggregation
CCs	Component Carriers
CDMA	Code Division Multiple Access
CDPD	Cellular Digital Packet Data
CM	Cellular Mode
CN	Core Network
CQI	Channel Quality Indicator
CSD	Circuit – Switched Data service
CUE	Cellular User Equipment
D2D	Device to Device
D-AMPS	Digital Advanced Mobile Phone Service
DL	Downlink
DUE	Device to Device User Equipment
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolution Packet Core
FBMC	Filter Bank Multi Carrier
FCC	Federal Communication Commission

FDD	Frequency Division Duplex
FOMA	Freedom Of Mobile Multimedia Access
FR	Frequency Range
GAN/UMA	Generic Access Network / Unlicensed Mobile Access
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
HetNets	Heterogenous Networks
HSPA	High Speed Packet Access
IaaS	Infrastructure as a Service
ICT	Information and Communication Technologies
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications Advanced
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IS-95	Interim Standard 95
ITU – R	International Telecommunication Union – Radiocommunication sector
LAN	Local Area Network
LIPA	Local IP Access
LoRa	Long Range
LPLT	Low Power / Low Tower
LTE	Long Term Evolution
LTE - A	Long Term Evolution Advanced
M2M	Machine to Machine
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mmWave	Millimeter Wave
MNOs	Mobile Network Operators
NFV	Network Function Virtualization
NR	New Radio
NTT	Nippon Telegraph and Telephone
PaaS	Platform as a Service

PDC	Personal Digital Cellular
PDSCH	Physical Downlink Share Channel
PHS	Personal Handy-phone System
PLMN	Public Land Mobile Network
ProSe	Proximity Services
PSBCH	Physical Sidelink Broadcast Channel
PSDCH	Physical Sidelink Discovery Channel
PSSCH	Physical Sidelink Share Channel
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
QoS	Quality of Service
SaaS	Software as a Service
SAE	System Architecture Evolution
SBCCH	Sidelink Broadcast Control Channel
SDN	Software Defined Networking
SIM	Subscriber Identify Module
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
SIPTO	Selected IP Traffic Offload
SL	Sidelink
SMS	Short Message Service
STCH	Sidelink Traffic Channel
TDD	Time Division Duplex
TD-SDMA	Time Division Synchronous code Division Multiple Access
UDD	Ultra Dense Deployments
UE	User Equipment
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USIM	UMTS Subscriber Identify Module
WAN	Wide Area Network
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network

Λίστα εικόνων και πινάκων

1.1	Εξέλιξη ασύρματων δικτύων επικοινωνιών
1.2	Πορεία από 3G σε LTE
1.3	Πορεία βελτίωσης LTE – Advanced
1.4	Οι βασικές αρχές, προκλήσεις του σχεδιασμού 5G
1.5	Η εξέλιξη και οι διαφορές μεταξύ των ασύρματων επικοινωνιών
2.1	Κύριος στόχος των 5G δικτύων
2.2	Σύγκριση ταχύτητας μετάδοσης σε Mbps
2.3	Σύγκριση Data Rate και Latency μεταξύ 4G και 5G
2.4	Σύγκριση των δικτύων 4G και 5G για ποιότητα υπηρεσιών βάση γεωγραφικής θέσης
2.5	Θεωρητικές δυνατότητες 5G δικτύων
2.6	mmWave Σήματα
2.7	Επίπεδο αρχιτεκτονικής Cloud Computing
2.8	Εφαρμογές, τεχνολογίες και υπηρεσίες 5 ^{ης} γενιάς δικτύων
2.9	Χαρακτηριστικά δικτύων πέμπτης γενιάς
2.10	Εφαρμογές της επικοινωνίας M2M
2.11	Σχεδιάγραμμα του Internet of Things
3.1	Δομή του Sidelink
3.2	Είδη επικοινωνίας D2D
3.3	Είδη παρεμβολών
3.4	Τα βασικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών για τις D2D επικοινωνίες
3.5	Σύστημα επικοινωνίας D2D

3.6	Device Relaying με ελεγχόμενη ζεύξη από πάροχο
3.7	Άμεση επικοινωνία μεταξύ συσκευών με ελεγχόμενη ζεύξη από τον πάροχο
3.8	Μεταγωγή συσκευών με ελεγχόμενη ζεύξη από την συσκευή
3.9	Άμεση επικοινωνία μεταξύ συσκευών με ελεγχόμενη ζεύξη από τη συσκευή
3.10	Αρχιτεκτονική ProSe
3.11	Σενάριο κάλυψης
3.12	Σενάριο Μερικής κάλυψης
3.13	Σενάριο εκτός κάλυψης
3.14	Κατηγοριοποίηση παρεμβολών στις επικοινωνίες D2D
3.15	Τεχνικές αποφόρτισης SIPTO και LIPA
3.16	Ultra Dense Networks και D2D
4.1	Τοπολογία κυψέλης ενός 5G δικτύου
5.1	Τοπολογία προσομοίωσης
6.1	Τοπολογία προσομοίωσης σεναρίου dedicated
6.1.1	Αποτελέσματα αλγόριθμου
6.1.2	Αποτελέσματα δεδομένων συσκευών
6.1.3	Αποτελέσματα δικτύου
6.1.4	Αποτελέσματα SNR
6.2	Τοπολογία προσομοίωσης σεναρίου reuse
6.2.1	Αποτελέσματα αλγόριθμου
6.2.2	Αποτελέσματα δεδομένων συσκευών
6.2.3	Αποτελέσματα δικτύου
6.2.4	Αποτελέσματα SNR
6.3.1	Ποσοστό πόρων και χρήστες D2D
6.3.2	Μέσος όρος ταχύτητας μετάδοσης και χρήστες D2D
6.3.3	Ταχύτητα μετάδοσης δικτύου και χρήστες D2D
6.3.4	Απόσταση χρηστών D2D και τιμές SINR - SNR

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη των δικτυακών συσκευών τα τελευταία χρόνια έχει καταστήσει απαραίτητη την ανάπτυξη των δικτύων τηλεπικοινωνιών καθώς η χρήση των σύγχρονων συσκευών επεκτείνεται όλο και περισσότερο όπως και η ανάγκη των χρηστών για επικοινωνία και πρόσβαση στο διαδίκτυο. Οι σύγχρονες ανάγκες και η συνεχόμενη αύξηση των αναγκών σε πόρους απαιτούν την προέκταση των ασύρματων δικτύων. Η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων, γενιά με γενιά παρείχε επιπλέον υπηρεσίες στους χρήστες πέραν από αυτές που μπορούσαν να προσφέρουν οι προηγούμενες γενιές λόγω μειωμένων δυνατοτήτων.

Η νέα γενιά αποσκοπεί στη δημιουργία ενός ετερογενούς δικτύου που θα ενσωματώνει όλα τα δίκτυα των προηγούμενων γενιών με αποτέλεσμα να προσφέρει υψηλές ταχύτητες αλλά και να εξυπηρετεί ταυτόχρονα εκατομμύρια χρήστες. Τα δίκτυα που αναπτύχθηκαν για αυτό τον σκοπό στηρίχθηκαν στην κυβελωτή δομή όπου κάθε κινητό τηλέφωνο, συνδέεται σε ένα σταθμό βάσης που αυτός με τη σειρά του δημιουργεί γύρω του μια περιοχή κάλυψης. Οι στόχοι για τα συστήματα 5G όπως αναφέραμε είναι υψηλότεροι από κάθε προηγούμενο σύστημα ανά περιοχή και ανά χρήστη με μικρότερη καθυστέρηση. Αποσκοπούν την ταυτόχρονη υποστήριξη μεγάλο αριθμό συσκευών με μικρότερη κατανάλωση.

Η λύση σε αυτές τις απαιτήσεις θα επιτύχει η επικοινωνία συσκευής με συσκευή (Device to Device – D2D) καθώς μπορεί να παρέχει υψηλότερο ρυθμό δεδομένων και χαμηλότερη καθυστέρηση στην υλοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών. Η επικοινωνία D2D θα μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται όταν το κυβελωτό δίκτυο δεν είναι διαθέσιμο ή σε περιοχές εκτός κάλυψης. Σύμφωνα με έρευνες έχει αποδειχθεί ότι η άμεση ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ δύο κοντινών συσκευών μπορεί να προσφέρει καλύτερη απόδοση αν οι συσκευές επικοινωνήσουν κατευθείαν μεταξύ τους χωρίς την παρέμβαση σταθμού (Base Station – BS). Κατά συνέπεια, με τον όρο D2D αναφερόμαστε στην επικοινωνία που λαμβάνει χώρα μεταξύ δύο ή περισσότερων κινητών συσκευών (UE) που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση χωρίς ο σταθμός βάσης να ελέγχει την επικοινωνία.

Ίσως το πιο σημαντικό κριτήριο μιας ορθής και βέλτιστης επικοινωνίας μεταξύ συσκευών είναι οι παρεμβολές που μπορεί να δεχθούν κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη μας τα παραπάνω και αυτό το κριτήριο, ο στόχος της διπλωματικής αυτής είναι να μελετήσει τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της επικοινωνίας συσκευής σε συσκευή χωρίς την παρέμβαση του σταθμού βάσης και να παρουσιάσει μηχανισμό που στοχεύει στη μείωση των παρεμβολών και τη σύγκριση δυο των δυο περιπτώσεων τρόπων λειτουργίας της σύνδεσης D2D.

Όπως θα περιγραφεί και στο κεφάλαιο 3 στην ενότητα των παρεμβολών, έχουν προταθεί ήδη κάποιοι αλγόριθμοι και μηχανισμοί για την αντιμετώπιση τους και την βελτιστοποίηση της επικοινωνίας. Κάποιοι με την ισχύ μετάδοσης επιδιώκουν την μεγιστοποίηση της χρήσης του δικτύου, άλλοι συζητώντας την εμβέλεια που μπορεί να λάβει χώρα η καταστολή των παρεμβολών ενώ κάποιοι άλλοι προτείνουν σχήμα για την καλύτερη χρήση των πόρων σε ένα D2D δίκτυο.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να μελετήσει λεπτομερώς τον τομέα της επικοινωνίας Device to Device και τις τελευταίες εξελίξεις που αφορούν τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Όπως και ο τίτλος της συγκεκριμένης διπλωματικής, θα μελετηθούν οι μηχανισμοί που υποστηρίζουν την επικοινωνία D2D και θα προταθεί αλγόριθμος βελτιστοποίησης της λειτουργίας στοχεύοντας ως προς την καλύτερη φασματική απόδοση και εκμετάλλευση των πόρων στο μέγιστο ενώ παράλληλα να μειωθούν και οι παρεμβολές που θα υπόκεινται οι χρήστες για να μην επηρεαστεί δραματικά η μεταξύ τους σύνδεση. Αυτό θα γίνει επιλέγοντας τους δύο τρόπους με τους οποίους λειτουργεί η επικοινωνία D2D και παρατηρώντας τη συμπεριφορά του αλγόριθμου και στις δύο περιπτώσεις υπό διαφορετικές συνθήκες και αριθμό χρηστών σε κάθε πείραμα.

Στο Κεφάλαιο 1, ξεκινάμε κάνοντας μια ιστορική αναδρομή στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας από την πρώτη έως την Πέμπτη γενιά που μας αφορά. Είναι σημαντικό για τον αναγνώστη να είναι σε θέση να αντιληφθεί την πορεία εξέλιξης των δικτύων από γενιά σε γενιά για να μπορεί να καταλάβει την διαφορά που έφερε η κάθε μια από αυτές στις ζωές μας. Τα σημαντικότερα σημεία που χρειάζεται απαραίτητα να αναπτυχθούν και αποτελούν μεγάλο μέρος της πορείας της εξέλιξης είναι η τεχνολογία LTE – ADVANCED και η τεχνική Carrier Aggregation. Θα συνεχίσουμε με μια σύντομη εισαγωγή στα δίκτυα 5G και τα χαρακτηριστικά τους που τα διαφοροποιούν από τις προηγούμενες αλλά και τα καθιστούν αναγκαία στην περίοδο που διανύουμε τεχνολογικά.

Στο Κεφάλαιο 2, θα περιγραφούν αναλυτικά τα δίκτυα 5G και οι τεχνικές που χρησιμοποιούν. Θα παρουσιαστούν τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων και το ποιες τεχνικές έχουν ως στόχο στην υλοποίησή τους ενώ θα παραθέσουμε και χρήσιμες εφαρμογές των δικτύων. Στη συνέχεια θα αναλυθούν σύντομα οι επιπτώσεις των δικτύων στις ζωές μας καθώς και τα θέματα ασφάλειας που προκύπτουν. Τέλος του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν οι ανησυχίες για τα δίκτυα 5G κάποιων μελετητών για τις επιπτώσεις στη ποιότητα ζωής του ανθρώπου και την υγεία του.

Στο Κεφάλαιο 3, θα δούμε αρχικά την τεχνολογία με την οποία θα ασχοληθούμε, την επικοινωνία D2D. Θα παραθέσουμε τις δυνατότητες της τεχνολογίας αυτής καθώς και τους περιορισμούς που προκύπτουν αλλά και τις τεχνολογίες στις οποίες βασίστηκε. Για να μπορέσουμε να προχωρήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο της προσομοίωσης σε αυτό το κεφάλαιο αυτό αναλύεται επίσης η αρχιτεκτονική και σημαντικά κομμάτια που λαμβάνουν μέρος κατά τη διάρκεια μιας επικοινωνίας συσκευής προς συσκευή. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να λειτουργήσει η επικοινωνία D2D και σε ποια σενάρια και συνθήκες αλλά και τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν όπως οι παρεμβολές. Λόγω του ότι θα ασχοληθούμε με τις παρεμβολές και είναι στόχος του μηχανισμού να τις αντιμετωπίσει παρατίθενται σύντομα διάφορες μελέτες που έγιναν για την αντιμετώπιση τους και κατηγοριοποιούμε τις παρεμβολές για την καλύτερη κατανόηση τους.

Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζεται αναλυτικά ο αλγόριθμος. Για την κατανόηση του μηχανισμού απαιτείται γνώση για macro cell και small cell όσο αφορά τη σύνδεση σε αυτούς και τους διαθέσιμους πόρους τους. Προτείνεται αποδοτικός τρόπος σύνδεσης τόσο σε άνω ζεύξη αλλά και σε κάτω ζεύξη χρησιμοποιώντας το λιγότερο δυνατό φάσμα αλλά ταυτόχρονα στοχεύοντας στην εξυπηρέτηση όσο το δυνατό περισσότερους χρήστες. Ο μηχανισμός παρέχει στους χρήστες μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης και διατηρεί τη ποιότητα υπηρεσίας.

Στο Κεφάλαιο 5, περιγράφεται το περιβάλλον προσομοίωσης που επιλέχθηκε καθώς και οι παράμετροι και οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για την εξομοίωση του αλγόριθμου.

Στο Κεφάλαιο 6, παρατίθενται τα αποτελέσματα από δύο διαφορετικά σενάρια τρόπου λειτουργίας της επικοινωνίας D2D με διαφορετικούς αριθμούς χρηστών κατά την πειραματική υλοποίηση διακρίνοντας τη διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων μέσα από γραφικές παραστάσεις.

Στο Κεφάλαιο 7, καταλήγουμε στα συμπεράσματα παρατηρώντας τα αποτελέσματα και μέσα από την μελέτη που έγινε για την διπλωματική εργασία.

Στο Κεφάλαιο 8, προτείνονται ιδέες για περαιτέρω μελέτη στο συγκεκριμένο θέμα προτείνοντας την επέκταση της δικής μας εργασίας ένα βήμα παραπέρα.

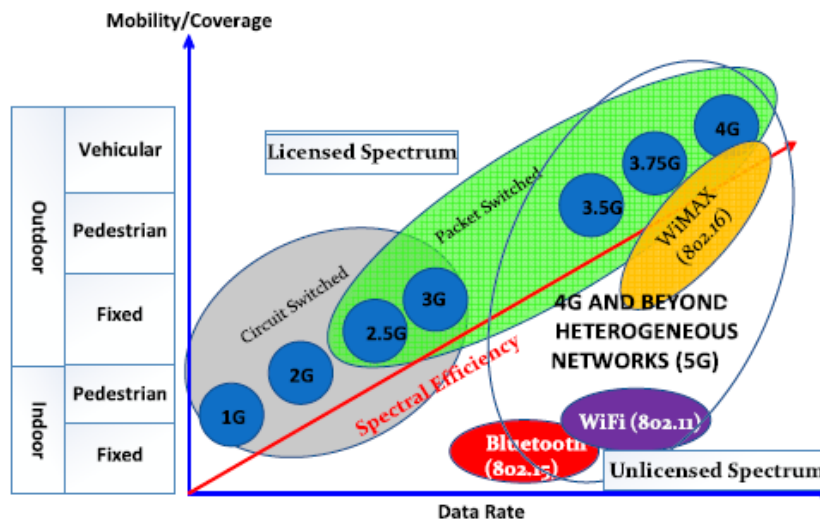
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Όλες οι γενιές ασύρματων δικτύων

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ο G. Marconi, Ιταλός εφευρέτης, έκανε την αρχή για την πορεία των επικοινωνιών του σήμερα. Οδήγησε την πορεία των ασύρματων επικοινωνιών αποστέλλοντας το γράμμα “ S “ σε μια απόσταση 3 χιλιομέτρων με την χρήση του κώδικα Morse με την βοήθεια των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του σήμερα αλλά και του αύριο. Η δορυφορική επικοινωνία, η τηλεόραση και το ραδιόφωνο συντέλεσαν στον τρόπο που με τον οποίο λειτουργεί η κοινωνία μας σήμερα. Η εξέλιξη του δικτύου ξεκινά στο [1]. Όσο οι ασύρματες τεχνολογίες αυξάνονται, ο ρυθμός δεδομένων, η κινητικότητα και η φασματική αποτελεσματικότητα είναι αναπόφευκτο να αυξηθούν επίσης.

Οι τεχνολογίες στις πρώιμες γενιές, δηλαδή οι τεχνολογίες 1G και 2G χρησιμοποιούν εναλλαγή κυκλώματος ενώ οι τεχνολογίες 2.5G και 3G χρησιμοποιούν την εναλλαγή κυκλώματος και πακέτων. Τον ίδιο τρόπο χρησιμοποιούν και οι τεχνολογίες και οι επόμενες 3.5G έως και τα 5G. Μαζί με αυτούς τους παράγοντες, διαφοροποιείται επίσης το αδειοδοτημένο φάσμα με το μη-αδειοδοτημένο φάσμα. Όλες οι εξελισσόμενες γενιές χρησιμοποιούν το αδειοδοτημένο φάσμα ενώ τεχνολογίες όπως το Wi-Fi, το Bluetooth και το WiMax χρησιμοποιούν το μη αδειοδοτημένο φάσμα.

Τα ασύρματα δίκτυα πέμπτης γενιάς δεν είναι μακριά και θα είναι εμπορικά διαθέσιμα το 2020. Το πως φτάσαμε στα σημερινά τεχνολογικά επίπεδα θα αναλυθεί στο παρόν κεφάλαιο με μια σύντομη αναφορά στα προηγούμενα στάδια, γενιές των ασύρματων δικτύων. Θα δοθούν ιστορικά στοιχεία από κάθε γενιά αλλά και τεχνολογικές πληροφορίες που θα μας οδηγήσουν στην εισαγωγή των 5G δικτύων.



1.1. Εξέλιξη ασύρματων δικτύων επικοινωνιών [43]

1.2 Δίκτυα Πρώτης Γενιάς (1G)

Στα δίκτυα πρώτης γενιάς (1G) η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε μικρές κυψέλες, γι' αυτό και η ονομασία, κυψελωτό δίκτυο. Για την τότε εποχή κάτι τέτοιο ήταν ιδιαίτερα επαναστατικό καθώς υπήρχε η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται ίδιες συχνότητες στο ίδιο δίκτυο χωρίς την εμφάνιση μεγάλης κλίμακας φαινομένων παρεμβολής. Αυτή η εφαρμογή, χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα ορίζοντας ουσιαστικά τα όρια στα οποία μπορούν να εξυπηρετηθούν οι χρήστες. Στην περίπτωση που ο χρήστης μεταφερθεί εκτός των ορίων, η κλήση θα τερματιστεί αν δεν μπορεί να μεταφερθεί η κλήση σε άλλη κυψέλη. Σε αυτή την περίπτωση συμβαίνει handover το οποίο θα εξηγήσουμε στην πορεία. Σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένας σταθμός βάσης ο οποίος είναι υπεύθυνος για την υλοποίηση και την δρομολόγηση των κλήσεων.

Η πρώτη εμφάνιση ασύρματων δικτύων επικοινωνιών έγινε στην Ιαπωνία από την Nippon Telegraph and Telephone το 1979. Ήταν το πρώτο κυψελωτό δίκτυο που τέθηκε σε εφαρμογή. Σε διάστημα πέντε χρόνων, το δίκτυο NTT επεκτάθηκε και έφτασε στο σημείο να καλύπτει όλο τον πληθυσμό της Ιαπωνίας. Το 1983, οι Η.Π.Α υιοθέτησαν και αυτές το δίκτυο 1G και ακολούθησαν και άλλες χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, Μεξικό, Καναδάς. Μέχρι εκείνη την στιγμή η έννοια της ασύρματης επικοινωνίας αφορούσε αποκλειστικά τις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας. Κάθε χώρα δημιούργησε τα δικά της συστήματα επικοινωνίας και στόχος ήταν η ενοποίηση των διεθνών αγορών ούτως ώστε η χρήση των κινητών τηλεφώνων να μην περιορίζεται σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Τα συστήματα της γενιάς αυτής ήταν αναλογικά με αυξημένες δυνατότητες για την εποχή τους από την μία, από την άλλη όμως, πολύ ογκώδη, υψηλού κόστους και χωρίς περιθώρια βελτίωσης. Τα πρώτα συστήματα που έκαναν την εμφάνιση τους ήταν το Advanced Mobile Phone Services (AMPS), Hicap, Cellular Digital Packet Data (CDPD), Mobitex, DataTac.

1.3 Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς (2G)

Τα συστήματα δεύτερης γενιάς που εμφανίστηκαν στην αγορά στις αρχές της δεκαετίας του '90 πήραν την θέση των δικτύων πρώτης γενιάς. Ο λόγος που οδήγησε στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ήταν ο περιορισμένος αριθμός χρηστών που μπορούσαν να εξυπηρετήσουν τα συστήματα πρώτης γενιάς. Με το πέρασμα των χρόνων οι χρήστες αυξάνονταν θέτοντας έτσι τα δίκτυα πρώτης γενιάς σε μια θέση με ημερομηνία λήξης και κρίθηκε απαραίτητη η ερευνητική προσπάθεια για νέες τεχνολογίες με καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών.

Τρία βασικά πλεονεκτήματα των δικτύων 2G έναντι των προκατόχων τους ήταν ότι οι τηλεφωνικές συνομιλίες κρυπτογραφούνταν ψηφιακά, ήταν πιο αποτελεσματικά στο φάσμα επιτρέποντας μεγαλύτερα επίπεδα διεύθυνσης και προσέφεραν νέες υπηρεσίες δεδομένων για κινητά αρχίζοντας με μηνύματα SMS. Οι τεχνολογίες 2G επέτρεψαν στα

διάφορα δίκτυα να παρέχουν υπηρεσίες όπως μηνύματα, εικονομηνύματα και μηνύματα πολυμέσων ψηφιακά κρυπτογραφημένα επιτρέποντας τη μεταφορά δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε μόνο ο παραλήπτης να μπορεί να τα λάβει και να τα διαβάσει μειώνοντας έτσι τις περιπτώσεις απάτης. Το βασικό μειονέκτημα των 2G εντοπίζεται στο γεγονός ότι αν η σύνδεση δεν ήταν καλή θα οδηγούσε στον τερματισμό της συνομιλίας η θα προκαλούσε πολλές διακοπές.

Τέτοια συστήματα δικτύων είναι GSM, Iden, D-AMPS, IS-95, PDC, CSD, PHS, GPRS

1.4 Δίκτυα Τρίτης Γενιάς (3G)

Τα δίκτυα τρίτης γενιάς εμφανίστηκαν στις αρχές του 21^{ου} αιώνα. Ο λόγος δεν είναι άλλος από την αυξανόμενη ζήτηση και ανάγκη για ακόμη υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων από τα ήδη υπάρχουσα συστήματα. Κανένα από τα προηγούμενα δίκτυα δεν είχε καταφέρει να προσφέρει αυτό που κατάφεραν τα 3G. Οι χρήστες είχαν την δυνατότητα πλοήγησης στο διαδίκτυο με ταχύτητες από 125 kbps έως 2Mbps. Τα 3G βασίστηκαν στα 2G δίκτυα για αυτόν τον λόγο συνεχίζουν να υπάρχουν και τα δύο.

Βασικό χαρακτηριστικό των 3G δικτύων είναι η παροχή υπηρεσιών στον χρήστη σε όποιο γεωγραφικό τόπο και οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει υπηρεσίες που συνδυάζουν εικόνα και ήχο με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Χαρακτηριστικά συστήματα της τρίτης γενιάς είναι CDMA, W-CDMA, FOMA, TD-SCDMA, GAN/UMA.

1.5 Δίκτυα Τέταρτης Γενιάς (4G)

Τα 4G δίκτυα είναι ο διάδοχος των 3G δικτύων και έχουν εμφανιστεί για τον ίδιο λόγο που εμφανίστηκαν και οι προηγούμενες γενιές δικτύων. Κάθε γενιά έχει ως τον στόχο την καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών του παρέχοντας του καλύτερες και αποδοτικότερες υπηρεσίες. Τα 4G προσφέρουν υπερευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο και χρησιμοποιούνται κυρίως από τους χρήστες smartphones, υπολογιστών, tablets που απαιτούν υψηλότερους ρυθμούς.

Εκτός από την κινητή τηλεφωνία πλέον τα ασύρματα δίκτυα είναι αναπόσπαστο κομμάτι για την επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών διάφορων τύπων, για τηλεχειρισμό συσκευών, για αποθήκευση δεδομένων. Οι ασύρματες επικοινωνίες βρίσκονται εδώ και χρόνια στο επίκεντρο και θα συνεχίσουν να βρίσκονται όσο οι απαιτήσεις αυξάνονται και όσο υπάρχει περιθώριο βελτίωσης των ήδη παρεχόμενων υπηρεσιών. Στόχος των 4G ήταν η δημιουργία ενός παγκόσμιου τηλεπικοινωνιακού συστήματος χρησιμοποιώντας τις διάφορες τεχνολογίες των προηγούμενων κινητών και ασύρματων δικτύων.

Ουσιαστικά όταν αναφερόμαστε στα δίκτυα τέταρτης γενιάς αναφερόμαστε σε ένα σύστημα που παρέχει διαλειτουργικότητα με τα δίκτυα 2G, 3G αλλά και με τα ψηφιακά ευρυζωνικά συστήματα. Το 4G βασίζεται στο πρωτόκολλο IP και παρέχει ασύρματο Internet. Η ενοποίηση τερματικών, δικτύων και εφαρμογών ήταν το βασικό κριτήριο της δημιουργίας των δικτύων της τέταρτης γενιάς για να ανταπεξέλθει στις υψηλές απαιτήσεις των συνδρομητών. Όμως μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι οι ανάγκες για τεχνολογική εξέλιξη δεν σταματούν ποτέ και βρισκόμαστε ήδη στο σημείο να αναμένουμε την Πέμπτη γενιά.

1.6 Μετάβαση από 3G σε 4G και το LTE – ADVANCED

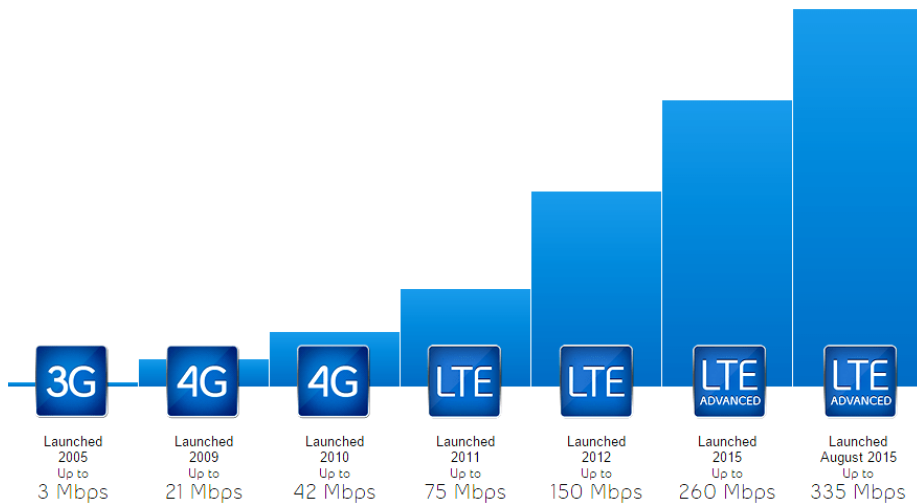
Η LTE (Long Term Evolution) είναι τεχνολογία που αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της 4^{ης} γενιάς ασύρματης τεχνολογίας και θα περιγραφεί αναλυτικά στο συγκεκριμένο κεφάλαιο. Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε την 5^η γενιά θα πρέπει πρώτα να έχουμε μια σωστή εικόνα από που προέκυψε. Για αυτό τον λόγο θα δοθούν λεπτομέρειες για τις προηγούμενες γενιές δικτύων και θα προκύψει μια σύγκριση μεταξύ αυτών στο τέλος.

1.6.1 Μετάβαση από 3G σε 4G

Τα δίκτυα LTE αναπτύχθηκαν από τον οργανισμό 3GPP (3rd Generation Partnership Project) και αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία. Οι λειτουργίες για άμεση επικοινωνία D2D (Device to Device Communication) που είναι και το θέμα της παρούσας διπλωματικής είναι βασισμένες στην τεχνολογία LTE.

Ο κύριος στόχος του LTE είναι να παρέχει ένα υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και υπηρεσίες καλύτερης ποιότητας με χαμηλή καθυστέρηση (low latency) και πακέτα που να υποστηρίζουν την ευελιξία στη χρήση εύρους ζώνης με βελτιστοποιημένη τεχνολογία radio access. Ουσιαστικά αναφερόμαστε στην εξέλιξη των ασύρματων δικτύων GSM (Global System for Mobile) και UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) που αφορά ένα δίκτυο ευρείας ζώνης με αυξημένη χωρητικότητα και μεγαλύτερη ταχύτητα του δικτύου. Η έκδοση 8 της 3GPP του δικτύου LTE αναφερόταν ως σύστημα 4^{ης} γενιάς, όμως επειδή δεν ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις που είχαν ορισθεί από τον διεθνή οργανισμό ITU-R (International Telecommunication Union – Radiocommunication sector) αναβαθμίστηκε στην έκδοση 10. Η αναβαθμισμένη έκδοση μετονομάστηκε σε LTE-Advanced για να μπορεί να θεωρηθεί σύστημα 4G.

Συγκριτικά με τα 3G δίκτυα, βασική διαφορά είναι το 4G δίκτυο να παρέχει στους καταναλωτές υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης πληροφορίας. Η επίτευξη της αύξησης του ρυθμού μετάδοσης ακολουθείται από την αύξηση των χρηστών του δικτύου άρα και την αύξηση των δεδομένων που θα οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η χωρητικότητα συστημάτων τύπου 3G δεν μπορεί να εξυπηρετήσει τους χρήστες. Έτσι τα 4G δίκτυα πρέπει επιτυχάνουν υψηλότερη χωρητικότητα από αυτήν των 3G δικτύων. Τα ασύρματα συστήματα εξαιτίας της χρήσης περιορισμένου εύρους συχνοτήτων και της μεταδιδόμενης ισχύος υποφέρουν από συμφόρηση, έτσι μια απαίτηση που είναι σημαντική είναι η παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας, το λεγόμενο Quality of Service (QoS). Για να υπάρχει επικοινωνία και συνεργασία με άλλα συστήματα ασύρματης πρόσβασης, χρησιμοποιείται τεχνολογία σε πρωτόκολλα IP.



1.2. Πορεία από 3G σε LTE [44]

Το 4G δίκτυο κατάφερε να ικανοποιήσει τους στόχους που αφορούσαν ένα φασματικά αποδοτικό σύστημα, την υψηλή χωρητικότητα του συστήματος και τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας. Η χωρητικότητα των 4G συστημάτων αυξήθηκε αφού τώρα έχουμε περισσότερους ταυτόχρονους χρήστες ανά κυψέλη και μικρότερο κόστος ανά δυαδικό ψηφίο. Με αυτή την επίτευξη η χρέωση είναι πιο χαμηλή και η χρήση του διαδικτύου σε κινητές συσκευές υψηλότερη. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν μέχρι 1 Gbps για download και 500 Mbps για upload ταχύτητες. Δημιούργησε διασυνδέσεις με συστήματα 3G, WLAN (Wireless Local Area Network) και σταθερά δίκτυα.

1.6.2 Το LTE – ADVANCED

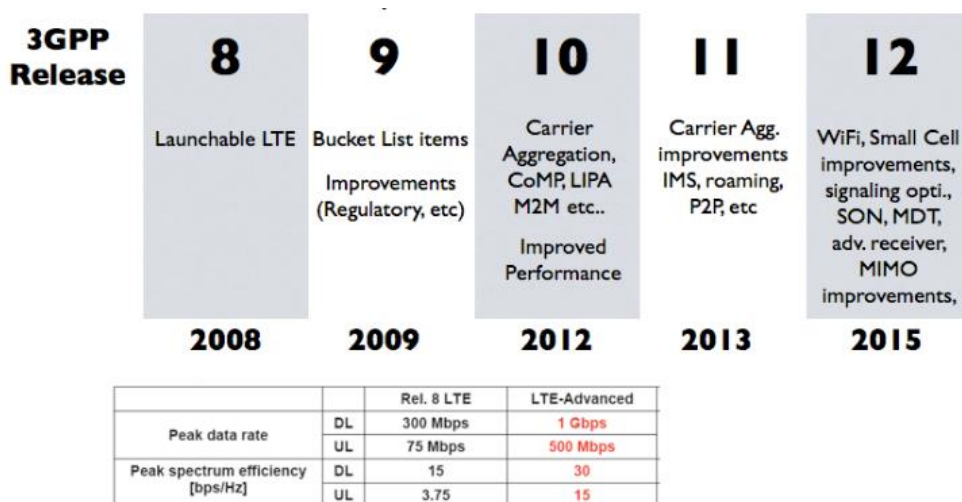
Η 3GPP θέλοντας να πληροί τις προϋποθέσεις που έθεσε ο διεθνής οργανισμός ITU-R στο IMT- Advanced (International Mobile Telecommunications Advanced) όπως αναφέραμε και πιο πάνω, ανέπτυξε μια τεχνολογία βασισμένη στο LTE που στην πορεία μετονομάστηκε LTE – Advanced. Βασικά χαρακτηριστικά της εξελιγμένης αυτής μορφής τεχνολογίας είναι οι πολύ υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, μειωμένες καθυστερήσεις στη μετάδοση, βελτίωση στη φασματική απόδοση του συστήματος για όλους τους χρήστες, είτε βρίσκονται κοντά στο BS, είτε στα άκρα της κυψέλης.

Το πρότυπο LTE-Advanced δεχόταν συνεχώς βελτιώσεις για τις λειτουργίες και τις τεχνικές σε κάθε release. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι σημαντικότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιεί το πρότυπο για να είναι σε θέση να πετύχει τους στόχους του.

1.6.3 Carrier Aggregation (CA)

Όπως αναφέραμε ο στόχος του LTE - Advanced ήταν να υποστηρίξει εύρος ζώνης μεγέθους των 100 MHz. Αυτό το μέγεθος δεν ήταν εφικτό και για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος η τεχνολογία του LTE – Advanced δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να μεταδίδει αλλά και να λαμβάνει μέχρι και πέντε διαφορετικά φέροντα (CCs). Το κάθε ένα από αυτά έχει μέγιστο εύρος ζώνης 20 MHz. Η τεχνική αυτή, ουσιαστικά αθροίζει τα φέροντα για αυτό το λόγο ονομάζεται και συνάθροιση φερόντων (CA).

Θεωρείται ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων 4^{ης} γενιάς. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί το μεγαλύτερο εύρος μετάδοσης και λήψης από τη συσκευή.



1.3 Πορεία βελτίωσης LTE-Advanced

1.7 Από την πρώτη έως την πέμπτη γενιά περιληπτικά

Στα δίκτυα 1G τα οποία ήταν και η εισαγωγή των κυψελοειδών συστημάτων τα ασύρματα δίκτυα είχαν την δυνατότητα να μεταδίδουν μόνο φωνητικά σήματα με αναλογικό τρόπο με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές παρεμβολές και η ταχύτητα μετάδοσης τους έφτανε τα 2.4 kbps. Στη συνέχεια η ανάγκη για καλύτερη ποιότητα, χωρητικότητα συστήματος και κάλυψη οδηγούν στα δίκτυα δεύτερης γενιάς τα οποία χρησιμοποιώντας τεχνικές διαμόρφωσης πλέον μπορούν να μεταδίδουν εκτός από φωνή και δεδομένα και αυτή την φορά με ασφαλείς συνθήκες μετάδοσης.

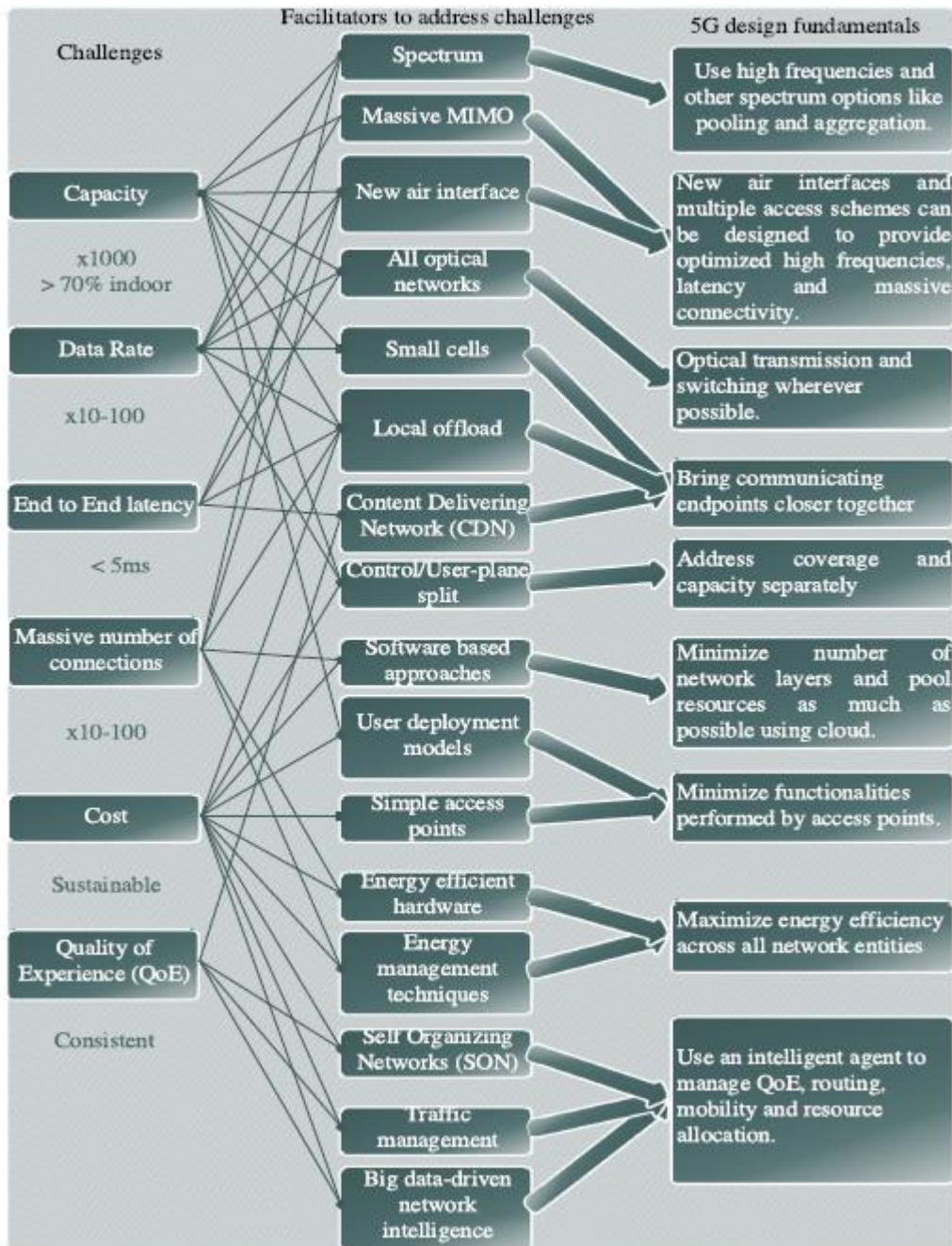
Η ταχύτητα των 2G έφτασε να είναι στα 9.6 / 14.4 kbps. Με μια ενδιάμεση έκδοση μεταξύ 2G και 3G εντοπίζουμε τα 2G τα οποία είναι η εξέλιξη των 2G με υψηλότερους ρυθμούς αυτή την φορά. Οι απαιτήσεις των χρηστών συνεχίζουν να αυξάνονται και υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης θεωρούνται απαραίτητες. Αυτά συνέβαλαν στην δημιουργία των 3G δικτύων τα οποία είναι ικανά να μεταδώσουν φωνή, δεδομένα αλλά και αρχεία πολυμέσων. Κομβικό σημείο στην ιστορία των δικτύων καθώς μέχρι και σήμερα η καθημερινότητα μας βασίζεται στην περιήγηση μας στο δίκτυο, χρησιμοποίηση εφαρμογών και παιχνιδιών αλλά και στις βιντεοκλήσεις.

Η ταχύτητα μετάδοσης εξακολουθεί να αυξάνεται και φτάνει μέχρι και τα 3.1 Mbps. Μέση κατάσταση υπάρχει και κατά την μετάβαση στα 4G όπου βρίσκουμε τα δίκτυα 3.5G που υποστηρίζουν ακόμη υψηλότερες ταχύτητες και ενισχύει τις υψηλότερες ανάγκες δεδομένων που υπάρχουν. Τα δίκτυα τέταρτης γενιάς είχαν ως βασικό στόχο την βελτίωση της ποιότητας παροχής υπηρεσιών και την δημιουργία εφοδίων για τις εφαρμογές που θα ακολουθήσουν. Το επόμενο βήμα στις κινητές τηλεπικοινωνίες είναι τα 5G τα οποία θα διαφοροποιήσουν ότι ξέραμε μέχρι τώρα και θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

1.8 Δίκτυα 5^{ης} γενιάς

Η εκθετική αύξηση της ζήτησης των χρηστών θα προκαλέσει την αντικατάσταση των 4G δικτύων από τα 5G με μια προηγμένη τεχνολογία πρόσβασης λεγόμενη Beam Division Multiple Access (BDMA), και με την Filter Bank multi carrier (FBMC) multi access. Στην ιδέα BDMA ο σταθμός βάσης επικοινωνεί με κινητούς χρήστες κατανέμοντας μια ορθογώνια δέσμη. Αυτή η δέσμη με την τεχνική beamforming θα διαιρεθεί αναλόγως των θέσεων των κινητών χρηστών προσφέροντας έτσι πολλαπλές προσβάσεις στους χρήστες που κινούνται, αυξάνοντας την ποιότητα και ικανότητα του συστήματος. Τα δίκτυα πέμπτης γενιάς αλλά και η αρχιτεκτονική τους θα περιγραφούν λεπτομερέστερα στο επόμενο κεφάλαιο. Ο λόγος ανάπτυξης των ασύρματων δικτύων επικοινωνίας πέμπτης γενιάς είναι οι προκλήσεις και οι απαιτήσεις που δημιουργούνται με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, τις οποίες τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς δε μπορούν να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά. Κάποιες από αυτές τις απαιτήσεις είναι η μεγαλύτερη χωρητικότητα, μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης, μικρότερη καθυστέρηση και μαζική συνδεσιμότητα

συσκευών και φυσικά μειωμένο κόστος και συνέπεια, τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στο [2],[3]. Στο 20 παρουσιάζεται μια επισκόπηση του σχετικού σχεδιασμού των δικτύων αλλά και οι απαιτήσεις της πέμπτης γενιάς δικτύων και παρουσιάζεται και στην επόμενη εικόνα.



1.4 Οι βασικές αρχές, προκλήσεις του σχεδιασμού 5G [45]

1.9 Σύγκριση 5G με προηγούμενες γενεές

Κρίνεται απαραίτητο να αναφέρουμε τις διαφορές μεταξύ των 5G και των προγενέστερων δικτύων και γιατί είμαστε έτοιμοι να υποδεχτούμε την νέα γενιά τώρα. Είναι γεγονός ότι στην περίοδο που διανύουμε η επικράτηση των ασύρματων επικοινωνιών έχει φτάσει σε επίπεδα που δεν ήταν εύκολο να φανταστούμε ότι θα φτάναμε ποτέ. Πλέον τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών διαφόρων τύπων.

1.9.1 Η βασική διαφορά μεταξύ 5G και προηγούμενες γενιές κινητών δικτύων

- Τα δίκτυα 5G επεκτείνουν τις ευρυζωνικές ασύρματες επικοινωνίες εκτός του κινητού διαδικτύου σε Internet of Things.
- Τα δίκτυα 4.5G (LTE Advanced) διπλασίασαν τις ταχύτητες δεδομένων από 4G.
- Τα δίκτυα 4G έφεραν όλες τις υπηρεσίες IP (Voice και Data), μια γρήγορη εμπειρία ευρυζωνικού διαδικτύου, με αρχιτεκτονικές και πρωτόκολλα ενοποιημένων δικτύων.
- Τα δίκτυα 3.5G έφεραν μια πραγματική πανταχού παρούσα εμπειρία κινητού διαδικτύου οδηγώντας στην επιτυχία τα οικοσυστήματα των εφαρμογών για κινητά.
- Τα δίκτυα 3G έφεραν καλύτερη εμπειρία στο διαδίκτυο μέσω κινητού τηλεφώνου, αλλά με περιορισμένη επιτυχία για την απελευθέρωση μαζικών υιοθεσιών υπηρεσιών δεδομένων.
- Τα δίκτυα 2.5G και 2.75G παρουσίασαν βελτίωση στις υπηρεσίες δεδομένων αντίστοιχα με GPRS και EDGE.
- Τα δίκτυα 2G έφεραν ψηφιακές κυψελωτές φωνητικές υπηρεσίες και βασικές υπηρεσίες δεδομένων (SMS, Internet WAP browsing) καθώς και υπηρεσίες περιαγωγής σε δίκτυα.
- Τα δίκτυα 1G έφεραν την κινητικότητα σε αναλογικές φωνητικές υπηρεσίες.

Generations	Access Technology	Data Rate	Frequency Band	Bandwidth	Forward Error Correction	Switching	Applications
1G	Advanced Mobile Phone Service (AMPS) (Frequency Division Multiple Access (FDMA))	2.4 kbps	800 MHz	30 KHz	NA	Circuit	Voice
2G	Global Systems for Mobile communications (GSM) (Time Division Multiple Access (TDMA))	10 kbps	850/900/1800/1900 MHz	200 KHz	NA	Circuit	Voice + Data
	Code Division Multiple Access (CDMA)	10 kbps		1.25 MHz			
2.5G	General Packet Radio Service (GPRS)	50 kbps		200 KHz		Circuit/ Packet	
	Enhanced Data Rate for GSM Evolution (EDGE)	200 kbps		200 KHz			
3G	Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) / Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS)	384 kbps	800/850/900/1800/1900/2100 MHz	5 MHz	Turbo Codes	Circuit/ Packet	Voice + Data + Video calling
	Code Division Multiple Access (CDMA) 2000	384 kbps		1.25 MHz		Circuit/ Packet	
3.5G	High Speed Uplink / Downlink Packet Access (HSUPA / HSDPA)	5-30 Mbps		5 MHz		Packet	
	Evolution-Data Optimized (EVDO)	5-30 Mbps		1.25 MHz		Packet	
3.75G	Long Term Evolution (LTE) (Orthogonal / Single Carrier Frequency Division Multiple Access) (OFDMA / SC-FDMA)	100-200 Mbps	1.8GHz, 2.6GHz	1.4MHz to 20 MHz	Concatenated codes	Packet	Online gaming + High Definition Television
	Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)(Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access(SOFDMA))	Fixed WiMAX	100-200 Mbps	3.5GHz and 5.8GHz initially			
4G	Long Term Evolution Advanced (LTE-A) (Orthogonal / Single Carrier Frequency Division Multiple Access) (OFDMA / SC-FDMA)	DL 3Gbps UL 1.5Gbps	1.8GHz, 2.6GHz	1.4MHz to 20 MHz	Turbo codes	Packet	Online gaming + High Definition Television
	Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)(Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access(SOFDMA))	Mobile WiMAX	100-200 Mbps	2.3GHz, 2.5GHz, and 3.5GHz initially			
5G	Beam Division Multiple Access (BDMA) and Non- and quasi-orthogonal or Filter Bank multi carrier (FBMC) multiple access	10-50 Gbps (expected)	1.8, 2.6 GHz and expected 30-300 GHz	60 GHz	Low Density Parity Check Codes (LDPC)	Packet	Ultra High definition video + Virtual Reality applications

1.5 Η εξέλιξη και οι διαφορές μεταξύ των ασύρματων επικοινωνιών [35]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς

2.1 Εισαγωγή

Η Ευρωπαϊκή Ένωση τον Αύγουστο του 2018 επέλεξε για κάθε κράτος μέλος της μια πόλη που θα στηθεί δοκιμαστικά το 2020 το 5G δίκτυο. Για την Ελλάδα επιλέχθηκε η Πάτρα και το νέο πρότυπο θα επικεντρωθεί περισσότερο στην ηλεκτρονική υγεία, την ενέργεια, τις μεταφορές, τα έξυπνα κτίρια και τις πύλες ψηφιακών υπηρεσιών με γενική εστίαση στην έννοια της έξυπνης πόλης.

2.2 Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς (5G)

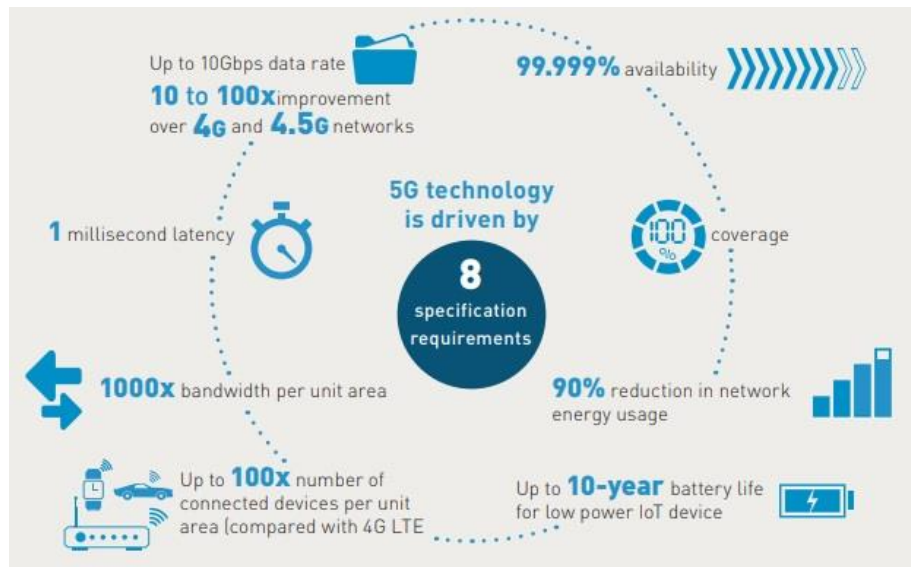
Τα ασύρματα δίκτυα 5G αναμένεται να προσφέρουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα χαμηλού κόστους. Υπόσχονται υψηλές ταχύτητες και αποσκοπούν στην δημιουργία ενός ετερογενούς δικτύου που θα ενσωματώνει όλα τα προηγούμενα δίκτυα και θα είναι σε θέση να εξυπηρετήσει μεγαλύτερο αριθμό χρηστών. Επιπρόσθετα, η πολύ υποσχόμενη αυτή τεχνολογία προσφέρει απεριόριστη πρόσβαση σε κάθε είδους πληροφορία με την διανομή των δεδομένων να γίνεται οποιαδήποτε στιγμή, από οποιοδήποτε και οπουδήποτε δημιουργώντας ένα σύστημα καινοτομίας τεχνολογικά.

2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Το 5GPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) είναι ο μεγαλύτερος οργανισμός, παγκόσμια που είναι υπεύθυνος για την έρευνα των 5G. Αποτελεί μια ευρωπαϊκή προσπάθεια της βιομηχανίας ICT (Information and Communication Technologies) για να συνεισφέρει στην έρευνα για τη νέα εποχή των ICT υποδομών. Σύμφωνα με τον οποίο τα χαρακτηριστικά των 5G δικτύων είναι τα παρακάτω :

- Δεδομένα έως 10Gbps, άρα 10 έως 100x βελτίωση σε σχέση με τα 4G και τα 4.5G
- Latency 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου
- 1000x Εύρος ζώνης ανά μονάδα επιφάνειας
- Έως 100x συνδεδεμένων συσκευών ανά μονάδα επιφάνειας (συγκριτικά με 4G LTE)
- 99.999% Διαθεσιμότητα δικτύου
- 100% Κάλυψη
- Μείωση κατά 90% στη χρήση ενέργειας του δικτύου
- Έως και 10 χρόνια ζωής μπαταρίας για συσκευές χαμηλής κατανάλωσης IoT
- Πολλαπλές συχνότητες και είδη πολυπλεξίας

- Υποστήριξη προγενέστερων γενεών δικτύων (backward-compatibility)



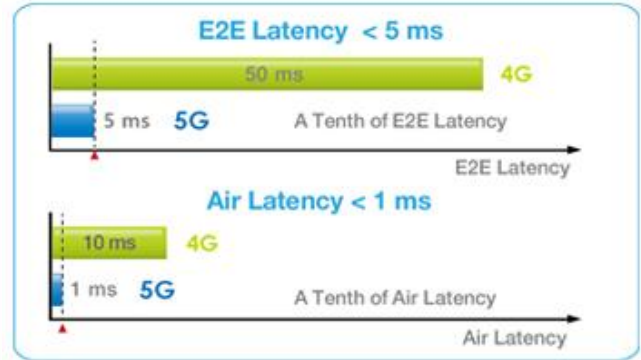
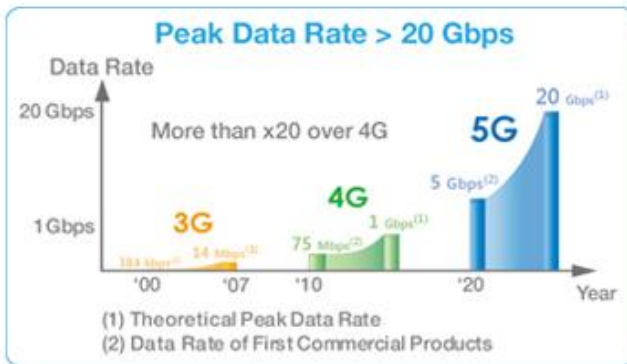
2.1 Κύριος στόχος των 5G Δικτύων **Error! Reference source not found.**

Στόχος για την υλοποίηση των πιο πάνω είναι η δυνατότητα διακίνησης μεγάλου όγκου δεδομένων μέσω των κινητών δικτύων ανά γεωγραφική περιοχή. Εδώ αξίζει να αναφέρουμε ότι λόγω της ικανότητας διαχείρισης τεράστιων όγκων δεδομένων που θα ανταλλάσσονται μεταξύ ανθρώπων και μηχανών πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι πρέπει να αποτρέψουμε την ανεπιθύμητη πρόσβαση στα δεδομένα κατά τη σύνδεση.



2.2 Σύγκριση της ταχύτητας μετάδοσης σε Mbps [47]

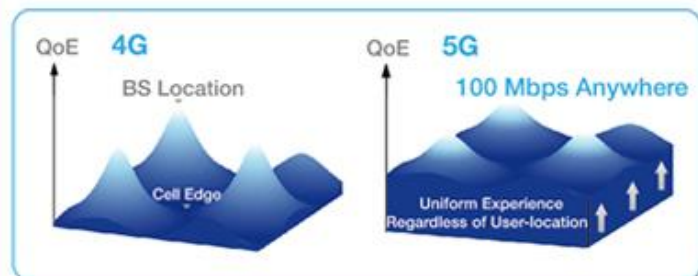
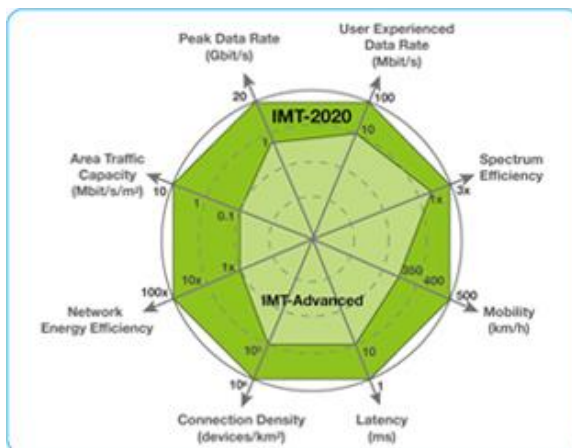
Η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης και η χαμηλή καθυστέρηση αντιμετωπίζουν το πρόβλημα που προκύπτει για δεδομένα που πρέπει να παραδοθούν επιτυχώς μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα καθώς η αποτυχία παράδοσης τους μπορεί να επιφέρει μη επιθυμητά αποτελέσματα. Άρα η διατήρηση ενός αποδεκτού κόστους και η επίτευξη των πιο πάνω είναι ο στόχος του σχεδιασμού των δικτύων 5^{ης} γενιάς.



2.3 Σύγκριση Data Rate και Latency μεταξύ 4G και 5G [48]

Τα ασύρματα δίκτυα πέμπτης γενιάς πρέπει να έχουν την ικανότητα να παρέχουν υπηρεσίες στο χρήστη ενώ αυτός βρίσκεται σε κίνηση. Πρέπει να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του αυξανόμενου αριθμού συσκευών.

Η ποιότητα υπηρεσίας που παρέχεται είναι ακόμη ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να κερδίσει το 5G. Στα δίκτυα που υπήρξαν έως τώρα η ποιότητα υπηρεσίας μπορεί και να εξαρτηθεί από τη γεωγραφική θέση της συσκευής, βάση της απόστασης από το σταθμό βάσης. Άρα απαιτούμε από τη νέα γενιά να διαθέτει ανθεκτικότητα, κάλυψη και διαθεσιμότητα.



2.4 Σύγκριση των δικτύων 4G και 5G για ποιότητα υπηρεσιών βάση γεωγραφικής θέσης [48]

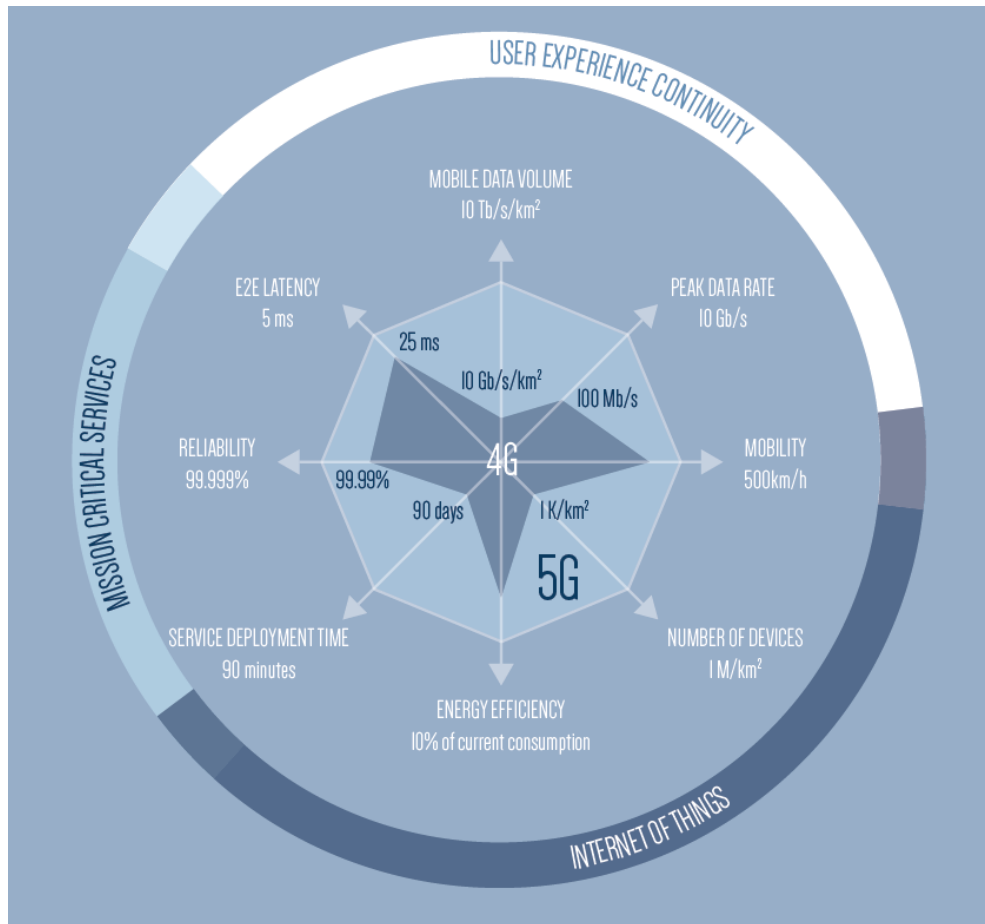
Η νέα γενιά όπως αναφέραμε και στα χαρακτηριστικά πιο πάνω πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει εκατοντάδες χιλιάδες συνδέσεις ταυτόχρονα. Σε περιοχές με μεγάλη κίνηση δεδομένων θα πρέπει οι συσκευές να ανταλλάσσουν δεδομένα με το δίκτυο και να υπάρχει συνεχής στήριξη από τα δίκτυα προηγούμενων γενεών. Για να υλοποιηθεί η υποστήριξη αυτού του μεγάλου αριθμού συσκευών απαιτείται η παράλληλη λειτουργία από τις τεχνολογίες των 2G, 3G, 4G, Wi-Fi, Bluetooth. Επίσης να αναφέρουμε ότι η απαίτηση που υπάρχει για το μεγαλύτερο εύρος ζώνης δεν εξαρτάται από τα δίκτυα πέμπτης γενιάς αλλά από τις συσκευές με μεγαλύτερο εύρος ζώνης για μεγαλύτερο διάστημα.

Η βελτίωση της διαθεσιμότητας και η κάλυψη του δικτύου επιτυγχάνονται με τη χρήση των τεχνολογιών που ήδη υπάρχουν. Οι απαιτήσεις της πέμπτης γενιάς για μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου απαιτούν τη βέλτιστη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.

Τα τερματικά των ασύρματων δικτύων πέμπτης γενιάς δύναται να μπορούν να προγραμματίζονται από το δίκτυο. Το δίκτυο έτσι θα μπορεί να διαχειρίζεται τον εξοπλισμό και να επιλέγει το κατάλληλο προφίλ σύνδεσης ανάλογα με τις ανάγκες. Πρέπει να δίνεται η δυνατότητα διάγνωσης και αντιμετώπισης οποιουδήποτε προβλήματος με στόχο τη βελτιστοποίηση του συστήματος.

Ακόμη ένα χαρακτηριστικό των δικτύων 5G είναι η μείωση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας αλλά και η αύξηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας των συσκευών. Η γενική ιδέα είναι η ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης η οποία συμβάλλει στην οικονομική αλλά και στην οικολογική βιωσιμότητα της βιομηχανίας.

Οι συσκευές θα μπορούν να υποστηρίξουν σήματα διαφορετικών συχνοτήτων όπως αναφέραμε και στη συνάθροιση φερόντων. Εκτός από διαφορετική συχνότητα θα έχουν και διαφορετική πολυπλεξία, όπως για παράδειγμα θα χρησιμοποιούν TDD (Time Division Duplex) ή FDD (Frequency Division Duplex) ή Mixed. Όπως ήδη αναφέραμε οι συσκευές θα πρέπει να λειτουργήσουν και με άλλες τεχνολογίες καθώς αν η συσκευή είναι κινητή τότε θα πρέπει να ανταπεξέλθει στις συνθήκες που θα βρεθεί και την διαχείριση δεδομένων από διαφορετικές τεχνολογίες άρα και διαφορετικά φέροντα.



2.5 Θεωρητικές δυνατότητες 5G δικτύων[49]

2.4 Τεχνολογίες δικτύων 5^{ης} γενιάς

Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του χρήστη και για να ξεπεραστούν οι προκλήσεις που απαιτούνται για να θεωρείται ένα σύστημα 5^{ης} γενιάς τότε χρειάζεται μια δραστική αλλαγή στο σχεδιασμό της κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής του 5G.

Για να ικανοποιηθούν τα πιο πάνω πρέπει να ακολουθηθούν και να υλοποιηθούν τεχνικές όπως SDN και NFV. Το 5G θα σχεδιαστεί στοχεύοντας στην καλύτερη ευελιξία και επεκτασιμότητα για αυτό το λόγο οι παρόχοι υπηρεσιών θα ενσωματώσουν τις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν αλλά και άλλες για αντιμετώπιση άλλων προβλημάτων.

Μια γενική προεπισκόπηση [4] έδειξε ότι ασύρματοι χρήστες ενός δικτύου μένουν εντός γύρω στο 80 τις εκατό και εκτός το υπόλοιπο. Στα ασύρματα δίκτυα σήμερα είναι σημαντικό ένας χρήστης να μπορεί να επικοινωνεί είτε είναι εντός η εκτός. Για αυτό το λόγο οι χρήστες θα πρέπει να μπορούν να επικοινωνήσουν με ένα σταθμό βάσης, με τα σήματα να μπορούν να ταξιδέψουν μέσω εμποδίων μειώνοντας όμως έτσι την απόδοση του φάσματος. Για να αντιμετωπιστεί αυτό προτάθηκε η τεχνολογία MIMO με πολλαπλές αντένες για ενίσχυση του σήματος αλλά και για κάλυψη μεγαλύτερης περιοχής. Για τις

επικοινωνίες εντός, τεχνολογίες όπως Wi-Fi, Small Cell, Ultra Wideband, Millimeter Wave και οπτικές ίνες είναι χρήσιμες για επικοινωνία μικρής κάλυψης με μεγάλο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

2.4.1 Νέες ραδιοσυχνότητες

Η εναέρια διεπαφή που ορίστηκε από τον οργανισμό 3GPP για το 5G είναι γνωστή ως NR (New Radio) και διαιρείται σε δύο ζώνες συχνοτήτων. Την FR1 (κάτω από 6GHz) και FR2 (mmWave) και η καθεμία με διαφορετικές ικανότητες.

2.4.2 Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Οι μαζικές κεραίες MIMO αυξάνουν την απόδοση του τομέα και την πυκνότητα χωρητικότητας χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό κεραιών και πολλαπλών χρηστών MIMO. Κάθε κεραία ελέγχεται μεμονωμένα και μπορεί να ενσωματώνει εξαρτήματα ραδιοφωνικού πομποδέκτη.

2.4.3 Beamforming

Το beamforming χρησιμοποιείται για να κατευθύνει τα ραδιοκύματα σε συγκεκριμένο στόχο – χρήστη. Αυτό επιτυγχάνεται συνδυάζοντας στοιχεία με τέτοιο τρόπο ώστε τα σήματα σε συγκεκριμένες γωνίες να δέχονται σωστή παρέμβαση ενώ άλλα δέχονται καταστροφικές παρεμβολές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να βελτιώσει την ποιότητα του σήματος και τις ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Η Πέμπτη γενιά ασύρματων δικτύων χρησιμοποιεί μορφοποίηση στη δέσμη με τη χρήση κεραιών σταδιακής συστοιχίας.

2.4.4 SDN (Software Defined Networking)

Η τεχνολογία SDN είναι μια αρχιτεκτονική στην οποία οι σταθμοί βάσης είναι προγραμματιζόμενοι και ελεγχόμενοι από έναν κεντρικό ελεγκτή. Η αρχιτεκτονική SDN χωρίζεται σε τρία στοιχεία, εφαρμογής, ελέγχου και υποδομής. Πρόκειται για μια προσέγγιση που για τα ασύρματα δίκτυα που επιτρέπει στους διαχειριστές να ελέγχουν και να διαχειρίζονται τους εξυπηρετητές από το χαμηλότερο επίπεδο λειτουργικότητας.

2.4.5 NFV (Network Function Virtualization)

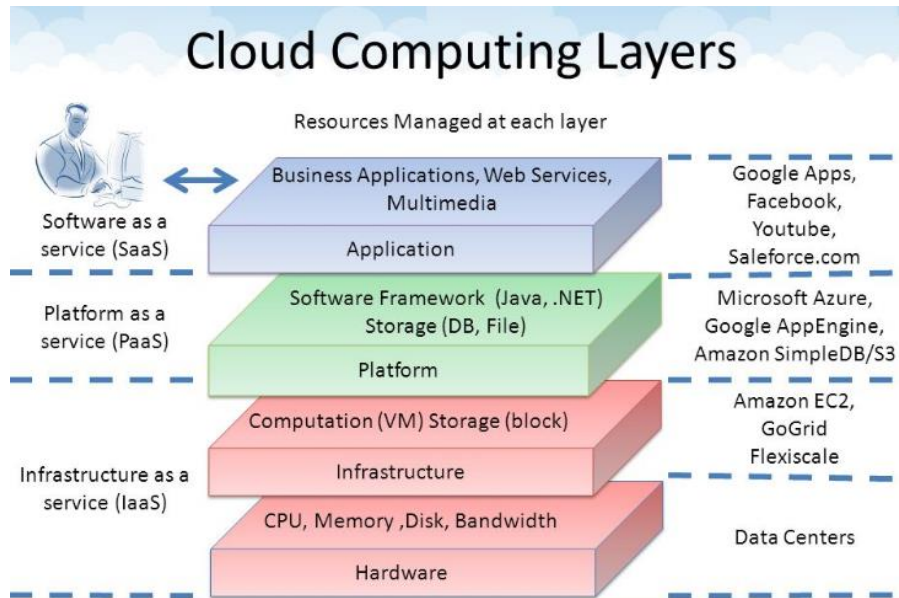
Το NFV είναι υπεύθυνο για την κληρονομικότητα. Με αυτό θέλουμε να πούμε ότι το NFV εικονοποιεί σύνολο λειτουργιών του δικτύου οι οποίες συγκεντρώνονται και συνδέονται ούτως ώστε να μπορούν να δημιουργηθούν υπηρεσίες που υπήρχαν σε προηγούμενες γενιές δικτύων. Το NFV διαδέχεται τον κλασικό server virtualization που μπορεί με πολλές εικονικές μηχανές να προγραμματίσει διάφορα λειτουργικά συστήματα, λογισμικά και λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα μεταφέρει εφαρμογές δικτυακού ή τηλεπικοινωνιακού τύπου που λειτουργούν σε εξειδικευμένες πλατφόρμες.

2.4.6 UDD (Ultra Dense Deployments)

Η ποσότητα του διαθέσιμου φάσματος δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της ανερχόμενης τεχνολογίας 5G. Τα 5G δίκτυα θα λειτουργούν σε φάσμα συχνοτήτων με διαφορετικά χαρακτηριστικά από τις προηγούμενες γενιές δικτύων. Ένα βασικό κομμάτι των 5G είναι η πυκνή τοποθέτηση Small Cells που θα συνυπάρχουν μαζί με Microcells και Macrocells αλλά και με άλλα συστήματα όπως Wi-Fi, LTE/A και HSPA δημιουργώντας ετερογενή δίκτυα. Έτσι δημιουργούνται πολύ πυκνά cells. Η πύκνωση λοιπόν που προκύπτει στα δίκτυα παίζει σημαντικό ρόλο καθώς οδηγούν στην μέγιστη επαναχρησιμοποίηση του εύρους ζώνης αλλά και στη μείωση της απώλειας μετάδοσης.

2.4.7 Cloud Computing

Το cloud computing προσφέρει μηχανισμούς με τους οποίους οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε τεράστιο αριθμό εικονικών πόρων. Αποτελεί το μέσο που προσφέρει μηχανισμούς στους παρόχους με τους οποίους δίνουν πρόσβαση στους χρήστες σε εικονικούς πόρους. Το cloud computing αποτελείται από τρία επίπεδα, το IaaS, το PaaS και το SaaS.



2.6 Επίπεδο αρχιτεκτονικής Cloud Computing [50]

2.4.8 Millimeter Wave (mmWave)

Πιο πάνω αναφέραμε τις νέες ραδιοσυχνότητες που προσφέρουν τα 5G δίκτυα και τις δύο κατηγορίες FR1, FR2 που θα εκπέμπουν. Η FR2 (mmWave) είναι μια πολύ υποσχόμενη τεχνολογία για τα 5G δίκτυα καθώς παρέχει πολλαπλά giga bits ανά δευτερόλεπτο στη συσκευή του χρήστη. Λειτουργεί σε μια ζώνη συχνοτήτων του εύρους των 30 GHz έως 300 GHz. Χρησιμοποιώντας την D2D επικοινωνία στα mmWave κυψελωτά δίκτυα τότε μπορούμε να έχουμε ένα αριθμό άμεσων ταυτόχρονων συνδέσεων το οποίο οδηγεί στην αυξημένη χωρητικότητα του δικτύου.



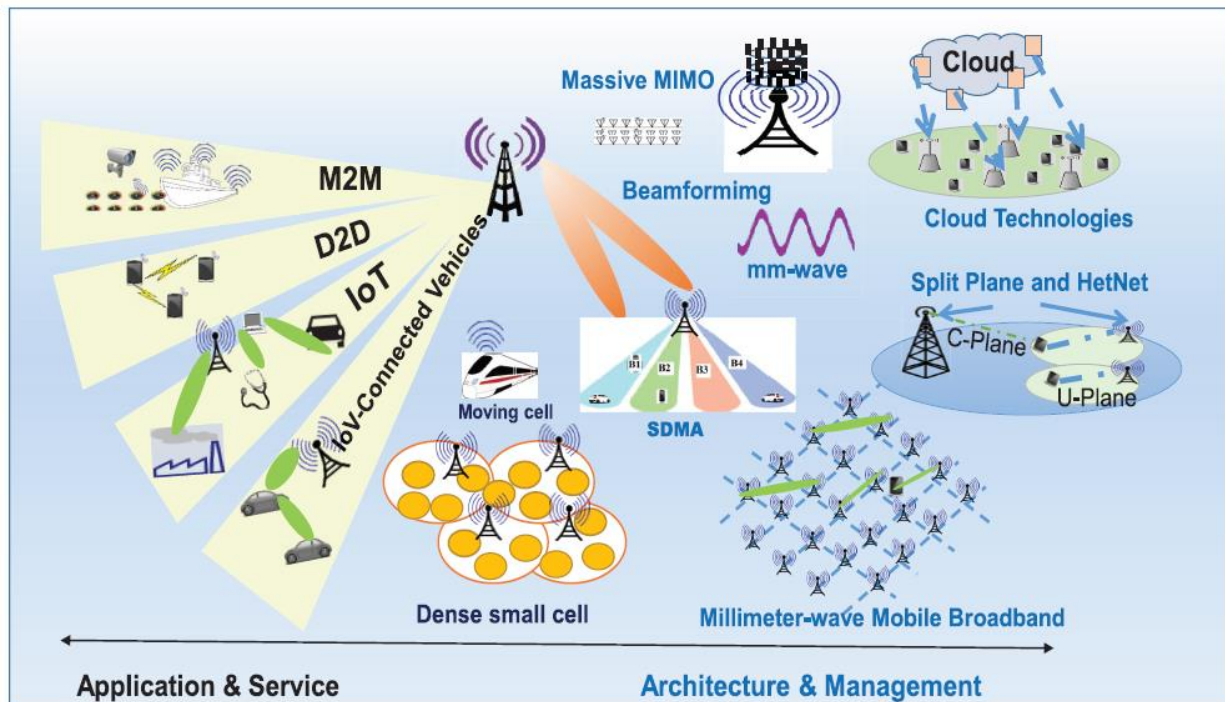
2.7 mmWave Σήματα [51]

2.4.9 HetNets (Heterogenous Networks)

Ένας τρόπος αντιμετώπισης της τεράστιας αύξησης στην κίνηση στα ασύρματα δίκτυα είναι η δημιουργία μεγάλου αριθμού μικρών κυψελών δημιουργώντας έτσι τα ετερογενή δίκτυα. Αποτελούνται από μικρές κυψέλες με χαμηλή απόδοση ισχύος με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου και την αύξηση της κάλυψης του σταθμού βάσης.

2.4.10 D2D Communication (Device to Device)

Η επικοινωνία D2D στα κινητά δίκτυα ορίζεται ως η άμεση επικοινωνία που επιτυγχάνεται μεταξύ δύο χρηστών χωρίς την παρέμβαση του σταθμού βάσης ή του πυρήνα του δικτύου. Οι επικοινωνίες D2D σε συγκεκριμένα σενάρια μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τη φασματική απόδοση του δικτύου. Περισσότερες λεπτομέρειες για την επικοινωνία D2D θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

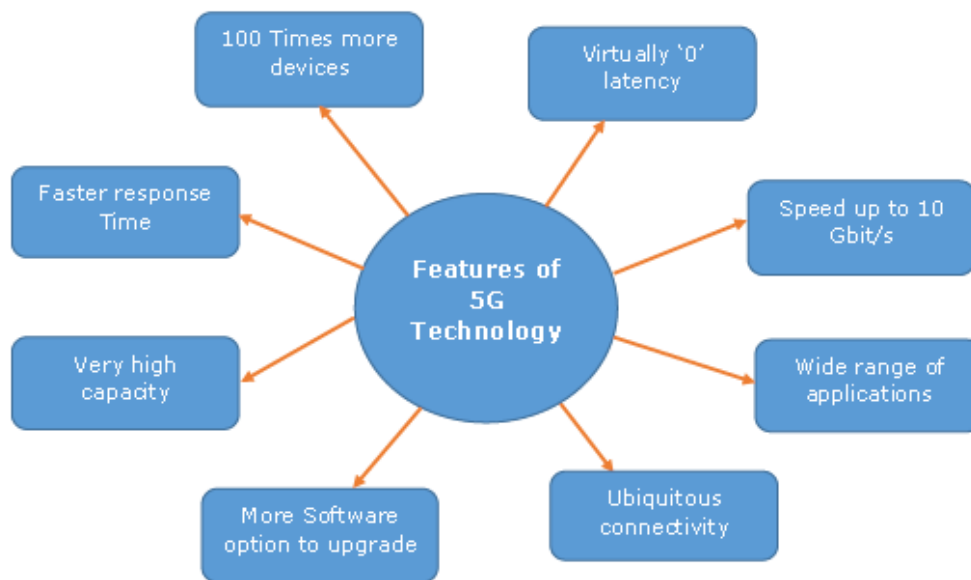


2.8 Εφαρμογές, τεχνολογίες και υπηρεσίες 5^{ης} γενιάς δικτύων [52]

2.5 Χαρακτηριστικά δικτύων πέμπτης γενιάς

Η επόμενη γενιά (5^η) των ασύρματων κινητών δικτύων σηματοδοτεί την εξέλιξη πέραν του κινητού διαδικτύου σε τεράστιο IoT (Internet of things) από το 2019/2010 και έπειτα. Η μεγαλύτερη εξέλιξη συγκριτικά με το σημερινό 4G και 4.5G (LTE Advanced) είναι ότι πέραν της βελτίωσης στην ταχύτητα των δεδομένων, κρίσιμα use cases των επικοινωνιών απαιτούν νέους τύπους βελτιωμένων αποδόσεων. Για παράδειγμα το μειωμένο “latency” είναι αυτό που παρέχει διαδραστικότητα σε πραγματικό χρόνο για υπηρεσίες που χρησιμοποιούν το “cloud”. Επίσης, η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος είναι αυτό που θα επιτρέψει στα συνδεδεμένα αντικείμενα να λειτουργούν για μήνες ή ακόμη και χρόνια χωρίς να χρειάζονται την παρέμβαση του ανθρώπου.

Σε αντίθεση με τις παρούσες υπηρεσίες του IoT που χρησιμοποιούν αντισταθμίσεις απόδοσης για να επιτύχουν την καλύτερη επίδοση από τις τρέχουσες ασύρματες τεχνολογίες (3G, 4G, Wi-Fi, Bluetooth κτλ.) τα δίκτυα πέμπτης γενιάς θα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να φέρουν το επίπεδο απόδοσης που απαιτείται για την μαζική χρήση του διαδικτύου. Αυτό θα επιτρέψει έναν αντιληπτό πλήρως πανταχού παρόν συνδεδεμένο κόσμο κάτι που δεν συμβαίνει με τις τρέχουσες IoT υπηρεσίες.



2.9 Χαρακτηριστικά δικτύων πέμπτης γενιάς [53]

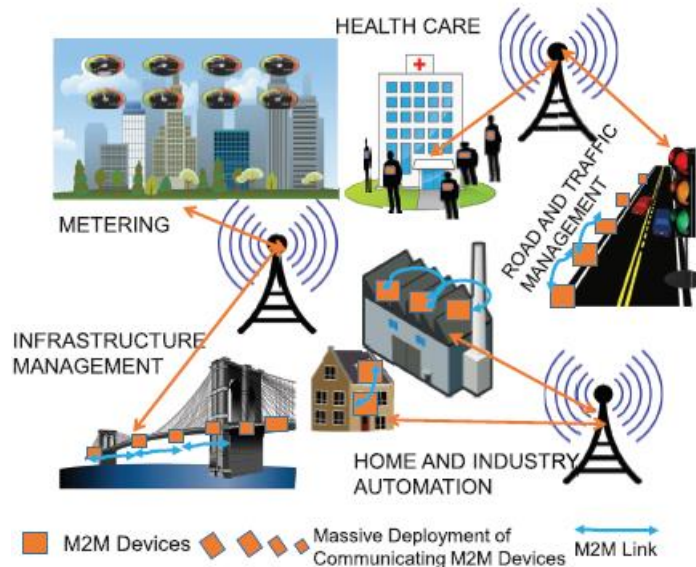
2.6 Χρήσιμες εφαρμογές

Κάθε νέα γενιά ασύρματων δικτύων έχει το δικό της σύνολο νέων χρήσεων. Η επόμενη γενιά που έρχεται θα επικεντρωθεί σε διαδικτυακές εφαρμογές και εφαρμογές κρίσιμης επικοινωνίας. Μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις χρήσης.

- Σταθερή ασύρματη πρόσβαση
- Υγειονομική περίθαλψη
- Μαζικό M2M (Machine-to-Machine)/ IoT
- Κρίσιμες επικοινωνίες IoT με πολύ χαμηλή καθυστέρηση
- Διάφορες εφαρμογές

2.6.1 M2M (Machine to Machine)

Όπως η D2D επικοινωνία, έτσι και η M2M επικοινωνία αναμένεται να είναι σημαντική βελτίωση στα δίκτυα 5G. [5] Τα χαρακτηριστικά των επικοινωνιών M2M περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένα δεδομένα περιαγωγής, επεξεργασία, μεταφορά και ανταλλαγή δεδομένων με ελάχιστη ανθρώπινη πρόσβαση. Σε αντίθεση με την D2D επικοινωνία, η M2M θα βρίσκονται σε θέση να συνδέσουν τεράστιο αριθμό συσκευών μεταξύ τους.



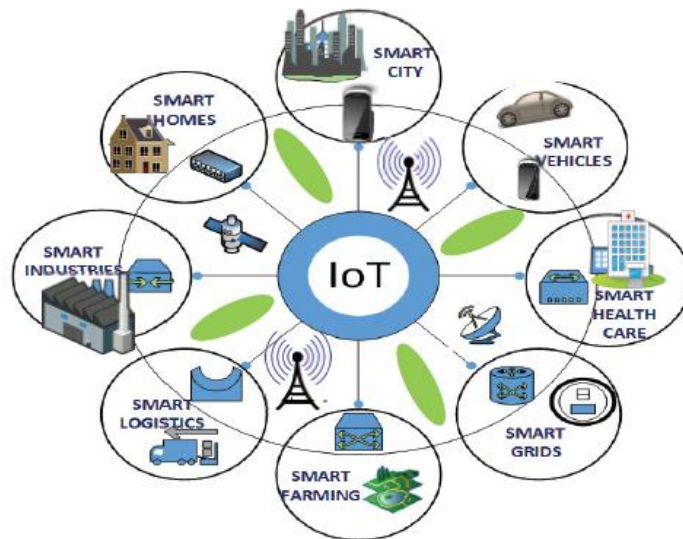
2.10 Εφαρμογές της επικοινωνίας M2M

2.6.2 Health care

Προηγμένες τεχνολογίες αισθητήρων και επικοινωνιών άνοιξαν νέες δυνατότητες παρακολούθησης της υγείας. Η συλλογή και η παρακολούθηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που θα μπορεί να επιτευχθεί με το εύρος ζώνης των 5G, διάφορες εφαρμογές που αφορούν την υγεία θα είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν βελτιώνοντας και επιλύοντας μεγάλες προκλήσεις της υγειονομικής περίθαλψης του ανθρώπου.

2.6.3 Internet of Things (IoT)

Το IoT οραματίζεται την δημιουργία εκατομμυρίων ταυτόχρονων συνδέσεων που περιλαμβάνουν ποικιλία συσκευών, σπίτια, δίκτυα και συστήματα μεταφορών. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με την έλευση ενός υψηλού εύρους ζώνης σαν αυτό που υπόσχονται τα 5G δίκτυα. Τα έξυπνα αντικείμενα που θα ενεργοποιηθούν με τη βοήθεια των δικτύων 5ης γενιάς αναμένεται να αποτελέσουν τη βάση του σχεδιασμού και της υλοποίησης του IoT.



2.11 Σχεδιάγραμμα του Internet of Things

2.7 Εικονικά δίκτυα προσαρμοσμένα σε κάθε περίπτωση χρήσης (use case) :

Τα 5G θα είναι σε θέση να υποστηρίξουν όλες τις ανάγκες επικοινωνίας από δίκτυα τοπικού δικτύου (LAN) χαμηλής κατανάλωσης, όπως οικιακά δίκτυα, σε δίκτυα WAN (Wide Area Networks), με τις σωστές ρυθμίσεις καθυστέρησης και ταχύτητας. Ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζεται αυτή η ανάγκη σήμερα είναι η συγκέντρωση μιας μεγάλης γκάμας δικτύων επικοινωνίας (Wi-Fi, LoRa, 3G, 4G κτλ.). Το 5G έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει απλές διαμορφώσεις εικονικών δικτύων για καλύτερη ευθυγράμμιση του κόστους δικτύου με τις ανάγκες των εφαρμογών. Αυτή η νέα προσέγγιση θα επιτρέψει στους φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας 5G να είναι σε θέση να προσφέρουν οικονομικά αποδοτικές λύσεις για εφαρμογές χαμηλής ευρυζωνικότητας και χαμηλής ισχύος.

2.8 Το 5G τώρα

Η ITU-R ξεκίνησε το IMT για το 2020 και μετά το 2012 θέτοντας το στάδιο για το 5G. Η Ιαπωνία και η Κορέα άρχισαν να εργάζονται για απαιτήσεις 5G το 2013. Το NTT Docomo πραγματοποίησε τις πρώτες πειραματικές δοκιμές των 5G το 2014. Η Samsung, η Huawei και η Ericsson ξεκίνησαν την ανάπτυξη πρωτοτύπων το 2013. Η Νότια Κορέα SK Telecom σχεδίαζε να χρησιμοποιήσει 5G στους χειμερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες του 2018. Ο στόχος της Ιαπωνίας είναι να χρησιμοποιήσει 5G για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του Τόκιο το 2020.

Το ποσοστό υιοθέτησης για το 5G διαφέρει δραστικά από όλα τα δίκτυα προηγούμενης γενιάς (3G, 4G): Το 5G θα φτάσει το 40% κάλυψη του πληθυσμού και 1,5 δις. Συνδρομές μέχρι το 2024, καθιστώντας την ταχύτερη γενιά που θα κυκλοφορήσει ποτέ σε παγκόσμια κλίμακα.

2.9 Επιπτώσεις του 5G για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας

Η 5G εξακολουθεί να είναι μια κυψελοειδής ευρυζωνική τεχνολογία και είναι ένα δίκτυο δικτύων. Η τεχνογνωσία και οι γνώσεις των MNOs (Mobile Network Operators) σε δίκτυα δημιουργίας και εκμετάλλευσης θα είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία του 5G.

Πέρα από την παροχή υπηρεσιών δικτύου, οι παρόχοι κινητής τηλεφωνίας θα μπορούν να αναπτύσσουν και να λειτουργούν νέες υπηρεσίες IoT.

Η υλοποίηση δικτύων 5G, διατηρώντας λειτουργικά τα δίκτυα 3G και 4G, θα προκαλέσει πιθανώς νέα πρόκληση για τους MNOs όσο αφορά την ικανότητα συχνοτήτων στο φάσμα. Οι παρόχοι θα χρειαστεί να απαιτήσουν νέο φάσμα συχνοτήτων για να λειτουργήσουν, της τάξεως των 6 έως 300 GHz, πράγμα που σημαίνει επενδύσεις στην υποδομή του δικτύου.

Για να επιτευχθεί ο στόχος της χαμηλής καθυστέρησης στα 1ms, τα δίκτυα θα χρειάζονται συνδεσιμότητα στους σταθμούς βάσης χρησιμοποιώντας οπτικές ίνες.

Από την πλευρά της εξοικονόμησης κόστους, σχεδιάζονται δίκτυα 5G που θα είναι ικανά να υποστηρίζουν εικονικά δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης (LPLT – Low Power/Low Tower), για χαμηλό κόστος IoT. Σε αντίθεση με σήμερα όπου τα δίκτυα LORA (Long Range) αντιμετωπίζουν αυτή την ανάγκη ξεχωριστά από τα 4G.

2.10 5G τεχνολογία και ασφάλεια

Τα δίκτυα 4G χρησιμοποιούν σήμερα την εφαρμογή USIM (UMTS Subscriber Identify Module) για την εκτέλεση ισχυρών αμοιβαίων ελέγχων ταυτότητας μεταξύ του χρήστη και της συνδεδεμένης συσκευής και των δικτύων. Η οντότητα που φιλοξενεί την εφαρμογή USIM μπορεί να είναι αποσπώμενη κάρτα SIM ή ενσωματωμένο τσιπ UICC. Αυτός ο ισχυρός αμοιβαίος έλεγχος ταυτότητας είναι ζωτικής σημασίας για την παροχή αξιόπιστων υπηρεσιών. Οι λύσεις ασφαλείας σήμερα είναι ήδη ένα μίγμα της ασφαλείας στην συσκευή και της ασφαλείας στο δίκτυο. Πολλά πλαίσια ασφαλείας ενδέχεται να συνυπάρχουν στο μέλλον και η 5G είναι πιθανό να επαναχρησιμοποιήσει υπάρχουσες λύσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα για τα δίκτυα 4G και για το cloud.

Το πρότυπο για ισχυρό αμοιβαίο έλεγχο ταυτότητας για τα δίκτυα 5G έχει οριστικοποιηθεί το 2018. Η ανάγκη για ασφάλεια, προστασία των προσωπικών δεδομένων και η εμπιστοσύνη θα είναι τόσο ισχυρή όσο για τα 4G, αν όχι ισχυρότερη με την αυξημένη επίδραση των υπηρεσιών διαδικτύου.

2.11 Προσδοκίες ποιότητας για τον χρήστη

Τα 5G για τον καταναλωτή δεν σημαίνει μόνο ταχύτερο κινητό διαδίκτυο, αλλά κυρίως σύνδεση στο διαδίκτυο σε πολλά περισσότερα αντικείμενα από αυτά που μπορεί σήμερα. Το αυτοκίνητο και το σπίτι είναι δύο παραδείγματα της μεγάλης επανάστασης του πολέμου που έρχεται μπροστά και υποστηρίζεται από τα δίκτυα 5G.

2.12 Ανησυχίες για τα 5G και επιπτώσεις στην υγεία

Όσο πιο κοντά ερχόμαστε στο να βάλουμε το 5G στην καθημερινότητα μας και όσο πιο πολλές έρευνες έρχονται στην επιφάνεια για το τι θα είναι ικανό να κάνει και κάτω από ποιες συνθήκες τόσο πιο πολλοί γίνονται αυτοί που υποστηρίζουν ότι το 5G δεν πρέπει να εφαρμοστεί. Ας το δούμε όμως αναλυτικότερα.

Μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι το νέο δίκτυο ασύρματης τεχνολογίας 5G παράγει ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας που μπορεί να βλάψει το DNA και να οδηγήσει σε προβλήματα υγείας τον άνθρωπο. Άλλες έρευνες αναφέρουν διαταραχή του μεταβολισμού των κυττάρων. Όλα αυτά από οργανισμούς της παγκόσμιας οργάνωσης υγείας.

Το 5G αναμένεται να εισέλθει στις ζωές μας το 2020 πειραματικά και μέχρι το 2021 λειτουργικά. Οι παρόχοι τηλεπικοινωνίας σε διάφορες χώρες έχουν αρχίσει ήδη την εγκατάσταση κεραιών και την ανάπτυξη των δικτύων τους για να μπορούν να υποστηρίξουν την νέα γενιά. Μεγάλες εταιρείες κινητής τηλεφωνίας όπως Huawei, Motorola, ZTE, LG, Xiaomi και Samsung έχουν ήδη ενσωματώσει την τεχνολογία 5G στα τελευταία τους μοντέλα.

Οι συχνότητες που έχουν επιλεγεί για να εκπέμπουν τα 5G δίκτυα επιλέχθηκαν με το κριτήριο ότι δεν χρησιμοποιούνται από κάποια άλλη ήδη υπάρχουσα τεχνολογία. Στην Ευρώπη θα χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων, μια στα 0,7 GHz, μια στα 3,4 με 3,8 GHz και μια πολύ πιο υψηλή συχνότητα που ανέρχεται στα 24 με 27,5 GHz. Οι συχνότητες είναι υψηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούν τα δίκτυα 4G γι' αυτό και θα είναι ικανά τα δίκτυα πέμπτης γενιάς να μεταφέρουν δεδομένα με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα.

Το πρόβλημα και ο λόγος της έναρξης των ανησυχιών που αναφέρθηκαν νωρίτερα για την ανθρώπινη υγεία είναι η απαραίτητη τοποθέτηση πολλαπλών κεραιών. Τα σήματα υψηλότερης συχνότητας δεν έχουν την ίδια εμβέλεια με τα σήματα χαμηλότερων συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται σήμερα οπότε απαιτούνται περισσότερες κεραιές σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους για την ενίσχυση του σήματος για καλύτερη κάλυψη.

Η επιτροπή FCC (Federal Communications Commission), είναι υπεύθυνη για τη χορήγηση αδειών χρήσης του ραδιοφάσματος για δημόσια χρήση στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και δε συμερίζεται τις απόψεις του οργανισμού τροφίμων και φαρμάκων των ΗΠΑ. Για τις συσκευές που θα υποστηρίζουν 5G, τα σήματα από εμπορικούς ασύρματους πομπούς είναι συνήθως πολύ κάτω από τα όρια έκθεσης ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequencies), για οποιαδήποτε τοποθεσία που θα είναι προσβάσιμη στο κοινό. Η Ευρωπαϊκή Ένωση με τη σειρά της αναφέρει επιφυλακτικά ότι δεν υπάρχουν ακόμη έρευνες εκτός εργαστηρίου που να αποδεικνύουν αυτά που υποστηρίζουν και ότι οι επιστήμονες θα συνεχίζουν να δοκιμάζουν τα νέα δίκτυα καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία για να βεβαιωθούν ότι η τεχνολογία που θα χρησιμοποιούμε καθημερινά θα παραμένει ασφαλής για τον άνθρωπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Συσκευή σε Συσκευή

3.1 Εισαγωγή

Η συνεχής αύξηση των απαιτήσεων των χρηστών των ασύρματων επικοινωνιών είναι ο κύριος λόγος για περαιτέρω βελτίωση της χωρητικότητας των δικτύων. Για να πραγματοποιηθούν οι απαιτήσεις των χρηστών στο μέλλον, πρέπει να ληφθούν σημαντικά βήματα όπως αναφέρονται στο [1]. Μια από τις πολύ υποσχόμενες προσεγγίσεις είναι η αποτελεσματική επαναχρησιμοποίηση των ήδη υπάρχων ζωνών συχνότητας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες επιλογές, όπως ανάπτυξη small cells και κυψέλες με περισσότερους σταθμούς βάσης που θα οδηγήσουν σε ένα πιο πυκνό δίκτυο. Χρησιμοποιώντας την προσέγγιση κατανομής ραδιοφάσματος [2] ή απευθείας επικοινωνία μεταξύ των χρηστών χωρίς την παρέμβαση του σταθμού βάσης, γνωστή και ως επικοινωνία συσκευή προς συσκευή.

Σε αυτό το κεφάλαιο, περιγράφονται οι λειτουργίες για άμεση D2D επικοινωνία (Device to Device Communication), η οποία είναι βασισμένη στην LTE-A τεχνολογία γι' αυτό και θα περιγραφεί αρχικά για την καλύτερη κατανόηση της τεχνολογίας.

3.2 LTE Τεχνολογία (Long Term Evolution)

Η LTE τεχνολογία αποτελεί ένα από τα πρότυπα για την ασύρματη επικοινωνία, τα οποία αναπτύχθηκαν από τον οργανισμό 3GPP (3rd. Generation Partnership Project) και περιγράφονται στις εκδόσεις 8 και 10 του οργανισμού. Όταν μιλάμε για LTE ουσιαστικά αναφερόμαστε στην εξέλιξη των ασύρματων δικτύων GSM (Global System for Mobile) και UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) για ένα δίκτυο με αυξημένη χωρητικότητα και μεγαλύτερη ταχύτητα ευρείας ζώνης. Η έκδοση 8 του δικτύου LTE αρχικά αναφερόταν ως σύστημα της 4^{ης} γενιάς κινητής τηλεφωνίας. Ωστόσο επειδή δεν τηρούσε τα κριτήρια που είχαν τεθεί από τον οργανισμό ITU-R αναβαθμίστηκε στην έκδοση 10 και ονομάστηκε LTE Advanced ώστε να μπορεί να θεωρηθεί σύστημα 4G. Βασικός στόχος της συγκεκριμένης τεχνολογίας ήταν να παρέχει υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών, χαμηλότερη καθυστέρηση από πριν, βελτίωση στη φασματική απόδοση του συστήματος για όλους τους χρήστες ανεξαρτήτως θέσης σε σχέση με το σταθμό βάσης και αύξηση στη χωρητικότητα του συστήματος για να μπορεί να ικανοποιεί τον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό χρηστών που προκύπτει με την πάροδο του χρόνου.

Η τεχνολογία D2D αποτελεί μέρος του LTE – A του 3GPP Release 12. Η Qualcomm σε συνεργασία με άλλους εταίρους παρουσίασε τις προτάσεις για την

υλοποίηση της επικοινωνίας D2D. Η συζήτηση στο 3GPP rel.14 είχε επικεντρωθεί γύρω από τις βελτιώσεις του LTE που θα οδηγούσαν στην ανάπτυξη των δικτύων 5^{ης} γενιάς. Οι τελικές προδιαγραφές εκδόθηκαν το 2017. Οι προδιαγραφές που παρουσιάστηκαν στο πλαίσιο IEEE το πρωτόκολλο 802.11 αφορούσε την έννοια του δικτύου D2D στο WiFi Direct. Το WiFi Direct επιτρέπει στη συσκευή να αναλάβει το ρόλο ενός σημείου πρόσβασης ή και χρήστη. Αυτό θεωρείται το σημαντικότερο πλεονέκτημα χρησιμοποιώντας το δε δίκτυα D2D.

3.3 D2D φυσικό επίπεδο

Στο φυσικό επίπεδο για τις επικοινωνίες D2D επαναχρησιμοποιείται το φυσικό κανάλι ανερχόμενης ζεύξης (Physical Uplink Control Channel – PUCCH). Στο PUCCH ο πομπός είναι ο χρήστης (UE) και ο δέκτης το eNB. Όταν ο χρήστης στείλει δεδομένα προς το eNB τότε ένα άλλο UE, δηλαδή ένας άλλος χρήστης μπορεί να δημιουργήσει D2D επικοινωνία παράλληλα. Αν όμως χρησιμοποιηθεί το φυσικό κανάλι κατερχόμενης ζεύξης (Physical Downlink Share Channel – PDSCH) που είναι κανάλι το οποίο χρησιμοποιούν και οι χρήστες της κυψέλης για την λήψη δεδομένων, για την επικοινωνία D2D ο πομπός είναι το eNB. Στη συνέχεια θα δούμε ότι αν δύο UE επικοινωνούν με D2D παράλληλα με την εκπομπή της κάτω ζεύξης τότε το eNB μπορεί να γίνει ο λόγος ισχυρής παρεμβολής μειώνοντας σημαντικά την απόδοση της D2D επικοινωνίας. Άρα η λειτουργία της D2D επικοινωνίας επιφέρει καλύτερη φασματική απόδοση στο PUCCH.

Για την υποστήριξη των επικοινωνιών D2D και ο μηχανισμός που έχει αναπτυχθεί για την απευθείας επικοινωνία των συσκευών παρακάμπτοντας τον eNB αναφέρεται και ως SideLink (SL).

3.4 Μετάδοση στο Sidelink

Το sidelink ουσιαστικά χρησιμοποιείται για την ανακάλυψη των συσκευών που θα χρησιμοποιήσουν D2D επικοινωνία. Ειδικότερα το sidelink περιγράφει τη δομή του καναλιού το οποίο αποτελείται από κανάλια μεταφοράς πάνω από την διεπαφή του αέρα Uu όπου πραγματοποιείται η εφαρμογή της D2D επικοινωνίας.

Από τη στιγμή που η συγχρονισμένη λειτουργία μπορεί να παράξει καλύτερες επιδόσεις στη διαχείριση της παρεμβολής, στη χρήση του φάσματος και στην κατανάλωση ενέργειας, τότε θα πρέπει όλα τα ENB και όλα τα UE να έχουν μια κοινή χρονική αναφορά. Για αυτό το λόγο, ένα ENB είτε ένα UE, μπορούν να αναμεταδώσουν την χρονική του αναφορά έτσι ώστε τα υπόλοιπα UE να μπορούν να συγχρονιστούν μαζί του. Αυτό ονομάζεται πηγή συγχρονισμού D2D (D2D synchronization source). Τα σήματα που μεταφέρουν τη συγκεκριμένη πληροφορία συγχρονισμού αναφέρονται και ως sidelink synchronization signals και μπορούν να υπάρξουν πολλαπλές πηγές συγχρονισμού.

Υπάρχουν δύο λογικά κανάλια που ορίζονται για την επικοινωνία, το SL Traffic Channel (STCH) και το SL Broadcast Control Channel (SBCCH).

SBCH

Το SBCH μεταφέρει πληροφορίες σηματοδότησης οι οποίες χρησιμοποιούνται για συγχρονισμό στην περίπτωση που οι συσκευές βρίσκονται εκτός κάλυψης του δικτύου ή στο σενάριο της μερικής κάλυψης ή ακόμη και για την περίπτωση που οι συσκευές βρίσκονται σε διαφορετικές κυψέλες και απαιτείται συγχρονισμός μεταξύ τους.

PSBCH

Μαζί με τα sidelink synchronization signals μια πηγή συγχρονισμού D2D εκπέμπει επίσης την PSBCH που μεταφέρει πληροφορία για την υποστήριξη του συγχρονισμού της επικοινωνίας D2D. Οι πληροφορίες που μεταφέρει είναι, ο αριθμός πλαισίων (frames) για D2D επικοινωνίες, το εύρος ζώνης (bandwidth) του συστήματος, η ταυτότητα της πηγής που είναι υπεύθυνη για το συγχρονισμό, ο τύπος της πηγής συγχρονισμού, αν είναι δηλαδή UE ή eNB, το επίπεδο διαστρωμάτωσης αλλά και τον τύπο πολυπλεξίας που χρησιμοποιείται.

STCH

Το STCH χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων που διαθέτουν τις πληροφορίες του χρήστη. Στη συνέχεια συνδέεται με το SL Shared Channel (SL – SCH) το οποίο συνδέεται με το Physical SL Shared Channel (PSSCH).

PSSCH

Όπως στο PUCCH, η σηματοδότηση περιλαμβάνει επιβεβαιώσεις για πακέτα που έχουν ληφθεί στην κατερχόμενη ζεύξη, δείκτες ποιότητας καναλιού (Channel Quality Indicators – CQI), που απαιτούνται ώστε να υπάρξει η βέλτιστη αξιοποίηση των κερδών διαφορισμού χρόνου και συχνότητας αλλά και αιτήματα προγραμματισμού για μεταδόσεις στο PSSCH. Είναι πιθανόν τα σήματα αυτά να καταλαμβάνουν τους ίδιους πόρους. Στη περίπτωση αυτή, τα σήματα συγχρονισμού sidelink και PSBCH έχουν την υψηλότερη προτεραιότητα.

PSDCH

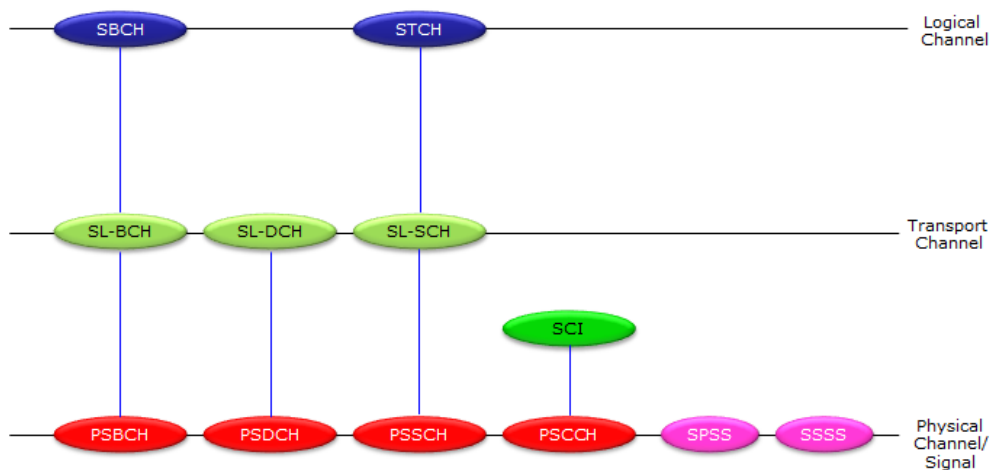
Η διαδικασία ανίχνευσης στα ανώτερα στρώματα αρχίζει από την εφαρμογή που δημιουργεί το μήνυμα ανίχνευσης. Στο επίπεδο 1 (layer 1), η ανίχνευση επιτυγχάνεται με την ανταλλαγή μηνυμάτων ανίχνευσης μέσω της PSDCH.

Για αυτό το λόγο υπάρχουν δύο διαδικασίες ανίχνευσης που υποστηρίζονται στο επίπεδο 1. Η διαφορά των δυο αυτών τύπων διαδικασίας ανίχνευσης είναι ότι στον πρώτο τύπο οι πόροι της ζεύξης για την αναμετάδοση σημάτων ανίχνευσης κατανέμονται έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όλους τους χρήστες ενώ στον δεύτερο τύπο διαδικασίας οι πόροι της ζεύξης ανατίθενται μόνο σε ένα χρήστη και χρησιμοποιούνται μόνο από αυτόν για την εκπομπή του σήματος της ανίχνευσης.

PSCCH

Το PSCCH (Physical SL Control Channel) είναι το κανάλι που χρησιμοποιείται στα κυψελοειδή δίκτυα πάνω από το Uu. Εμπεριέχει πληροφορίες ελέγχου sidelink (Sidelink Control Information – SCI) και μεταφέρει όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται το φέρων σήμα ώστε να αποδιαμορφώσει το PSSCH.

Έτσι το SCI αποστέλλεται πάντοτε από πριν σε ένα μπλοκ δεδομένων.



3.1 Δομή του Sidelink [54]

3.5 D2D και οι δυνατότητες της επικοινωνίας

Η D2D τεχνολογία στα κυψελωτά δίκτυα ορίζεται ως η άμεση επικοινωνία μεταξύ δύο κινητών χρηστών σε κοντινή απόσταση χρησιμοποιώντας ένα LTE σημείο σύνδεσης που είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία σύνδεσης χωρίς τη βοήθεια του σταθμού βάσης, δικτύου πρόσβασης E-UTRAN Node B, γνωστό και ως Evolved Node B (eNB) και δικτύου κορμού (Core Network – CN). Η ζήτηση για νέες υπηρεσίες της ασύρματης κινητής τηλεφωνίας οδήγησαν στην εξέλιξη του δικτύου κορμού. Το δίκτυο κορμού αναπτύχθηκε για το GSM και επεκτάθηκε για την υποστήριξη των GPRS, EDGE και WCDMA αλλά δε μπορούσε να ακολουθήσει τις νέες προδιαγραφές γιατί ήταν υλοποιημένο βάση της λογικής της μεταγωγής κυκλώματος. Η νέα αρχιτεκτονική κορμού που διαδέχθηκε το CN ήταν η System Architecture Evolution – SAE) η οποία ξεκίνησε ταυτόχρονα με το LTE. Σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει μόνο υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων έχοντας ως αποτέλεσμα το Evolved Packet Core (EPC), που αναπτύχθηκε για την υποστήριξη της High Speed Packet Access (HSPA) και του LTE- Advanced. Σημαντικό ρόλο όπως θα δούμε και στη συνέχεια παίζουν και οι καταστάσεις των καναλιών που λαμβάνει μέρος η επικοινωνία συσκευής προς συσκευή αλλά και η αναλογία θορύβου και παρεμβολής (SINR), ο χρόνος απόκρισης και η απόσταση μεταξύ των κινητών σταθμών της ζεύξης D2D.

Όπως αναφέρθηκε στο [3], η επικοινωνία D2D σε κυψελοειδή δίκτυα μπορεί να θεωρηθεί εννοιολογικά παρόμοια με τις ραδιοφωνικές αρχές. Και στις δύο προσεγγίσεις διακρίνουμε τους χρήστες (συμβατικοί χρήστες κυψελοειδούς δικτύου) και τους χρήστες που έχουν πρόσβαση στο φάσμα μέσω της ανίχνευσης είτε επαναχρησιμοποιούν τους πόρους (reuse mode) μέσω της D2D επικοινωνίας. Ωστόσο η επικοινωνία D2D διαχειρίζεται κυρίως από το δίκτυο ενώ το συμβατικό ράδιο είναι αυτόνομο.

Η επικοινωνία συσκευής με συσκευή μπορεί να ταξινομηθεί εντός (in-band) και εκτός ζώνης (out-band). Στην περίπτωση in-band που σύμφωνα με το [5] αναφέρεται και ως LTE direct λαμβάνει χώρα σε ένα αδειοδοτημένο φάσμα που κατανέμεται στους χρήστες του κυψελοειδούς δικτύου. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στο αδειοδοτημένο φάσμα είτε αποκλειστικά (dedicated mode), γνωστό και ως επικάλυψη (overlay) ή ορθογώνιος τρόπος, είτε με επαναχρησιμοποίηση γνωστό και ως υπόστρωμα (underlay). Στην περίπτωση out-band, η D2D επικοινωνία εκμεταλλεύεται το μη αδειοδοτημένο φάσμα που υιοθέτησε από άλλες ασύρματες τεχνολογίες που στηρίζουν την άμεση επικοινωνία όπως το Wi-Fi Direct, ή το Bluetooth.

3.6 Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της εγκατάστασης της D2D επικοινωνίας στα κυψελοειδή δίκτυα περιγράφονται στο [4]. Η εγγύτητα των χρηστών της D2D επικοινωνίας υπόσχεται υψηλά bit rates και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας άρα υψηλότερη ενεργειακή απόδοση. Αυτά επιτυγχάνονται χάρη στη καλή ποιότητα καναλιών μεταξύ των συσκευών επικοινωνίας. Οι χρήστες αντιμετωπίζουν χαμηλότερες καθυστερήσεις πακέτων και ο τρόπος μετάδοσης μέσω ENB δεν γίνεται μέσω two-hop όπως γίνεται στο συμβατικό κυψελοειδές δίκτυο αλλά αποστέλλονται απευθείας σε ένα hop εξοικονομώντας έτσι ραδιοφωνικούς πόρους. Ακόμη ένα πλεονέκτημα είναι ότι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης ίδιων ραδιοφωνικών πόρων με το κυψελοειδές δίκτυο μπορούν να αυξήσουν τη φασματική απόδοση. Αυτό βέβαια εξαρτάται από το πως οι πόροι αυτοί μοιράζονται μεταξύ της D2D επικοινωνίας και του συμβατικού κυψελοειδές δικτύου, κάτι που θα αναλυθεί στις επόμενες ενότητες.

3.7 Περιορισμοί

Δε μπορούσε φυσικά να μην υπάρχουν και περιορισμοί στην τεχνολογία D2D. Στο [5] επισημαίνεται ότι ένας από τους πιο περιοριστικούς παράγοντες της συγκεκριμένης επικοινωνίας είναι ότι η πιθανότητα άμεσης επικοινωνίας μεταξύ δύο συσκευών είναι σχετικά χαμηλή. Δηλαδή, η D2D επικοινωνία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί συχνά αφού βασικό χαρακτηριστικό της είναι μια συγκεκριμένη απόσταση που πρέπει να υπάρχει μεταξύ των δύο συσκευών κάτι που επηρεάζει κατά πολύ την πιθανότητα λειτουργίας της. Όμως, στο [6] αναφέρεται ότι η τεχνολογία LTE θα πρέπει να επιτρέψει στην D2D επικοινωνία να λειτουργεί και σε αποστάσεις μέχρι τα 500 μέτρα. Εδώ μπορούμε να πούμε ότι αυτή η περίπτωση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα των χρηστών σε μια περιοχή. Στα [7] και [8] οι συγγραφείς μελέτησαν τη βέλτιστη πυκνότητα αλλά και τη μέγιστη επιτρεπτή πυκνότητα μεταξύ των συσκευών D2D. Αντίστοιχα, η πρώτη μελέτη αποδεικνύει ότι η καλύτερη πυκνότητα D2D συσκευών καθορίζεται από το μέγεθος της παρεμβολής που δέχεται από το κυψελοειδές δίκτυο. Η δεύτερη μελέτη αποδεικνύει με τη σειρά της ότι η αύξηση των χρηστών σε μια D2D επικοινωνία μειώνει τη διακοπή των κυτταρικών χρηστών. Οι πιο κρίσιμες τεχνικές προκλήσεις της D2D επικοινωνίας είναι η επιλογή λειτουργίας και η διαχείριση των παρεμβολών που μπορεί να αποβεί μοιραία για την επικοινωνία.

Η πιο κοινή χρήση της D2D επικοινωνίας σε κυψελοειδή δίκτυα είναι η αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας από ένα eNB με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου.

3.8 Evolved Node B

Το eNB χρησιμοποιεί διάφορες λειτουργίες στο LTE, όπως η διαχείριση πόρων (Radio Resource Management), ο έλεγχος πόρων (Radio Bearer Control), ο έλεγχος κίνησης της σύνδεσης (Connection Mobility Control) και η δυναμική κατανομή πόρων (Dynamic Allocation) στους χρήστες του LTE, στην άνω ζεύξη και στην κάτω ζεύξη. Αυτό σημαίνει ότι το eNB είναι υπεύθυνο για την σωστή κατανομή πόρων στους χρήστες. Κάθε eNB είναι σε θέση να διαμοιράσει κάποιους από τους πόρους που διαθέτει βάση του αριθμού των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σε αυτόν και βάση του φάσματος που είναι διαθέσιμο. Προκειμένου να αποφύγει τις παρεμβολές, το eNB πρέπει να γνωρίζει ποιο ζευγάρι D2D επικοινωνίας μπορεί να επαναχρησιμοποιήσει πόρους που χρησιμοποιούνται ήδη από κυψελωτούς χρήστες αλλά και τους πόρους που μπορούν να ανατεθούν σε περισσότερο από ένα ζεύγος D2D επικοινωνίας.

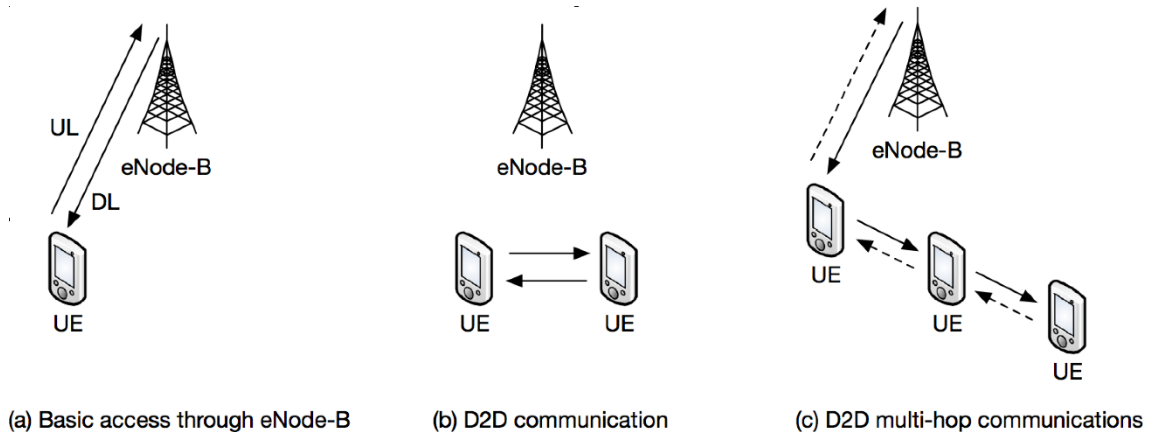
3.9 Αρχιτεκτονική D2D Επικοινωνίας

Το δίκτυο 5G είχε θέσει ως στόχο την αποσυμφόρηση του σταθμού βάσης χρησιμοποιώντας δεσμούς μεταξύ των εξοπλισμών του χρήστη. Αντί να καταφύγουμε σε κυψελοειδές δίκτυα, οι άμεσοι σύνδεσμοι μεταξύ των συσκευών παρέχουν εγγύτητα και ποικιλομορφία. Η D2D επικοινωνία όπως αναφέραμε και προηγουμένως ορίζεται η άμεση επικοινωνία μεταξύ δύο κινητών χρηστών σε κοντινή απόσταση χωρίς την παρέμβαση του σταθμού βάσης. Αυτού του είδους η επικοινωνία προκαλεί ορισμένες προκλήσεις όπως για παράδειγμα οι παρεμβολές, τις οποίες θα αναλύσουμε στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Η D2D επικοινωνία είναι μη διάφανη στα κυψελωτά δίκτυα και μπορεί να υλοποιηθεί σε ένα κυψελωτό αδειοδοτημένο η μη φάσμα.

Γνωρίζουμε ότι σε ένα κλασσικό κυψελωτό δίκτυο όλες οι επικοινωνίες πρέπει να περνάνε από τον σταθμό βάσης ακόμη και αν και οι δύο χρήστες της σύζευξης βρίσκονται σε κοντινή απόσταση και στην ίδια εμβέλεια. Σε υπηρεσίες που οι χρήστες δεν είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους για να έχουν άμεση επικοινωνία όπως μια κλήση ή η ανταλλαγή μηνυμάτων, η τεχνική του παραδοσιακού κυψελωτού δικτύου ταιριάζει απόλυτα. Στην περίπτωση μας όμως, οι χρήστες τις μέρες μας χρειάζονται να χρησιμοποιήσουν υπηρεσίες υψηλού ρυθμού δεδομένων. Οι D2D επικοινωνίες σε αυτές τις περιπτώσεις είναι σε θέση να αυξήσουν σε υψηλό βαθμό τη φασματική ικανότητα δικτύου και να μειώσουν τις καθυστερήσεις. Επομένως η ανάπτυξη μιας τεχνολογίας όπως η D2D κρίθηκε απαραίτητη για την βελτίωση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Όπως αναφέραμε πιο πάνω το LTE είναι μια ευρυζωνική τεχνολογία με υψηλό αριθμό δεδομένων και χαμηλή καθυστέρηση σε χρήστες που κινούνται. Ήταν θέμα χρόνου το D2D να πραγματοποιηθεί όπως και έγινε στο Release 12 της 3GPP.



3.2 Είδη επικοινωνίας D2D [55]

Στην εικόνα απεικονίζεται a) η βασική σύνδεση μέσω eNodeB b) τοπολογία σύνδεσης D2D επικοινωνίας και c) D2D multi – hop επικοινωνία. Στην επικοινωνία D2D οι χρήστες είναι κινητοί ενώ στην επικοινωνία με eNodeB έχει συγκεκριμένη θέση.

3.9.1 Αδειοδοτημένο φάσμα (Inband D2D)

Στο αδειοδοτημένο φάσμα η επικοινωνία πραγματοποιείται με την άδεια χρήσης του κυψελοειδούς φάσματος. Το inband D2D παρέχει φασματική απόδοση λόγω της κοινής χρήσης αδειοδοτημένου φάσματος μεταξύ D2D και κυψελωτούς χρήστες (cellular users – CUEs). Ο μηχανισμός διαχείρισης ποιότητας υπηρεσιών QoS (Quality of Service) ελέγχεται από το eNB το οποίο βοηθά στην αντιμετώπιση διαφόρων ζητημάτων που μπορεί να προκύψουν όπως οι παρεμβολές. Το inband D2D κατηγοριοποιείται σε underlay και overlay. Όταν αναφερόμαστε στο underlay εννοούμε ότι στην επικοινωνία D2D οι χρήστες μοιράζονται τους ίδιους πόρους φάσματος ενώ στο overlay D2D οι πόροι του φάσματος διατίθενται αποκλειστικά. Η λειτουργία underlay δημιουργεί προκλήσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση παρεμβολών και της κατανομής πόρων μεταξύ χρηστών D2D (DUEs) και CUEs.

3.9.2 Μη αδειοδοτημένο φάσμα (Outband D2D)

Στο μη αδειοδοτημένο φάσμα η επικοινωνία D2D απαιτεί υλικό συμβατότητας μεταξύ των συσκευών επικοινωνίας. Το eNB παρέχει τον έλεγχο σήματος της επικοινωνίας αλλά η βασική επικοινωνία μεταξύ των συσκευών πραγματοποιείται στο outband. Η λειτουργία στο outband αποτρέπει τις παρεμβολές από τα CUEs αλλά υπάρχει η παρεμβολή μεταξύ των συσκευών, πράγμα που οδηγεί σε ένα πιο περίπλοκο πρόβλημα χειρισμού των παρεμβολών.

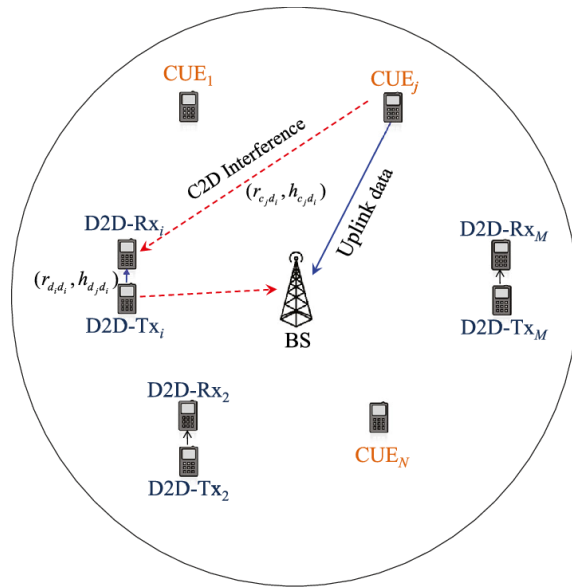
3.10 Handover

Οι όροι handover ή handoff είναι όροι που χρησιμοποιούνται στις κυψελοειδής επικοινωνίες όσο αφορά τη διαδικασία μεταφοράς μια κλήσης που βρίσκεται σε εξέλιξη από ένα κανάλι που είναι συνδεδεμένο σε ένα άλλο κανάλι. Το εύρος μετάδοσης των ζεύξεων επικοινωνίας D2D είναι περιορισμένο, έτσι η διαχείριση κινητικότητας των συνδέσεων στα κανάλια και του handover είναι σημαντικά ζητήματα της επικοινωνίας D2D. Ένα handover μπορεί να προκληθεί όταν οι χρήστες μιας D2D ζεύξης μετακινηθούν και να προκαλέσει την μεταφορά του καναλιού ή όταν η ζεύξη μεταξύ των χρηστών αντιμετωπίζει μεγάλο μέγεθος παρεμβολών και εμποδίζει την D2D επικοινωνία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ζεύξεις D2D μπορούν να γίνονται κυψελοειδής ζεύξεις και αντίστροφα. Αυτό είναι το λεγόμενο mode selection που θα μας απασχολήσει στη συνέχεια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Με λίγα λόγια το eNodeB αποφασίζει εάν η επικοινωνία θα πραγματοποιηθεί απευθείας μέσω της D2D επικοινωνίας ή θα μεταδοθεί από το eNodeB σε λειτουργία Uplink/Downlink. Οι D2D ζεύξεις πρέπει να είναι σε θέση να συνεχίσουν την άμεση επικοινωνία κατά την μετακίνηση των χρηστών από την μια κυψέλη σε μια άλλη ή πρέπει να μπουν σε λειτουργία cellular πριν από την παράδοση σε μια άλλη κυψέλη.

3.11 Διαχείριση Παρεμβολών

Μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι επικοινωνίες D2D είναι η παρεμβολή από CUEs όπως σωστά περιγράφουν οι συγγραφείς στο [9]. Η επαναχρησιμοποίηση κυψελοειδών πόρων, επομένως η συνύπαρξη χρηστών DUEs και CUEs οδηγεί σε θέματα παρεμβολών. Οι παρεμβολές μπορούν να εμποδίσουν τις επιτυχείς μεταδόσεις μεταβάλλοντας το SINR (Signal-to-interference-plus-noise-ratio). Οι τεχνικές διαχείρισης παρεμβολών μπορούν να χωριστούν στις κατηγορίες αποφυγής, συντονισμού και ακύρωσης παρεμβολών.

Κάποιοι από αυτούς τους τρόπους είναι η επιλογή του τρόπου λειτουργίας της D2D επικοινωνίας οι οποίοι θα αναλυθούν στη συνέχεια, την βέλτιστη ανάθεση πόρων αλλά και ο έλεγχος ισχύος του συστήματος. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε ένα γενικό σενάριο παρεμβολών που μπορεί να προκύψει σε μια κυψέλη.



3.3 Είδη Παρεμβολών [56]

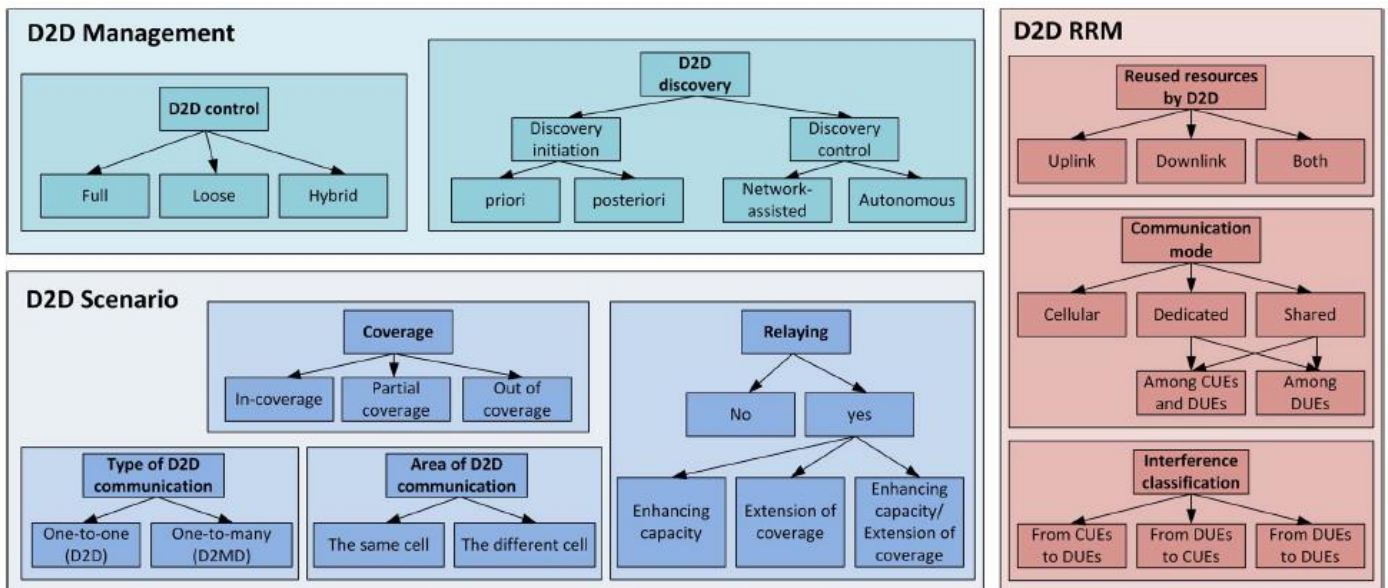
3.12

Feature	Wi-Fi	802.11p	UMTS	LTE	LTE-A
Channel width	20 MHz	10 MHz	5 MHz	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz	Up to 100 MHz
Frequency band(s)	2.4 GHz, 5.2 GHz	5.86-5.92 GHz	700-2600 MHz	700-2690 MHz	450 MHz-4.99 GHz
Bit rate	6-54 Mbps	3-27 Mbps	2 Mbps	Up to 300 Mbps	Up to 1 Gbps
Range	Up to 100 m	Up to 1 km	Up to 10 km	Up to 30 km	Up to 30 km
Capacity	Medium	Medium	Low	High	Very High
Coverage	Intermittent	Intermittent	Ubiquitous	Ubiquitous	Ubiquitous
Mobility support	Low	Medium	High	Very high (up to 350 km/h)	Very high (up to 350 km/h)
QoS support	Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)	Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)	QoS classes and bearer selection	QCI and bearer selection	QCI and bearer selection
Broadcast/Multicast support	Native broadcast	Native broadcast	Through MBMS	Through eMBMS	Through eMBMS
V2I support	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
V2V support	Native (ad hoc)	Native (ad hoc)	No	No	Potentially, through D2D
Market penetration	High	Low	High	Potentially high	Potentially high

3.4 Τα βασικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών για τις D2D επικοινωνίες

3.13 Διαχείριση συστήματος επικοινωνιών D2D

Όσο αφορά τη διαχείριση μιας επικοινωνίας D2D, στη συνέχεια της ενότητας αυτής θα αναλύσουμε πώς πραγματοποιείται μια σύνδεση D2D και πως γίνεται ο έλεγχος της.



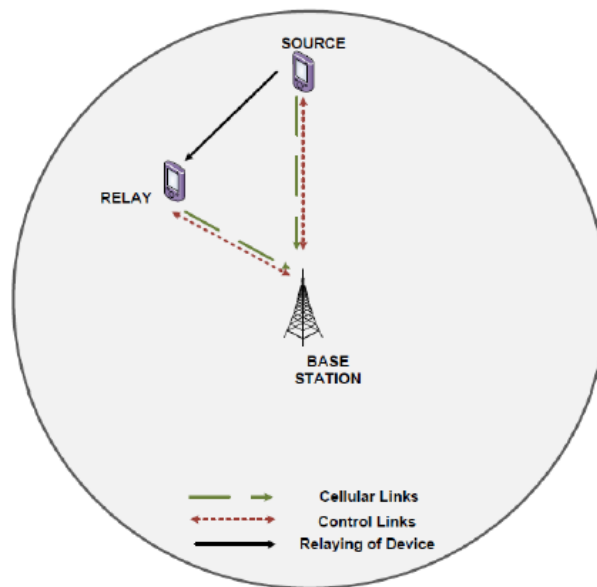
3.5 Σύστημα Επικοινωνίας D2D [38]

Η επικοινωνία D2D στα δίκτυα πέμπτης γενιάς μπορεί να θεωρηθεί ότι χωρίζεται σε δύο επίπεδα δικτύων. Τα δύο αυτά επίπεδα είναι το επίπεδο macrocell και το επίπεδο της συσκευής. Οι παραδοσιακές κυψελωτές επικοινωνίες διεκπεραιώνονται από το επίπεδο macrocell με τη χρήση σταθμού βάσης ενώ οι D2D επικοινωνίες από το επίπεδο συσκευής. Αν μια συσκευή πραγματοποιήσει σύνδεση σε δίκτυο με τη χρήση σταθμού βάσης τότε θεωρείται ότι λειτουργεί σε microcell. Αν η συσκευή συνδεθεί άμεσα με άλλη συσκευή ή πραγματοποιήσει την μεταφορά δεδομένων με τη βοήθεια άλλων συσκευών τότε θεωρούμε ότι λειτουργεί σε επίπεδο συσκευής. Στο επίπεδο συσκευής ο σταθμός βάσης που θα τον αναφέρουμε ως BS από δω και πέρα μπορεί να έχει μερικό ή πλήρες έλεγχο στον καταμερισμό πόρων του πομπού και του δέκτη αλλά μπορεί και να μην έχει και καθόλου έλεγχο. Το επίπεδο που μας αφορά και θα ασχοληθούμε είναι το επίπεδο συσκευής το οποίο χωρίζεται σε κατηγορίες.

3.13.1 Device Relaying με Ελεγχόμενη ζεύξη από τον πάροχο

Στο συγκεκριμένο τύπο μεταγωγής, οι συσκευές στα άκρα των κυψελών ή σε περιοχές με μειωμένη κάλυψη μπορούν να επικοινωνήσουν με τον BS διαβιβάζοντας πληροφορίες μέσω κάποιων άλλων συσκευών. Η εγκαθίδρυση της επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών είναι δουλειά του BS αυξάνοντας έτσι την διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών.

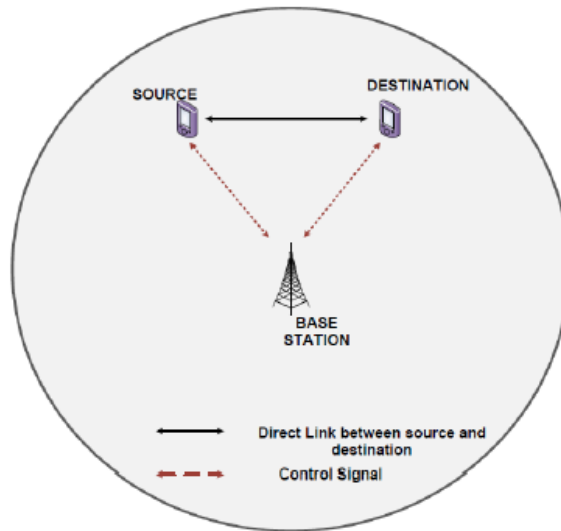
Η αρχιτεκτονική εμφανίζεται στο σχήμα παρακάτω.



3.6 Device Relaying με Ελεγχόμενη ζεύξη από τον πάροχο [7]

3.13.2 Άμεση επικοινωνία μεταξύ συσκευών με ελεγχόμενη ζεύξη από τον πάροχο

Δύο συσκευές έχουν άμεση επικοινωνία μεταξύ τους και ο πάροχος παρέχει ελεγχόμενη ζεύξη. Ο πομπός και ο δέκτης ανταλλάζουν δεδομένα χωρίς τη βοήθεια του σταθμού βάσης αλλά στηρίζονται στον BS για πληροφορίες της σύνδεσης. Η κεντρική μονάδα ελέγχου είναι απαραίτητη και στις δύο περιπτώσεις του επιπέδου συσκευής για την διαχείριση των παρεμβολών που θα προκύψουν. Η αρχιτεκτονική εμφανίζεται στο σχήμα παρακάτω.

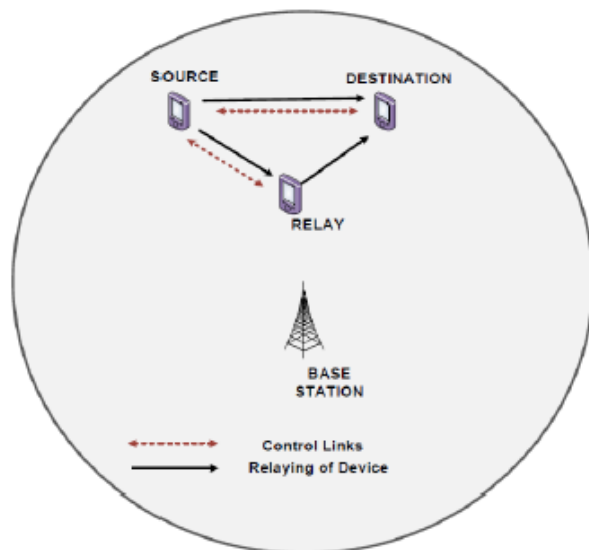


3.7 Άμεση επικοινωνία μεταξύ συσκευών με ελεγχόμενη ζεύξη από τον πάροχο [7]

3.13.3 Μεταγωγή συσκευών με ελεγχόμενη ζεύξη από τη συσκευή

Οι δύο συσκευές σε αυτή την περίπτωση επικοινωνούν μέσω μεταγωγών στο κυψελωτό δίκτυο. Η δέσμευση των πόρων που θα χρειαστούν, η δημιουργία της ζεύξης αλλά και η διαχείριση των παρεμβολών που θα προκύψουν, χειρίζονται αποκλειστικά από τις συσκευές τις ίδιες. Ο BS και ο έλεγχος που είχαμε στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις δεν υπάρχει εδώ.

Η αρχιτεκτονική εμφανίζεται στο σχήμα παρακάτω.

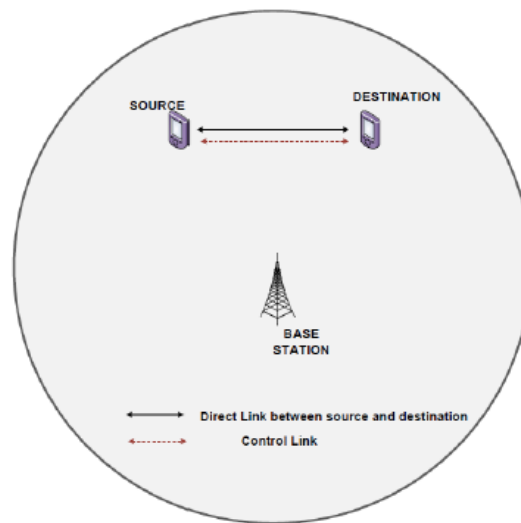


3.8 Μεταγωγή συσκευών με ελεγχόμενη ζεύξη από την συσκευή [7]

3.13.4 Άμεση επικοινωνία μεταξύ συσκευών με ελεγχόμενη ζεύξη από την συσκευή

Οι συσκευές σε αυτή την περίπτωση επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους χωρίς την παρέμβαση του BS. Η δημιουργία της ζεύξης και την διαχείριση των πόρων την χειρίζονται και πάλι οι συσκευές.

Η αρχιτεκτονική εμφανίζεται στο σχήμα παρακάτω.



3.9 Άμεση επικοινωνία μεταξύ συσκευών με ελεγχόμενη ζεύξη από την συσκευή [7]

3.14 Πλεονεκτήματα των δύο επιπέδων

- Στην επικοινωνία D2D αφού οι χρήστες επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους, η καθυστέρηση μειώνεται σημαντικά και λιγότεροι πόροι απαιτούνται για την επικοινωνία καθώς και η χρήση που γίνεται στο φάσμα είναι ιδανική.
- Με την επικοινωνία στα κυψελωτά δίκτυα, οι χρήστες D2D μπορούν να μοιραστούν το ίδιο φάσμα αλλά και από τους κυψελωτούς χρήστες.
- Αφού οι ζεύξεις υπάρχουν μεταξύ κοντινών χρηστών που βρίσκονται σε μικρή απόσταση, η ισχύς μετάδοσης είναι μικρή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ζωής της μπαταρίας των συσκευών.
- Η περιοχή κάλυψης αυξάνεται υποστηρίζοντας έτσι την επικοινωνία σε μεγαλύτερη εμβέλεια.

3.15 ProSe

Για την υποστήριξη των περιπτώσεων θα αναφέραμε στο επίπεδο συσκευής αλλά και στις περιπτώσεις κάλυψης υπεύθυνη είναι η το πρότυπο ProSe (Proximity Services). Η αρχιτεκτονική ProSe είναι υπεύθυνη για την διασύνδεση ανάμεσα στην συσκευή UE και του σταθμού βάσης BS.

Η αρχιτεκτονική ProSe περιλαμβάνει τη διασύνδεση μέσω της διεπαφής του αέρα (interface Uu) ανάμεσα στη συσκευή και το σταθμό βάσης, όπως και το S1 Interface μεταξύ eNB και του EPC, περιέχει τις παρακάτω διεπαφές.

PC1: Παροχή διάφορων ασύρματων υπηρεσιών με βάση τις επικοινωνίες D2D, έναν αριθμό εφαρμογών που μπορούν να εγκατασταθούν στον εξοπλισμό του χρήστη. Οι εφαρμογές αυτές, μπορούν να ανταλλάξουν δεδομένα με τον διακομιστή μέσω του PC1.

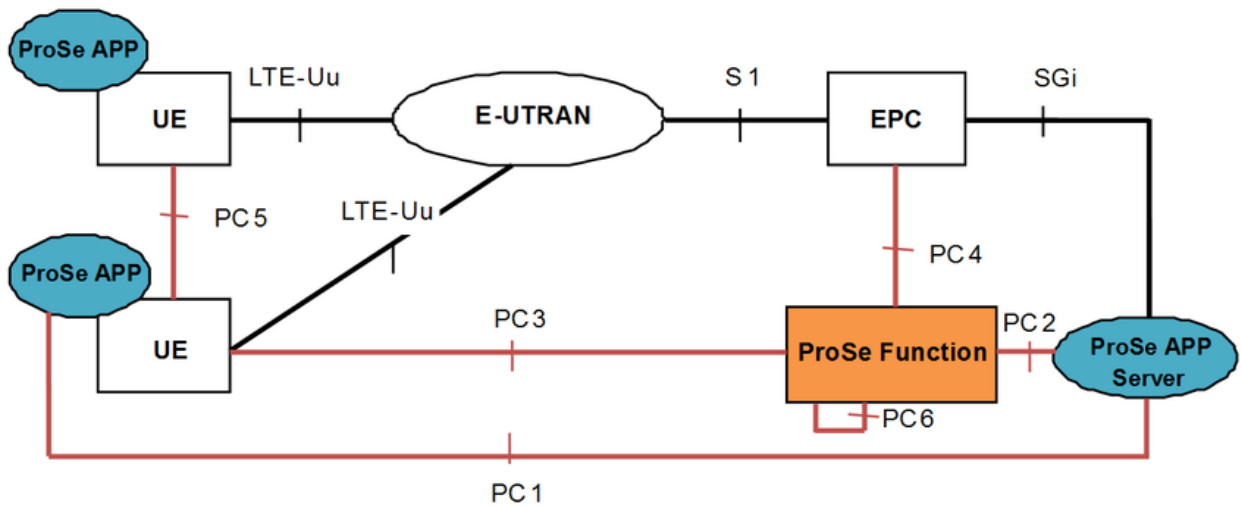
PC2: Οι λειτουργίες ProSe που υποστηρίζονται από το EPC αναφέρονται γενικά ως ProSe Function. Η διεπαφή αυτή ορίζεται μεταξύ του ProSe APP Server και του ProSe Function και χρησιμοποιείται για την ενημέρωση των δεδομένων εφαρμογής από τη βάση δεδομένων της ProSe από την ProSe Function.

PC3: Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση των λειτουργιών της D2D ανίχνευσης και επικοινωνίας και υπάρχει μεταξύ των UEs και της ProSe Function. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για την ανίχνευση των τερματικών που πιθανόν να είναι εγγεγραμμένα σε διαφορετικά δημόσια δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ή και UEs που ανήκουν σε διαφορετικά ραδιοδίκτυα όπως το LTE-A και το Wi-Fi

PC4: Η διεπαφή αυτή είναι υπεύθυνη για την αλληλεπίδραση μεταξύ του ProSe Function και του EPC. Χρησιμοποιείται επίσης για την εξουσιοδότηση των υπηρεσιών ProSe για τη διαχείριση της κινητικότητας.

PC5: Η διεπαφή είναι υπεύθυνη για τις D2D broadcasting επικοινωνίες.

PC6: Η διεπαφή που βρίσκεται ανάμεσα σε πολλαπλά ProSe Functions σε διαφορετικά δημόσια δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (Public Land Mobile Networks – PLMNs).



3.10 Αρχιτεκτονική ProSe [57]

3.16 Σενάρια κάλυψης

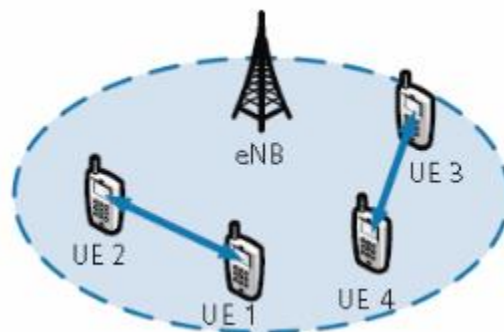
Υπάρχουν τρία βασικά σενάρια στις επικοινωνίες D2D.

- 1) Όλοι οι σταθμοί βάσης να είναι διαθέσιμοι
- 2) Κάποιοι από τους σταθμούς βάσης να είναι διαθέσιμοι και οι υπόλοιποι να βρίσκονται εκτός λειτουργίας
- 3) Όλοι οι σταθμοί βάσης να βρίσκονται εκτός κάλυψης

Τα παραπάνω σενάρια θα περιγραφούν παρακάτω με εικόνα για κάθε υπόθεση. Από εδώ και έπειτα όπου UE, οι χρήστες.

3.16.1 Σε κάλυψη (In Coverage)

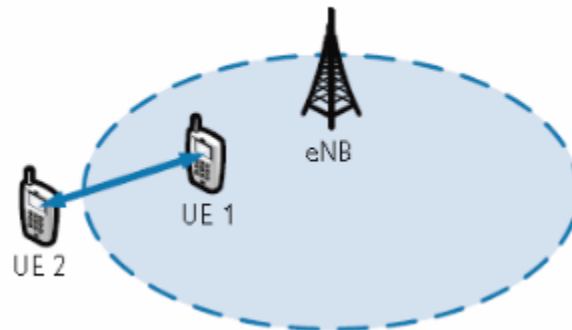
Στο σενάριο αυτό, οι χρήστες που επιθυμούν να επικοινωνήσουν μέσω D2D βρίσκονται εντός της περιοχής κάλυψης κάποιου από τα eNodeB.



3.11 Σενάριο Κάλυψης [58]

3.16.2 Μερική κάλυψη (Partial Coverage)

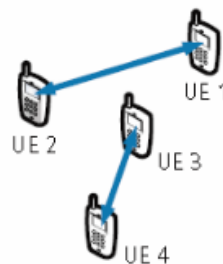
Σε αυτό το σενάριο κάποιοι χρήστες βρίσκονται εντός κάλυψης ενώ κάποιοι άλλοι βρίσκονται εκτός εμβέλειας eNodeB η δεν είναι καν συνδεδεμένα σε κάποιο eNodeB.



3.12 Σενάριο μερικής Κάλυψης [58]

3.16.3 Εκτός κάλυψης (Out of Coverage)

Το σενάριο αυτό αναφέρεται στην περίπτωση που όλοι οι χρήστες βρίσκονται εκτός εμβέλειας κάλυψης του eNodeB.



3.13 Σενάριο εκτός Κάλυψης [58]

3.17 Ανακάλυψη συσκευής D2D

Βασικό μέρος της διαχείρισης D2D είναι η ανακάλυψη των DUEs, η λεγόμενη peer διαδικασία ανακάλυψης. Ο σκοπός της διαδικασίας ανίχνευσης D2D είναι να βρούμε τις συσκευές που θα μπορούσαν να επικοινωνήσουν σε λειτουργία D2D.

Η ανακάλυψη μπορεί να γίνει είτε πριν αρχίσει η επικοινωνία μεταξύ των DUEs (priori) ή κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας (posteriori). Η κοινή χρήση της priori ανακάλυψης γίνεται κατά τη διάρκεια μεταφοράς ενός συγκεκριμένου περιεχομένου μεταξύ δύο συσκευών. Ενώ κατά μια posteriori ανακάλυψη μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κινητές συσκευές που κινούνται η μια στην περιοχή της άλλης κατά την ανταλλαγή δεδομένων και η επικοινωνία γίνεται πιο αποδοτική.

Όπως έχει ήδη περιγραφεί στο 3.5.1 η διαδικασία ανίχνευσης μπορεί να ελεγχθεί με διαφορετικούς τρόπους με τη συμμετοχή του δικτύου. Έτσι η ανακάλυψη μπορεί να ελεγχθεί είτε πλήρως από το δίκτυο είτε αυτόνομα από τα DUEs. Η ανακάλυψη μέσω δικτύου είναι πιο βολική καθώς το δίκτυο μπορεί να γνωρίζει προσεγγιστικά τις θέσεις των συσκευών π.χ. εάν τα DUEs που επικοινωνούν βρίσκονται στο ίδιο κελί. Από την άλλη, η ανακάλυψη με τη βοήθεια δικτύου μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη σηματοδότηση. Τα πλεονεκτήματα της αυτόνομης ανακάλυψης είναι ότι έχει χαμηλή σηματοδότηση επειδή είναι πλήρως κατανεμημένη όμως θα μπορούσε να μειώσει την απόδοση της μπαταρίας σημαντικά.

Χωρίς τη δυνατότητα ανακάλυψης γειτονικών συσκευών είναι αδύνατο να δημιουργηθεί μια σύνδεση D2D. Η συνάντηση των δύο χρηστών γίνεται στο χρόνο και στη συχνότητα είναι το πιο κρίσιμο ζήτημα για την επικοινωνία. Επιπλέον μπορούμε να πούμε ότι η ανακάλυψη της γειτονικής συσκευής μπορεί να χρησιμοποιηθεί έξυπνα και να οδηγήσει σε ποικιλία υπηρεσιών που θα αφορούν την εκμετάλλευση των πληροφοριών της θέσης των UEs.

3.18 Διαχείριση πόρων D2D

Η επικοινωνία D2D μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κατηγορίες με διάφορα κριτήρια ανάλογα με τη duplexing λειτουργία ή την επαναχρησιμοποίηση των πόρων που προορίζονται για μια D2D επικοινωνία, ή τον τρόπο λειτουργίας διαχείρισης παρεμβολών. Η πιο κοινή προσέγγιση είναι η χρήση των πόρων που χρησιμοποιούνται σε άνω ζεύξη κυψελοειδών δικτύων. Το πλεονέκτημα της άνω ζεύξης (UL) είναι ότι αυτή η κατεύθυνση δε χρησιμοποιείται συγκριτικά με την κάτω ζεύξη (DL), δεδομένου ότι οι περισσότεροι χρήστες προτιμούν και συνηθίζουν να κατεβάζουν δεδομένα από το δίκτυο από το να ανεβάζουν. Επιπλέον η κατάσταση παρεμβολών στο UL είναι πιο διαχειρίσιμη σε σχέση με την κυψελοειδή μετάδοση επειδή το θύμα παρεμβολών είναι αποκλειστικά το eNB.

Αν και το πρόβλημα υπολειτουργίας των πόρων σε UL μπορεί να λυθεί εν μέρει με κατάλληλη διαμόρφωση πλαισίου TDD, η παρεμβολή στο DL εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό εμπόδιο.

3.19 Λειτουργία Επικοινωνίας

Η λειτουργία επικοινωνίας αναγνωρίζει αν οι DUEs επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους ή μέσω του eNB. Επιπλέον διακρίνει αν η επικοινωνία χρησιμοποιεί ίδιους πόρους με το κυψελοειδές δίκτυο ή όχι. Ένας πολύ κρίσιμος όρος που σχετίζεται με την αποφυγή των παρεμβολών στο δίκτυο είναι η επιλογή του τρόπου λειτουργίας.

Για τη σωστή επιλογή τρόπου λειτουργίας παίζει σημαντικό ρόλο τόσο η απόσταση μεταξύ των χρηστών [10] της D2D επικοινωνίας αλλά και η απόσταση των κυψελωτών χρηστών και του σταθμού βάσης.

3.19.1 Cellular Mode (CM)

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας αντιστοιχεί στη συμβατική επικοινωνία όσο τα DUEs ανταλλάζουν δεδομένα με τη χρήση του eNB και δεν υπάρχει άμεση ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει συνηθώς όταν οι χρήστες είναι πολύ μακριά ο ένας από τον άλλο ή εάν μια επικοινωνία D2D δεν είναι εφικτή. Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης λειτουργίας είναι ότι οι παρεμβολές μπορούν εύκολα να διαχειριστούν από τον eNB χωρίς επιπλέον βοήθεια. Από την άλλη όμως χαρακτηρίζεται για τη χαμηλή απόδοση φάσματος.

3.19.2 Dedicated Mode

Στη συγκεκριμένη λειτουργία, δύο DUE επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας χωρίς τη χρήση του eNB. Το eNB πρέπει να αφιερώνει πόρους για τη συντήρηση των DUEs μεταδόσεων, επομένως τα CUEs δε μπορούν να εκμεταλλευθούν πλήρως τον eNB. Οι πόροι εδώ χρησιμοποιούνται με μεγαλύτερη απόδοση από την CM γιατί μόνο μια κατεύθυνση, είτε DL είτε UL λαμβάνει μέρος για την D2D επικοινωνία. Το πλεονέκτημα της λειτουργίας αυτής είναι ότι δεν υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ των CUEs και DUEs που να χρειάζεται να αντιμετωπίσει το eNB.

3.19.3 Reuse Mode

Στη λειτουργία αυτή οι ίδιοι πόροι που χρησιμοποιούνται για την D2D επικοινωνία, χρησιμοποιούνται και από τους χρήστες CUEs. Όπως και στο DM, έτσι και εδώ, οι πόροι χρησιμοποιούνται είτε κατά το DL η κατά UL. Από φασματικής απόδοσης αυτή η επιλογή είναι πιο αποδοτική για το σύστημα αφού η επαναχρησιμοποίηση πόρων δίνει σημαντικό προβάδισμα σε αυτή τη λειτουργία παρότι στις προηγούμενες. Παρ' όλα αυτά έχει και μειονεκτήματα αφού μπορούν να δημιουργηθούν σημαντικές παρεμβολές μεταξύ των DUEs και CUEs. Για να αποφευχθεί η δημιουργία των παρεμβολών πρέπει να εισαχθούν στο σύστημα τεχνικές αντιμετώπισής τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος ολόκληρου.

3.19.4 Silent Mode:

Όταν οι διαθέσιμοι πόροι δεν επαρκούν για την υποστήριξη της επικοινωνίας D2D και η επαναχρησιμοποίηση φάσματος δεν είναι δυνατή λόγω του προβλήματος παρεμβολών, οι συσκευές D2D δεν μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα και πρέπει να παραμείνουν αδρανείς στην αθόρυβη λειτουργία.

3.20 Κριτήρια τρόπων λειτουργίας

Οι αλγόριθμοι που υπάρχουν στη βιβλιογραφία αφορούν τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία γίνεται η επιλογή του τρόπου λειτουργίας της D2D επικοινωνίας. Τέτοιου είδους κριτήρια είναι η επιλογή της λειτουργίας με το μέγιστο throughput, η επιλογή λειτουργίας στο σενάριο full-buffer κίνησης όπου όλοι οι διαθέσιμοι πόροι έχουν δεσμευτεί ή στο σενάριο που δεν χρειάζεται να γίνει επαναχρησιμοποίηση πόρων επειδή οι διαθέσιμοι πόροι είναι αδρανείς (στην ανερχόμενη ζεύξη για παράδειγμα). Η απόδοση της D2D επικοινωνίας σε κάθε λειτουργία εξαρτάται επίσης από τις καταστάσεις κίνησης (traffic states) την από άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση (end-to-end delay), την πιθανότητα κατάρρευσης της ζεύξης και την απόδοση του δικτύου.

3.21 Κατηγοριοποίηση παρεμβολών

Οι παρεμβολές είναι το πιο κρίσιμο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι D2D επικοινωνίες. Ο λόγος είναι ότι η κυψελοειδής επικοινωνία δεν πρέπει να επηρεάζεται από την εισαγωγή της επικοινωνίας D2D στο δίκτυο. Αν η επικοινωνία D2D επηρεάζεται έντονα από την κυψελοειδής επικοινωνία τότε η εφαρμογή της και η αποτελεσματικότητα της μειώνονται σημαντικά. Τα σημεία που επηρεάζονται από παρεμβολές είναι το eNB, τα DUEs και τα CUEs.

Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως υπάρχει παρεμβολή μεταξύ των CUEs και DUEs αν βρίσκονται στη λειτουργία reuse. Επιπλέον η παρεμβολή συμβαίνει επίσης όταν κατανέμονται οι ίδιοι πόροι στους χρήστες. Η κατηγορία παρεμβολών χωρίζεται σε τρεις

περιπτώσεις ως προς το ποιος είναι αυτός που ευθύνεται για την παρεμβολή και στο ποιος επηρεάζεται από αυτήν. Έχουν γίνει μελέτες, έχουν συζητηθεί διάφορες προσεγγίσεις για την εξάλειψη των παρεμβολών και προτάθηκαν τρόποι αντιμετώπισης όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Οι συγγραφείς της [11] λαμβάνουν υπόψιν ένα D2D επικοινωνιακό δίκτυο για ακύρωση παρεμβολών, μαζί με την ισχύς μετάδοσης για τη μεγιστοποίηση της χρήσης του δικτύου όπου ένα σημαντικό κέρδος λαμβάνεται από τους χρήστες φάσματος. Στο άρθρο [12] οι ερευνητές παρέχουν μια έρευνα στη διαχείριση παρεμβολών στη D2D επικοινωνία. Οι συγγραφείς στο [13] συγκεντρώνουν στοιχεία για τη διαχείριση των παρεμβολών μεταξύ των χρηστών μιας επικοινωνίας D2D και συζητούν την εμβέλεια που λαμβάνει χώρα η καταστολή των παρεμβολών μεταξύ των χρηστών την D2D επικοινωνίας και των κυψελοειδών χρηστών που επηρεάζει την απόδοση του συστήματος. Η σωστή ρύθμιση της εμβέλειας για την περιοχή καταστολής παρεμβολών μπορεί να βοηθήσει να κατορθωθεί η βέλτιστη απόδοση συστήματος. Στο άρθρο [14] οι συγγραφείς προτείνουν ένα καινοτόμο σχήμα για τον καλύτερο συντονισμό της παρεμβολής και για τη βελτίωση της ικανότητας διεκπεραίωσης του συστήματος και της ικανής χρήσης των πόρων σε ένα D2D δίκτυο πολλαπλής κατανομής. Σε μια άλλη έρευνα συζητήθηκε η διαχείριση των παρεμβολών που προέκυψαν χρησιμοποιώντας κωδικοποίηση δικτύου. Στο [15] γίνεται μια αξιολόγηση για τα σενάρια παρεμβολών σε ένα σύστημα με χρήστες κυψελωτής λειτουργίας και χρήστες D2D επικοινωνίας που μοιράζονται το ίδιο φάσμα. Οι παρεμβολές σε ένα τέτοιο σενάριο μπορούν να μειωθούν και να εξαλειφθούν με έλεγχο ισχύος και στη συνέχεια με την βέλτιστη ανάθεση πόρων.

3.22 Έλεγχος ισχύος

Όταν ένα μέγιστο επίπεδο ισχύος ανατίθεται στους χρήστες D2D, τότε η ποιότητα υπηρεσίας του κυψελωτού χρήστη διατηρείται στο δίκτυο. Ο έλεγχος της ισχύος επιδρά στην μείωση και στην εξάλειψη της παρεμβολής στο κυψελωτό δίκτυο. Το να θέσεις τη βέλτιστη ισχύ μετάδοσης για να μπορείς να επαναχρησιμοποιήσεις τη συχνότητα είναι ένα θέμα που οι ερευνητές συχνά ασχολούνται μαζί του. Υπάρχει ακόμη εξελισσόμενη έρευνα σε αυτό το πεδίο καθώς τα επίπεδα ελέγχου ισχύος είναι σημαντικά για τη διαχείριση διεπαφής μεταξύ των χρηστών D2D και τους κυψελωτούς χρήστες.

Στα [16],[17] προτείνονται μερικές τεχνικές ελέγχου ισχύος μέσα από τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση στην απόδοση. Για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής ικανότητας του δικτύου, στο άρθρο [18] προτείνεται μια συνδυαστική τεχνική ανάθεσης πόρων και ελέγχου ισχύος. Ένας αλγόριθμος χαμηλής πολυπλοκότητας που χρησιμοποιεί αναστροφή επαναληπτική συνδυαστική δημοπρασία που παρέχει υψηλή ικανότητα στο σύστημα προτάθηκε από τους συγγραφείς στο [19] προκειμένου να προάγει την ποιότητα της D2D επικοινωνίας. Για διαφορετικά μοντέλα καναλιών προτείνονται επίσης στατικά σχήματα ελέγχου ισχύος στα άρθρα [20],[21] όπου έχουν στόχο της υποβάθμισης του λόγου σήματος ως προς τον θόρυβο (SINR).

3.23 Signal to Interference plus Noise Ratio – SINR

Ο λόγος SINR είναι η ποσότητα που χρησιμοποιείται για να δώσουμε θεωρητικά άνω όριο στη χωρητικότητα ενός καναλιού στις ασύρματες επικοινωνίες. Ανάλογα με τον λόγο του σήματος προς θόρυβο SNR που χρησιμοποιείται σε ενσύρματες επικοινωνίες, το SINR ορίζεται ως η ισχύς ενός συγκεκριμένου σήματος διαιρούμενο με το άθροισμα της ισχύος της παρεμβολής. Η μηδενική παρεμβολή σε κάποιο σύστημα μειώνει το SINR. Η ενέργεια ενός σήματος εξασθενεί όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση.

Σε ένα ασύρματο δίκτυο λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες όσο αφορά την ποιότητα των ασύρματων συνδέσεων. Επομένως σε ένα σύστημα 5G πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες για την εύρεση του SINR, όπως ο θόρυβος από το περιβάλλον αλλά και οι παρεμβολές που θα προκαλέσουν άλλες ταυτόχρονες συνδέσεις μεταξύ τους.

Στις επικοινωνίες D2D όπως αναφέραμε και προηγουμένως στον τρόπο λειτουργίας dedicated δεν υπάρχουν παρεμβολές αφού δε μοιράζονται οι πόροι του eNB ενώ στον τρόπο λειτουργίας reuse οι παρεμβολές είναι κάτι που θα μας απασχολήσει και στην προσομοίωση. Για αυτό το λόγο ο λόγος του SINR θα παίξει σημαντικό ρόλο στη σύγκριση μεταξύ των σεναρίων που θα αναπτύξουμε μεταξύ των δύο τρόπων λειτουργίας λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους.

3.24 Κατηγορίες παρεμβολών

3.24.1 Κυψελοειδής επικοινωνία

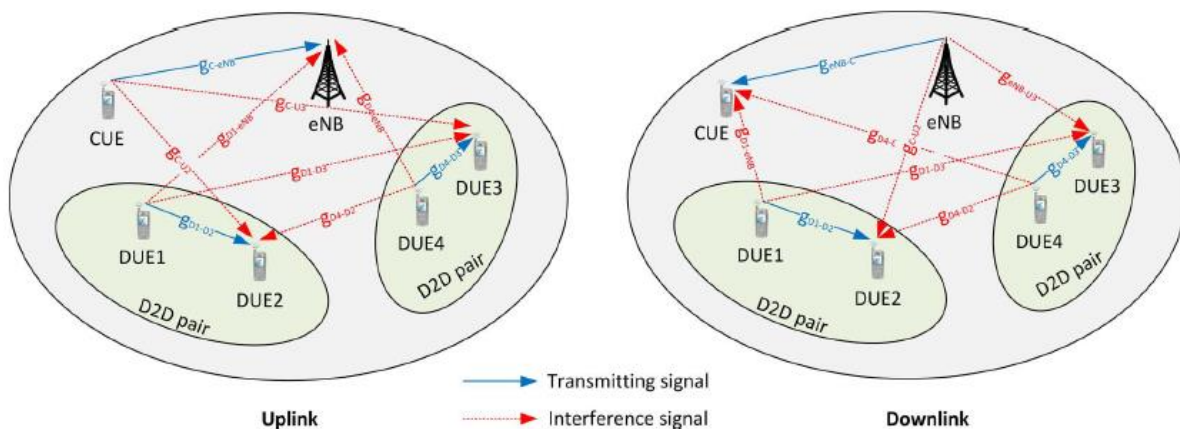
Στην κατεύθυνση UL η παρεμβολή προκαλείται στο eNB το οποίο λαμβάνει τα δεδομένα από το CUE. Στην εικόνα που ακολουθεί ο eNB παρεμβάλλεται από τον DUE1 και τον DUE4 που μεταδίδουν δεδομένα στα DUE2 και DUE3 αντίστοιχα. Από την άλλη, κατά το DL οι CUEs είναι τα θύματα της παρεμβολής D2D αφού λαμβάνουν δεδομένα από τον eNB την ίδια χρονική στιγμή που οι DUEs ανταλλάζουν δεδομένα μεταξύ τους.

3.24.2 Παρεμβολή από κυψελοειδή επικοινωνία σε D2D επικοινωνία

Στην κατεύθυνση UL η παρεμβολή στην D2D επικοινωνία προκαλείται από τα CUE που μεταδίδουν στον eNB. Άρα τα DUE2 και DUE3 είναι οι συσκευές που παρεμβάλλονται και η απόδοση τους μπορεί να διαφοροποιηθεί. Στην DL η παρεμβολή επίσης επηρεάζει τα DUE2 και DUE3 αλλά εδώ η πηγή που προκαλεί αυτή την παρεμβολή είναι ο eNB.

3.24.3 Παρεμβολή μεταξύ ζευγών D2D

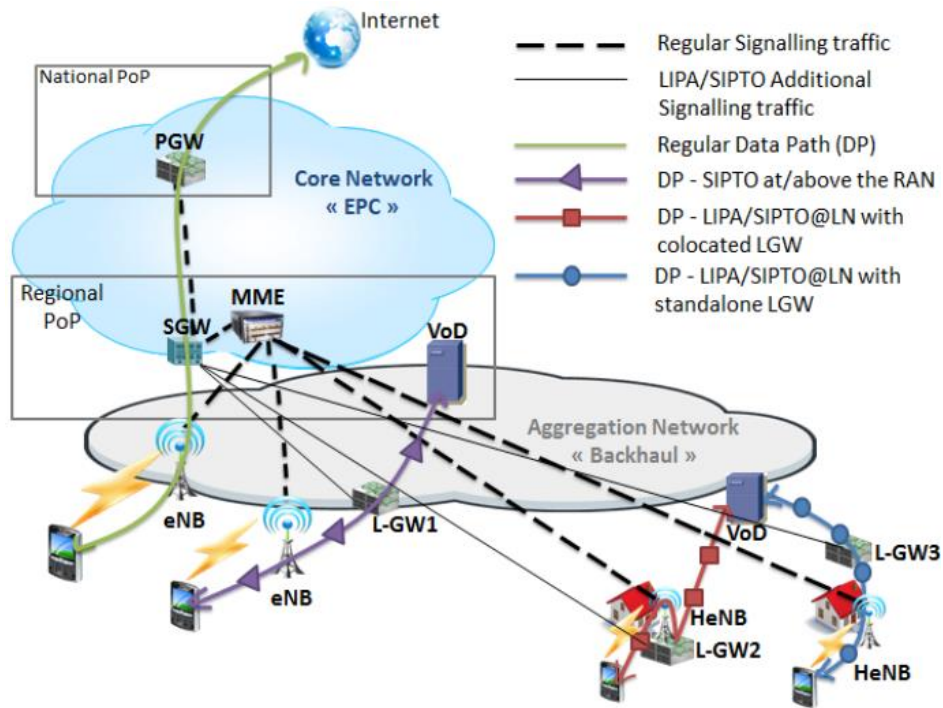
Αν πάνω από ένα ζευγάρι συσκευών D2D χρησιμοποιεί τους ίδιους πόρους, τότε η ανησυχία μας εδώ είναι οι παρεμβολές που συμβαίνουν μεταξύ των DUEs. Άσχετα με την κατεύθυνση της μετάδοσης η παρεμβολή προκαλείται πάντα από τα DUEs που μεταδίδουν στα DUES που λαμβάνουν δεδομένα σε διαφορετικά ζευγάρια που χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους. Στην εικόνα, η παρεμβολή προκαλείται από το DUE1 και το DUE4 στο DUE2 και το DUE3 αντίστοιχα. Αν η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών αυξηθεί τότε και το ποσοστό παρεμβολής θα μειωθεί.



3.14 Κατηγοριοποίηση παρεμβολών στις επικοινωνίες D2D [38]

3.25 Τεχνικές Αποφόρτισης κίνησης

Η αύξηση της χρήσης των έξυπνων τηλεφώνων (smartphones) και των tablets, το δίκτυο κορμού και πρόσβασης έχει την τάση της υπερφόρτωσης. Η ανάγκη της αποφόρτισης της κίνησης είναι σημαντική για την απελευθέρωση του μονοπατιού που είναι υπερφορτωμένο και παρέχοντας εναλλακτικό μονοπάτι επικοινωνίας. Η 3GPP release 10, ασχολήθηκε με τεχνολογίες που είχαν ως στόχο την αποφόρτιση του δικτύου από τα δεδομένα. Αυτές οι τεχνολογίες είναι οι τοπικές IP πρόσβασης (Local IP Access – LIPA) και οι επιλεγμένες IP αποφόρτισης κίνησης (Selected IP Traffic Offload – Sipto). Η πρώτη τεχνολογία επιτρέπει σε ένα κινητό τερματικό που είναι συνδεδεμένο με τον τοπικό eNB να μεταφέρει δεδομένα χωρίς παράκαμψη αλλά απευθείας μέσω του microcellular δικτύου. Η δεύτερη τεχνολογία που αναφέραμε επιτρέπει τη κίνηση να ρέει μέσω femtocell απευθείας στο διαδίκτυο παρακάμπτοντας το κεντρικό δίκτυο του παρόχου και προωθώντας επιλεγμένη IP κίνηση. Η ικανότητα αποφόρτισης του δικτύου με τη χρήση D2D είναι πιο αποδοτική από τις δύο αυτές τεχνολογίες αφού η D2D αποφεύγει την συμφόρηση ξεχωριστά από την αποφόρτιση του δικτύου κορμού.

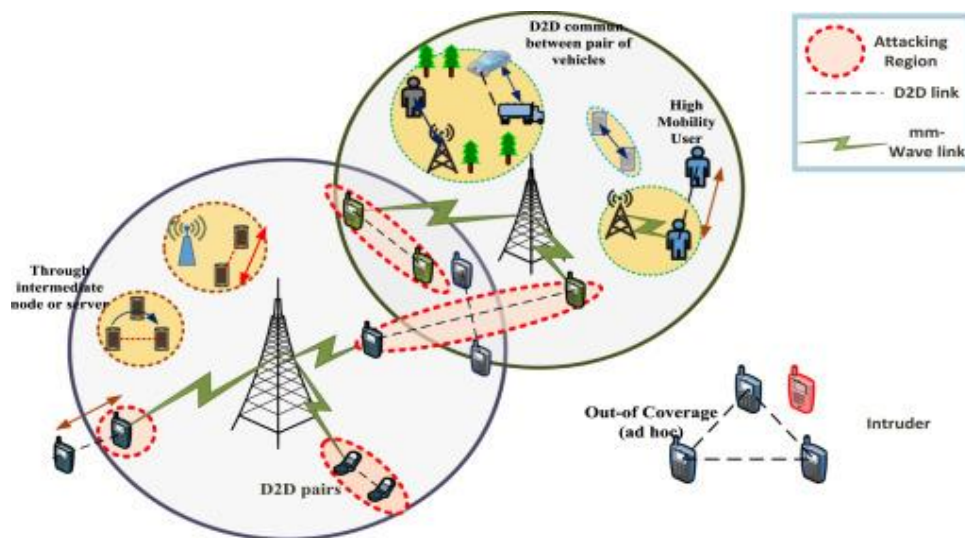


3.15 Τεχνικές αποφόρτισης SIPTO και LIPA [59]

3.26 Small Cells

Εκτός από τις τεχνικές που αναφέρθηκαν προηγουμένως, οι μικρές κυψέλες παρέχουν ένα ικανό τρόπο αποφόρτισης της κίνησης. Αφού το μέγεθος των κυψελών μικραίνει στις διάφορες γενιές ασύρματων κινητών δικτύων τότε υπάρχει και λιγότερος ανταγωνισμός μεταξύ των χρηστών για πόρους, κάτι που οδηγεί στη σημαντική αύξηση της ικανότητας του φάσματος. Οι μικρές κυψέλες συμπεριλαμβάνουν τις microcells, picocells, femtocells που έχουν διάφορα μεγέθη και ισχύ μετάδοσης. Η ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού χαμηλής ισχύος μικρής κυψέλης σταθμών βάσεων οδηγεί σε υπέρ πυκνά δίκτυα (Ultra Dense Networks – UDNs). Όπως αναφέρεται και στην ενότητα 2.2.6 μια τέτοια ανάπτυξη βοηθάει στην επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων και ελέγχει τις παρεμβολές.

Το D2D σε συνδυασμό με τις μικρές κυψέλες παίζουν σημαντικό ρόλο για την αποφόρτιση κίνησης του eNB. Το D2D εστιάζει στις γειτονικές υπηρεσίες αποφόρτισης ενώ η κίνηση στο hot spot αποφορτίζεται από τις μικρές κυψέλες.



3.16 Ultra Dense Networks και D2D [60]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Περιγραφή Μηχανισμού

Το βασικό πρόβλημα σε μια επικοινωνία D2D όπως προαναφέραμε είναι να επιλέξει τον σωστό τρόπο λειτουργίας της επικοινωνίας βάση της ποιότητας καναλιού. Κάποιοι ερευνητές όπως αναγράφεται στο [22], προτείνουν μια ελκυστική αναλυτική προσέγγιση για το μοντέλο επίδρασης της επιλογής ενός ευέλικτου τρόπου λειτουργίας σε ένα δίκτυο μεγάλης κλίμακας. Κάποιοι άλλοι όμως χρησιμοποιούν την επιλογή συνδυασμού τρόπων λειτουργίας και αναπτύσσουν αλγόριθμους θέτοντας διαφορετικούς στόχους [23],[24].

Για την ανάπτυξη το προτεινόμενου μηχανισμού μελετήθηκαν σε βάθος διάφορες ερευνητικές εργασίες σχετικά με την αντιμετώπιση παρεμβολών και τους τρόπους λειτουργίας σε μια D2D επικοινωνία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία δίνουμε έμφαση στην απόδοση του συστήματος ως προς την κατανομή πόρων στους χρήστες σε ένα δίκτυο που είναι χωρισμένο σε DL και UL επίπεδα. Ο προτεινόμενος μηχανισμός καθορίζει πως η επικοινωνία D2D θα είναι αποδοτικότερη ανάμεσα στους χρήστες.

Οι τελικές επιδόσεις του συστήματος θα αξιολογηθούν ανάλογα του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, το ποσοστό παρεμβολής που θα υπάρχει αλλά και τα ποσοστά συνδέσεων συσκευής με συσκευή.

Οι απαιτήσεις των χρηστών σε ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων είναι βασικό κριτήριο για την έρευνα μας άρα ο μηχανισμός θα πρέπει να διατηρεί την ποιότητα υπηρεσιών που παρέχοντα από το δίκτυο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθεί κυρίως με τους τρόπους λειτουργίας μιας D2D επικοινωνίας. Κυρίως θα επικεντρωθούμε στις dedicated και reuse λειτουργίες. Στη δική μας προσομοίωση, προτείνουμε μηχανισμό που επιτυγχάνει αποδοτικό τρόπο διαμοίρασης πόρων άρα και υποστήριξη περισσότερων χρηστών στο δίκτυο ενώ ταυτόχρονα αντιμετωπίζει τις παρεμβολές που προκύπτουν. Το δίκτυο που θα δημιουργήσουμε στο περιβάλλον προσομοίωσης αναφέρεται σε μια περιοχή με macro cell αλλά και small cell σταθμούς που θα είναι και υπεύθυνα για τη σύνδεση των χρηστών μεταξύ τους για την επιτυχή ζεύξη συσκευής σε συσκευή. Στο δίκτυο θα υπάρχουν παράλληλα και χρήστες cellular αλλά και χρήστες που επιθυμούν να επικοινωνήσουν με D2D. Θα μοιράζονται δηλαδή το φάσμα. Το πρώτο σενάριο τίθεται η λειτουργία dedicated όπου όλοι οι χρήστες θα εξυπηρετούνται από τους σταθμούς ταυτόχρονα με τους χρήστες cellular. Γνωρίζουμε ότι η λειτουργία dedicated προϋποθέτει ότι οι πόροι που χρησιμοποιούνται από τους χρήστες, κατανέμονται μόνο σε αυτούς που τους χρειάζονται και δεν μοιράζονται με άλλους. Αυτό οδηγεί στην εξυπηρέτηση λιγότερων χρηστών σε σύγκριση με τον τρόπο λειτουργίας reuse όμως είναι πιο αποδοτικός τρόπος όσο αφορά τις παρεμβολές. Αφού οι πόροι δε μοιράζονται με άλλες συσκευές σημαίνει ότι δεν πέφτουν θύμα παρεμβολών από ταυτόχρονες παράλληλες ζεύξεις επικοινωνίας D2D ή

cellular. Σε δεύτερο χρόνο, οι χρήστες θα λειτουργούν σε reuse mode. Αυτό σημαίνει ότι οι πόροι που κατανέμονται στις συσκευές θα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν αν ζητηθούν άρα το δίκτυο θα μπορεί να υποστηρίξει περισσότερους χρήστες. Σε αντίθεση με πριν, στη συγκεκριμένη περίπτωση οι χρήστες αφού μοιράζονται το φάσμα, οι συσκευές δέχονται παρεμβολές άρα η ποιότητα επικοινωνίας δεν είναι η βέλτιστη.

Στα δίκτυα LTE η διαθέσιμη συχνότητα χωρίζεται σε σύνολα πόρων, τα λεγόμενα Resource Blocks (RBs). Ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης, σε κάθε RB διαμοιράζεται διαφορετικό φάσμα συχνοτήτων άρα κάθε RB θα έχει συχνότητα εξαρτώμενη από το εύρος ζώνης του καναλιού.

Κάθε συσκευή για να πραγματοποιήσει επικοινωνία D2D πρέπει ο σταθμός βάσης που την εξυπηρετεί να τις διαθέσει κάποιους πόρους πρώτα. Ωστόσο ο σταθμός βάσης θα πρέπει να εξυπηρετήσει και άλλους χρήστες ικανοποιητικά, επομένως θα πρέπει να είναι σε θέση να καταναλώσει όσο το δυνατόν λιγότερους πόρους δικτύου αλλά ταυτόχρονα εξυπηρετώντας όσο περισσότερους χρήστες. Οι ανάγκες κάθε χρήστη δεν είναι προβλέψιμες από πριν, είναι όμως ανάλογες του εύρους ζώνης ενός RB, ανάλογες των απαιτήσεων των χρηστών σε ταχύτητες και αντιστρόφως ανάλογες του SINR μεταξύ της συσκευής και του σταθμού.

Για να υπάρχει μια επικοινωνία D2D βασικό κριτήριο είναι να τηρείται μια απόσταση μεταξύ των συσκευών για την αποδοτικότερη επικοινωνία μεταξύ των χρηστών αλλά και για την επίτευξη της D2D επικοινωνίας χωρίς την χρήση του σταθμού βάσης. Αυτό θα υπολογίζεται και θα υπάρχουν συνδέσεις D2D χρησιμοποιώντας την μαθηματική έκφραση της ευκλείδειας απόστασης .

$$Distance = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

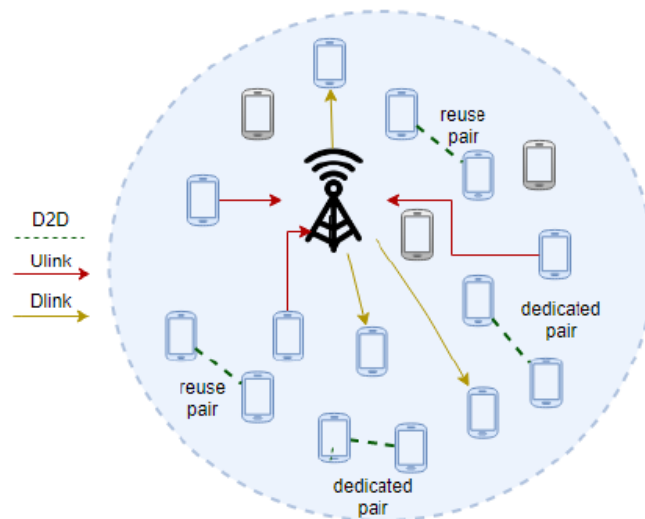
Στον αλγόριθμο που θα αναπτύξουμε στοχεύουμε στην μέγιστη εξυπηρέτηση χρηστών D2D ικανοποιητικά χωρίς την υπερφόρτωση του eNB και την ελαχιστοποίηση των RB που απαιτούνται. Για να μεγιστοποιηθεί η φασματική απόδοση, η βέλτιστη προσέγγιση είναι να εξυπηρετούνται πρώτα οι χρήστες με τις ελάχιστες απαιτήσεις όσο αφορά τους RBs. Αυτό κατά συνέπεια οδηγεί στην εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών και σεβόμαστε το QoS. Όμως αν το πλήθος των RBs που ζητηθούν από τον χρήστη δεν είναι διαθέσιμα από τον eNB τότε επιλέγεται ο σταθμός βάσης που μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του χρήστη ως προς το SINR .

Η ποιότητα υπηρεσίας είναι πολύ σημαντική για τους χρήστες άρα το eNB πρέπει να είναι σε θέση να τους εξυπηρετήσει όπως πρέπει. Όταν ένα eNB υπερφορτωθεί τότε κάποιοι χρήστες δέχονται το λεγόμενο handover που εξηγήθηκε νωρίτερα και ουσιαστικά δίνονται από τον eNB που υπερφορτώθηκε σε κάποιον άλλο για να τους εξυπηρετήσει. Όταν οι χρήστες αποδεσμευτούν από τον eNB τότε αυτόματα και οι πόροι που χρησιμοποιούσαν είναι και πάλι διαθέσιμοι. Άρα δεν είναι τόσο σημαντική η ταχύτητα

μετάδοσης του eNB όσο το πόσους πόρους διαθέτει για να εξυπηρετήσει χρήστες και αυτό εξαρτάται από το φάσμα (bandwidth) και των αριθμό των χρηστών που εξυπηρετεί.

Η σύνδεση συσκευής με τον σταθμό είναι δυνατή αν υπάρχουν αρκετοί ελεύθεροι πόροι για να χρησιμοποιήσει ο χρήστης, όμως σε μια D2D επικοινωνία όπως αναφέραμε για την δημιουργία της επικοινωνίας αυτής σημαντική είναι και η απόσταση. Άρα ένας συνδυασμένος έλεγχος των διαθέσιμων πόρων του eNB, των παρεμβολών που δέχονται οι χρήστες αλλά και η απόσταση μεταξύ των χρηστών που επιδιώκουν D2D επικοινωνία θα οδηγήσει στη σύγκριση των δύο περιπτώσεων reuse και dedicated για τα αποτελέσματα της σύγκρισης.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω, σε ένα δίκτυο υπάρχουν χρήστες που λειτουργούν και κυψελωτά εκτός από τους χρήστες που λειτουργούν σε D2D επικοινωνία. Κάποιοι χρήστες λειτουργούν σε dedicated ενώ άλλοι με reuse mode.



4.1 Τοπολογία κυψέλης ενός 5G δικτύου

Προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβολές που είναι το βασικό πρόβλημα στον τρόπο λειτουργίας reuse, το eNB πρέπει να γνωρίζει ποια ζεύγη μπορούν να ξαναχρησιμοποιήσουν πόρους που είναι ήδη κατανομημένοι σε κυψελωτούς χρήστες και τους πόρους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περισσότερα από ένα ζευγάρια επικοινωνίας D2D. Στο περιβάλλον προσομοίωσης μας δε θα έχουμε ταυτόχρονα χρήστες reuse και dedicated αλλά θα τρέχουμε κάθε φορά τ πρόγραμμα για το εκάστοτε σενάριο λαμβάνοντας υπόψη τις μετρικές που πρέπει.

Αφού στον τρόπο λειτουργίας dedicated δεν υπάρχουν παρεμβολές τότε η τιμή του SINR είναι ίδια με το SNR. Άρα θα έχουμε το μέσο όρο της ισχύος των σταθμών βάσης διαιρεμένο με το μέσο όρο του λευκού θορύβου. Άρα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των πειραμάτων σε αυτό το σενάριο το SNR θα υπολογίζεται ως εξής.

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}},$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \right).$$

Στον τρόπο λειτουργίας reuse όμως υπάρχουν παρεμβολές λόγω του διαμοιρασμού του φάσματος και της επαναχρησιμοποίησης των πόρων άρα εδώ θα υπάρχει η τιμή των παρεμβολών και θα έχουμε να κάνουμε με SINR. Η τιμή που θα υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ κάθε σταθμού βάσης και το κέρδος καναλιού (path loss) του κάθε σταθμού και της κάθε συσκευής θα διαιρεθεί με την ισχύ της φασματικής πυκνότητας του λευκού θορύβου επί της απόστασης ως προς τη συχνότητα μεταξύ των φερόντων αλλά αθροίζοντας και τη συνολική ισχύ που ακτινοβολείται από όλους τους σταθμούς της περιοχής που έχουμε. Η τιμή του SINR υπολογίζεται ως εξής.

$$\text{SINR}(x_i) = \frac{\frac{F_i}{|x_i|^\alpha}}{\sum_{j \neq i} \frac{F_j}{|x_j|^\alpha} + N}.$$

$$\ell(|x - y|) = |x - y|^\alpha,$$

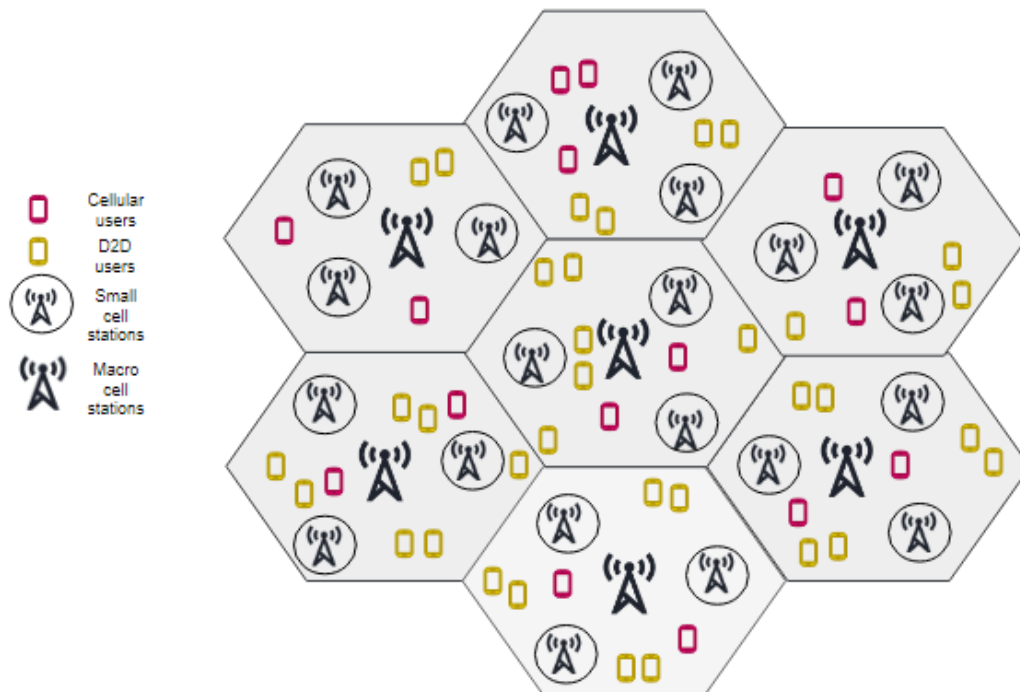
Ο ρυθμός μετάδοσης εξαρτάται από την τιμή του SNR οπότε και στις δύο περιπτώσεις θα περιμένουμε ορατή διαφορά μεταξύ των δύο όχι μόνο στις τιμές SINR και SNR αλλά και στα Mbps.

Ο αριθμός των πόρων στον τρόπο λειτουργίας reuse εξαρτάται από τις απαιτήσεις των χρηστών που λειτουργούν σε κυψελοειδή λειτουργία και στον αριθμό των πόρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα ζεύγη D2D. Υπάρχει η πιθανότητα κάποια ζευγάρια D2D να μην είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουν κάποιους από τους πόρους λόγω του περιορισμού της ισχύς μετάδοσης του αποστολέα μιας D2D επικοινωνίας.

$$RTP_{di} = \frac{NI_e}{DUE_{tr}}$$

Έτσι λοιπόν και στη δική μας προσομοίωση για να είναι πιο ρεαλιστικό το σενάριο θα υπάρχουν και χρήστες που θα λειτουργούν σε cellular mode. Αυτό κατ' επέκταση σημαίνει ότι οι πόροι που χρησιμοποιούν οι χρήστες cellular δε θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους χρήστες D2D στο σενάριο dedicated ενώ θα μπορούν στο σενάριο reuse. Για την δική μας διευκόλυνση στο προγραμματιστικό κομμάτι θα υπάρξουν δύο σενάρια και δε θα συνυπάρχουν dedicated και reuse χρήστες ταυτόχρονα.

Το δίκτυο μας ορίζει μια γεωγραφική περιοχή που περιέχει macro cells και small cell σταθμούς βάσης αλλά και συσκευές που θα λειτουργούν είτε σε D2D είτε σε cellular και θα συνυπάρχουν. Κάθε πείραμα ο χρήστης θα μπορεί να αλλάζει μέσω του εξωτερικού αρχείου αρχικοποίησης την κατάσταση των χρηστών.



4.1 Αλγόριθμος ελέγχου αποδοτικότερου τρόπου επικοινωνίας

D2D ζεύγη, cellular χρήστες, SINR (DL), SINR (UL), RBs (UL) RBs(DL)

αρχή

για κάθε συσκευή UE_i

για κάθε συσκευή UE_j

αν $i \neq j$

αν δεν είναι ήδη ζευγάρι με κάποια συσκευή

υπολόγισε ευκλείδεια απόσταση ζεύγους συσκευών (i,j)

αν απόσταση ζεύγους <100m τότε

συσκευές d2d αύξηση κατά μία

τέλος αν

τέλος αν

τέλος αν

τέλος για

τέλος για

για κάθε ζεύγος συσκευών D2D (i,j)

βρες τον καλύτερο σταθμό βάση SINR (DL)

αν τα RBs αρκούν τότε

σύνδεση ζεύγους με σταθμό στο κατάλληλο mode

αλλιώς

βρες τον επόμενο καλύτερο σταθμό

τέλος αν

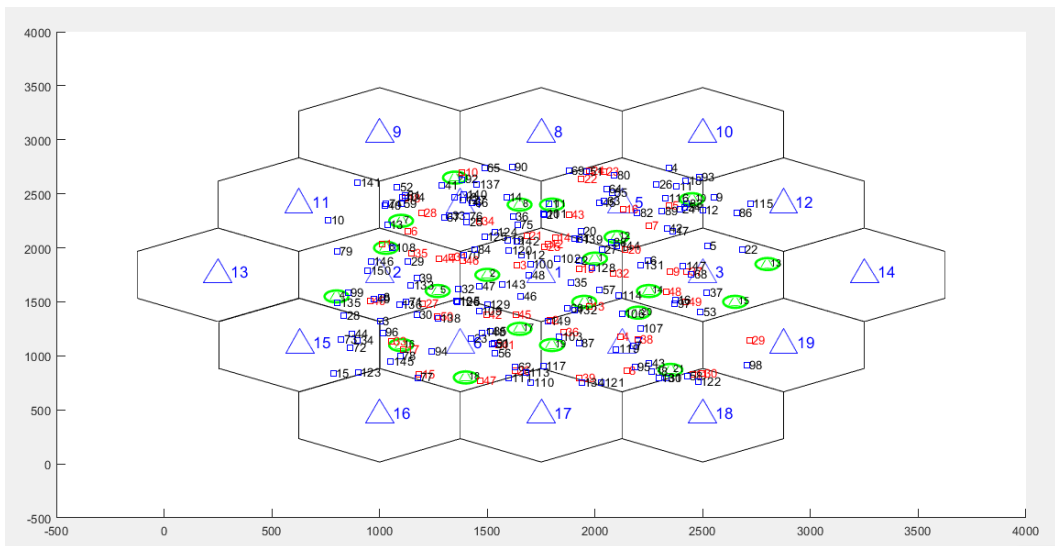
τέλος για

τέλος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Περιβάλλον προσομοίωσης

Τα δίκτυα πέμπτης γενιάς όπως αναφέραμε είναι αρκετά πρόσφατα και για αυτό το λόγο δεν υπάρχει διαθεσιμότητα σε εξομοιωτές που να προσφέρουν τη δυνατότητα διαχείρισης του δικτύου με μοντέλα 5G. Για αυτό το λόγο η εξομοίωση θα γίνει με τη χρήση της MATLAB.

Η προσομοίωση του μηχανισμού θα αναφέρεται σε γεωγραφική περιοχή που θα τηρεί το πρωτόκολλο LTE και τα χαρακτηριστικά του. Κάθε κυψέλη της περιοχής έχει ίδιο μέγεθος και η περιοχή θα αποτελείται από macro cell σταθμούς βάσης και small cell σταθμούς βάσης. Τα small cells θα τοποθετηθούν στις άκρες των περιοχών κάλυψης του macro cell για να μην υπάρχουν κενά κάλυψης. Για την απλούστερη εκδοχή του προγράμματος, θέτουμε όλοι οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν με μέγιστη ισχύ εκπομπής. Κάθε κυψέλη έχει στο κέντρο της ένα σταθμό βάσης και οι σταθμοί small cell τοποθετούνται στις άκρες της περιοχής κάλυψης όπως αναφέραμε. Ενώ οι τοποθετήσεις των σταθμών δεν είναι τυχαίες, οι τοποθετήσεις των συσκευών είναι τυχαία ώστε να είμαστε όσο το δυνατό πιο κοντά σε ένα ρεαλιστικό σενάριο.



5.1 Τοπολογία προσομοίωσης

Το παραπάνω σενάριο ορίζει μια γεωγραφική περιοχή που εμπεριέχει 19 macro cells με ακτίνα κάλυψης 375 μέτρα και 50 small cells με ακτίνα 50 μέτρων. Οι macro cells σταθμοί βάσης φαίνονται με μπλε τρίγωνο στην μέση των κυψελών ενώ οι small cells σταθμοί με πράσινο τρίγωνο μέσα σε ένα κύκλο που αντικατοπτρίζει την περιοχή κάλυψής τους. Οι χρήστες που μπορούν να λειτουργήσουν σε D2D επικοινωνία είναι τα μαύρα τετράγωνα και είναι 150. Από την άλλη οι χρήστες που λειτουργούν σε cellular

mode είναι τα κόκκινα τετραγωνάκια. Κάθε συσκευή αλλά και κάθε σταθμός βάσης αριθμείται για την καλύτερη κατανόηση των συνδέσεων που θα προκύψουν με τα αποτελέσματα.

5.1 Παράμετροι

Στον πίνακα παρακάτω συνοψίζουμε τις προδιαγραφές για την εξομοίωση του μηχανισμού.

Παράμετρος	Τιμή
D2D απόσταση	100m
Macro cells	19
Κάλυψη macro cell σταθμού	375 m
Small cells	21
Κάλυψη small cell σταθμού	50 m
Επικοινωνία	Downlink / Uplink
Εύρος Ζώνης άνω ζεύξης	40 MHz
Εύρος Ζώνης κάτω ζεύξης	60 MHz
Πόροι άνω ζεύξης	200
Πόροι κάτω ζεύξης	300
Εύρος ζώνης Πόρων	180 kHz
Συχνότητα φορέα	2 GHz
Φασματική Πυκνότητα SINR	-174dBm/Hz

Τα σενάρια που θα εξετάσουμε είναι όπως είπαμε το σενάριο αποκλειστικής κατανομής πόρων και το σενάριο δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης των πόρων. Υποπεριπτώσεις αυτών των σεναρίων είναι ο αριθμός των χρηστών που θα χρειαστεί να υποστηρίξει το σύστημα. Στη περιοχή που θα υλοποιήσουμε πειραματικά ο συνολικός αριθμός των χρηστών, δηλαδή και των cellular αλλά και των D2D χρηστών μπορεί να φτάσει μέχρι τους 300. Για αυτό το λόγο επιλέγουμε τα υποσενάρια με 100 και 30, 150 με 50 και 180 με 80 σε D2D και cellular χρήστες αντίστοιχα. Λόγω της πυκνότητας που θα προκύψει με τον αριθμό των συσκευών αντιλαμβανόμαστε ότι έχουμε να κάνουμε με υπέρπυκνα δίκτυα όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 3.26. Η εξυπηρέτηση όλων των συσκευών καταλαβαίνουμε ότι δεν είναι 100% σίγουρο ότι θα επιτευχθεί, για αυτό αποδεχόμαστε την πιθανότητα ενά ποσοστό της τάξεως του 90% να βρεθούν εντός της περιοχής ενώ ένα ποσοστό 10% εκτός περιοχής κάλυψης για την εξυπηρέτηση τους.

Κάθε συσκευή θα λειτουργεί είτε σε άνω ζεύξη είτε σε κάτω ζεύξη και σε διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης. Αυτοί οι παραμέτροι αλλά και ο αριθμός χρηστών και κάθε τιμή που χρησιμοποιήθηκε μπορεί να διαφοροποιηθεί από τον χρήστη μέσα από το αρχείο που ορίζονται οι μεταβλητές.

Η μελέτη επίδοσης του μηχανισμού θα κριθεί από την ικανότητα να συνδέσει αποδοτικά τις συσκευές με άλλες συσκευές αφού πρώτα συνδεθούν με τον σταθμό βάσης που βρίσκονται σε κάλυψη. Όταν το δίκτυο χρειαστεί να υποστηρίξει τους χρήστες είτε αυτοί είναι 130 σε σύνολο είτε 260 θα πρέπει να μπορεί να έχει ποσοστό επιτυχημένων συνδέσεων ανάλογο.

Η ικανότητα του μηχανισμού επίσης να εξυπηρετήσει τους χρήστες ανάλογα με τις απαιτήσεις τους κρίνεται επίσης αναγκαία. Κάθε σταθμός έχει καθορισμένο αριθμό πόρων. Ο αριθμός των πόρων εξαρτάται από το εύρος ζώνης αλλά και τον τρόπο που θα μοιραστούν στις συσκευές. Αφού οι πόροι είναι καθορισμένοι αλλά σε ένα ρεαλιστικό σενάριο οι χρήστες δεμπορούν να καθοριστούν αλλά να συνεχίσουν να αυξάνονται η προσομοίωση πρέπει να εξυπηρετήσει όσους περισσότερους μπορεί αλλά και να μας ενημερώσει για το ποσοστό χρήσης των πόρων που χρειάστηκε και πόσοι έμειναν ελεύθεροι.

Οι παρεμβολές είναι κύριο σημείο που θα αντιμετωπιστεί καθώς όσο οι χρήστες μας θα αυξάνονται τόσο πιο δύσκολο θα είναι να επιτυγχάνονται οι συνδέσεις με καλύτερη τιμή του SINR. Οπότε θα δοκιμάζονται άλλοι σταθμοί που καλύπτουν τις συσκευές. Όμως όσο η αύξηση της απόστασης μεταξύ των συσκευών αλλά και του σταθμού αυξάνεται τόσο μεγαλύτερες θα είναι και οι απώλειες του σήματος άρα και μειωμένες ταχύτητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Θα τρέξουμε τον μηχανισμό σε 3 περιπτώσεις. Με 100,150, και 180 συσκευές D2D ενώ οι χρήστες που θα λειτουργούν σε κυψελωτή επικοινωνία θα είναι 30,50,80 αντίστοιχα. Για κάθε σενάριο τα αποτελέσματα θα συγκεντρωθούν σε ένα πίνακα παρακάτω για να είναι εύκολη η σύγκριση των αποτελεσμάτων του αναγνώστη.

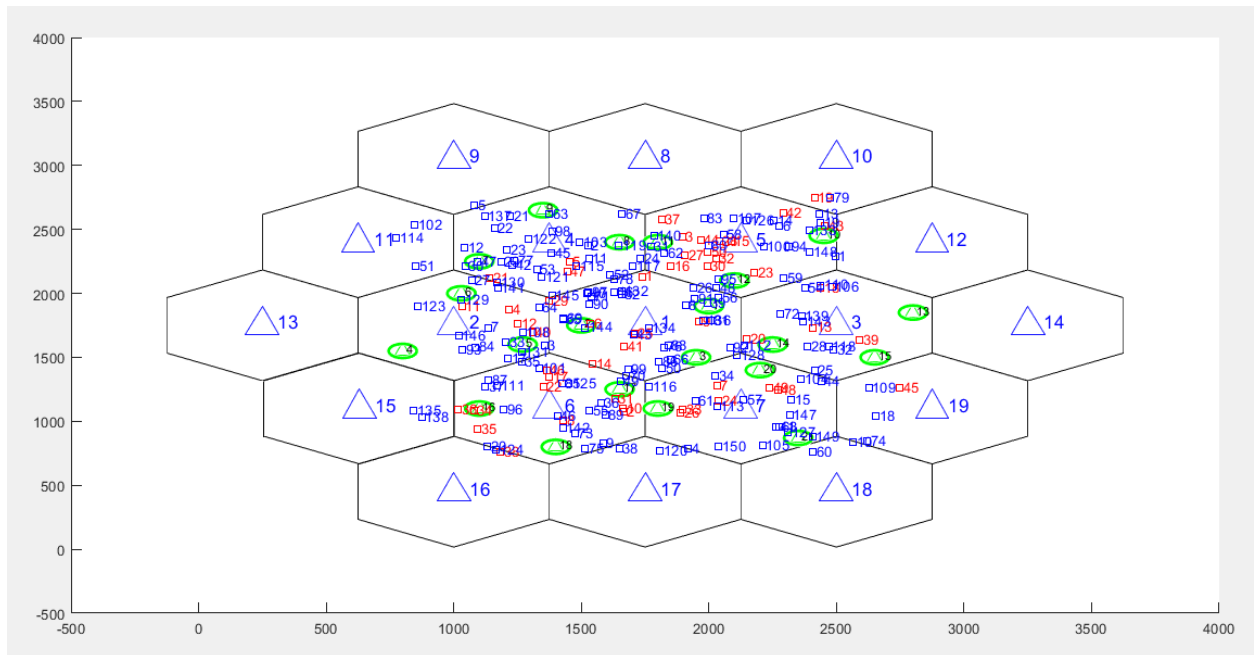
Για κάθε σενάριο υπάρχει σχετική ενημέρωση σε κάθε γραφική παράσταση για τις τιμές των αποτελεσμάτων. Οι γραφικές που εξομοιώθηκαν αφορούν τις τιμές των SINR για reuse και SNR για dedicated και θα παρουσιαστούν στην ίδια γραφική παράσταση για την κατανόηση της διαφοράς των τιμών μεταξύ των τρόπων λειτουργίας.

Παίρνουμε επίσης αποτελέσματα για τις ταχύτητες ρυθμού μετάδοσης στα δύο επίπεδα ζεύξης, Downlink και Uplink και για τα δύο σενάρια. Σκοπός μας είναι να παρουσιαστούν τα επιθυμητά αποτελέσματα που θα αποδεικνύουν ότι ο μηχανισμός μας είναι αποδοτικός όσο αφορά την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και τον αριθμό των χρηστών που αυξάνεται.

Αφού οι χρήστες είναι αρκετοί, για τις γραφικές παραστάσεις θα ληφθούν υπόψη 5 από τα αποτελέσματα που θα εξομοιώσει το λογισμικό.

6.1 Σενάριο Dedicated Mode

Η τοπολογία στην εικόνα αντικατοπτρίζει το δίκτυο με τους 150 χρήστες D2D και 50 κυψελωτούς.



6.1 Τοπολογία προσομοίωσης σεναρίου dedicated

Με 100 χρήστες D2D

[D2D total] 33 pairs are connected in d2d mode

Με 150 χρήστες D2D

[D2D total] 78 pairs are connected in d2d mode

Με 180 χρήστες D2D

[D2D total] 96 pairs are connected in d2d mode

6.1.1 Αποτελέσματα Αλγόριθμου

Αποτελέσματα		Αριθμός συσκευών D2D		
		100	150	180
Downlink	RBs usage	17.67%	38.33%	43%
	Macro cell Connections	52	105	124
	Small cell Connections	1	5	5
	Unsupported devices	0	0	0
	Successful Connections	53	110	129
	Preserved QoS rate	100%	100%	100%
Uplink	RBs usage	26.50%	55.0%	64.5%
	Macro cell Connections	40	73	81
	Small cell Connections	13	37	48
	Unsupported devices	0	0	0
	Successful Connections	53	110	129
	Preserved QoS rate	100%	100%	100%

6.1.2 Αποτελέσματα Δεδομένων Συσκευών

Αποτελέσματα	Αριθμός συσκευών D2D		
	100	150	180
[DOWNLINK] Average data rate	6.91 Mbps	6.52 Mbps	6.35 Mbps
[UPLINK] Average data rate	4.18 Mbps	3.99 Mbps	4.10Mbps

6.1.3 Αποτελέσματα Δικτύου

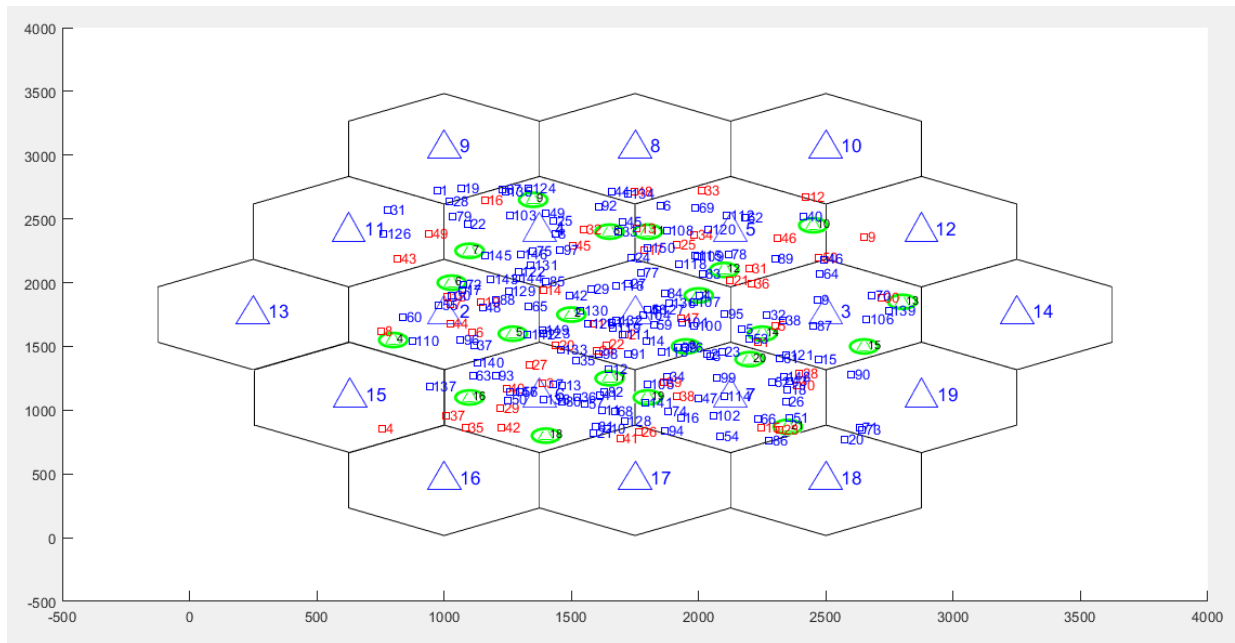
Αποτελέσματα	Αριθμός συσκευών D2D		
	100	150	180
[DOWNLINK] Network Throughput	690.80 Mbps	978.49 Mbps	1142.99 Mbps
[UPLINK] Network Throughput	417.65 Mbps	598.86 Mbps	738.34 Mbps

6.1.4 Αποτελέσματα SNR

Αποτελέσματα	Αριθμός συσκευών D2D		
	100	150	180
[DOWNLINK] Average macro cell SNR	81.64	80.10	90.11
[UPLINK] Average macro cell SNR	58.64	57.10	67.11

6.2 Σενάριο Reuse Mode

Η τοπολογία στην εικόνα αντικατοπτρίζει το δίκτυο με τους 150 χρήστες D2D και 50 κυψελωτούς.



6.2 Τοπολογία προσομοίωσης σεναρίου reuse

Με 100 χρήστες D2D

[D2D total] 33 pairs are connected in d2d mode

Με 150 χρήστες D2D

[D2D total] 78 pairs are connected in d2d mode

Με 180 χρήστες D2D

[D2D total] 96 pairs are connected in d2d mode

6.2.1 Αποτελέσματα Αλγόριθμου

Αποτελέσματα		Αριθμός συσκευών D2D		
		100	150	180
Downlink	RBs usage	47.00%	142.67%	189%
	Macro cell Connections	51	114	141
	Small cell Connections	1	1	2
	Unsupported devices	0	0	0
	Successful Connections	52	115	143
	Preserved QoS rate	100%	100%	100%
Uplink	RBs usage	39.50%	101.50%	132%
	Macro cell Connections	40	83	113
	Small cell Connections	12	32	30
	Unsupported devices	0	0	0
	Successful Connections	52	115	143
	Preserved QoS rate	100%	100%	100%

6.2.2 Αποτελέσματα Δεδομένων Συσκευών

Αποτελέσματα	Αριθμός συσκευών D2D		
	100	150	180
[DOWNLINK] Average data rate	4.83 Mbps	5.04 Mbps	5.32 Mbps
[UPLINK] Average data rate	1.96 Mbps	2.07 Mbps	2.21 Mbps

6.2.3 Αποτελέσματα Δικτύου

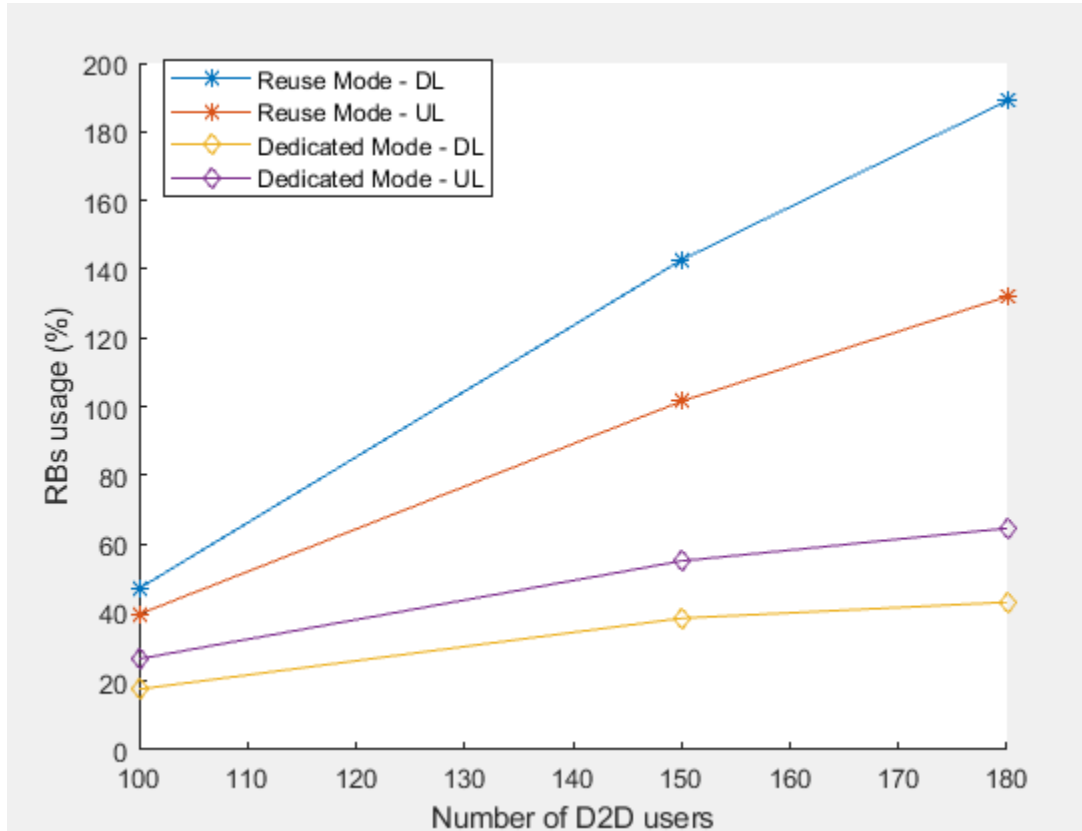
Αποτελέσματα	Αριθμός συσκευών D2D		
	100	150	180
[DOWNLINK] Network Throughput	482.80 Mbps	755.40 Mbps	958.08 Mbps
[UPLINK] Network Throughput	196.42 Mbps	310.17 Mbps	397.90 Mbps

6.2.4 Αποτελέσματα SINR

Αποτελέσματα	Αριθμός συσκευών D2D		
	100	150	180
[DOWNLINK] Average macro cell SINR	19.07	17.13	37.55
[UPLINK] Average macro cell SINR	16.13	14.22	34.97

6.3 Γραφικές Παραστάσεις

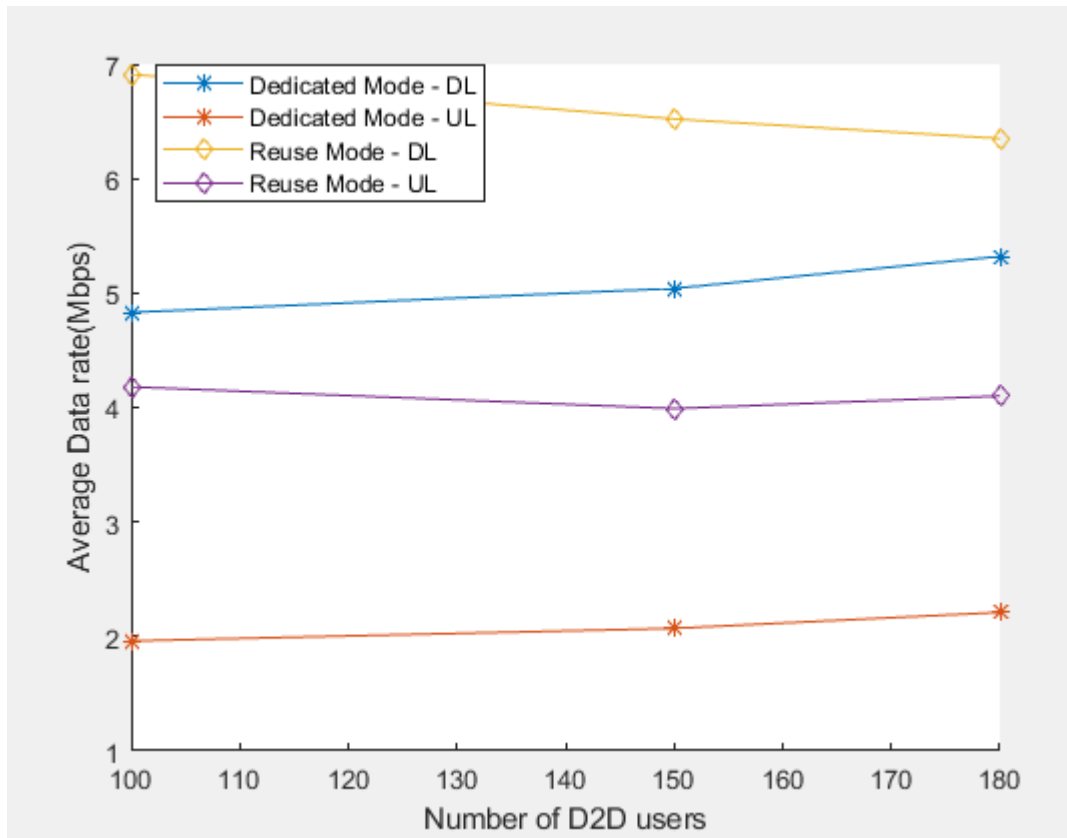
- i. Αριθμός χρηστών σε D2D επικοινωνίας και ποσοστό πόρων που χρησιμοποιήθηκε



6.3.1 Ποσοστό πόρων και χρήστες D2D

Όπως ήταν αναμενόμενο, στον τρόπο λειτουργίας reuse το ποσοστό χρήσης των πόρων υπερβαίνει το 100%. Αυτό συμβαίνει γιατί δίνεται η δυνατότητα να επαναχρησιμοποιηθούν οι πόροι ενώ στον τρόπο λειτουργίας dedicated παραμένει σε χαμηλά επίπεδα αφού δεν μπορούν οι πόροι που δεσμεύτηκαν να χρησιμοποιηθούν ξανά από άλλους χρήστες είτε αυτοί είναι σε λειτουργία D2D είτε σε cellular.

- ii. Αριθμός χρηστών σε D2D επικοινωνίας και μέσος όρος ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων σε DL και UL

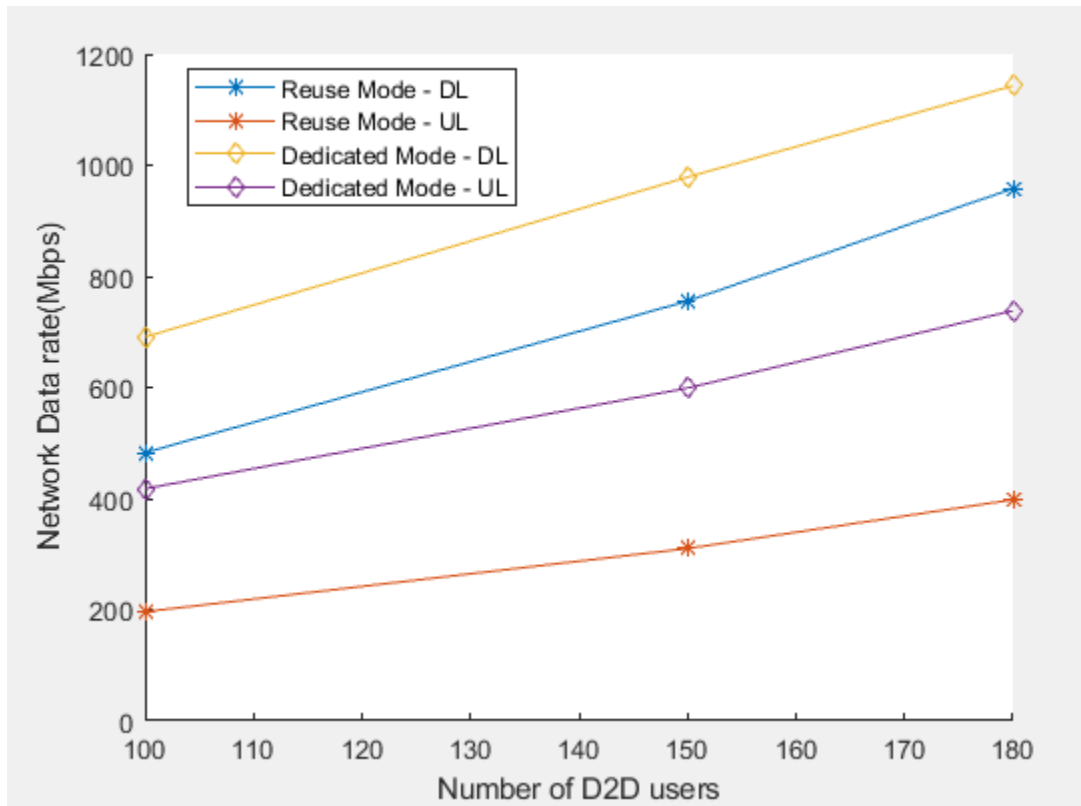


6.3.2 Μέσος όρος ταχύτητας μετάδοσης και χρήστες D2D

Συγκρίνοντας τα δύο σενάρια μεταξύ τους, οι χρήστες που χρησιμοποιούν κάτω ζεύξη έχουν ξεκάθαρα μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων από τους χρήστες που χρησιμοποιούν κάτω ζεύξη. Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού οι απαιτήσεις των χρηστών σε ταχύτητες DL είναι αυξημένες σε σχέση με UL.

Η μελέτη της επίδοσης του δικτύου και στα δύο σενάρια και στα δύο επίπεδα ζεύξης παρουσιάζεται στη συνολική ταχύτητα του δικτύου των δύο επιπέδων.

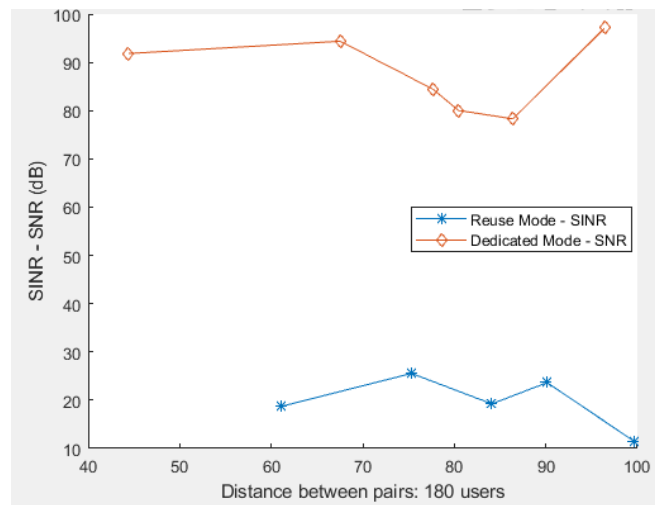
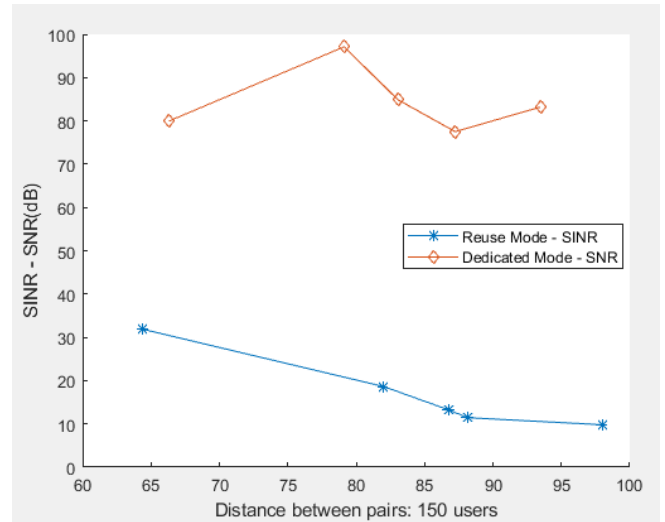
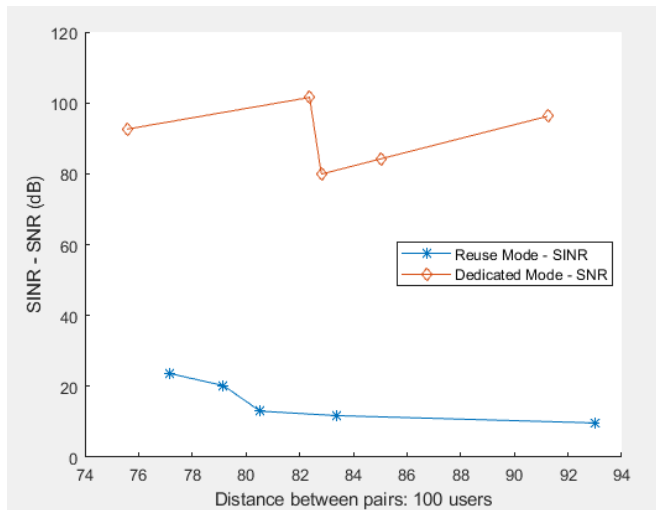
- iii. Αριθμός χρηστών σε D2D επικοινωνίας και μέσος όρος ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων σε DL και UL



6.3.3 Ταχύτητα μετάδοσης δικτύου και χρήστες D2D

Παρατηρούμε ότι οι ταχύτητες των χρηστών παρουσιάζουν αυξήσεις όσο οι χρήστες αυξάνονται ενώ κάποιος θα περίμενε να συμβαίνει το αντίθετο. Αυτό σημαίνει ότι ο μηχανισμός μας είναι αποδοτικός όσο αφορά τις ταχύτητες που επιτυγχάνει ενώ οι χρήστες αυξάνονται. Βλέπουμε και εδώ ότι οι ταχύτητες για DL είναι μεγαλύτερες από UL όπως εξηγήθηκε προηγουμένως αυτό συμβαίνει λόγω των απαιτήσεων των χρηστών που είναι μεγαλύτερες σε κάτω ζεύξη.

- iv. Απόσταση χρηστών στις 3 περιπτώσεις και οι τιμές SINR και SNR αναλόγως τρόπου λειτουργίας.



6.3.3 Απόσταση χρηστών και τιμές SINR - SNR

Παρατηρούμε και στις τρεις γραφικές παραστάσεις ότι οι τιμές των dB στον τρόπο λειτουργίας dedicated είναι φανερά πολύ μεγαλύτερες από τον τρόπο λειτουργίας reuse. Αυτό συμβαίνει όπως εξηγήσαμε στο κεφάλαιο 4 γιατί στο dedicated mode δεν έχουμε να αντιμετωπίσουμε παρεμβολές. Επομένως αφού δεν υπολογίζονται η τιμή του SNR στο συγκεκριμένο σενάριο είναι σωστά μεγαλύτερο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Συμπεράσματα

Διακρίνουμε όπως ήταν επόμενο ότι όσο οι συσκευές αυξάνονται τόσο μειώνονται και οι πόροι που διαθέτει το σύστημα και στις δυο περιπτώσεις με αποτέλεσμα στις 180 συσκευές να χρειάζονται περισσότεροι πόροι για τις απαιτήσεις των χρηστών σε κάθε περίπτωση.

Στο σενάριο reuse όταν οι χρήστες αυξάνονται τότε οι χρήστες που μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα είναι περισσότεροι όπως επίσης και το ποσοστό χρησιμοποίησης πόρων. Αυτό γίνεται πιο εμφανές στα παραδείγματα με τους 150 και 180 χρήστες έναντι του σεναρίου dedicated που οι επιτυχημένες συνδέσεις είναι λιγότερες.

Επίσης με μια γρήγορη ματιά και γνωρίζοντας ότι η τιμή του SINR δεν εξαρτάται μόνο από την απόσταση των συσκευών αλλά και άλλων παραμέτρων, βλέπουμε ότι όσο πιο μεγάλη η απόσταση μεταξύ των συσκευών τόσο πιο μεγάλη και η τιμή του. Αυτό είναι σχετικά διακριτό αφού ξέρουμε όπως είπαμε ότι δεν παίζει ρόλο μόνο η απόσταση.

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων παρατηρήθηκε ότι από τις 180 συσκευές και άνω που έγιναν δοκιμές του μηχανισμού, 1 ή περισσότερες συσκευές δεν εξυπηρέτηθηκαν από το δίκτυο γιατί δεν ήταν ικανό. Αυτό μας αποδεικνύει ότι η υπερφόρτωση του δικτύου με περισσότερους χρήστες από όσους μπορεί να αντέξει μπορεί να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα όσο αφορά την απόδοση του δικτύου.

Επίσης στις περισσότερες περιπτώσεις όταν οι πόροι δεν δεσμεύονταν στις συσκευές το ποσοστό χρήσης των RBs ήταν μεγαλύτερο σε σύγκριση με την περίπτωση που δεσμεύονταν και δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Να αναφέρουμε ότι οι απαιτήσεις των χρηστών για τους πόρους κρίνονταν με πιθανότητες τυχαία για κάθε συσκευή.

Συνοψίζοντας, τα δίκτυα πέμπτης γενιάς σε ένα χρόνο υπολογίζεται ότι θα είναι κοντά σε όλους μας και θα συμβάλουν σημαντικά στην καθημερινότητα μας. Για να καταφέρουν όμως τα δίκτυα να ανταπεξέλθουν όπως περιμένουν και υπολογίζουν οι ερευνητές κρίνεται αναγκαία η μελέτη γύρω από αποδοτικότερους και βέλτιστους μηχανισμούς και αλγορίθμους λειτουργίας των δικτύων.

Λαμβάνοντας υπόψη τις μελέτες που έγιναν ήδη και αναγράφονται στη βιβλιογραφία αλλά και τις μελέτες που βρίσκονται σε εξέλιξη, στη παρούσα διπλωματική εργασία συγκρίνοντας τα 2 σενάρια και τα αποτελέσματα προτείναμε ένα αποδοτικό μηχανισμό κατανομής των συσκευών που επιθυμούν δημιουργία επικοινωνίας D2D με γειτονικούς χρήστες με μέγιστη απόσταση τα 100 μέτρα. Στόχος μας η βέλτιστη διαχείριση πόρων και η εξυπηρέτηση των χρηστών και των αναγκών τους διατηρώντας την ποιότητα υπηρεσίας.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η κατανομή πόρων και η χρήση των διαθέσιμων πόρων είναι αναπόσπαστο κομμάτι για την βελτίωση και την απόδοση των δικτύων ασύρματης γενιάς. Οι τρόποι επικοινωνίας που συγκρίθηκαν κατά τη διάρκεια του μηχανισμού αποδεικνύουν ότι αφού δε μπορούμε να γνωρίζουμε από πριν τις

πιθανές απαιτήσεις των χρηστών τότε δε μπορεί να επιλεγθεί ο καλύτερος τρόπος λειτουργίας για την εξοικονόμηση των πόρων. Επίσης, διακρίνεται ότι όσο οι χρήστες αυξάνονται άρα και οι απαιτήσεις τους τότε πρέπει το δίκτυο να μπορεί να χρησιμοποιήσει στο μέγιστο τους πόρους ή να αναπτυχθούν τεχνικές για αύξηση και διατήρησης των διαθέσιμων πόρων για καλύτερη εξυπηρέτηση και υποστήριξης περισσότερων χρηστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Μελλοντική εργασία

Στο παρόν κεφάλαιο θα προτείνουμε πιθανές ερευνητικές και μελλοντικές μελέτες που πιθανόν να μπορούν να εφαρμοστούν και να επεκτείνουν την παρούσα διπλωματική εργασία. Όπως επανειλημμένα αναφέραμε, η τεχνολογία και η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων απαιτεί συνεχώς αναβάθμιση όσο αφορά την απόδοση για την καλύτερη και τη βέλτιστη παροχή υπηρεσιών στους εκάστοτε χρήστες και τις απαιτήσεις τους που συνεχώς αυξάνονται.

Στη παρούσα εξομοίωση έχουμε να κάνουμε με χρήστες τους οποίους η θέση είναι στατική σε όλη τη διάρκεια, αν φτιάχναμε όμως μηχανισμό όπου οι χρήστες θα έχουν τη δυνατότητα κίνησης θα μιλούσαμε για καλύτερο αλγόριθμο. Αυτό βέβαια περιπλέκει τον αλγόριθμό όμως τα αποτελέσματα και οι μηχανισμοί που θα προταθούν για τη συγκεκριμένη περίπτωση θα είναι σίγουρα πιο αποδοτικοί αφού ένα πείραμα με δυναμικά κινούμενους χρήστες είναι πιο κοντά στα πραγματικά δεδομένα. Μπορεί κατά τη διάρκεια κίνησης χρηστών να χρειαστεί το λεγόμενο handover που εξηγήθηκε στο 3.10 και άρα το σύστημα να μπορεί να ανταπεξέλθει με τη λιγότερη πιθανή χρονοκαθυστέρηση.

Μια άλλη ιδέα που μπορεί να μελετηθεί περαιτέρω και έχει αναλυθεί εκτενέστερα στο 1.6.3 (CA) είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων του διαθέσιμου φάσματος αυξάνοντας έτσι τους πόρους που θα είναι διαθέσιμοι αλλά και το εύρος ζώνης του δικτύου.

Ο προτεινόμενος μηχανισμός εκμεταλλεύεται αποδοτικά του διαθέσιμους πόρους και στα δύο σενάρια. Μια μελλοντική μελέτη θα μπορούσε να στοχεύσει στην μετάβαση από τη μία κατάσταση επικοινωνίας στην άλλη, λαμβάνοντας υπόψη τις είτε τις ενεργειακές επιδόσεις των χρηστών, είτε του SINR που δέχεται το κάθε ζεύγος D2D επικοινωνίας είτε βάση των πόρων που είναι διαθέσιμο. Εναλλαγή δηλαδή του τρόπου επικοινωνίας βάση κριτηρίων κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Άλλη μια σκέψη για μελέτη θα μπορούσε να είναι το βασικό χαρακτηριστικό των επικοινωνιών D2D. Η διατήρηση μιας απόστασης μεταξύ των χρηστών είναι αναγκαία για την κατάσταση και τη συμπεριφορά των χρηστών κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας. Μια προσέγγιση προτείνοντας εναλλακτικές ή τεχνικές που θα μπορούσαν να μειώσουν τις παρεμβολές όταν η απόσταση μεταξύ των συσκευών αυξάνεται. Ακόμα το να επιτύχουν την δυνατότητα επικοινωνίας σε μεγαλύτερη απόσταση άρα η μελέτη της κάλυψης των σταθμών small cells η macro cells θεωρούμε ότι θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : Κώδικας

Προβάλλεται βασικό μέρος υλοποίησης του κώδικα του μηχανισμού συμπεριλαμβάνοντας τον υπολογισμό των τιμών SINR, τη δημιουργία της τοπολογίας αλλά και του κεντρικού αλγόριθμου για εξομοίωση αποτελεσμάτων.

EFFICIENT MECHANISM

```
temp_dl_rb_device_demands = device_dl_rb_demands;
temp_ul_rb_device_demands = device_ul_rb_demands;
temp_sinr_dl_macro_cells = sinr_dl_macro_cells;
temp_sinr_dl_small_cells = sinr_dl_small_cells;
temp_sinr_ul_macro_cells = sinr_ul_macro_cells;
temp_sinr_ul_small_cells = sinr_ul_small_cells;
dl_small_cell_connections = 0;
dl_macro_cell_connections = 0;
ul_small_cell_connections = 0;
ul_macro_cell_connections = 0;
dl_unsupported_UEs = 0;
ul_unsupported_UEs = 0;
dl_preserved_QoS = 0;
ul_preserved_QoS = 0;
dl_optimal_failures = strings([1,devices]);
ul_optimal_failures = strings([1,devices]);
fprintf("\n----- Running efficient mechanism -----
-\n\n");

devices_dd_dist=zeros(devices,devices);

dd_count=0;
dd_trans=zeros(1,devices/2);
dd_pairs=zeros(1,devices);
dd_pairs_index=1;

for j = 1:devices
    for i = 1:devices
        if j ~= i
            if ~ismember(j,dd_pairs(:,:))
                x_dist_dd = abs(devices_x_pos(j) - devices_x_pos(i));
                y_dist_dd = abs(devices_y_pos(j) - devices_y_pos(i));
                devices_dd_dist(j,i) = sqrt(double(x_dist_dd^2 +
y_dist_dd^2));

                if devices_dd_dist(j,i)<= 100.0
                    dd_count=dd_count+1;
                    [max_sinr] =
max([temp_sinr_dl_macro_cells(j,:),temp_sinr_dl_small_cells(i,:)]);
                    %DEDICATED fprintf("[D2D] Device %d will connect with
device %d | distance = %.2f(m) | sinr =
%.2f(dB)\n",j,i,devices_dd_dist(j,i),10*log10(max_sinr));
                    fprintf("[D2D] Device %d will connect with device %d | distance =
%.2f(m) | snr = %.2f(dB)\n",j,i,devices_dd_dist(j,i),10*log10(max_sinr));

                    dd_pairs(1,dd_pairs_index)=j;
                    dd_pairs(1,dd_pairs_index+1)=i;
```

```

                dd_pairs_index=dd_pairs_index+2;
                break;
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
fprintf("[D2D total] %d pairs are connected in d2d mode \n",dd_count);
% UE-eNB association in the downlink network
for j=1:devices
    if ismember(j,dd_pairs(:,:))
        completed = false;
        inner_loops = 1;
        [demand, device_index] = min(temp_dl_rb_device_demands);
        eNB_index = devices_dl_rb_demands_eNB_index(device_index);
        [max_sinr,
        new_eNB]
max([temp_sinr_dl_macro_cells(device_index,:),temp_sinr_dl_small_cells(device
_index,:)]);
        while (completed==false)
            temp_dl_rb_device_demands(device_index) = 10^10;
            if (inner_loops >= 2)
                if (eNB_index <= macro_cells)
                    temp_sinr_dl_macro_cells(device_index,eNB_index) = 0;
                else
                    temp_sinr_dl_small_cells(device_index,eNB_index-
macro_cells) = 0;
                end
                [max_sinr,
                new_eNB]
max([temp_sinr_dl_macro_cells(device_index,:),temp_sinr_dl_small_cells(device
_index,:)]);
                device_dl_rb_demands(1,device_index) = ceil(
(device_dl_throughput_demands(1,device_index))/(rb_bandwidth*log2(1+max_sinr
) ) );
                devices_dl_rb_demands_eNB_index(1,device_index) = new_eNB;
                dl_data_rates(1,device_index)
                (device_dl_rb_demands(1,device_index)*rb_bandwidth*log2(1+max_sinr))/10^6;
                eNB_index = new_eNB;
            end
            if (eNB_index <= macro_cells)
                eNB_available_RB_s = available_dl_RB_s_macro_cells(eNB_index);
            else
                eNB_available_RB_s = available_dl_RB_s_small_cells(eNB_index-
macro_cells);
            end
            if (eNB_available_RB_s - demand) >= 0
                if (eNB_index <= macro_cells)
                    fprintf("[DOWNLINK] Device %d will connect with macro
cell %d | data rates = %.2f(Mbps) | sinr =
%.2f(dB)\n",device_index,eNB_index,dl_data_rates(1,device_index),10*log10(max
_sinr));
                    %REUSE
                    available_dl_RB_s_macro_cells(eNB_index)
                    available_dl_RB_s_macro_cells(eNB_index) - demand;
                    dl_macro_cell_connections = dl_macro_cell_connections
+ 1;
                else

```

```

        fprintf("[DOWNLINK] Device %d will connect with small
cell %d | data rates = %.2f(Mbps) | sinr = %.2f (dB)\n",device_index,eNB_index-
macro_cells,dl_data_rates(1,device_index),10*log10(max_sinr));
        %REUSE
        available_dl_RB_s_small_cells(eNB_index-macro_cells) =
available_dl_RB_s_small_cells(eNB_index-macro_cells) - demand;
        dl_small_cell_connections = dl_small_cell_connections
+ 1;
        end
        if (dl_data_rates(1,device_index) >=
(device_dl_throughput_demands(1,device_index)/10^6))
            %fprintf("[DOWNLINK] Device %d has equal or higher QoS than
requested\n",device_index);
            dl_preserved_QoS = dl_preserved_QoS + 1;
        else
            %fprintf("[DOWNLINK] Device %d has lower QoS than
requested\n",device_index);
            end
            dl_resource_blocks = dl_resource_blocks - demand;
            downlink_subcarriers = downlink_subcarriers - demand*12;
            completed = true;
        else
            dl_optimal_failures(1,device_index) = "yes";
            if (inner_loops == macro_cells+small_cells)
                fprintf(2,"[DOWNLINK] Unable to serve device %d from the
network !!!\n",device_index)
                dl_unsupported_UEs = dl_unsupported_UEs + 1;
                completed=true;
            end
            inner_loops = inner_loops + 1;
        end
    end
end
end
end

fprintf("\n-----\n\n");

% Uplink network
for j=1:devices
    if ismember(j,dd_pairs(:,:))
        completed = false;
        inner_loops = 1;
        [demand, device_index] = min(temp_ul_rb_device_demands);
        eNB_index = devices_ul_rb_demands_eNB_index(device_index);
        [max_sinr,
new_eNB] =
max([temp_sinr_ul_macro_cells(device_index,:),temp_sinr_ul_small_cells(device
_index,:)]);
        while (completed==false)
            temp_ul_rb_device_demands(device_index) = 10^10;
            if (inner_loops >= 2)
                if eNB_index <= 19
                    temp_sinr_ul_macro_cells(device_index,eNB_index) = 0;

```

```

        else
            temp_sinr_ul_small_cells(device_index,eNB_index-
macro_cells) = 0;
        end
        [max_sinr, new_eNB] =
max([temp_sinr_ul_macro_cells(device_index,:),temp_sinr_ul_small_cells(device
_index,:)]);
        device_ul_rb_demands(1,device_index) = ceil(
(device_ul_throughput_demands(1,device_index))/(rb_bandwidth*log2(1+max_sinr)
) );
        devices_ul_rb_demands_eNB_index(1,device_index) = new_eNB;
        ul_data_rates(1,device_index) =
(device_ul_rb_demands(1,device_index)*rb_bandwidth*log2(1+max_sinr))/10^6;
        eNB_index = new_eNB;
    end
    if (eNB_index <= macro_cells)
        eNB_available_RBs = available_ul_RBs_macro_cells(eNB_index);
    else
        eNB_available_RBs = available_ul_RBs_small_cells(eNB_index-
macro_cells);
    end
    if (eNB_available_RBs - demand) >= 0
        if eNB_index <= macro_cells
            fprintf("[UPLINK] Device %d will connect with macro
cell %d | data rates = %.2f(Mbps) | sinr =
%.2f(dB)\n",device_index,eNB_index,ul_data_rates(1,device_index),10*log10(max
_sinr));
            %REUSE
            available_ul_RBs_macro_cells(eNB_index) =
available_ul_RBs_macro_cells(eNB_index) - demand;
            ul_macro_cell_connections = ul_macro_cell_connections
+ 1;
        else
            fprintf("[UPLINK] Device %d will connect with small
cell %d | data rates = %.2f(Mbps) | sinr = %.2f(dB)\n",device_index,eNB_index-
macro_cells,ul_data_rates(1,device_index),10*log10(max_sinr));
            %REUSE
            available_ul_RBs_small_cells(eNB_index-macro_cells) =
available_ul_RBs_small_cells(eNB_index-macro_cells) - demand;
            ul_small_cell_connections = ul_small_cell_connections
+ 1;
        end
        if (ul_data_rates(1,device_index) >=
(device_ul_throughput_demands(1,device_index)/10^6))
            fprintf("[UPLINK] Device %d has equal or higher QoS than
requested\n",device_index);
            ul_preserved_QoS = ul_preserved_QoS + 1;
        else
            fprintf("[UPLINK] Device %d has lower QoS than
requested\n",device_index);
        end
        ul_resource_blocks = ul_resource_blocks - demand;
        uplink_subcarriers = uplink_subcarriers - demand*12;
        completed = true;
    else
        ul_optimal_failures(1,device_index) = "yes";
        if (inner_loops == macro_cells+small_cells)

```

```

        fprintf(2, "[UPLINK] Unable to serve device %d from the
network !!!\n", device_index)
        ul_unsupported_UEs = ul_unsupported_UEs + 1;
        completed=true;
    end
    inner_loops = inner_loops + 1;
end
end
end
end

fprintf("\n----- Results ----- \n\n");
fprintf("Network Devices : %d\n", devices)
dl_resource_blocks
ul_resource_blocks
    fprintf("[DOWNLINK]          RBs      usage      :      %.2f      %%\n", 100*(1-
(dl_resource_blocks)/(300)));
    fprintf("[UPLINK]          RBs      usage      :      %.2f      %%\n", 100*(1-
(ul_resource_blocks)/(200)));
    fprintf("[DOWNLINK]          Macro      cell      Connections      :
%d\n", dl_macro_cell_connections);
    fprintf("[DOWNLINK]          Small      cell      Connections      :
%d\n", dl_small_cell_connections);
    fprintf("[DOWNLINK] Unsupported devices : %d\n", dl_unsupported_UEs);
    fprintf("[DOWNLINK]          Successful      Connections      :
%d\n", dl_macro_cell_connections+dl_small_cell_connections);
    fprintf("[DOWNLINK]          Successful      Connection      rate      :      %.2f
%%\n", 100*(dl_macro_cell_connections+dl_small_cell_connections)/(devices));
    fprintf("[DOWNLINK] Devices that preserved QoS : %d\n", dl_preserved_QoS);
    fprintf("[DOWNLINK]          Preserved      QoS      rate:      %.2f
%%\n", 100*(dl_preserved_QoS/(dl_macro_cell_connections+dl_small_cell_connecti
ons)));
    fprintf("[DOWNLINK] Failures at completing optimal UE-eNB association :
%d\n", sum(count(dl_optimal_failures, "yes")));
    fprintf("[DOWNLINK]          Optimal      association      failure      rate      :      %.2f
%%\n", 100*(sum(count(dl_optimal_failures, "yes")))/(devices));
    fprintf("[UPLINK]          Macro      cell      Connections      :
%d\n", ul_macro_cell_connections);
    fprintf("[UPLINK]          Small      cell      Connections      :
%d\n", ul_small_cell_connections);
    fprintf("[UPLINK] Unsupported devices : %d\n", ul_unsupported_UEs);
    fprintf("[UPLINK]          Successful      Connections      :
%d\n", ul_macro_cell_connections+ul_small_cell_connections);
    fprintf("[UPLINK]          Successful      Connection      rate      :      %.2f
%%\n", 100*(ul_macro_cell_connections+ul_small_cell_connections)/(devices));
    fprintf("[UPLINK] Devices that preserved QoS : %d\n", ul_preserved_QoS);
    fprintf("[UPLINK]          Preserved      QoS      rate:      %.2f
%%\n", 100*(ul_preserved_QoS/(ul_macro_cell_connections+ul_small_cell_connecti
ons)));
    fprintf("[UPLINK]          Optimal      association      failure      rate      :      %.2f
%%\n", 100*(sum(count(ul_optimal_failures, "yes")))/(devices));
end

```

```

fprintf('\n----- Device Data Rate Results -----\n\n');
  fprintf(['[DOWNLINK] Average data rate : %.2f
(Mbps)\n',mean2(dl_data_rates(dl_data_rates>0))]);
  fprintf(['[UPLINK] Average data rate : %.2f
(Mbps)\n',mean2(ul_data_rates(ul_data_rates>0))]);
  fprintf('\n----- Network Results -----\n\n');
  fprintf(['[DOWNLINK] Network Throughput : %.2f
(Mbps)\n',sum(dl_data_rates)]);
  fprintf(['[UPLINK] Network Throughput : %.2f (Mbps)\n',sum(ul_data_rates)]);
  fprintf('\n----- SNR Results -----\n\n');
  fprintf(['[DOWNLINK] Average macro cell SNR :
%.2f\n',10*log10(mean2(sinr_dl_macro_cells))]);
  fprintf(['[DOWNLINK] Average small cell SNR :
%.2f\n',10*log10(mean2(sinr_dl_small_cells))]);
  fprintf(['[UPLINK] Average macro cell SNR :
%.2f\n',10*log10(mean2(sinr_ul_macro_cells))]);

```

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ

```

macro_cells_x_pos = [1000+750 250+750 1750+750 625+750 1375+750 625+750
1375+750 1000+750 250+750 1750+750 -125+750 2125+750 -500+750 2500+750 -120+750
250+750 1000+750 1750+750 2125+750];
macro_cells_y_pos = [1000+750 1000+750 1000+750 1650+750 1650+750 350+750
350+750 2300+750 2300+750 2300+750 1650+750 1650+750 1000+750 1000+750 350+750
-300+750 -300+750 -300+750 350+750];
plot(macro_cells_x_pos,macro_cells_y_pos,'^b','MarkerSize',20)
pgon1 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[1000+750
1000+750], 'SideLength',433),30,[1000+750 1000+750]));
pgon2 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[250+750
1000+750], 'SideLength',433),30,[250+750 1000+750]));
pgon3 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[1750+750
1000+750], 'SideLength',433),30,[1750+750 1000+750]));
pgon4 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[625+750
1650+750], 'SideLength',433),30,[625+750 1650+750]));
pgon5 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[1375+750
1650+750], 'SideLength',433),30,[1375+750 1650+750]));
pgon6 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[625+750
350+750], 'SideLength',433),30,[625+750 350+750]));
pgon7 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[1375+750
350+750], 'SideLength',433),30,[1375+750 350+750]));
pgon8 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[1000+750
2300+750], 'SideLength',433),30,[1000+750 2300+750]));
pgon9 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[250+750
2300+750], 'SideLength',433),30,[250+750 2300+750]));
pgon10 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[1750+750
2300+750], 'SideLength',433),30,[1750+750 2300+750]));
pgon11 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[-125+750
1650+750], 'SideLength',433),30,[-125+750 1650+750]));
pgon12 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[2125+750
1650+750], 'SideLength',433),30,[2125+750 1650+750]));
pgon13 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[-500+750
1000+750], 'SideLength',433),30,[-500+750 1000+750]));
pgon14 = rotate(rotate(nsidedpoly(6,'Center',[2500+750
1000+750], 'SideLength',433),30,[2500+750 1000+750]));

```

```
pgon15 = rotate(n-sidedpoly(6, 'Center', [-120+750
350+750], 'SideLength', 433), 30, [-120+750 350+750]);
pgon16 = rotate(n-sidedpoly(6, 'Center', [250+750
300+750], 'SideLength', 433), 30, [250+750 -300+750]);
pgon17 = rotate(n-sidedpoly(6, 'Center', [1000+750
300+750], 'SideLength', 433), 30, [1000+750 -300+750]);
pgon18 = rotate(n-sidedpoly(6, 'Center', [1750+750
300+750], 'SideLength', 433), 30, [1750+750 -300+750]);
pgon19 = rotate(n-sidedpoly(6, 'Center', [2125+750
350+750], 'SideLength', 433), 30, [2125+750 350+750]);
```

```
plot(pgon1, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.3);
plot(pgon2, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.3);
plot(pgon3, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.3);
plot(pgon4, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.3);
plot(pgon5, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.3);
plot(pgon6, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.3);
plot(pgon7, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.3);
plot(pgon8, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon9, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon10, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon11, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon12, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon13, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon14, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon15, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon16, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon17, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon18, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
plot(pgon19, 'FaceColor', 'w', 'FaceAlpha', 0.1);
```

```
text(1000+60+750, 1000+30+750, '1', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(250+60+750, 1000+30+750, '2', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(1750+60+750, 1000+30+750, '3', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(625+60+750, 1650+30+750, '4', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(1375+60+750, 1650+30+750, '5', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(625+60+750, 350+30+750, '6', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(1375+60+750, 350+30+750, '7', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(1000+60+750, 2300+30+750, '8', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(250+60+750, 2300+30+750, '9', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(1750+60+750, 2300+30+750, '10', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(-125+60+750, 1650+30+750, '11', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(2120+60+750, 1650+30+750, '12', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(-500+60+750, 1000+30+750, '13', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(2500+60+750, 1000+30+750, '14', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(-120+60+750, 350+30+750, '15', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(250+60+750, -300+30+750, '16', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(1000+60+750, -300+30+750, '17', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(1750+60+750, -300+30+750, '18', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
text(2125+60+750, 350+30+750, '19', 'fontSize', 13, 'Color', 'b');
```

```
small_cells_x_pos = [1250+750 750+750 1200+750 50+750 520+750 280+750
350+750 900+750 600+750 1700+750 1050+750 1350+750 2050+750 1500+750 1900+750
350+750 900+750 650+750 1050+750 1450+750 1600+750];
```



```

    small_cells_y_pos = [1150+750 1000+750 750+750 800+750 850+750 1250+750
1500+750 1650+750 1900+750 1700+750 1650+750 1350+750 1100+750 850+750 750+750
350+750 500+750 50+750 350+750 650+750 120+750];
    plot(small_cells_x_pos,small_cells_y_pos, '^g', 'MarkerSize', 9)
    viscircles([1250+750 1150+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([750+750 1000+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([1200+750 750+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([50+750 800+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([520+750 850+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([280+750 1250+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([350+750 1500+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([900+750 1650+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([600+750 1900+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([1700+750 1700+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([1050+750 1650+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([1350+750 1350+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([2050+750 1100+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([1500+750 850+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([1900+750 750+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([350+750 350+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([900+750 500+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([650+750 50+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([1050+750 350+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([1450+750 650+750],55, 'Color', 'g');
    viscircles([1600+750 120+750],55, 'Color', 'g');
    text(1250+13+750,1150+13+750, '1', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(750+13+750,1000+13+750, '2', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(1200+13+750,750+13+750, '3', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(50+13+750,800+13+750, '4', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(520+13+750,850+13+750, '5', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(280+13+750,1250+13+750, '6', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(350+13+750,1500+13+750, '7', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(900+13+750,1650+13+750, '8', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(600+13+750,1900+13+750, '9', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(1700+13+750,1700+13+750, '10', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(1050+13+750,1650+13+750, '11', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(1350+13+750,1350+13+750, '12', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(2050+13+750,1100+13+750, '13', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(1500+13+750,850+13+750, '14', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(1900+13+750,750+13+750, '15', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(350+13+750,350+13+750, '16', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(900+13+750,500+13+750, '17', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(650+13+750,50+13+750, '18', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(1050+13+750,350+13+750, '19', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(1450+13+750,650+13+750, '20', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');
    text(1600+13+750,120+13+750, '21', 'fontsize', 8, 'Color', 'k');

    devices_x_pos = zeros(1,devices);
    devices_y_pos = zeros(1,devices);

    devices_x_cell=zeros(1,devices_cell);
    devices_y_cell=zeros(1,devices_cell);

    for k = 1:devices_cell
        possibility = rand;
        if possibility <= 0.10

```

```

    position_probability = rand;
    if position_probability <= 0.
        devices_x_cell(k) = randi([0 250])+750;
        devices_y_cell(k) = randi([0 2000])+750;
    else
        devices_x_cell(k) = randi([1750 2000])+750;
        devices_y_cell(k) = randi([0 2000])+750;
    end
else
    devices_x_cell(k) = randi([250 1750])+750;
    devices_y_cell(k) = randi([0 2000])+750;
end
plot(devices_x_cell(k), devices_y_cell(k), 'sr');
display_text = num2str(k);

text(devices_x_cell(k)+13,devices_y_cell(k)+13,display_text,'fontsize',10,'Color','r');
end

for j = 1:devices
    possibility = rand;
    if possibility <= 0.10
        position_probability = rand;
        if position_probability <= 0.
            devices_x_pos(j) = randi([0 250])+750;
            devices_y_pos(j) = randi([0 2000])+750;
        else
            devices_x_pos(j) = randi([1750 2000])+750;
            devices_y_pos(j) = randi([0 2000])+750;
        end
    else
        devices_x_pos(j) = randi([250 1750])+750;
        devices_y_pos(j) = randi([0 2000])+750;
    end

    plot(devices_x_pos(j), devices_y_pos(j), 'sb');
    display_text = num2str(j);

    text(devices_x_pos(j)+13,devices_y_pos(j)+13,display_text,'fontsize',10,'Color','b');
end

hold off;

end

```

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ SINR ΚΑΙ SNR UPLINK

```

for j = 1:devices
    for i = 1:macro_cells
        x_dist_macro = abs(devices_x_pos(j) - macro_cells_x_pos(i));
        y_dist_macro = abs(devices_y_pos(j) - macro_cells_y_pos(i));
        devices_macro_dist(j,i) = sqrt(double(x_dist_macro^2 +
y_dist_macro^2));
        path_loss_macro_cells(j,i) = 128.1 +
37.6*log10(devices_macro_dist(j,i)/1000);
        channel_gain_macro_cells(j,i) = 10^(-
path_loss_macro_cells(j,i)/10);
    end
    for i = 1:small_cells
        x_dist_small = abs(devices_x_pos(j) - small_cells_x_pos(i));
        y_dist_small = abs(devices_y_pos(j) - small_cells_y_pos(i));
        devices_small_dist(j,i) = sqrt(double(x_dist_small^2 +
y_dist_small^2));
        path_loss_small_cells(j,i) = 140.7 +
36.7*log10(devices_small_dist(j,i)/1000);
        channel_gain_small_cells(j,i) = 10^(-
path_loss_small_cells(j,i)/10);
    end
end

for j = 1:devices

    for i=1:macro_cells
        sinr_numerator = ue_radiation*channel_gain_macro_cells(j,i);
        all_other_macro_channel_gains_and_powers = 0;
        for temp = 1:macro_cells
            if temp ~= i
                all_other_macro_channel_gains_and_powers =
all_other_macro_channel_gains_and_powers +
ue_radiation*channel_gain_macro_cells(j,temp);
            end
        end
        for temp = 1:small_cells
            all_other_macro_channel_gains_and_powers =
all_other_macro_channel_gains_and_powers +
ue_radiation*channel_gain_small_cells(j,temp);
        end
        ;%DEDICATED
        sinr_denominator = white_noise*subcarrier_spacing ;%+
all_other_macro_channel_gains_and_powers;
        sinr_macro_cells(j,i) = 12 * (sinr_numerator/sinr_denominator);
    end
    for i=1:small_cells
        sinr_numerator = ue_radiation*channel_gain_small_cells(j,i);
        all_other_small_channel_gains_and_powers = 0;
        for temp = 1:small_cells
            if temp ~= i
                all_other_small_channel_gains_and_powers =
all_other_small_channel_gains_and_powers +
ue_radiation*channel_gain_small_cells(j,temp);
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    for temp = 1:macro_cells
        all_other_small_channel_gains_and_powers =
all_other_small_channel_gains_and_powers +
ue_radiation*channel_gain_macro_cells(j,temp);
    end
    % DEDICATE
    sinr_denominator = white_noise*subcarrier_spacing ;%
all_other_small_channel_gains_and_powers;
    sinr_small_cells(j,i) = 12 * (sinr_numerator/sinr_denominator);
    end
end
    devices_x_dist = zeros(1,devices);
    devices_y_dist = zeros(1,devices);
    distances = zeros (1,devices);
    for j = 1:devices
        if i~=j
            device_x_dist = abs(devices_x_pos(i)-devices_x_pos(j));
            device_y_dist = abs(devices_y_pos(i)-devices_y_pos(j));
            sqrt(double(device_x_dist^2+device_y_dist^2));
        end
    end
end
end

```

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ SINR ΚΑΙ SNR DOWNLINK

```

    for j = 1:devices
        for i = 1:macro_cells
            x_dist_macro = abs(devices_x_pos(j) - macro_cells_x_pos(i));
            y_dist_macro = abs(devices_y_pos(j) - macro_cells_y_pos(i));
            devices_macro_dist(j,i) = sqrt(double(x_dist_macro^2 +
y_dist_macro^2));
            path_loss_macro_cells(j,i) = 128.1 +
37.6*log10(devices_macro_dist(j,i)/1000);
            channel_gain_macro_cells(j,i) = 10^(-path_loss_macro_cells(j,i)/10)
        end
        for i = 1:small_cells
            x_dist_small = abs(devices_x_pos(j) - small_cells_x_pos(i));
            y_dist_small = abs(devices_y_pos(j) - small_cells_y_pos(i));
            devices_small_dist(j,i) = sqrt(double(x_dist_small^2 +
y_dist_small^2));
            path_loss_small_cells(j,i) = 140.7 +
36.7*log10(devices_small_dist(j,i)/1000);
            channel_gain_small_cells(j,i) = 10^(-
path_loss_small_cells(j,i)/10) ;
        end
    end
    for j = 1:devices
        for i=1:macro_cells
            sinr_numerator =
macro_cell_radiation*channel_gain_macro_cells(j,i);
            all_other_macro_channel_gains_and_powers = 0;

```

```

        for temp = 1:macro_cells
            if temp ~= i
                all_other_macro_channel_gains_and_powers =
all_other_macro_channel_gains_and_powers +
macro_cell_radiation*channel_gain_macro_cells(j,temp);
            end
        end
        for temp = 1:small_cells
            all_other_macro_channel_gains_and_powers =
all_other_macro_channel_gains_and_powers +
small_cell_radiation*channel_gain_small_cells(j,temp);
        end
        % DEDICATED
        sinr_denominator = white_noise*subcarrier_spacing;% +
all_other_macro_channel_gains_and_powers;
        sinr_macro_cells(j,i) = 12 * (sinr_numerator/sinr_denominator);
    end
    for i=1:small_cells
        sinr_numerator =
small_cell_radiation*channel_gain_small_cells(j,i);
        all_other_small_channel_gains_and_powers = 0;
        for temp = 1:small_cells
            if temp ~= i
                all_other_small_channel_gains_and_powers =
all_other_small_channel_gains_and_powers +
small_cell_radiation*channel_gain_small_cells(j,temp);
            end
        end
        for temp = 1:macro_cells
            all_other_small_channel_gains_and_powers =
all_other_small_channel_gains_and_powers +
macro_cell_radiation*channel_gain_macro_cells(j,temp);
        end
        % DEDICATED
        sinr_denominator = white_noise*subcarrier_spacing;% +
all_other_small_channel_gains_and_powers;
        sinr_small_cells(j,i) = 12 * (sinr_numerator/sinr_denominator);
    end
end
end
end

```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] R. Baldemair et al., "Evolving wireless communications: Addressing the challenges and expectations of the future," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 24_30, Mar. 2013.
- [2] T. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1996.
- [3] M. Fallgren et al., *Scenarios, Requirements and KPIs for 5G Mobile and Wireless System*, document ICT-317669-METIS/D1.1, Apr. 2013.
- [4] Industry Proposal for a Public Private Partnership (PPP) in Horizon 2020 (Draft Version 2.1), *Horizon 2020 Advanced 5G Network Infrastructure for the Future Internet PPP*. [Online]. Available: http://www.networks-etp-eu/leadadmin/user_upload/Home/draft-PPP-proposal.pdf
- [5] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell networks: A survey," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 9, pp. 5967, Sep. 2008.
- [6] C. Studer and E. G. Larsson, "PAR-aware large-scale multi-user MIMO OFDM downlink," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 31, no. 2, pp. 303313, Feb. 2013.
- [7] Zhou, Liang, Kalle Ruttik, and Olav Tirkkonen. "Interference Canceling Power Optimization for Device to Device Communication." *Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2015 IEEE 81st. IEEE, 2015.
- [8] Wang, Dongyu, Xiaoxiang Wang, and Yuan Zhao. "An interference coordination scheme for device-to-device multicast in cellular networks." *Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, 2012 IEEE. IEEE, 2012.
- [9] Bin Guo, Shaohui Sun, Qiubin Gao, "Interference Management for D2D Communications Underlying Cellular Networks at Cell Edge", *ICWMC*, 2015.
- [10] Wang, Shuang, et al. "A Novel Interference Management Scheme in Underlay D2D Communication." *Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, 2015 IEEE 82nd. IEEE, 2015.
- [11] Zhou, Liang, Kalle Ruttik, and Olav Tirkkonen. "Interference Canceling Power Optimization for Device to Device Communication." *Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2015 IEEE 81st. IEEE, 2015.
- [12] Noura, Mahda, and Rosdiadee Nordin. "A Survey on Interference Management for Device-to-Device (D2D) Communication and its Challenges in 5G Networks." *Journal of Network and Computer Applications* (2016).
- [13] Bin Guo, Shaohui Sun, Qiubin Gao, "Interference Management for D2D Communications Underlying Cellular Networks at Cell Edge", *ICWMC*, 2015.
- [14] Wang, Dongyu, Xiaoxiang Wang, and Yuan Zhao. "An interference coordination scheme for device-to-device multicast in cellular networks." *Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, 2012 IEEE. IEEE, 2012.

- [15] Wang, Dongyu, Xiaoxiang Wang, and Yuan Zhao. "An interference coordination scheme for device-to-device multicast in cellular networks." Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2012 IEEE.
- [16] Si Wen, Xiaoyue Zhu, Zhesheng Lin, Xin Zhang, and Dacheng Yang, "Optimization of interference coordination schemes in device -to- device (D2D) communication," in Communications and Networking in China (CHINACOM), 2012 7th International ICST Conference on, 2012, pp. 542–547
- [17] Dongyu Wang and Xiaoxiang Wang, "An interference management scheme for device-to-device multicast spectrum sharing hybrid network," in Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2013 IEEE 24rd International Symposium on, 2013.
- [18] Jiang, Yanxiang, et al. "Energy Efficient Joint Resource Allocation and Power Control for D2D Communications." IEEE Transaction on Vehicular Technology (2015).
- [19] Xu, Chen, et al. "Subcarrier and power optimization for device-to-device underlay communication using auction games." Communications (ICC), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014.
- [20] Yu, Chia-Hao, et al. "On the performance of device-to-device underlay communication with simple power control." Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th. IEEE, 2009
- [21] Yu, Chia-Hao, et al. "Performance impact of fading interference to device-to-device communication underlying cellular networks." Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2009 IEEE 20th International Symposium on. IEEE, 2009
- [22] H. ElSawy, E. Hossain, and M. Alouini, "Analytical modeling of mode selection and power control for underlay D2D communication in cellular networks," IEEE Transactions on Communications, vol. 62, no. 11, pp. 4147–4161, Nov 2014.
- [23] K. Zhu and E. Hossain, "Joint mode selection and spectrum partitioning for device-to-device communication: A dynamic stackelberg game," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 14, no. 3, pp. 1406–1420, March 2015.
- [24] G. Yu, L. Xu, D. Feng, R. Yin, G. Y. Li, and Y. Jiang, "Joint mode selection and resource allocation for device-to-device communications," IEEE Transactions on Communications, vol. 62, no. 11, pp. 3814–3824, Nov 2014.

- [25] R. I. Ansari, C. Chrysostomou, S. A. Hassan, M. Guizani, S. Mumtaz, J. Rodriguez, and J. J. P. C. Rodrigues, "5g D2D networks: Techniques, challenges, and future prospects," *IEEE Systems Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 3970–3984, Dec 2018.
- [26] H. Holma and A. Toskala, *LTE-Advanced Standardization*. Wiley, 2012. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8045392>
- [27] A. Lotlikar and S. Periyasamy, "enodeb configuration, performance and fault management for coverage optimization," in *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, March 2018, pp. 1059–1064.
- [28] M. C. Lucas-Estan and J. Gozalvez, "Distance-based radio resource allocation for device to device communications," in *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, June 2017, pp. 1–5.
- [29] C. Yeh, G. Lin, M. Shih, and H. Wei, "Centralized interference-aware resource allocation for device-to-device broadcast communications," in *2014 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings), and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom)*, Sep. 2014, pp. 304–307.
- [30] G. Giambene and T. A. Khoa, "Efficiency and fairness in the resource allocation to device-to-device communications in lte-a," in *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, May 2018, pp. 1–6.
- [31] W. Sun, F. Brännström, and E. G. Ström, "Network synchronization for mobile device-to-device systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, no. 3, pp. 1193–1206, March 2017.
- [32] "Communication and its Challenges in 5G Networks." *Journal of Network and Computer Applications* (2016).
- [33] T. B. Iliev, G. Y. Mihaylov, T. D. Bikov, E. P. Ivanova, I. S. Stoyanov and D. I. Radev, "LTE eNB traffic analysis and key techniques towards 5G mobile networks," *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, Opatija, 2017, pp. 497-500.
- [34] M. M. Alsulami and N. Akkari, "The role of 5G wireless networks in the internet-of- things (IoT)," *2018 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, Riyadh, 2018, pp. 1-8.
- [35] A. Gupta and R. K. Jha, "A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies," in *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1206-1232, 2015.
- [36] R. I. Ansari *et al.*, "5G D2D Networks: Techniques, Challenges, and Future Prospects," in *IEEE Systems Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 3970-3984, Dec. 2018.

- [37] A. V. Bastos, C. M. Silva and D. C. da Silva, "Assisted routing algorithm for D2D communication in 5G wireless networks," *2018 Wireless Days (WD)*, Dubai, 2018, pp. 28-30.
- [38] P. Mach, Z. Becvar and T. Vanek, "In-Band Device-to-Device Communication in OFDMA Cellular Networks: A Survey and Challenges," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 1885-1922, Fourthquarter 2015.
- [39] M. Li and H. Tsai, "Design and Evaluation of a Hybrid D2D Discovery Mechanism in 5G Cellular Networks," *2018 Tenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, Prague, 2018, pp. 641-643.
- [40] P. K. Mishra, A. Kumar and S. Pandey, "Minimum interference based resource allocation method in two-hop D2D communication for 5G cellular networks," *2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*, Palladam, 2017, pp. 1191-1196.
- [41] M. Agiwal, A. Roy and N. Saxena, "Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 1617-1655, thirdquarter 2016.
- [42] Z. Guizani and N. Hamdi, "Spectrum resource block reuse and power assignment for D2D communications underlay 5G uplink network," *2016 24th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, Split, 2016, pp. 1-5.
- [43] Gupta, Akhil. (2015). A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. Access, IEEE. 3. 1206-1232. 10.1109/ACCESS.2015.2461602.
- [44] <https://mobilesyrup.com/2015/06/06/bell-begins-promoting-its-ultra-fast-lte-advanced-network/>
- [45] Al.Qasrawi, Isra. (2016). Proposed Technologies for Solving Future 5G Heterogeneous Networks Challenges. International Journal of Computer Applications. 142. 1-8. 10.5120/ijca2016909924.
- [46] <https://www.gemalto.com/mobile/inspired/5G>
- [47] https://whatsag.com/mobile-technology/generation_history.php
- [48] <https://developer.samsung.com/tech-insights/5G/5g-requirements>
- [49] <https://www.slideshare.net/andrewmounir3/5g-technology-presentation>
- [50] Alwadan, Tariq. (2018). Cloud Computing and Multi-Agent System: Monitoring and Services. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 96.
- [51] <https://www.rcrwireless.com/20171006/5g/making-5g-nr-mmwave-reality-2019-smartphones>
- [52] <http://www.techtrained.com/what-are-the-major-architectural-changes-in-5g-and-resulting-applications-and-services/>
- [53] https://www.tutorialspoint.com/5g/5g_quick_guide.htm
- [54] http://www.sharetechnote.com/html/LTE_Advanced_D2D_Radio.html
- [55] <https://telcomaglobal.com/blog/18992/device-to-device-d2d-communications>
- [56] Nguyen, Hieu & Duong, Quang & Nguyen, Van-Dinh & Shin, Yoan & Shin, Oh-Soon. (2015). Optimization of resource allocation for underlay device-to-device communications in cellular networks. Peer-to-Peer Networking and Applications. 9. 10.1007/s12083-015-0357-8.

- [57] Panaitopol, Dorin & Mouton, Christian & Lecroart, Benoit & Lair, Yannick & Delahaye, Philippe. (2015). Recent Advances in 3GPP Rel-12 Standardization related to D2D and Public Safety Communications.
- [58] Lien, Shao-yu et al. "3GPP device-to-device communications for beyond 4G cellular networks." *IEEE Communications Magazine* 54 (2016): 29-35.
- [59] EIDO, Souheir & Gravey, A.. (2014). How much LTE traffic can be offloaded ?. 10.13140/2.1.3952.9928.
- [60] Garima Chopra, Rakesh Kumar Jha, Sanjeev Jain, A survey on ultra-dense network and emerging technologies: Security challenges and possible solutions, *Journal of Network and Computer Applications*, Volume 95, 2017