



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

Αξιολόγηση επίδοσης 5G – D2D και σύγκριση με συστήματα 4G

Μαντζάκος Σωκράτης

Αθήνα, 2020



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Γεώργιος Δημητρακόπουλος (Επιβλέπων/ουσα)
Επίκουρος Καθηγητής, Πληροφορικής και Τηλεματικής, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο

Βασίλης Δαλάκας
Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό, Πληροφορικής και Τηλεματικής,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Θωμάς Καμαλάκης
Αναπληρωτής Καθηγητής, Πληροφορικής και Τηλεματικής, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο

Ο Μαντζάκος Σωκράτης

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1)** Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2)** Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
2	Ιστορική Αναδρομή	13
2.1	Ιστορική αναδρομή των δικτύων κινητών επικοινωνιών	13
2.2	Συστήματα τηλεπικοινωνιών 1ης γενιάς.....	13
2.3	Συστήματα τηλεπικοινωνιών 2ης γενιάς (2G)	17
2.3.1	Global System for Mobile Communications (GSM)	18
2.3.2	IS-54, IS-136 και IS-95	20
2.3.3	Personal Digital Cellular (PDC).....	21
2.4	Συστήματα τηλεπικοινωνιών 2.5 γενιάς (2.5G)	21
2.4.1	General Packet Radio Service (GPRS).....	21
2.4.2	IS-95b	22
2.4.3	Enhanced Data for Global Evolution (EDGE)	22
2.5	Συστήματα τηλεπικοινωνιών 3ης γενιάς (3G)	23
2.5.1	Εξέλιξη των 3G- High Speed Packet Access (HSPA)-3.5G	24
3	Συστήματα τηλεπικοινωνιών 4ης γενιάς (4G)	25
3.1	Ιστορική Αναδρομή	26
3.2	LTE (Long Term Evolution)	26
3.2.1	Αρχιτεκτονική δικτύου	27
3.2.2	LTE-Advanced(4.5G).....	29
3.2.3	LTE-Advanced-Pro(4.9G)	29
3.3	WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access) – Πρότυπο IEEE 802.16	30
3.3.1	Αρχιτεκτονική Δικτύου	31
3.3.2	WiMAX2-IEEE 802.16.m-2011	32
4	Δίκτυα 5ης γενιάς τηλεπικοινωνιών (5G).....	33
4.1	Ιστορική Αναδρομή	33
4.2	Χαρακτηριστικά της 5ης γενιάς.....	35
4.3	Αρχιτεκτονική 5G.....	36
4.4	D2D(Device to Device)	38
4.4.1	Εφαρμογές του D2D.....	39
5	Προσομοίωση	41
5.1	Σενάριο 1 : Σύγκριση 4G-5G σε αποστολή μεγάλου αρχείου	42
5.2	Σενάριο 2: Λήψη και Αποστολή δεδομένων σε 4G και 5G δικτύων	47
6	Συμπέρασμα	57
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58

Περίληψη στα Ελληνικά

Στόχος της πτυχιακής αυτής είναι η περιγραφή και η σύγκριση των δικτύων 4G-5G και η αξιολόγηση τους.

Αρχικά αναφέρεται η ιστορική αναδρομή των κινητών επικοινωνιών από τα 1^{ης} γενιάς αναλογικά συστήματα και κινητά τηλέφωνα, μέχρι και το σήμερα που έχουμε την μετάβαση στην 5^η γενιά πλέον. Επίσης παρουσιάζεται η εξέλιξη της κάθε γενιάς δικτύων(πχ 2.5G, 3.5G κοκ) που αποτελεί το μεταβατικό στάδιο για την επόμενη.

Επιπλέον παρουσιάζεται η ανάλυση του κάθε δικτύου, δηλαδή οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί για να λειτουργήσει σωστά, η αρχιτεκτονική του αλλά και τα πρωτόκολλα (ιδιαίτερα των 4G-5G δικτύων).

Επιπροσθέτως παρουσιάζονται 2 σενάρια προσομοίωσης από την πλατφόρμα Riverbed Modeler(OPNET) για την σύγκριση των 4G και 5G δικτύων. Στο 1^ο σενάριο έχουμε την σύγκριση των 2 δικτύων στην περίπτωση λήψης ενός μεγάλου αρχείου, ενώ στο 2^ο σενάριο την αποστολή και λήψης δεδομένων μέσω 4G συσκευών μεταξύ τους, αλλά και αντίστοιχα μια 2^η περίπτωση μεταξύ 5G συσκευών.

Τέλος μέσω των σεναρίων αυτών αλλά και την περιγραφή των δικτύων εξάγονται τα κατάλληλα συμπεράσματα για τα δίκτυα αυτά αλλά και γενικά για το μέλλον των κινητών επικοινωνιών

Λέξεις κλειδιά: [Προσομοίωση, Τεχνολογίες, Αρχιτεκτονική Δικτύων, Ασύρματα Δίκτυα, Τηλεπικοινωνίες]

Abstract ή Περίληψη στα Αγγλικά

The purpose of this thesis is the description and the comparison of 4G-5G networks and their evaluation.

In the beginning, it is referred the chronology of mobile communication from the 1st generation of analog systems and cell phones, until today which is the transition in 5th generation. Moreover it is presented the evolution of each generation of networks (eg 2.5G,3.5G etc) which consists the transitional level for the next generation.

Furthermore it is presented the analysis of each network, namely its technologies which is using to operate properly, its architecture and its protocols too (especially of 4G-5G networks).

In addition are presented 2 simulation scenarios from the Riverbed Modeler (OPNET) platform to compare the 4G and 5G networks. On the first scenario we have the comparison of 2 networks in the case of downloading a big sized file and in the 2nd we have the simulation of downloading and uploading data between 4G devices and the same case between 5G devices.

Finally though these scenarios and the description of the networks the suitable conclusions are exported for these networks but and generally for the future of telecommunications too

Keywords: [Simulation, Technologies, Network Architecture, Wireless Networks, Telecommunications]

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:Κυψελωτό Σύστημα.....σ.14
Εικόνα 2: α)Οι συχνότητες δεν ξαναχρησιμοποιούνται σε γειτονικές κυψέλες β)Για να προστεθούν περισσότεροι χρήστες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες κυψέλες.σ.15
Εικόνα 3:Αρχιτεκτονική του GSM.....σ.19
Εικόνα 4: 4G.....σ.25
Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική LTE.....σ.27
Εικόνα 6: Αρχιτεκτονική WiiMAX.....σ.31
Εικόνα 7: 5G.....σ.33
Εικόνα 8: D2D.....σ.38

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Κυκλοφορία λήψης δεδομένων.....σ.43	
Διάγραμμα 2: Κυκλοφορίας αποστολή δεδομένων.....σ.4444	
Διάγραμμα 3:Καθυστέρησης.....σ.45	
Διάγραμμα 4: Προσπάθειες αναμετάδοσης.....σ.46	
Διάγραμμα 5: Κυκλοφορία λήψης δεδομένων αποσταλλέντων.....σ.48	
Διάγραμμα 6: Κυκλοφορία λήψης δεδομένων παραληπτών.....σ.49	
Διάγραμμα 7: Κυκλοφορία αποστολής δεδομένων αποστολλέντων.....σ.50	
Διάγραμμα 8: Κυκλοφορία αποστολής δεδομένων παραληπτών.....σ.50	
Διάγραμμα 9: Καθυστέρησης αποσταλλέντων.....σ.51	
Διάγραμμα 10: καθυστέρηση παραληπτών.....σ.52	
Διάγραμμα 11: Φόρτου δικτύου αποστολλέντων.....σ.53	
Διάγραμμα 12: Φόρτου δικτύου παραληπτών.....σ.53	
Διάγραμμα 13: Προσπάθειες αναμετάδοσης αποστολλέντων.....σ.54	
Διάγραμμα 14: Προσπάθειες αναμετάδοσης παραληπτών.....σ.55	
Διάγραμμα 15: Διεκπεραιωτικότητα παραληπτών.....σ.56	
Διάγραμμα 16: Διεκπεραιωτικότητα αποστολλέντων.....σ.56	

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Τοπολογία.....σ.42
Σχήμα 2: Τοπολογία 4G Συσκευών.....σ.47
Σχήμα 3: Τοπολογία 5G Συσκευών.....σ.47

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AP	Access Point
BS	Base Station
BSS	Base Station Subsystem
CB	Citizen Band
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
D2D	Device to Device
D-AMPS	Digital Advanced Mobile Phone System
DAWN	Dynamic Ad-hoc Wireless Network
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DSS	Direct Spread Spectrum Sequence
EDGE	Enhanced Data for Global Evolution
EGPRS	Enhanced GPRS
EHSCSD	Enhanced HSCSD
EHSPA	Enhanced HSPA
eMBMS	Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service
eNB	Evolved Node-B
EPC	Evolved Packet Core
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplexing
FOMA	Freedom of Mobile Multimedia Access
FWA	Fixed Wireless Access
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSPUA	High Speed Uplink Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineer
IMT	International Mobile Telecommunications
IMTS	Improved Mobile Telephone System
IoT	Internet of Things
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MANET	Mobile Ad-hoc Network

Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

MCS	Mobile Cellular System
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Messaging Service
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MTSO	Mobile Telephone Switching Office
NSS	Network Switching Subsystem
NTT	Nippon Telegraph and Telephone
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMS	Operation and Maintenance Subsystem
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PCS	Personal Communication Services
PDC	Personal Digital Cellular
P-GW	Pocket –Data Network Gateway
ProSe	Proximity Service
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Servicing Gateway
SIM	Subscriber Identity Module
SMS	Short Message Service
SOHO	Small Office-Home Office
TACS	Total Access Communication System
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipment
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USDC	US Digital Cellular
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VFDM	Vander- monde-subspace Frequency Division Multiplexing
VLSI	Very Large Scale Interrogation
WCDMA	Wideband Code Division Multiplexing
WiMAX	Worldwide Interoperability Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMN	Wireless Mesh Network
WWW	Worldwide Web

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επικοινωνία δηλαδή η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ 2 ή περισσότερων ανθρώπων, αποτελούσε πάντα σημαντικό κομμάτι της ζωής των ανθρώπων. Η ανακάλυψη και εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών δηλαδή της επικοινωνίας από απόσταση μέσω ασύρματων συσκευών έφερε την επανάσταση στον τομέα αυτόν.

Στην πτυχιακή αυτή αναφέρεται η ιστορική αυτή αναδρομή των κινητών επικοινωνιών και στην τεράστια εξέλιξη και γρήγορη και εύκολη διασύνδεση του κόσμου. Τα επόμενα χρόνια θα έχουμε σημαντικές αλλαγές στην ζωή των ανθρώπων (επαγγελματικά, καθημερινότητα κ.α.), για αυτό το λόγο η πτυχιακή αυτή αναφέρει τις εξελίξεις των τεχνολογιών, και επίσης συγκρίνει την απόδοση των συστημάτων 4G με αυτή των 5G και εξάγει σημαντικά συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα του δικτύου της καινούργιας γενιάς κινητών επικοινωνιών.

2 Ιστορική Αναδρομή

2.1 Ιστορική αναδρομή των δικτύων κινητών επικοινωνιών

Αρχικά τα πρώτα συστήματα κινητών επικοινωνιών ήταν αναλογικά και εγκαταστάθηκαν στις ΗΠΑ το 1934 σε 252 αστυνομικά τμήματα και χρησιμοποιούσαν αναλογική διαμόρφωση πλάτους (AM). Το 1935 ο Edwin Armstrong εισήγαγε την ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους FM που υιοθετήθηκε αμέσως στα ήδη υπάρχοντα συστήματα.

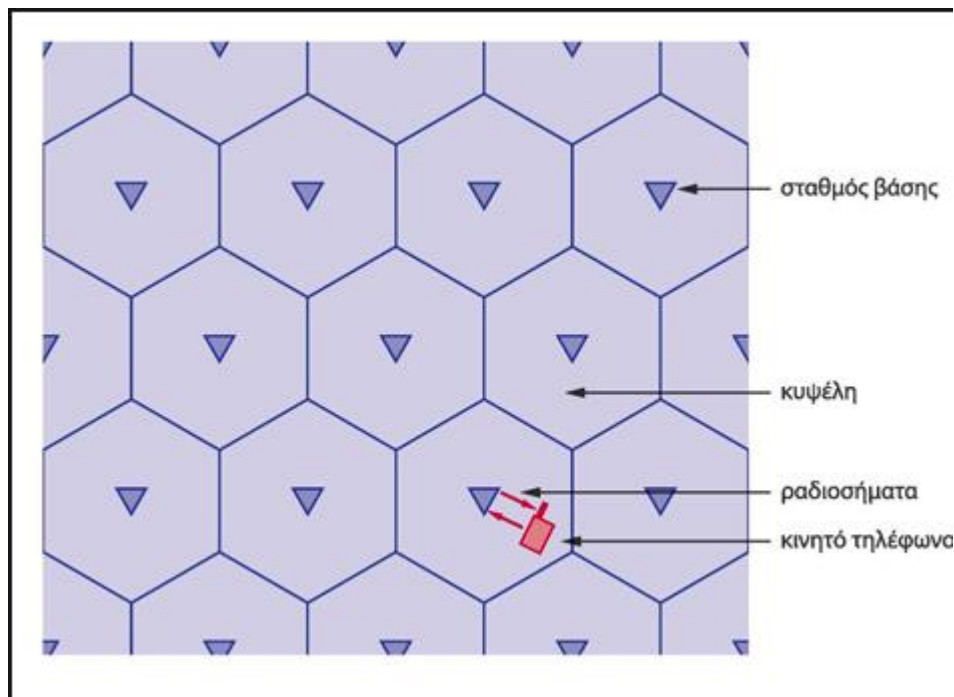
2.2 Συστήματα τηλεπικοινωνιών 1ης γενιάς

Το 1946 εγκαταστάθηκαν για πρώτη φορά συστήματα κινητών επικοινωνιών σε αυτοκίνητα 25 πόλεων των ΗΠΑ. Το κάθε σύστημα χρησιμοποιούσε έναν πομπό σε υψηλό πύργο με κάλυψη 50 χμ με ένα μόνο κανάλι για αποστολή και λήψη πληροφοριών. Για να μιλήσει ο χρήστης έπρεπε να πατήσει ένα κουμπί για να ενεργοποιηθεί ο πομπός και να απενεργοποιηθεί ο δέκτης. Αυτού του είδους τα συστήματα γνωστά ως, push-to-talk systems Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

(πίεσε για να μιλήσεις) εγκαταστάθηκαν σταδιακά και σε άλλες πόλεις των ΗΠΑ, χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα στους ασύρματους CB (Citizens Band, αυτή η συχνότητα έχε δοθεί από το κράτος για την χρήση ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ πολιτών), καθώς και στα ραδιοταξί και στα περιπολικά της αστυνομίας.

Στην δεκαετία του '60 η AT&T Bell Labs μαζί με άλλες εταιρίες τηλεπικοινωνιών ανέπτυξαν τις βασικές αρχές των κυψελωτών συστημάτων.

Κυψέλη(cell) ονομάζεται η υποδιαίρεση μιας γεωγραφικής περιοχής για την χρήση συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, για αυτό τον λόγο οι συσκευές ονομάζονται κυψελωτά κινητά τηλέφωνα (cell phones). Κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί ένα σύνολο συχνοτήτων το οποίο δεν χρησιμοποιείται από τους γείτονες της. Συνεπώς η χρήση μικρών κυψελών και η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων από κοντινές και όχι από γειτονικές κυψέλες, προσδίδει στο κυψελωτό σύστημα πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα από προηγούμενα.

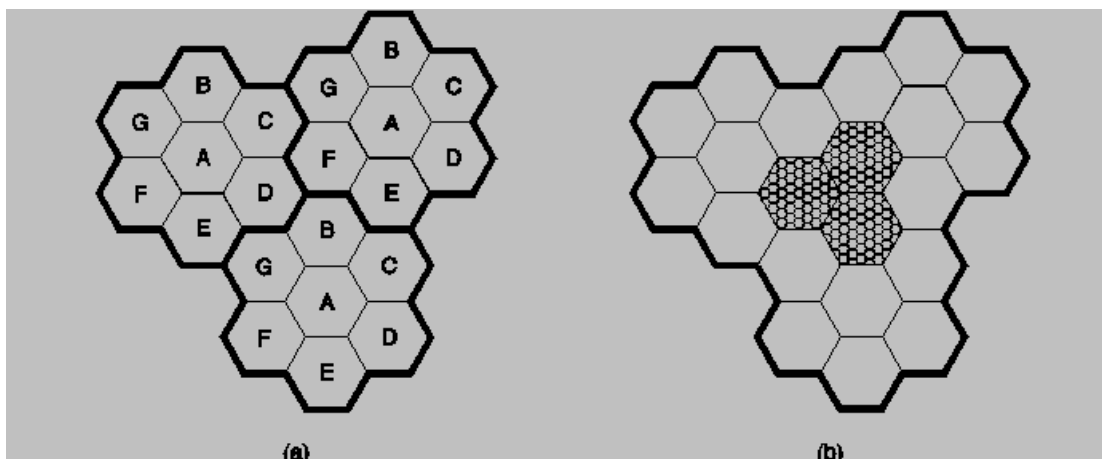


Εικόνα 1:Κυψελωτό Σύστημα

Το σύστημα που εγκαταστάθηκε την δεκαετία του '60 ονομάστηκε βελτιωμένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας ή IMTS (Improved Mobile Telephone System) και χρησιμοποιούσε έναν πομπό υψηλής ισχύος (200 watt) στην κορυφή ενός λόφου ο οποίος είχε 2 συχνότητες (μια για αποστολή και μια για λήψη), όμως επειδή όλες οι εισερχόμενες επικοινωνίες από τα κινητά χρησιμοποιούσαν διαφορετικό κανάλι από τα εξερχόμενα σήματα, μετακινούμενοι χρήστες δεν ήταν σε θέση να επικοινωνήσουν. Το IMTS υποστήριζε 23 κανάλια τα οποία εκτεινόταν

από τα 150 MHz έως τα 450 MHz. Όμως λόγω του μικρού πλήθους καναλιών, που σήμαινε υπερβολικός χρόνος αναμονής χρηστών, αλλά και εξαιτίας της υψηλής ισχύος του πομπού στην κορυφή του λόφου που ανάγκαζε τα γειτονικά συστήματα να βρίσκονται αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά το ένα από το άλλο, ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές, κατέστησε το σύστημα μη πρακτικό.

Το 1982 εγκαταστάθηκε στις ΗΠΑ το προηγμένο σύστημα κινητής επικοινωνίας AMPS (Advanced Mobile Phone System), από την Bell Labs, το οποίο κυκλοφόρησε στην Αγγλία ως TACS καθώς και στην Ιαπωνία που ονομαζόταν MCS-L1. Στο συγκεκριμένο σύστημα η διάμετρος των κυψελών ήταν από 10 έως 20 km. Έτσι ενώ ένα σύστημα IMTS με διάμετρο 100 km μπορεί να έχει μια κλήση σε κάθε συχνότητα, ένα σύστημα με AMPS μπορεί να έχει 100 κυψέλες των 10 km στην ίδια περιοχή και έτσι μπορεί να δεχτεί 10 με 15 κλήσεις σε κάθε συχνότητα αλλά σε κυψέλες απομακρυσμένες μεταξύ τους. Συνεπώς αυξάνεται η χωρητικότητα του συστήματος κατά μια τουλάχιστον τάξη μεγέθους και ακόμα περισσότερο όσο μικραίνουν οι κυψέλες.



Εικόνα 2: α)Οι συχνότητες δεν ξαναχρησιμοποιούνται σε γειτονικές κυψέλες β)Για να προστεθούν περισσότεροι χρήστες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες κυψέλες.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των κυψελών είναι ο σταθμός βάσης (base station) που βρίσκεται στο κέντρο κάθε κυψέλης και εκεί μεταδίδουν όλα τα τηλέφωνα της κυψέλης. Κάθε σταθμός βάσης αποτελείται από έναν υπολογιστή και έναν πομπό-δέκτη που είναι συνδεδεμένοι με μια κεραία. Σε κάθε κυψελωτό σύστημα όλοι οι σταθμοί βάσης συνδέονται σε ένα μόνο τερματικό, το οποίο ονομάζεται Κέντρο Μεταγωγής Κινητών , MSC(Mobile Switching Center) ή Κέντρο Μεταγωγής Κινητής Τηλεφωνίας, MTSO (Mobile Telephone Switching Office). Αναλόγως το μέγεθος του συστήματος μπορεί να χρειάζονται ένα ή πολλά

τερματικά, τα οποία μπορεί να συνδέονται με ένα τερματικό δεύτερου επιπέδου και ούτω καθεξής.

Το κάθε κινητό τηλέφωνο ελέγχεται από έναν σταθμό βάσης της κυψέλης στην οποία ανήκει. Όμως λόγω της φορητότητας τους πολλές φορές απομακρύνονται από την εμβέλεια της κυψέλης την οποία χρησιμοποιούν, με συνέπεια το σήμα του τηλεφώνου να εξασθενεί. Για να αντιμετωπιστεί αυτό ο σταθμός βάσης της κυψέλης μεταφέρει τον έλεγχο στον σταθμό που λαμβάνει το ισχυρότερο σήμα από το τηλέφωνο, μιας και σε αυτήν την κυψέλη βρίσκεται πια το κινητό. Τέλος γίνεται και η μεταφορά των κλήσεων σε νέο κανάλι, μιας και όπως προαναφέρθηκε οι γειτονικές κυψέλες δεν χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι. Όλη αυτή η διαδικασία γνωστή ως μεταβίβαση (handoff) απαιτεί γύρω στα 300 msec και είναι ευρέως διαδεδομένη και σήμερα.

Το σύστημα AMPS χρησιμοποιεί 832 πλήρως αμφίδρομα κανάλια που κάθε ένα αποτελείται από ένα ζεύγος μονόδρομων καναλιών. Η διάταξη αυτή είναι γνωστή ως Αμφίδρομη Διαιρέση Συχνότητας FDD (Frequency Division Duplex). Τα 832 μονόδρομα κανάλια (από 824-849 MHz) χρησιμοποιούνται για μετάδοση από το κινητό προς τον σταθμό βάσης και τα 832 μονόδρομα κανάλια (από 869-894 MHz) χρησιμοποιούνται για την αντίστροφη μετάδοση. Κάθε μονόδρομο κανάλι έχει εύρος 30 kHz. Τα 832 κανάλια αυτά χωρίζονται σε 4 κατηγορίες- τα κανάλια ελέγχου (βάσης προς κινητό), τα οποία διαχειρίζονται το σύστημα, τα κανάλια ειδοποίησης (βάση προς κινητό) που χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση των μετακινούμενων χρηστών ότι καλούνται. Τέλος οι τελευταίες 2 κατηγορίες καναλιών είναι, τα κανάλια πρόσβασης (αμφίδρομα) που είναι υπεύθυνα για την εγκαθίδρυση κλήσεων και εκχώρηση καναλιών και τα κανάλια δεδομένων (αμφίδρομα) για μεταφορά φωνής, φαξ και δεδομένων.

Το σύστημα AMPS διαχειρίζεται τα κλήσεις των τηλεφώνων ως εξής, αρχικά κάθε κινητό τηλέφωνο έχει έναν 32μπιτο αριθμό σειράς και έναν 10ψήφιο αριθμό τηλεφώνου στην προγραμματιζόμενη μνήμη ανάγνωσης του. Ο αριθμός τηλεφώνου αναπαριστάται ως ένας τριψήφιος υπεραστικός κωδικός με 10 bit και ένας επταψήφιος αριθμός συνδρομητή με 24 bit. Με την ενεργοποίηση του τηλεφώνου, αυτό ψάχνει να βρει το πιο ισχυρό σήμα σε μια προγραμματισμένη λίστα 21 καναλιών ελέγχου (control channels). Έπειτα το τηλέφωνο εκπέμπει τον 32μπιτο αριθμό σειράς του και τον 34μπιτο αριθμό τηλεφώνου. Κάθε 15 λεπτά περίπου ένα κινητό επανεγγράφεται στην κυψέλη και το σύστημα βάσης της κυψέλης ενημερώνει το κέντρο μεταγωγής κινητών (MSC) για την τρέχουσα θέση του τηλεφώνου. Όταν ο μετακινούμενος χρήστης πληκτρολογήσει τον αριθμό τηλεφώνου που θέλει να καλέσει και Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

πατήσει το πλήκτρο αποστολής, τότε θα κληθεί στο κανάλι πρόσβασης ο καλούμενος αριθμός. Έπειτα ο σταθμός βάσης ενημερώνει το MSC, που αναζητά ένα αδρανές κανάλι για την κλήση. Αν βρεθεί κανάλι ο αριθμός του καναλιού επιστρέφεται μέσω του καναλιού ελέγχου και το κινητό τηλέφωνο περνά στο επιλεγμένο κανάλι φωνής και περιμένει τον καλούμενο να ανταποκριθεί στην κλήση του. Όταν γίνεται μια κλήση προς ένα τηλέφωνο στέλνεται ένα πακέτο στον οικείο MSC του καλούμενου για να βρεθεί η θέση του. Στην συνέχεια ο σταθμός βάσης της τρέχουσας κυψέλης του κινητού στέλνει μήνυμα για επικοινωνία στο κανάλι ειδοποίησης (όλα τα αδρανή τηλέφωνα παρακολουθούν συνέχεια το κανάλι ειδοποίησης για να εντοπίζουν τυχόν μηνύματα που απευθύνονται σε αυτά). Ύστερα αν δοθεί θετική απάντηση από την καλούμενη συσκευή στο κανάλι πρόσβασης τότε το τηλέφωνο περνά στο κανάλι που επέλεξε ο MSC για να πραγματοποιηθεί η κλήση.

2.3 Συστήματα τηλεπικοινωνιών 2ης γενιάς (2G)

Η 2^η γενιά κινητών τηλεφώνων αποτέλεσε την μετάβαση στην ψηφιακή πλέον τεχνολογία, σε αντίθεση με την 1^η που ήταν αναλογική. Αυτή η αλλαγή στις ασύρματες επικοινωνίες έγινε ύστερα από την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας της μικροηλεκτρονικής και πρόσφερε πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συσκευές της 1^{ης} γενιάς. Αυτά ήταν τα εξής:

- Μεγαλύτερη ανοσία στον θόρυβο
- Δυνατότητα επεξεργασίας σήματος προσφέροντες αποδοτικότερες τεχνικές μετάδοσης, καθώς και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών
- Δυνατότητα εφαρμογής τεχνικών κρυπτογράφησης για την ασφάλεια της μετάδοσης
- Ευελιξία στην ανάπτυξη και επέκταση των δικτύων
- Χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος
- Δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης διαφορετικών επιπέδων ποιότητας υπηρεσιών (υπηρεσία φωνής και δεδομένων)
- Εύκολα στην υλοποίηση σε VLSI (Very Large Scale Interrogation- ολοκληρωμένα κυκλώματα μεγάλης κλίμακας) χαμηλού κόστους

Για την 2^η γενιά κινητής τηλεφωνίας αναπτύχθηκαν διαφορετικά συστήματα από τα οποία τα 3 υλοποιήθηκαν ευρέως. Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών ή GSM (Global System

for Mobile communications), το οποίο ανέκυψε ως κυρίαρχο σύστημα και παρόλο που άργησε να αναπτυχθεί στις Η.Π.Α. πλέον χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλο τον κόσμο. Το Ψηφιακό Προηγμένο Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας ή D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) είναι μια ψηφιακή εκδοχή του AMPS που συνυπάρχει με αυτό και χρησιμοποιεί πολύπλεξη με διαίρεση χρόνου για την τοποθέτηση πολλών κλήσεων στο ίδιο κανάλι συχνοτήτων. Περιγράφεται στο Διεθνές Πρότυπο ως IS-54 και το διάδοχο του IS-136. Το σύστημα Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Κώδικα ή CDMA (Code Division Multiple Access), που περιγράφεται στο Διεθνές Πρότυπο IS-95 το οποίο είναι τελείως διαφορετικό σύστημα που δεν βασίζεται ούτε στην FDM (Frequency Division Multiplexing), ούτε στην TDM (Time Division Multiplexing). Παρόλο που το CDMA δεν έγινε το κυρίαρχο σύστημα 2G η τεχνολογία του αποτέλεσε βάση για τα συστήματα 3G. Τέλος το όνομα Προσωπικές Υπηρεσίες Επικοινωνιών ή PDC (Personal Communication Services), χρησιμοποιείται κάποιες φορές στην βιβλιογραφία του μάρκετινγκ ως συνώνυμο συστημάτων 2^{ης} γενιάς (δηλαδή ψηφιακών), ενώ αρχικά σήμαινε ένα κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιούσε την ζώνη των 1900 MHz. Από τα παραπάνω συστήματα στις Η.Π.Α. έχουμε τα IS-54, IS-136 και IS-95 στην Ευρώπη το GSM και για την Ιαπωνία το PDC.

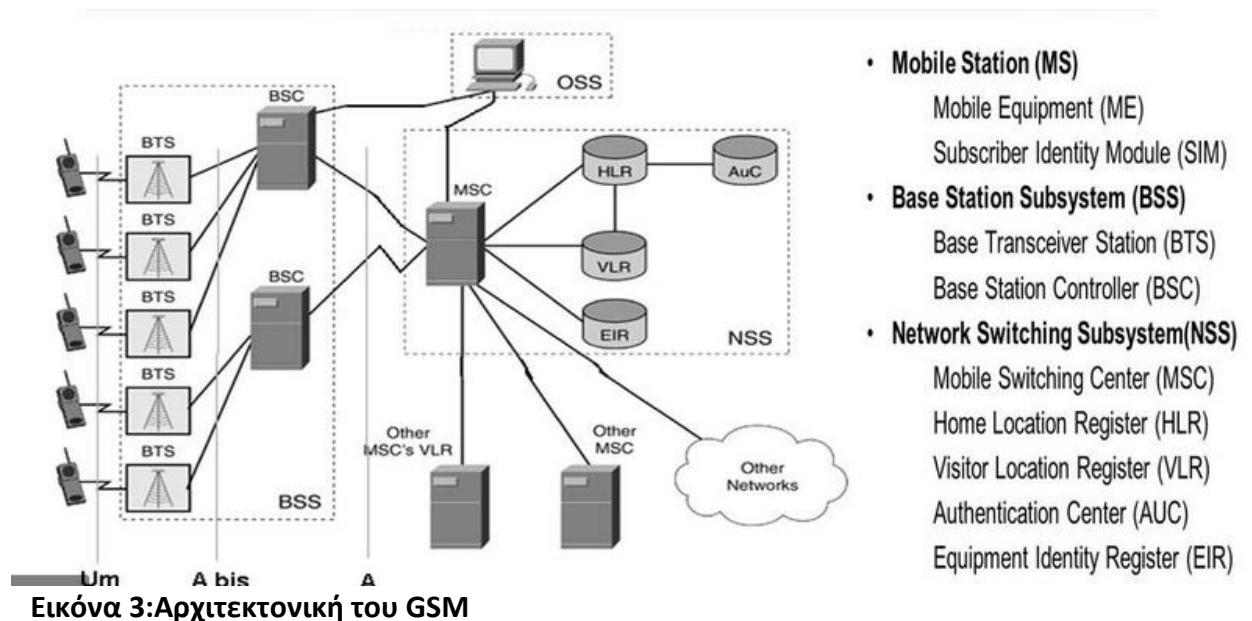
2.3.1 Global System for Mobile Communications (GSM)

Το σύστημα GSM σχεδιάστηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Προτυποποίησης (ETSI) που ιδρύθηκε το 1988 για τον σκοπό αυτό, υλοποιήθηκε εξολοκλήρου στην Ευρώπη και είναι το πλέον πετυχημένο κυψελωτό σύστημα παγκοσμίως. Η σχεδίαση του ξεκίνησε το 1982 ως πανευρωπαϊκή προδιαγραφή και λειτούργησε το 1992 ως το πρώτο ψηφιακό κυψελωτό σύστημα.

Η αρχιτεκτονική του GSM είναι παρόμοια με αυτή του AMPS, αν και τώρα το κινητό τηλέφωνο διαιρείται στην συσκευή χειρός και σε ένα αφαιρούμενο τσιπ με πληροφορίες συνδρομητή και λογαριασμού, το οποίο ονομάζεται κάρτα SIM (Subscriber Identity Module). Η κάρτα SIM είναι αυτή που ενεργοποιεί την συσκευή και περιέχουν πληροφορίες οι οποίες επιτρέπουν στο κινητό και στο δίκτυο να αναγνωρίζουν το ένα το άλλο και να κρυπτογραφούν συνομιλίες.

Αναλυτικότερα το δίκτυο GSM αποτελείται από 4 κύρια μέρη:

- τον κινητό σταθμό (Mobile Station, MS), που είναι ο φυσικός εξοπλισμός που χρησιμοποιεί ο συνδρομητής για να έχει πρόσβαση στις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες (κάρτα SIM και συσκευή).
- Το Υποσύστημα Σταθμών Βάσης (Base Station Subsystem, BSS) ή Υποσύστημα Πρόσβασης που παρέχει ραδιοκάλυψη και διαχείριση των πόρων του συστήματος.
- Το Υποσύστημα Δικτύου και Διαμεταγωγής (Network Switching Subsystem, NSS) ή Δίκτυο Κορμού CN(Core Network), που φροντίζει για την δρομολόγηση των κλήσεων και τον εντοπισμό των συνδρομητών.
- Το Υποσύστημα Συντήρησης και Λειτουργίας (Operation and Maintenance Subsystem, OMS), που εξασφαλίζει την διαχείριση του δικτύου.



Τα δίκτυα GSM λειτουργούν με κοινές προδιαγραφές, με συνέπεια οι συνδρομητές να μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις συσκευές τους σε όλη την περιοχή εφαρμογής του GSM. Η περιαγωγή είναι εντελώς αυτόματη όχι μόνο μέσα στις χώρες που καλύπτονται από το GSM, αλλά και μεταξύ διαφορετικών χωρών. Επιπλέον της πολύ υψηλής ποιότητας φωνής, τα δίκτυα GSM παρέχουν πολλές δυνατότητες διαχείρισης των εισερχόμενων κλήσεων, υπηρεσία αυτόματου τηλεφωνητή, επικοινωνία δεδομένων, τηλεομοιοτυπία(fax) και μια υπηρεσία σύντομων μηνυμάτων κειμένου (Short Message Service –SMS), με την οποία μπορούμε να στείλουμε από ή προς το κινητό μέχρι 160 αλφαριθμητικούς χαρακτήρες ανά μήνυμα.

2.3.2 IS-54, IS-136 και IS-95

Στις Η.Π.Α. αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικά συστήματα 2^{ης} γενιάς, το IS-54 με τεχνική TDMA (Time Division Multiple Access), δηλαδή τεχνικής που παρέχει προγραμματισμένης πολλαπλής πρόσβασης σε διαύλους για πολλαπλούς χρήστες, με βάση τον χρόνο, αλλά και το IS-95 με τεχνική CDMA (Code Division Multiple Access), δηλαδή διαίρεση με βάση κώδικα. Και τα 2 αυτά συστήματα σχεδιάστηκαν ώστε να είναι συμβατά με το σύστημα AMPS. Η IS-54 προδιαγραφή που πολλές φορές καλείται και USDC (US Digital Cellular) ή Digital AMPS, καθορίζει τερματικά διπλού τύπου λειτουργίας, συμβατά με το AMPS αλλά και ικανά για ψηφιακή σηματοδότηση βασισμένη στο TDMA (3 χρονοσχισμές ανά φέρον), με απόσταση φερόντων τα 30 kHz, διαμόρφωση πλάτους $\pi/4$ -DQPSK και με τελικό ρυθμό μετάδοσης 48,6 kbps. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι ίδιες με εκείνες του AMPS (824-894 MHz). Το σύστημα αυτό υποστηρίζει δυο τύπους διαύλων σηματοδότησης ελέγχου, ένα για το ψηφιακό με ρυθμό 48,6 kbps και ένα για τους διαύλους του AMPS με ρυθμό 10 kbps. Εξέλιξη του IS-54 είναι το IS-136, που παρέχει δυνατότητα αποστολής μικρών μηνυμάτων και υποστηρίζει κλειστές ομάδες χρηστών, όμως τα τερματικά μεταξύ τους δεν είναι συμβατά γιατί το IS-136 έχει διαύλους σηματοδότησης ελέγχου μόνο στα 48,6 kbps.

Αργότερα τον Μάρτιο του 1992 υιοθετήθηκε ένα επιπλέον σύστημα το IS-95 που βασίζεται στην τεχνική CDMA (Code Division Multiple Access) και προτάθηκε από την Qualcomm. Στην τεχνική CDMA, το στενής ζώνης σήμα πληροφορίας διαμορφώνεται από ένα ευρείας ζώνης σήμα διασποράς, χρησιμοποιώντας την τεχνική της απευθείας διασπορά φάσματος ακολουθίας (Direct Spread Spectrum Sequence, DSSS). Κάθε χρήστης έχει το δικό του σήμα διασποράς (κώδικα) και μπορεί να εκπέμπεται στην ίδια συχνότητα ταυτόχρονα με άλλους χρήστες, έτσι ο δέκτης μπορεί να ξεχωρίσει το επιθυμητό σήμα από τους άλλους CDMA χρήστες, χωρίς παρεμβολές. Το σύστημα IS-95 είναι συμβατό με το AMPS και η Qualcomm παρείχε κινητά διπλού τρόπου λειτουργίας. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι ίδιες με το AMPS και το IS-54 αλλά έχουν αποδοθεί επιπλέον συχνότητες στην περιοχή 1,8-2 GHz. Το εύρος ζώνης του διεσπαρμένου σήματος είναι 1,25 MHz. Ο ρυθμός μετάδοσης για κάθε χρήστη είναι συνάρτηση του χρόνου που είναι η φωνή ενεργή αλλά και της συνολικής κίνησης στο δίκτυο. Η επιτυχία του IS-95 αλλά και η πολλά υποσχόμενη τεχνική της διασποράς φάσματος που αξιοποιεί το κατέστησαν βάση για τα συστήματα της επόμενης γενιάς (3^{ης}).

2.3.3 Personal Digital Cellular (PDC)

Το PDC αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία το 1989 και στηρίζεται στις αρχές του IS-54, καθώς χρησιμοποιεί TDMA τεχνική πολλαπλής πρόσβασης (3 χρονοσχισμές ανά φέρον), απόσταση φερόντων τα 25 kHz, διαμόρφωση $\pi/4$ -DQPSK και τελικό ρυθμό μετάδοσης τα 42 kbps. Τέλος οι συχνότητες λειτουργίας του συστήματος PDC είναι οι 810-826 MHz (downlink)/ 940-956 MHz (uplink) και 1429-1453 MHz (downlink)/ 1477-1501 MHz (uplink).

2.4 Συστήματα τηλεπικοινωνιών 2.5 γενιάς (2.5G)

Η μετάβαση από τα κυψελωτά συστήματα 1^{ης} γενιάς σε εκείνα της 2^{ης} σημαδεύτηκε από την εισαγωγή των ψηφιακών τεχνικών, που έδωσαν την δυνατότητα παροχής φωνής σε μεγάλους πληθυσμούς και μεγάλες εκτάσεις. Όμως η δυνατότητα υποστήριξης υπηρεσιών δεδομένων ήταν περιορισμένη στα συστήματα της 2^{ης} γενιάς. Για αυτό τον λόγο δημιουργήθηκαν τα συστήματα της 2.5 γενιάς, τα οποία στηρίχτηκαν σε συστήματα τεχνολογίας της 2^{ης} γενιάς, όπως το GSM και το IS-95 και υποστήριζαν τεχνολογίες μεταγωγής πακέτου δεδομένων, άρα υπήρχε η δυνατότητα μεταφοράς εικόνων υψηλής ποιότητας, βίντεο πραγματικού χρόνου καθώς και πρόσβαση στο διαδίκτυο. Ουσιαστικά η 2.5 γενιά ήταν μια βελτιστοποιημένη έκδοση των ήδη υπαρχόντων συστημάτων της 2^{ης} γενιάς, καθώς προστέθηκαν επιπλέον υπηρεσίες, εξασφαλίζοντας μια πιο ομαλή μετάβαση στα συστήματα της 3^{ης} γενιάς.

2.4.1 General Packet Radio Service (GPRS)

Οι υπηρεσίες φωνής και αποστολής σύντομων γραπτών μηνυμάτων αποτέλεσαν το μεγάλο πλεονέκτημα των συστημάτων GSM, που κατέκλυσαν αρχικά την Ευρώπη, αλλά και τον κόσμο. Στα δίκτυα GSM υπήρχε και η δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων όμως λόγω της πολύ χαμηλής ταχύτητας που προσφέρει (μέχρι 9,6 kbps) δεν χρησιμοποιήθηκε επαρκώς.

Τα δίκτυα GPRS που αναπτύχθηκαν ανέβασαν τους ρυθμούς μετάδοσης από τα 9,6 kbps στα 115 kbps ή θεωρητικά στα 160 kbps. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν τεχνολογία μεταγωγής πακέτων, δηλαδή τα δεδομένα χωρίζονται σε πακέτα πριν αποσταλούν, φέρνοντας σε αντίθεση με τα συστήματα GSM που χρησιμοποιούν τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος. Τα Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

πακέτα δεδομένων συνήθως φτάνουν στον προορισμό τους ακολουθώντας διαφορετικά μονοπάτια στο δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται επειδή κάθε πακέτο περιλαμβάνει την διεύθυνση του παραλήπτη, καθώς και πληροφορίες για την σωστή σειρά συναρμολόγησης.

Για το GPRS υπάρχουν 4 διαφορετικοί τύποι κωδικοποίησης προσφέροντας από καλή έως καθόλου αναγνώριση και διόρθωση σφαλμάτων και υποστηρίζουν ρυθμούς για τον χρήστη μέχρι και 21,4 kbps για μια χρονοσχισμή. Η τηλεπικοινωνιακή κίνηση του GPRS έχει μικρότερη προτεραιότητα από αυτήν του GSM και χρησιμοποιεί τους ραδιοπομπούς που το GSM δεν αξιοποιεί. Συνεπώς οι ρυθμοί μετάδοσης στο GPRS είναι μεταβλητοί κάθε φορά και έτσι το δίκτυο αυτό δεν εγγυάται ότι θα προσφέρει καλή ποιότητα υπηρεσιών. Τέλος προκειμένου να λειτουργήσει σε συνεργασία με τα ήδη υπάρχοντα GSM δίκτυα χρειάστηκαν κάποιες αλλαγές στην αρχιτεκτονική του. Πιο συγκεκριμένα η προσθήκη 2 κόμβων, GGSN (Gateway GPRS Support Node) και SGSN (Serving GPRS Support Node), ο πρώτος για την σύνδεση με τα εξωτερικά δίκτυα δεδομένων και την διαχείριση των χρηστών και ο δεύτερος για την μεταγωγή και την προώθηση των πακέτων.

2.4.2 IS-95b

Το IS-95b είναι μια εξέλιξη του CDMA δικτύου IS-95 που αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α. και βρήκε εφαρμογή σε χώρες της Ανατολικής Ασίας(ιδιαίτερα στην Ιαπωνία).

Υποστηρίζει υπηρεσίες δεδομένων με τεχνολογία μεταγωγής πακέτου, με ρυθμούς πρακτικά μέχρι 64 kbps. Όμως λόγω της σχετικά καθυστερημένης ανάπτυξης και εμπορικά διαθέσιμης τεχνολογίας, έχει εγκατασταθεί σε μικρό αριθμό δικτύων.

2.4.3 Enhanced Data for Global Evolution (EDGE)

Η επιτυχία του GSM δικτύου οδήγησε την αναζήτηση ενός συστήματος με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, μιας και υστερούσε σε αυτό το GSM. Αυτό οδήγησε στην δημιουργία του HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), στο οποίο ήταν δυνατή η ταυτόχρονη χρήση πολλών διαύλων για την μεταφορά δεδομένων ανεβάζοντας τους ρυθμούς θεωρητικά στα 40-50 kbps.

Η τεχνολογία EDGE θεωρείται ως μετεξέλιξη του GPRS ή του HSCSD και για τον λόγο αυτόν αποκαλείται και Enhanced-GPRS (EGPRS) ή Enhanced-HSCSD. Αποτέλεσε μια προσπάθεια να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης πάνω από την ραδιοεπαφή του GSM. Η βασική διαφορά του με Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

το GPRS είναι ότι χρησιμοποιεί διαφορετικό τρόπο διαμόρφωσης και διαφορετικούς τρόπους κωδικοποίησης διαύλου. Αποτέλεσμα είναι η αύξηση ρυθμών μετάδοσης στα 384 kbps (θεωρητικά) και ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για μια χρονοσχισμή να ανέβει στα 59,2 kbps και επιπλέον κάθε χρονοσχισμή πλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλούς χρήστες κάτι που αυξάνει την χωρητικότητα του δικτύου.

Το EDGE είναι μια προσθήκη στο υπάρχον GPRS, συνεπώς δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα.

2.5 Συστήματα τηλεπικοινωνιών 3ης γενιάς (3G)

Η 1^η γενιά κινητών τηλεφώνων ήταν με αναλογική φωνή, η 2^η με ψηφιακή. Η 3^η γενιά ή αλλιώς 3G έχει να κάνει με ψηφιακή φωνή και δεδομένα. Η εκθετική αύξηση της ζήτησης κινητικότητας δεδομένων είχε υπερβεί την ζήτηση για την μετάδοση φωνής. Αρχικά το 1992 η ITU (International Telecommunication Union) εξέδωσε ένα πρόγραμμα που στόχο κυρίως είχε την παροχή επαρκούς ασύρματου εύρος ζώνης, το οποίο το ονόμασε IMT-2000 (International Mobile Telecommunications).

Αργότερα η ITU σύστησε σε όλες τις κυβερνήσεις να δεσμεύσουν φάσμα 2 GHz έτσι ώστε οι συσκευές να μπορούν να εκτελούν απρόσκοπτα περιαγωγή από χώρα σε χώρα (μόνο η Κίνα ανταποκρίθηκε στην απαίτηση αυτή). Τελικά αναγνωρίστηκε ότι τα 2 Mbps δεν είναι προς το παρόν εφικτά για τους χρήστες που μετακινούνται πολύ (λόγω της δυσκολίας να εκτελούνται αρκετά γρήγορα οι μεταβιβάσεις ανάμεσα στις κυψέλες). Μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση είναι τα 2 Mbps για ακίνητους χρήστες εντός κτηρίων, 384 kbps για χρήστες που περπατούν και 144 kbps για αυτούς που κινούνται με αυτοκίνητο.

Το 1ο εμπορικό λανσάρισμα συστήματος 3G, έγινε τον Οκτώβριο του 2001 στην Ιαπωνία από την NTT DoCoMo και ονομάστηκε FOMA (Freedom Of Mobile Multimedia Access). Αργότερα ύστερα από πολλές προτάσεις στην IMT βρέθηκαν 2 λύσεις. Η πρώτη ήταν η CDMA Ευρείας ζώνης ή WCDMA (Wideband Code Division Multiplexing), η οποία προτάθηκε από την σουηδική εταιρία Ericsson και προωθήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την ονόμασε Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών ή UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Η άλλη λύση ήταν το CDMA200 που προτάθηκε από την αμερικάνικη εταιρία Qualcomm.

Και τα 2 αυτά συστήματα που τελικά κυριάρχησαν βασίζονται στην μέθοδο CDMA ευρείας ζώνης, το μεν WCDMA χρησιμοποιεί κανάλια των 5 MHz, ενώ το CDMA200 των 1,25 MHz. Επίσης το UMTS θεωρητικά παρέχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων της τάξεως των 42 Mbit/s παρέχοντας υψηλές ταχύτητες στο διαδίκτυο.

2.5.1 Εξέλιξη των 3G- High Speed Packet Access (HSPA)-3.5G

Το 1998 δημιουργήθηκε το 3GPP (3rd Generation Partnership Project), μέσω μιας σύμπραξης οργανισμών τηλεπικοινωνιών για την ανάπτυξη των πρωτοκόλλων και των προδιαγραφών της 3^{ης} γενιάς συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, αλλά και την συντήρηση των ήδη υπαρχόντων και την ανάπτυξη των επόμενων συστημάτων.

Ο οργανισμός αυτός αποφάσισε αρχικά την έκδοση ανανεωμένων προδιαγραφών σε ετήσια βάση. Η πρώτη έκδοση ονομάστηκε 3GPP R99 και ήταν βασισμένη στην τεχνολογία των δικτύων GSM και κυκλοφόρησε το 2000. Σε αυτή την έκδοση περιγράφηκε η αρχιτεκτονική του δικτύου, το νέο δίκτυο ραδιοπρόσβασης UTRAN(UMTS Terrestrial Radio Access Network) με την υποστηριζόμενη ραδιοεπαφή, επιλέχθηκε η κωδικοποίηση φωνής, καθορίστηκαν τα χαρακτηριστικά των τερματικών 3G, εισήχθη η υπηρεσία MMS (Multimedia Messaging Service) για την αποστολή πολυμέσων, περιγράφηκαν οι υπηρεσίες που βασίζονται στην τοποθεσία του χρήστη και τα χαρακτηριστικά της κάρτας SIM.

Το 2001-2002 προτάθηκε η δεύτερη έκδοση η οποία ονομάστηκε 3GPP R6 αλλά λόγω της πολλαπλότητας των αλλαγών που είχε αποφασίστηκε η ανακοίνωση 2 διαφορετικών εκδόσεων Release 4(R4) και Release 5 (R5), που έφεραν σημαντικές αλλαγές στο δίκτυο κορμού του UMTS. Στην R5 εισήχθη η τεχνολογία High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) που σε συνδυασμό με την τεχνολογία High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) που εισήχθη στην R6 (Release 6) το 2004, αποτέλεσαν το σύστημα HSPA(3.5G).

Οι επόμενες εκδόσεις έφεραν βελτιστοποίηση και αναβάθμιση του HSPA, για αυτό και πολλές φορές αναφέρονται και ως EHSPA(Enhanced HSPA) ή HSPA+, και αποτέλεσαν την βάση για τα συστήματα της επόμενης γενιάς.

Ειδικότερα η 7^η έκδοση (R7-2007) εστίαζε στην παροχή βελτιωμένης υποστήριξης και επίδοσης για διαδραστικές υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, όπως το push-to-talk over cellular, διαμοιρασμός εικόνων και βίντεο, Voice & Video over IP, Gaming over IP(GoIP), αύξησε τον

ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στα 14 Mbps και έφερε μεγαλύτερη μέση διεκπεραιωτικότητα στην κυψέλη (throughput).

Η R8 (2008) έφερε την προδιαγραφή ενός νέου συστήματος, του LTE (Long Term Evolution) το οποίο κληρονόμησε πολλά από τα χαρακτηριστικά του HSPA. Οι αλλαγές και βελτιστοποιήσεις στην αρχιτεκτονική και των τεχνολογιών της προηγούμενης έκδοσης οδήγησε την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης στα 42 Mbps.

Οι επόμενες εκδόσεις που κυκλοφόρησαν αφορούσαν το σύστημα LTE, δηλαδή της 4^{ης} γενιάς των κινητών τηλεφώνων.

3 Συστήματα τηλεπικοινωνιών 4ης γενιάς (4G)



Εικόνα 4: 4G

Τα κυψελωτά συστήματα 4^{ης} γενιάς αποτέλεσαν την συνέχεια των προδιαγραφών του 3GPP και του IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineer- επιστημονικός οργανισμός που ιδρύθηκε το 1963 στις Η.Π.Α., αποτελείται κυρίως από μηχανικούς καθώς και επιστήμονες/ακαδημαϊκούς και σκοπό έχει την εκπαιδευτική προώθηση και τεχνική εξέλιξη της ηλεκτρικής και ηλεκτρολογικής μηχανικής, των τηλεπικοινωνιών, της επιστήμης των υπολογιστών και των ενοποιημένων προτύπων).

3.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ανάπτυξη του UMTS στην 8^η και στην 9^η έκδοση του οδήγησε στην εμφάνιση ενός νέου συστήματος, όπως προαναφέρθηκε (LTE) και κατά συνέπεια έφεραν την 4^η γενιά δικτύων. Με τις εκδόσεις R10 και R11 το 2011 και 2012 αντίστοιχα είχαμε την εξέλιξη του LTE, δηλαδή του LTE-Advanced που μαζί με το WiMAX (IEEE 802.16.e) και το WiMAX2 (IEEE 802.16.m) ή όπως αποκαλείται WirelessMAN-Advanced είχαμε τις πρώτες προδιαγραφές που ερχόντουσαν να αντιμετωπίσουν με αξιώσεις τις απαιτήσεις για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε πληθώρα από περιβάλλοντα και για χρήστες στις πλέον απομακρυσμένες περιοχές των κυψελών.

Το 2015 με την εμφάνιση της επόμενης έκδοσης R12 είχαμε πολλές βελτιώσεις στο LTE-Advanced όπως την ύπαρξη πολλών εξελιγμένων μικρών κυψελών, αυξάνοντας την χωρητικότητα του δικτύου, καθώς και την ανάπτυξη καινούργιων ή ήδη υπαρχόντων υπηρεσιών όπως η D2D(device-to-device) επικοινωνία και το eMBMS (evolved-multimedia-broadcast-multicast-service).

Το 2016 έφερε την εμφάνιση της 13^{ης} έκδοσης (R13) και το 2017 της 14^{ης} οι οποίες οδήγησαν στο σύστημα που ονομάστηκε LTE-Advanced-Pro και ενσωματώνει πολλές τεχνολογίες οι οποίες βοήθησαν στην ανάπτυξη της επόμενης γενιάς τηλεπικοινωνιών (5G).

3.2 LTE (Long Term Evolution)

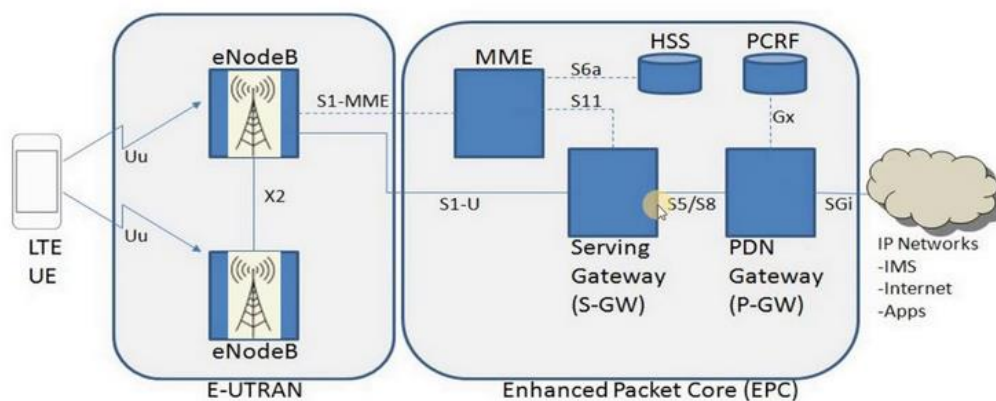
Το σύστημα LTE δημιουργήθηκε από την ομάδα 3GPP και αποτελεί την εξέλιξη των συστημάτων WCDMA 3^{ης} γενιάς. Με βάση το σύστημα LTE δημιουργήθηκε στην συνέχεια η εξελιγμένη έκδοση LTE-Advanced που για ορισμένους θεωρείται το πραγματικό σύστημα 4^{ης} γενιάς.

Στόχος των συστημάτων LTE είναι η ανάπτυξη δικτύων βασισμένων σε μεταγωγή πακέτων με ευελιξία φασματικής διαχείρισης που να υποστηρίζουν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης με χαμηλή λανθάνουσα καθυστέρηση(latency), πλήρη υποστήριξη κινητικότητας χρήστη και υψηλά επίπεδα υπηρεσίας (QoS). Στα συστήματα LTE υπάρχουν δυο εκδόσεις ανάλογα με την τεχνική αμφιδρόμησης που χρησιμοποιείται : α) FDD, που απαιτεί αναθέσεις ζωνών συχνοτήτων σε ζεύγη(διαφορετική ζώνη για την άνω και για την κάτω ζεύξη) και β) TDD, που απαιτεί φασματική εκχώρηση μιας ενιαίας ζώνης συχνοτήτων. Και στις δυο περιπτώσεις υποστηρίζεται κλιμακωτή διαυλοποίηση (από 1,4 MHz έως 20 MHz), ανάλογα με το διαθέσιμο φάσμα κάθε παρόχου και τις ρυθμίσεις του δικτύου.

Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

Επιπλέον ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στο σύστημα LTE (R8) είναι στο Upload Link 75 Mbps και στο Download Link 150 Mbps και η ακτίνα της κυψέλης εκτείνεται έως τα 100 χμ περίπου, όμως η απόδοση του συστήματος μειώνεται μετά τα 30 χμ.

3.2.1 Αρχιτεκτονική δικτύου



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική LTE

Το δίκτυο LTE είναι ένα δίκτυο βασισμένο εξ ολοκλήρου στην μεταγωγή πακέτων. Έχει σχεδιαστεί ώστε να παρέχει κινητές υπηρεσίες (seamless mobility) με υψηλές προδιαγραφές ποιότητας υπηρεσιών (QoS) και ελάχιστη λανθάνουσα καθυστέρηση ώστε να μπορεί να παρέχει και αμφίδρομες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (πχ φωνή) μέσω μεταγωγής πακέτων. Η δομή του δικτύου είναι σχετικά απλή και περιλαμβάνει τρεις βασικές μονάδες:

- Τον εξοπλισμό χρήστη (User Equipment – UE) ο οποίος αποτελείται ουσιαστικά από μια κινητή συσκευή (όπως ακριβώς και στα συστήματα GSM και UMTS). Η κινητή συσκευή αυτή περιλαμβάνει τα εξής: mobile termination, που χειρίζεται όλες τις λειτουργίες επικοινωνίας, το terminal equipment για τον τερματισμό των ροών δεδομένων. Τέλος περιέχει την Universal Integrated Circuit Card (UICC), γνωστή ως κάρτα SIM για εξοπλισμό LTE και τρέχει μια εφαρμογή γνωστή ως Universal Subscriber Identity Module (USIM), η οποία αποθηκεύει προσωπικά στοιχεία του χρήστη.

- Το δίκτυο ραδιοπρόσβασης (E-UTRAN- Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) που διαχειρίζεται την ραδιοεπικοινωνία μεταξύ των κινητών σταθμών και του δικτύου κορμού. Ο κάθε κινητός σταθμός LTE κάθε χρονική στιγμή ανήκει σε μια κυψέλη του δικτύου και επικοινωνεί με ένα eNB(evolved-NodeB). Το κάθε eNB επικοινωνεί με όλους τους κινητούς σταθμούς που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό, μεταφέροντας δεδομένα από και προς αυτούς και επιπλέον ελέγχει βασικές λειτουργίες τους στέλνοντας σε αυτούς κατάλληλα μηνύματα σηματοδότησης (π.χ. εντολές μεταπομπής). Εκτός από τους κινητούς σταθμούς το κάθε eNB συνδέεται και με το δίκτυο κορμού αλλά και με γειτονικούς σταθμούς eNB του E-UTRAN και μεταφέρει κυρίως μηνύματα σηματοδότησης αλλά και προωθεί πακέτα δεδομένων σε περίπτωση μεταπομπής.
- Το δίκτυο κορμού (EPC- Evolved Packet Core) που περιλαμβάνει τις παρακάτω δομικές μονάδες:
 - (1) Home Subscriber Server (HSS) - οικείος εξυπηρετητής συνδρομητών: Αποτελεί μια κεντρική βάση δεδομένων που περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία των συνδρομητών του παρόχου του συγκεκριμένου LTE δικτύου. Επίσης περιέχει στοιχεία για τα Δίκτυα Πακέτων Δεδομένων (Packet Data Networks-PDNs), όπου μπορεί να συνδεθεί το UE(User Equipment),όπως το Access Point Name(APN) ή την διεύθυνση του PDN.
 - (2) Packet Data Network Gateway (P-GW)-κεντρική πύλη του δικτύου πακέτου δεδομένων: Η πύλη P-GW διασφαλίζει την συνδεσιμότητα του UE με εξωτερικά δίκτυα δεδομένων, λειτουργώντας ως πύλη εισόδου και εξόδου του δικτύου για όλη την τηλεπικοινωνιακή κίνηση προς και από το UE και εκχωρώντας διευθύνσεις IP στα τερματικά.
 - (3) Serving Gateway (S-GW)-κεντρική πύλη εξυπηρέτησης: Η πύλη αυτή ενεργεί σαν δρομολογητής, προωθώντας πακέτα δεδομένων του χρήστη από τον σταθμό βάσης προς την αντίστοιχη κεντρική πύλη του αντίστοιχου PDN (P-GW).
 - (4) Mobility Management Entity(MME)-μονάδα διαχείρισης κινητικότητας: Η μονάδα αυτή είναι ο κύριος κόμβος ελέγχου του δικτύου πρόσβασης του LTE. Είναι υπεύθυνη για την ιχνηλάτηση (tracking) τερματικών που βρίσκονται σε άεργη κατάσταση αλλά και για τις υπηρεσίες τηλεειδοποίησης και επανεκπομπής.
 - (5) Policy and Charging Rules Function (PCRF): Μια μονάδα λογισμικού που επικοινωνεί με τις βάσεις δεδομένων του δικτύου και ελέγχει την εφαρμογή της πολιτικής χρεώσεων που εφαρμόζεται σε κάθε συνδρομητή.

3.2.2 LTE-Advanced(4.5G)

Το σύστημα LTE-Advanced σχεδιάστηκε από την ομάδα 3GPP, προκειμένου να καλύψει αυξημένες λειτουργικές απαιτήσεις λόγω την ύπαρξη ανταγωνιστικών συστημάτων από την ITU. Το σύστημα αυτό αποτελεί εξέλιξη του LTE διατηρώντας προς τα πίσω την συμβατότητα. Έτσι ένας σταθμός βάσης LTE-Advanced μπορεί να ελέγχει ένα τερματικό LTE χωρίς καμία επίδραση στην απόδοση του συστήματος και αντίστροφα ένας σταθμός βάσης LTE θα μπορεί να ελέγχει ένα τερματικό LTE-Advanced με μια μικρή υποβάθμιση της λειτουργικότητας.

Οι τεχνικές προδιαγραφές που τέθηκαν σε σύσταση συνοψίζονται ως εξής:

- Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων 1Gbps
- Σχετικά με την λανθάνουσα καθυστέρηση στο επίπεδο ελέγχου ο χρόνος για την μετάβαση από την αδρανή κατάσταση σε κατάσταση σύνδεσης θα πρέπει να μην υπερβαίνει τα 50 ms. Στην ενεργή κατάσταση ένας αδρανής χρήστης θα πρέπει σε λιγότερα από 10 ms να μπορεί να συγχρονίζεται (latency) και ο χρονοπρογραμματιστής (scheduler) θα πρέπει να ελαχιστοποιεί την λανθάνουσα καθυστέρηση
- Οι απαιτήσεις για την ραδιοκάλυψη και την υποστήριξη κινητικότητας παραμένουν ίδιες με του LTE.
- Το σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει ευέλικτες τεχνικές διαχείρισης φάσματος και εύρος ζώνης μετάδοσης μέχρι 100MHz
- Το σύστημα θα πρέπει να είναι πλήρως συμβατό με προηγούμενες εκδόσεις συστημάτων 3GPP.

3.2.3 LTE-Advanced-Pro(4.9G)

Το 2016 και το 2017 προτυποποιήθηκαν οι εκδόσεις 13 και 14 του 3GPP και αποτέλεσαν την εξέλιξη του συστήματος LTE-Advanced, και αποτελεί τον θεμέλιο λίθο για την ανάπτυξη της 5^{ης} γενιάς των τηλεπικοινωνιών.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι οι υψηλές ταχύτητες δεδομένων της τάξεως των 3Gbps, ο χρόνος στον οποίο ένας αδρανής χρήστης συγχρονίζεται είναι 2ms και τέλος το εύρος ζώνης μετάδοσης είναι τα 640 MHz.

Η εξέλιξη αυτή συνεπάγεται την αύξηση των αριθμών των κεραιών και την βελτίωση της MIMO(Multiple Input Multiple Output-μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως στις ασύρματες επικοινωνίες και υποστηρίζει την πολλαπλή ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη πληροφοριών από και προς τις κεραιές) τεχνικής.

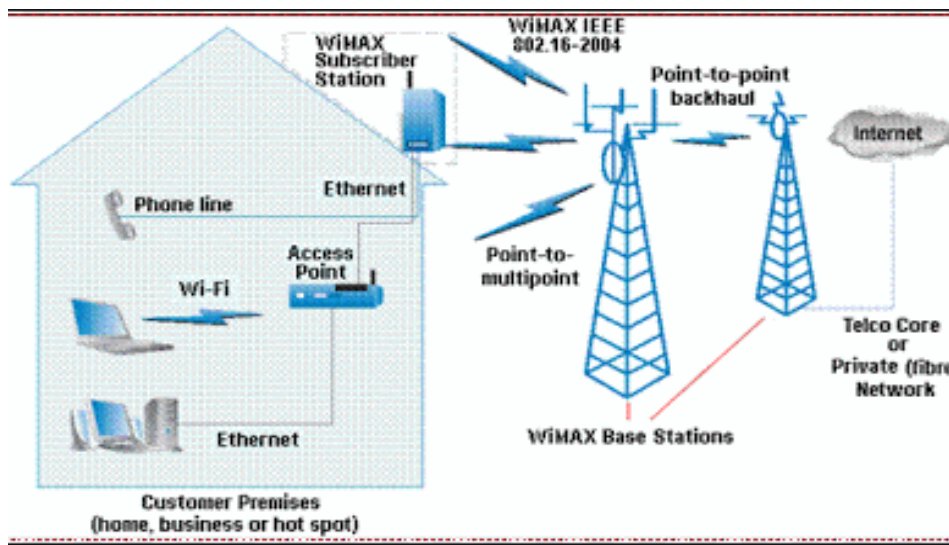
Τέλος αυτό το σύστημα έφερε την ανάπτυξη του IoT(Internet of things), δηλαδή την σύνδεση όλων των ηλεκτρικών συσκευών(αυτοκίνητα, ψυγεία ,τηλεοράσεις κ.α.) με το διαδίκτυο, αλλά και μεταξύ τους (d2d-device to device).

3.3 WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access) – Πρότυπο IEEE 802.16

Η ανάπτυξη του προτύπου IEEE 802.16 ξεκίνησε το 1998 από την αντίστοιχη ομάδα εργασίας της IEEE. Το πρότυπο καθορίζει την ραδιοεπαφή (air-interface) για ένα ασύρματο δίκτυο μητροπολιτικής κάλυψης (Wireless MAN) που μπορεί να παρέχει υπηρεσίες σε σταθερούς, φορητούς ή κινούμενους χρήστες. Μια ουσιαστική διαφορά από τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) είναι η διαφορετική ακτίνα κάλυψής τους. Επίσης σε αντίθεση με τα συστήματα Wi-Fi υποστηρίζεται πλήρως αμφίδρομη επικοινωνία (full duplex).

Με βάση την οικογένεια προτύπων IEEE 802.16 ένας όμιλος εταιριών με την επωνυμία WiMAX Forum (Worldwide Interoperability for Microwave Access) προωθεί την ταυτοποίηση προϊόντων και την ανάπτυξη δικτύων με βάση τα πρότυπα αυτά. Στο WiMAX Forum συμμετείχαν περισσότεροι από 500 φορείς (κατασκευαστές εξοπλισμού, πάροχοι δικτύων κ.α.). Αρχικός στόχος της ομάδας 802.16 της IEEE ήταν τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα να εξυπηρετήσουν ζεύξεις σημείου προς πολλαπλά σημεία (Point to Multipoint) και για το λόγο αυτό το ενδιαφέρον εστιάστηκε σε ζεύξεις με οπτική επαφή πομπού-δέκτη και σε συχνότητες 10-66 GHz. Στην συνέχεια στοχεύοντας σε χρήση σε χαμηλότερες συχνότητες (2-11GHz) και σε λειτουργία χωρίς οπτική επαφή υιοθετήθηκε η εφαρμογή της τεχνολογίας OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) στο φυσικό στρώμα και της OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) στο στρώμα MAC και το πρότυπο δέχθηκε διάφορες τροποποιήσεις για να καταλήξει το 2004 στο πρότυπο IEEE 802.16-2004 που αποτελεί το βασικό πρότυπο WiMAX.

3.3.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου



Εικόνα 6: Αρχιτεκτονική WiMAX

Το δίκτυο αυτό αποτελείται από σταθμούς βάσης (ΣΒ), σταθμούς συνδρομητών (ΣΣ) και συνδέσεις σημείου προς πολλαπλά σημεία (point to multipoint). Ο κάθε σταθμός βάσης είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο κορμού του παρόχου, ενώ παρέχει ασύρματη σύνδεση σε πολλαπλούς συνδρομητές. Μεταξύ των σταθμών βάσεων ή μεταξύ των σταθμών βάσεων και των σταθμών συνδρομητών μπορεί να παρεμβάλλονται επαναληπτές, κεραιές δηλαδή για την ενίσχυση του σήματος σε δυσμενείς συνθήκες διάδοσης. Το σκέλος της διασύνδεσης των σταθμών βάσεων με το δίκτυο κορμού δεν περιλαμβάνεται στις προδιαγραφές του δικτύου WiMAX και μπορεί να γίνεται μέσω του δικτύου DSL, οπτικών ινών ή και ασύρματα μέσω ζεύξεων σημείο προς σημείο.

Ένα δίκτυο WiMAX μπορεί να παρέχει ευρυζωνικές διαδικτυακές υπηρεσίες σε οικιακούς χρήστες, οπότε έχουμε Σταθερή Ασύρματη Πρόσβαση (Fixed Wireless Access- FWA) σε χρήστες SOHO (Small Office-Home Office) ή να χρησιμοποιηθεί για την παράκαμψη του τοπικού βρόχου, παρέχοντας υπηρεσίες φωνής με μεταγωγή πακέτου ή μεταγωγή κυκλώματος. Επίσης οι πάροχοι υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα δίκτυο WiMAX για την αντικατάσταση εν μέρει της καλωδίωσης που χρησιμοποιείται από το δίκτυο κορμού. Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δίκτυο κορμού για τα συστήματα WLAN, αφού τα σημεία πρόσβασης (Access Point-AP) των WLAN χρειάζονται αξιόπιστη και χαμηλού κόστους ευρυζωνική διασύνδεση, κάτι που εξασφαλίζει το δίκτυο WiMAX.

Στην τοπολογία δικτύου πλέγματος, οι σταθμοί βάσεων και συνδρομητών του δικτύου χαρακτηρίζονται ως κόμβοι (nodes). Ο κάθε κόμβος μπορεί να θεωρείται ως ισότιμος ή ανώτερος από τους άλλους ανάλογα με τον ρόλο που επιτελεί στο δίκτυο. Κάθε κόμβος έχει μια αναγνωριστική MAC διεύθυνση, μήκους 48 bits. Βασικό χαρακτηριστικό στην τοπολογία δικτύου πλέγματος είναι ότι οι κόμβοι δεν επικοινωνούν μόνο με τους σταθμούς βάσεων, αλλά μπορούν να επικοινωνούν και μεταξύ τους, είτε απευθείας, είτε μέσω άλλων κόμβων. Άρα, ένα μήνυμα μπορεί να φτάσει στον παραλήπτη ακολουθώντας μια διαδρομή πολλών ραδιοζεύξεων. Δυο κόμβοι που μπορούν να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους ονομάζονται γειτονικοί, ενώ ένα σύνολο γειτονικών κόμβων καλείται γειτονιά (neighborhood).

Τέλος ο χρονοπρογραμματισμός (scheduling) για τις μεταδόσεις μεταξύ των κόμβων μπορεί να γίνει είτε κεντρικά, είτε κατανεμημένα. Στην περίπτωση του κατανεμημένου αλγορίθμου χρονοπρογραμματισμού, οι κόμβοι συντονίζουν τις εκπομπές τους και εκπέμπουν προς όλους τους γειτονικούς κόμβους τις σχετικές πληροφορίες και οι διαδικασίες των μεταδόσεων δεν κάνουν καμία διάκριση μεταξύ άνω και κάτω ζεύξης (Uplink και Downlink). Από την άλλη στο κεντρικό συντονισμό των μεταδόσεων οι αποφάσεις για την ανάθεση πόρων στις διάφορες ζεύξεις παίρνονται από το σύστημα βάσης, αφού αυτός λάβει μηνύματα από όλους τους κόμβους που βρίσκονται στην περιοχή του. Η κάθε ζεύξη σε μια γειτονιά χαρακτηρίζεται από ένα αναγνωριστικό μήκους 8 bit, που είναι τμήμα του αναγνωριστικού της σύνδεσης.

3.3.2 WiMAX2-IEEE 802.16.m-2011

Μια αναβάθμιση του WiMAX που κυκλοφόρησε το 2011 και έφερε πολλές βελτιώσεις στο ήδη υπάρχον σύστημα, μιας και παρείχε 4 φορές περισσότερη ταχύτητα δεδομένων.

Ένα από τα χαρακτηριστικά του είναι ότι έχει συμβατότητα προς τα πίσω δηλαδή υποστηρίζει και τα συστήματα του WiMAX 1. Επίσης μπορεί εύκολα κάποιος να αναβαθμίσει το σύστημα από το 1 στο 2 απλά αναβαθμίζοντας το λογισμικό του. Τέλος παρέχει ταχύτητες άνω ζεύξης (Uplink) της τάξεως των 60 Mbit/s και κάτω ζεύξης (Downlink) της τάξεως των 120Mbit/s.

4 Δίκτυα 5ης γενιάς τηλεπικοινωνιών (5G)



Εικόνα 7: 5G

Η 5^η γενιά δικτύων τηλεπικοινωνιών, σε αντίθεση με την 4^η γενιά που ουσιαστικά είναι μια εξέλιξη της 3^{ης} χαρακτηρίζεται ως μια 4^η βιομηχανική επανάσταση που εκτιμάται ότι μέσα στην επόμενη δεκαετία θα αλλάξει πολλά στην καθημερινότητα των πολιτών και των επιχειρήσεων, λόγω των πολλών δυνατοτήτων που θα προσφέρει.

4.1 Ιστορική Αναδρομή

Τον Απρίλιο του 2008 η NASA συνεργάστηκε με την Geoff Brown και την Machine to Machine Intelligence corp για την ανάπτυξη της τεχνολογιών του 5G. Την ίδια χρονιά δημιουργήθηκε το πρόγραμμα E&A στην Νότια Κορέα για τα συστήματα επικοινωνιών της 5^{ης} γενιάς βασισμένα σε πολλαπλή πρόσβαση διαμερισμού δέσμης. Αργότερα τον Αύγουστο του 2012 το πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης ίδρυσε το NYE WIRELESS, ένα ακαδημαϊκό ερευνητικό κέντρο που διεξήγαγε πρωτοποριακές εργασίες στο 5G. Τον Οκτώβριο του 2012 ξεκίνησαν και οι έρευνες για το 5G από το πανεπιστήμιο Surrey του Ηνωμένου Βασιλείου επενδύοντας 35 εκατομμύρια λίρες. Το πανεπιστήμιο αυτό πρόσφερε εγκαταστάσεις δοκιμών σε φορείς κινητής τηλεφωνίας που επιθυμούσαν να αναπτύξουν ένα κινητό πρότυπο που χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια και λιγότερο ραδιόφασμα αλλά και υψηλότερες ταχύτητες από το 4G ,όλα αυτά με την προοπτική ότι η νέα τεχνολογία θα είναι διαθέσιμη εντός μιας δεκαετίας. Έτσι την Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

1^η Νοεμβρίου του 2012 το έργο της ΕΕ METIS ξεκίνησε την δραστηριότητα του προς τον ορισμό του 5G. Επίσης τον Φεβρουάριο του 2013 η ομάδα εργασίας ITU-R 5D ξεκίνησε δύο μελέτες, μια σχετικά με το όραμα IMT για το 2020 και μετά και μια άλλη για τις μελλοντικές τεχνολογικές τάσεις στα επίγεια συστήματα IMT. Και οι δύο αυτές μελέτες είχαν στόχο των μελλοντικών τεχνικών πτυχών των κινητών επικοινωνιών προς τον ορισμό της κινητής τηλεφωνίας επόμενης γενιάς. Την 1^η Οκτωβρίου του 2013, η NTT(Nippon Telegraph and Telephone) ήταν η εταιρία που εγκαινίασε το πρώτο παγκόσμιο δίκτυο 5G στην Ιαπωνία. Ύστερα από πολλές επενδύσεις και δοκιμές τον Φεβρουάριο του 2016 η NTT DoCoMo και η Ericsson πέτυχαν, στην πρώτη δοκιμή παγκοσμίως, να επιτύχουν ένα σωρευτικό 20Gbit/s με δύο ταυτόχρονα συνδεδεμένες κινητές συσκευές σε εξωτερική δοκιμή 5G. Στις 29 Ιανουαρίου 2016, η Google αποκάλυψε ότι αναπτύσσουν ένα δίκτυο 5G που ονομάζεται SkyBender. Σχεδιάζαν να διανέμουν αυτή τη σύνδεση μέσω μηχανοκίνητων drones. Στις 14 Ιουλίου 2016, η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) ψήφισε ομόφωνα μια πρόταση για την απελευθέρωση τεράστιων ποσοτήτων νέου εύρους ζώνης για την επόμενη γενιά ασύρματων επικοινωνιών (5G). Στις 17 Οκτωβρίου 2016, η Qualcomm ανακοίνωσε το πρώτο μόντεμ 5G, το Snapdragon X50, ως το πρώτο εμπορικό chipset κινητής τηλεφωνίας 5G. Τον Ιανουάριο του 2017, η Reliance Jio και η Samsung συνεργάστηκαν για την αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου 4G LTE-A σε 5G στην Ινδία. Τον Φεβρουάριο του 2017, η κυβέρνηση της Ινδίας, η εταιρεία τηλεπικοινωνιών BSNL, συνεργάστηκε με τη Nokia για τη δημιουργία δικτύων 5G. Η 1^η εμπορική χρήση της τεχνολογίας αυτής έγινε στους χειμερινούς Ολυμπιακούς αγώνες της Πιονγκτσάνγκ στην Νότια Κορέα τον Δεκέμβριο του 2018 και αποτέλεσαν ορόσημο για την περαιτέρω ανάπτυξη της 5^{ης} γενιάς δικτύων. Η πλήρης ολοκλήρωση των προδιαγραφών του 3GPP έγινε το δεύτερο εξάμηνο του 2018. Το 2019 η Νότια Κορέα αποτέλεσε την 1^η χώρα που υιοθέτησε πλήρως σε μεγάλη κλίμακα τα συστήματα της 5^{ης} γενιάς. Σύμφωνα με πρόβλεψη της Σουηδικής εταιρίας τηλεπικοινωνιών Ericsson ως το τέλος του 2025 το 65% του παγκόσμιου πληθυσμού θα έχει πρόσβαση σε 5G δίκτυα.

Οι χώρες που μέχρι στιγμής έχουν πρόσβαση σε αυτές τις τεχνολογίες είναι η Αυστραλία (Σύδνεϋ και Μελβούρνη), η Αργεντινή (Μπουένος Άιρες), Κίνα (σε πάνω από 50- πόλεις μεταξύ των οποίων το Πεκίνο και η Σαγκάη), Φιλανδία(Ελσίνκι, Εσποο, Γυβάσκυλα, Τάμπερε και Τουρκού), Γερμανία (Βερολίνο, Κολωνία, Αμβούργο,Μονακό και Ντάρμστατ) , Ιρλανδία (σε πάνω από 10 πόλεις όπως το Δουβλίνο και το Κορκ). Επίσης άλλες χώρες που υποστηρίζουν 5G είναι η Ιταλία (Μιλάνο,Τορίνο,Μπολόνια,Ρώμη,Νάπολη), η Ιαπωνία(Τόκυο) , Νέα Ζηλανδία (Όκλαντ,Γουέλινγκτον,Κρίστσερτς και Κουίνσταουν), Νορβηγία (14 πόλεις Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

μεταξύ τους το Όσλο), Φιλιπίνες (Μακάτι, Κλάρκ), Πολωνία (20 πόλεις μεταξύ των οποίων Βαρσοβία και Λιουμπλιάνα), Ρουμανία(Βουκουρέστι), Ρωσία (Μόσχα), Άγιος Μαρίνος, Νότια Αφρική, Νότια Κορέα(πάνω από 1 εκατομμύριο συνδρομητές 5G), Ταιβάν (Ταιπέι), Ηνωμένο Βασίλειο (τουλάχιστον 30 πόλεις). Τέλος οι Η.Π.Α(σε τουλάχιστον 45 πόλεις), η Ουρουγουάη, Βιετνάμ και το Κατάρ, ενώ αναμένεται να αναπτυχθεί περαιτέρω στο Μεξικό, στην Σουηδία , στον Παναμά και στην Βουλγαρία.

4.2 Χαρακτηριστικά της 5ης γενιάς

Τα βασικά χαρακτηριστικά της νέας αυτής τεχνολογίας είναι τα εξής:

- Χρήση μαζικών MIMO συστημάτων (Very Large MIMO) τα οποία παρέχουν επιπλέον κεραίες, συμβάλλοντας στην αύξηση της απόδοσης από την εκπεμπόμενη ενέργεια. Επιπλέον κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι η χρήση φθηνών εξαρτημάτων χαμηλής ισχύος, μείωση του διαστήματος, απλοποίηση του ελέγχου πρόσβασης μέσου και την ευρωστία της εσκεμμένης παρεμβολής.
- Η δυνατότητα ταυτόχρονης σύνδεσης σε διάφορες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης καθώς και η εναλλαγή μεταξύ τους (2.5G,3G,4G,5G,Wi-Fi ή οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία) εξασφαλίζοντας πολλαπλάσια ταχύτητα από την σημερινή
- Η τεχνολογία smart radio επιτρέπει σε διάφορες ραδιοτεχνολογίες να μοιράζονται με τον ίδιο αποτελεσματικό τρόπο το φάσμα από την εύρεση αχρησιμοποίητου φάσματος και την προσαρμογή του συστήματος μετάδοσης με τις απαιτήσεις τεχνολογιών που μοιράζονται στο φάσμα.
- Τα δυναμικά Adhoc Ασύρματα Δίκτυα (DAWN) είναι στην ουσία ταυτόσημα με το κινητό δίκτυο ad hoc (MANET) και το ασύρματο δίκτυο πλέγματος (WMN) ή τα ασύρματα δίκτυα, που συνδυάζονται με έξυπνες κεραίες σύμφωνα με τη συνεργατική ποικιλομορφία και την ευέλικτη διαμόρφωση
- Η διαίρεση συχνότητας Vandermonde -υπόχωρος πολυπλεξίας (VFDM) είναι ένα σχήμα διαμόρφωσης για να επιτραπεί η συνύπαρξη των μακροκυττάρων και μικρών ραδιοκυττάρων σε ένα δίκτυο δύο επιπέδων LTE/4G.
- Το IPv6 πρωτόκολλο διευθύνσεων, όπου εκχωρείται μια διεύθυνση κινητής IP ανάλογα με τη θέση και τις συνδεδεμένες διευθύνσεις στο δίκτυο

- Li-Fi είναι μία βαλίτσα φωτός και Wi-Fi είναι ένα τεράστιο MIMO ορατό δίκτυο επικοινωνίας φωτός, έτσι ώστε να εφαρμοστεί σε 5G. Το Li-Fi χρησιμοποιεί διόδους εκπομπής φωτός για τη μετάδοση δεδομένων και όχι τα ραδιοκύματα, όπως το Wi-Fi.
- Ο ασύρματος παγκόσμιος ιστός (Wireless World Wide Web -WWW) ,είναι ένας ολοκληρωμένος τρόπος βασισμένος στην ασύρματη εφαρμογή του δικτύου, που περιλαμβάνει πλήρη δυναμικότητα των πολυμέσων με ταχύτητες μεγαλύτερες από αυτές του 4G.
- Καθυστέρηση (latency) μικρότερη από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου, έως και λίγα δευτερόλεπτα
- Μοναδική εμπειρία με ταχύτητα τουλάχιστον 1 Gbps ή ακόμα μεγαλύτερες τιμές, που θα συντελούν στην αύξηση της διακίνησης των δεδομένων, με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή η υποστήριξη υπερύψηλης ποιότητας βίντεο και σε σημαντικές εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας.
- Τα 10 Gbps ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων για την υποστήριξη κινητής cloud υπηρεσίας, που από πολλούς θεωρείται το μέλλον της κινητής επικοινωνίας
- Η υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο κινητού ελέγχου και σε εφαρμογές επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων
- Ελάττωση κατανάλωσης της ενέργειας, δηλαδή η ενέργεια ανά bit χρήσης θα πρέπει να μειωθεί κατά ένα παράγοντα για να βελτιωθεί τη συνδεδεμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας της συσκευής, όπου αποτελεί και το βασικότερο μειονέκτημα των περισσότερων έξυπνων συσκευών και κινητών τηλεφώνων.

4.3 Αρχιτεκτονική 5G

Τα ευρυζωνικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας τα τελευταία χρόνια υπόκεινται σε πολλές αλλαγές και αναβαθμίσεις έτσι ώστε να μπορέσει η αρχιτεκτονική τους και η τεχνολογία τους να συμβαδίζουν με τις απαιτήσεις των πελατών. Για παράδειγμα η βελτίωση του RAN είναι μία αιτία για αύξηση της ταχύτητας και της πυκνότητας των δικτύων για να μπορέσει να λειτουργήσει αποδοτικά. Κατά καιρούς έχουν προταθεί πληθώρα αρχιτεκτονικών για το 5G δίκτυο έτσι ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες σε πόρους, ταχύτητα εξυπηρέτησης όλων των αιτημάτων κτλ. Η ένταξη πολλών νέων συσκευών στο δίκτυο και η σύνδεση μεταξύ τους, ανοίγει τον δρόμο σε μία πληθώρα νέων εφαρμογών και υπηρεσιών καθώς και στη σχεδίαση νέων επιχειρησιακών μοντέλων που μπορούν να αναδείξουν τον αυτοματισμό σε αρκετούς νέους τομείς τεχνολογίας (π.χ. ενέργεια, e-health, smart city, συνδεδεμένα

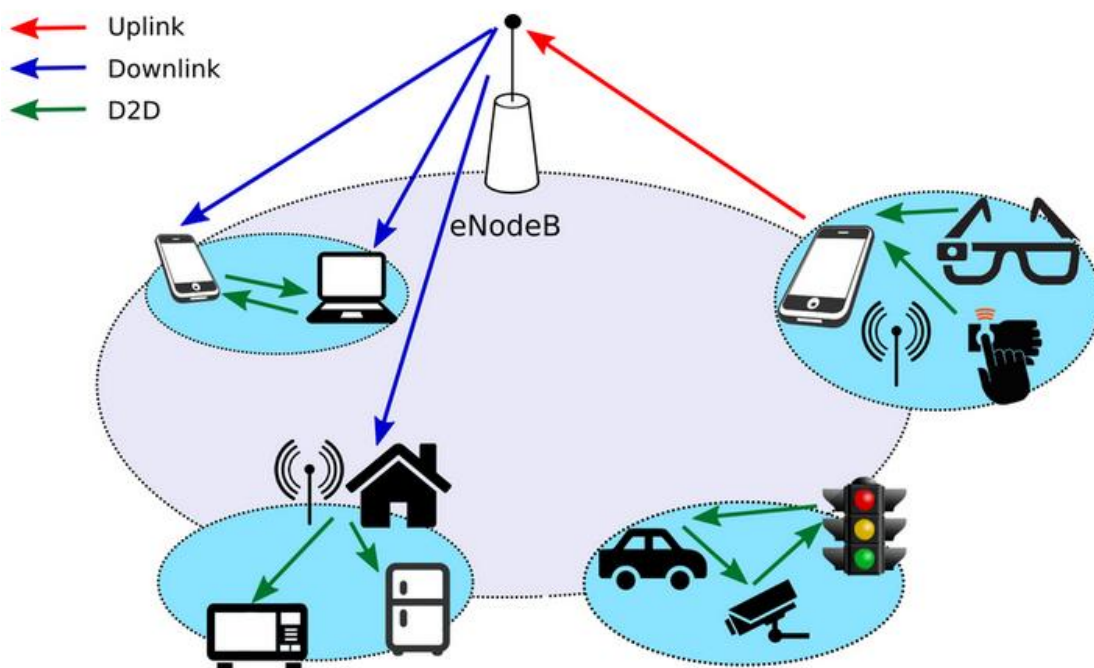
αυτοκίνητα κτλ.). Πέρα από τις πλέον διαδεδομένες χρήσεις του bandwidth σε εφαρμογές που είναι κυρίως ανθρωποκεντρικές όπως είναι το 4K video streaming, το 5G δίκτυο υποστηρίζει και εφαρμογές που έχουν να κάνουν με επικοινωνία machine-to-machine αλλά και machine-to-human για να κάνουν την ζωή των ανθρώπων πιο εύκολη αλλά και πιο ασφαλή. Τα βασικά επίπεδα και οντότητες της αρχιτεκτονικής του 5G δικτύων είναι τα εξής

- **Resource and Functional Level:** Το επίπεδο αυτό περιέχει τους φυσικούς πόρους που χρησιμεύουν για την επικοινωνία, τους υπολογισμούς και την αποθήκευση των Core Network, Internet κτλ. Αρχικά έχουμε την τεχνολογία Wireless and fixed access, η οποία παρέχει πρόσβαση στο Internet στα σπίτια χρησιμοποιώντας τεχνολογία ασύρματου δικτύου αντί για γραμμές που είχαμε μέχρι τώρα. Όμως παρόλο που είναι πιο απλή και γρήγορη δεν εξασφαλίζει σταθερή απόδοση και αναμένεται η περαιτέρω εξέλιξη των 5G τεχνολογιών για την βελτίωση της απόδοσης της. Άλλη μια τεχνολογία που παίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των κινητών δικτύων είναι το cloud computing, (που χρησιμοποιεί η edge cloud οντότητα) καθώς προσφέρει μια ευελιξία που δεν υπήρχε πιο πριν και μειώνει δραματικά το κόστος αυξάνοντας παράλληλα την ποιότητα των διαθέσιμων υπηρεσιών. Το μόνο μειονέκτημα είναι πως δεν μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες με πολύ χαμηλό latency και μεγάλο throughput. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το μειονέκτημα και να μπορέσουμε να βελτιώσουμε τους χρόνους απόκρισης των διαφόρων λειτουργιών διαχείρισης του 5G που “τρέχουν” στο Core Cloud(οντότητα που αποτελεί τον πυρήνα του συγκεκριμένου επιπέδου) , μεταφέρουμε ορισμένες λειτουργίες πιο κοντά, με τη βοήθεια του Edge Cloud. Τέλος έχουμε το Wide Area Network, δηλαδή ένα σύνολο υπολογιστών που εκτείνονται σε μία ευρεία γεωγραφική περιοχή και δημιουργούν μεταξύ τους ένα δίκτυο επικοινωνίας. Τυπικά ένα WAN διασυνδέει μεταξύ τους τοπικά δίκτυα υπολογιστών. Για τη διασύνδεση αυτή χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα μισθωμένες δημόσιες τηλεπικοινωνιακές γραμμές ή μερικές φορές και δορυφορικές τηλεπικοινωνίες. Το γνωστότερο WAN είναι το Internet.
- **Network Operating System & Network Level:** Συνεργάζονται με τα Programmable Network Control Units. Και τα δύο βοηθάνε στο virtualization του physical network. Πιο συγκεκριμένα το Network Operating System πρόκειται για ένα λειτουργικό σύστημα που έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά και μόνο για την υποστήριξη workstations, sharing βάσεων δεδομένων, sharing εφαρμογών μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών στο δίκτυο. Μερικά παραδείγματα Network Operating Systems είναι τα Artisoft’s LANtastic, Banyan VINES, Novell’s NetWare και Microsoft’s LAN Manager κτλ. Τα Network Operating Systems και Programmable Network Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

Control Units πραγματοποιούν virtualization του φυσικού δικτύου όπως αναφέραμε και πιο πάνω και έτσι δημιουργούνται τα διάφορα network slices που το καθένα εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία και εξυπηρετεί κάποιο σκοπό. Το network level φιλοξενεί όλα αυτά τα slices που το καθένα χρησιμοποιεί διαφορετικούς πόρους (υπολογιστικούς, δικτυακούς κτλ.)για να παρέχει υπηρεσίες στους πελάτες.

- Service Level: Πρόκειται για ένα από τα πιο σημαντικά επίπεδα στην αρχιτεκτονική του 5G. Η δυνατότητα του να μπορούμε να υποστηρίξουμε μία πληθώρα υπηρεσιών ταυτόχρονα και με δυναμικό τρόπο, είναι το στοιχείο που θα διαφοροποιήσει το 5G από τα δίκτυα προηγούμενων γενεών. Στο service level, τα slices που αναφέραμε παραπάνω είναι οργανωμένα και ακολουθούν έναν προκαθορισμένο συντονισμό μέσω συναρτήσεων management.

4.4 D2D(Device to Device)



D2D communications in 5G IoT networks.

Εικόνα 8: D2D

Η τεχνολογία device-to-device (D2D) έχει προσελκύσει ευρεία προσοχή στη βιομηχανία για τις δυνατότητές της να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος, την εμπειρία των χρηστών και να επεκτείνει τις κυψελοειδείς εφαρμογές. Με την cellular-based D2D επικοινωνία, που

ονομάζεται επίσης Proximity Service(ProSe), τα δεδομένα του χρήστη μπορούν να μεταδίδονται απευθείας μεταξύ τερματικών χωρίς δρομολόγηση μέσω eNodeBs και κεντρικού δικτύου. Η επικοινωνία D2D έχει μια δομή αρκετά διαφορετική από αυτή ενός παραδοσιακού κυψελοειδούς δικτύου. Η επικοινωνία D2D συμβάλλει στην αύξηση της φασματικής απόδοσης και στην επέκταση των εφαρμογών επικοινωνίας.

4.4.1 Εφαρμογές του D2D

Local Service: Στο local Service τα δεδομένα χρήστη μεταδίδονται απευθείας μεταξύ των τερματικών και δεν διακινούνται μέσω ενός δικτύου. Το local Service χρησιμοποιείται συνήθως για κοινωνικές εφαρμογές. Οι κοινωνικές εφαρμογές που βασίζονται στη proximity λειτουργία είναι μια βασική εφαρμογή D2D. Με τις λειτουργίες εντοπισμού και επικοινωνίας D2D, ένας χρήστης μπορεί να βρει άλλους κοντινούς χρήστες και να μοιραστεί δεδομένα ή να παίξει παιχνίδια μαζί τους. Μια άλλη βασική εφαρμογή της τοπικής υπηρεσίας είναι η τοπική μετάδοση δεδομένων. Η τοπική μετάδοση δεδομένων εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες εγγύτητας και άμεσης μετάδοσης δεδομένων του D2D για την επέκταση εφαρμογών κινητής τηλεφωνίας, ενώ εξοικονομεί πόρους ραδιοφάσματος. Αυτό δημιουργεί μια νέα πηγή εσόδων για τους φορείς. Για παράδειγμα, η τοπική διαφημιστική υπηρεσία που βασίζεται στην εγγύτητα μπορεί να στοχεύσει με ακρίβεια τους ανθρώπους για να μεγιστοποιήσουν τα οφέλη τους. Μια τρίτη εφαρμογή της τοπικής υπηρεσίας είναι το offloading της κυψελοειδούς κίνησης. Καθώς οι υπηρεσίες μέσων ενημέρωσης, όπως τα HD βίντεο γίνονται δημοφιλείς, οι μαζικές ροές πληροφορίας τους ασκούν τεράστια πίεση στα βασικά δίκτυα και στους πόρους του ραδιοφάσματος. Οι υπηρεσίες τοπικών μέσων ενημέρωσης που βασίζονται σε D2D μπορούν να βοηθήσουν τους φορείς να εξοικονομήσουν το βασικό τους δίκτυο και τους πόρους του φάσματος. Σε περιοχές hotspot, οι φορείς ή οι πάροχοι περιεχομένου μπορούν να αναπτύξουν διακομιστές πολυμέσων που αποθηκεύουν υπηρεσίες δημοφιλών μέσων. Αυτοί οι διακομιστές πολυμέσων παρέχουν στους χρήστες υπηρεσίες πολυμέσων σε λειτουργία D2D. Εναλλακτικά, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το D2D για να αποκτήσουν το περιεχόμενο πολυμέσων από κοντινά τερματικά που έχουν λάβει υπηρεσίες πολυμέσων. Με τον τρόπο αυτό, η πίεση μετάδοσης downlink των κυψελοειδών δικτύων των χειριστών μπορεί να διευκολυνθεί. Επιπλέον, η κυψελοειδής επικοινωνία μεταξύ χρηστών μικρών αποστάσεων μπορεί να μεταβεί στη λειτουργία D2D για να αποφορτίσει την κυψελοειδή κίνηση.

Emergency Communication: Όταν συμβαίνουν φυσικές καταστροφές, όπως είναι οι σεισμοί, η υποδομή δικτύου επικοινωνιών μπορεί να καταστραφεί και το δίκτυο μπορεί ακόμη και να καταρρεύσει. Αυτό παρεμποδίζει σε μεγάλο βαθμό τις προσπάθειες διάσωσης. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με την εισαγωγή της επικοινωνίας D2D. Παρόλο που η υποδομή του δικτύου επικοινωνίας μπορεί να καταστραφεί, ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να ρυθμιστεί μεταξύ τερματικών με βάση τη σύνδεση D2D. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να δημιουργηθεί ένα ad hoc δίκτυο με βάση το D2D πολλαπλών hop για να εξασφαλιστεί η ομαλή ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των τερματικών. Ένα ασύρματο δίκτυο που επηρεάζεται από το έδαφος ή τα κτίρια μπορεί να έχει τυφλά σημεία. Με single-hop ή multi-hop D2D επικοινωνία, οι χρήστες στα τυφλά σημεία μπορούν να συνδεθούν με τερματικά που βρίσκονται σε περιοχές κάλυψης και στη συνέχεια να συνδεθούν στο ασύρματο δίκτυο.

Βελτίωση του IoT (Internet of things): Ένας από τους στόχους της ανάπτυξης των κινητών επικοινωνιών είναι η εγκαθίδρυση εκτενών διασυνδεδεμένων δικτύων που θα περιέχουν διάφορους τύπους τερματικών. Αυτό αποτελεί την βάση για την ανάπτυξη του IoT στην δομή των κυψελωτών επικοινωνιών. Σύμφωνα με προβλέψεις έως το τέλος του 2020 θα υπάρχουν 50 εκατομμύρια κυψελώτα τερματικά πρόσβασης σε παγκόσμια κλίμακα τα περισσότερα από τα οποία θα υποστηρίζουν υπηρεσίες IoT. Με τον συνδυασμό των τεχνολογιών του D2D με το IoT έχουμε την δημιουργία ενός πραγματικά διασυνδεδεμένου ασύρματου δικτύου, βελτιώνοντας τις εμπειρίες και δυνατότητες του IoT σε πολλούς τομείς (οδήγηση, γεωργία, βιομηχανία, ιατρική κ.α.)

Other Applications: Το 5G D2D μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε άλλα δυνητικά σενάρια, όπως η ενίσχυση πολλαπλών χρήσεων MIMO, η συνεργατική αναμετάδοση και το εικονικό MIMO. Στο παραδοσιακό MIMO πολλών χρηστών, οι σταθμοί καθορίζουν τα βάρη προ-κωδικοποίησης με βάση την αντίστοιχη ανατροφοδότηση καναλιού των τερματικών για τη δημιουργία κενών και την εξάλειψη των παρεμβολών μεταξύ των χρηστών. Μετά την εισαγωγή του D2D, οι ζευγαρωμένοι χρήστες μπορούν να ανταλλάξουν απευθείας πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του καναλιού. Με τον τρόπο αυτό, τα τερματικά μπορούν να τροφοδοτούν τις πληροφορίες κατάστασης κοινού καναλιού στους σταθμούς και να βελτιώνουν την απόδοση του MIMO. Το D2D μπορεί επίσης να βοηθήσει στην επίλυση προβλημάτων στα νέα σενάρια ασύρματης επικοινωνίας. Στην εσωτερική θέση, τα τερματικά δεν μπορούν να λάβουν δορυφορικά σήματα όταν είναι εσωτερικά. Στην περίπτωση αυτή, η παραδοσιακή δορυφορική τοποθέτηση δεν λειτουργεί. Για αυτόν τον λόγο, στην εσωτερική τοποθέτηση με βάση D2D, οι προεγκατεστημένοι ακροδέκτες με δεδομένες πληροφορίες αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

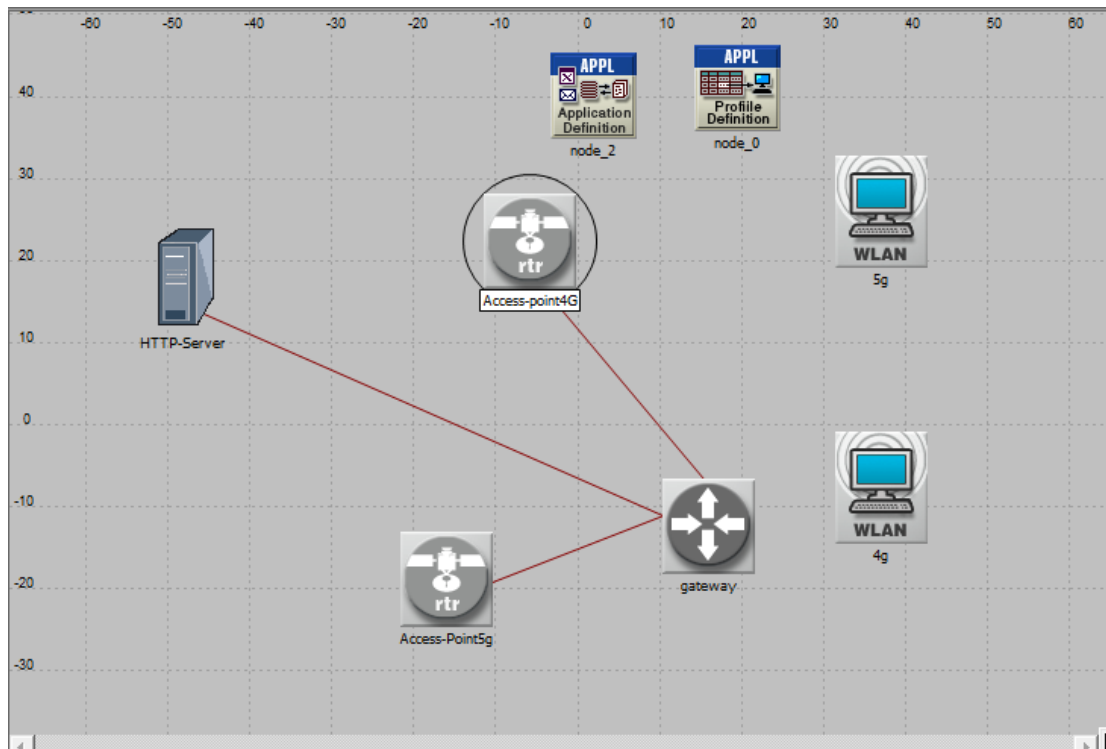
θέσης ή τα κοινά εξωτερικά τερματικά με δεδομένη θέση μπορούν να καθορίσουν τη θέση των τερματικών που να τοποθετηθούν και να υποστηρίξουν την εσωτερική τοποθέτηση σε δίκτυα 5G με χαμηλό κόστος

5 Προσομοίωση

Για την προσομοίωση των συστημάτων 4g και 5g χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα προσομοίωσης Riverbed Modeler (OPNET). Το πρόγραμμα αυτό προσφέρει ένα εικονικό περιβάλλον όπου μπορεί ο χρήστης να προσομοιώσει υποδομές δικτύων χρησιμοποιώντας διάφορες δικτυακές τεχνολογίες, όπως servers, hubs, switch, routers, αλλά και γνωστά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως το RIP, TCP κ.α.

Εδώ χρησιμοποιήθηκε η έκδοση IT GURU Academic Edition. Η συγκεκριμένη έκδοση του OPNET αποτελεί ένα εξειδικευμένο ακαδημαϊκό εργαλείο στο χώρο των επικοινωνιών, που προσφέρει τη δυνατότητα με τη βοήθεια ενός γραφικού περιβάλλοντος να μοντελοποιηθούν και να προσομοιωθούν διάφορα είδη δικτύων.

5.1 Σενάριο 1 : Σύγκριση 4G-5G σε αποστολή μεγάλου αρχείου

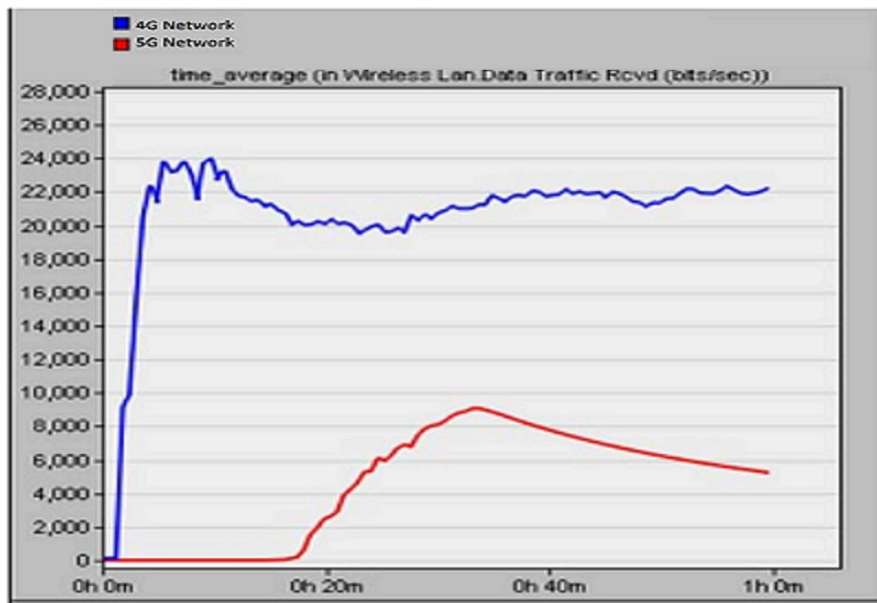


Σχήμα 1: Τοπολογία

Το παραπάνω περιβάλλον περιλαμβάνει έναν εξυπηρετητή(server) στον οποίο γίνεται η αίτηση για την λήψη του αρχείου, ο οποίος επικοινωνεί ενσύρματα με την gateway(πύλη) με την οποία συνδέονται τα 2 σημεία πρόσβασης(access point). Με αυτά τα σημεία επικοινωνούν αντίστοιχα οι συσκευές 4G και 5G.

Διαγράμματα:

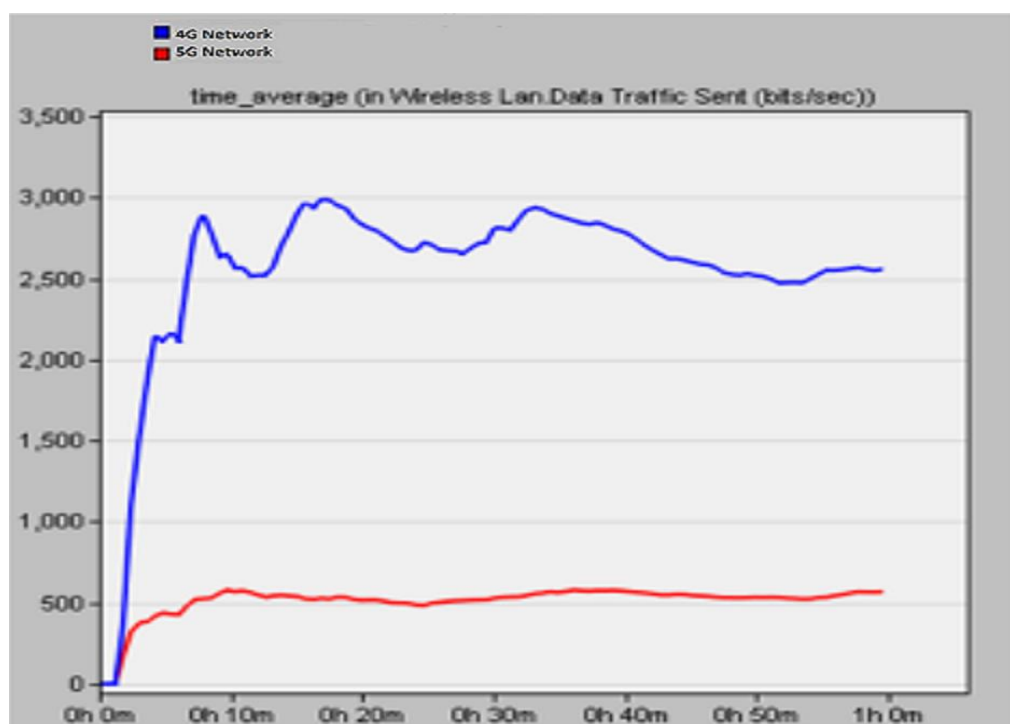
1)Data Traffic Received



Διάγραμμα 1: Κυκλοφορία λήψης δεδομένων

Το παραπάνω διάγραμμα μας δείχνει το data traffic received του συστήματος για το 4G και για το 5G δίκτυο. Το διάγραμμα αυτό απεικονίζει το ποσό των δεδομένων που περιμένουν στην ουρά για να φορτωθούν από τις συσκευές στο ίδιο χρονικό διάστημα (1 ώρας). Παρατηρούμε ότι το σύστημα 5G παρουσιάζει μηδενική συμφόρηση στην αρχή και ελάχιστη αργότερα σε αντίθεση με το 4G δίκτυο. Οπότε αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στο δίκτυο 5G η ταχύτητα φόρτωσης είναι μεγαλύτερη από ότι στο 4G.

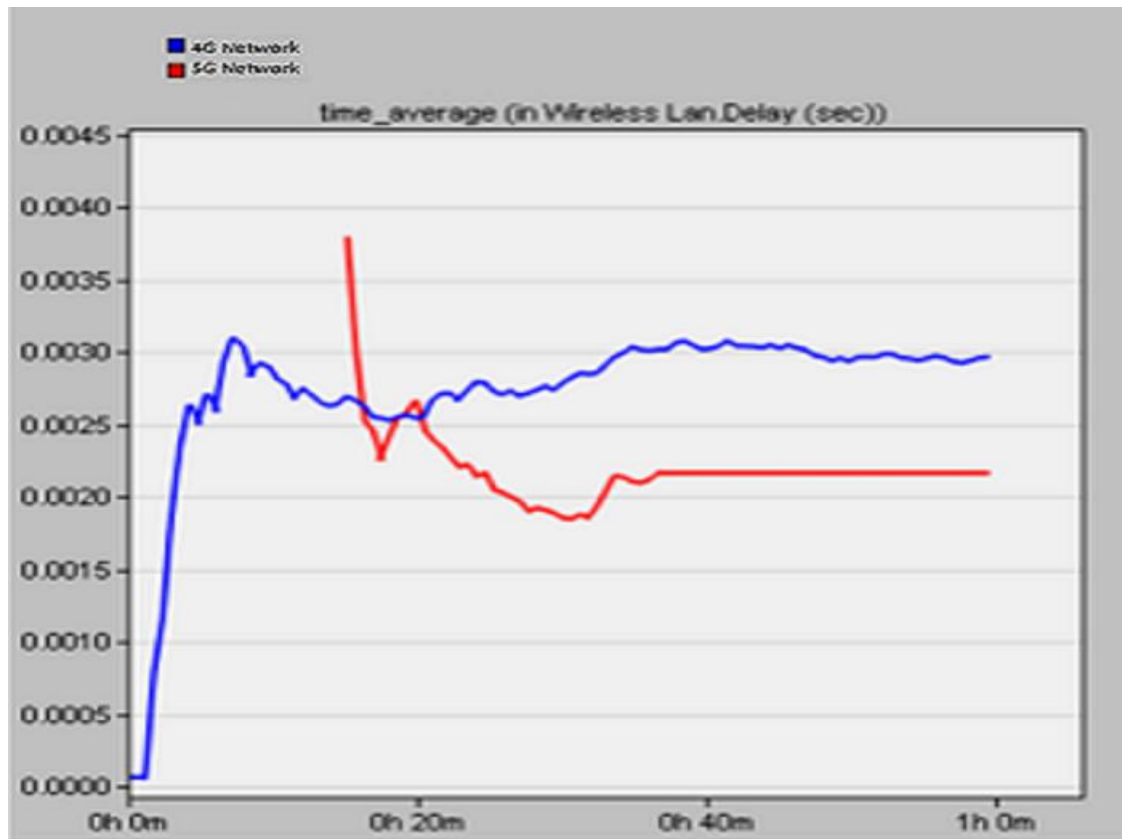
2)Data Traffic Sent



Διάγραμμα 2: Κυκλοφορίας αποστολή δεδομένων

Η ίδια παρατήρηση με πριν γίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα που απεικονίζει αυτή την φορά την συμφόρηση στην αποστολή δεδομένων (data traffic sent) που πάλι στο σύστημα 4G είναι υψηλότερη.

3)Delay

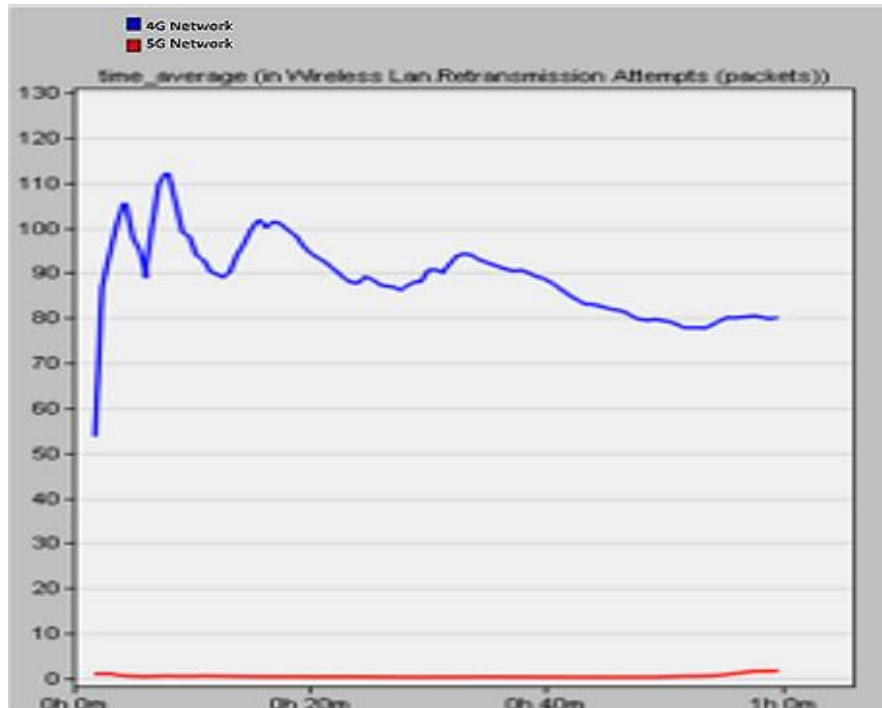


Διάγραμμα 3:Καθυστέρησης

Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα καθυστέρησης και όπως αναλύσαμε και προηγουμένως παρατηρούμε αρχικά ότι το σύστημα 5G δεν εμφανίζει καθόλου καθυστέρηση και αργότερα εμφανίζει (στο 20^ο λεπτό περίπου) αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με το 4G αλλά ύστερα μειώνεται και παραμένει σταθερή μέχρι το τέλος.

Αντιθέτως το σύστημα 4G εμφανίζει αρχικώς μια απότομη καθυστέρηση η οποία στην συνέχεια μειώνεται και παραμένει σταθερή μέχρι το τέλος.

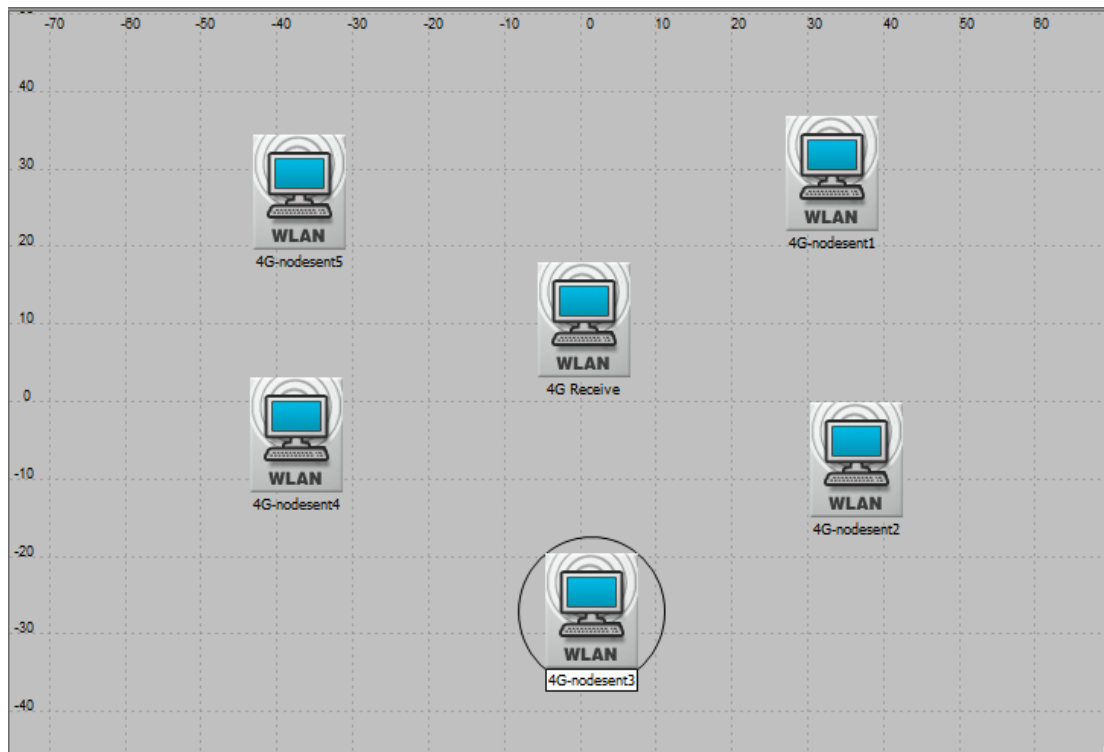
4)Retransmission Attempts



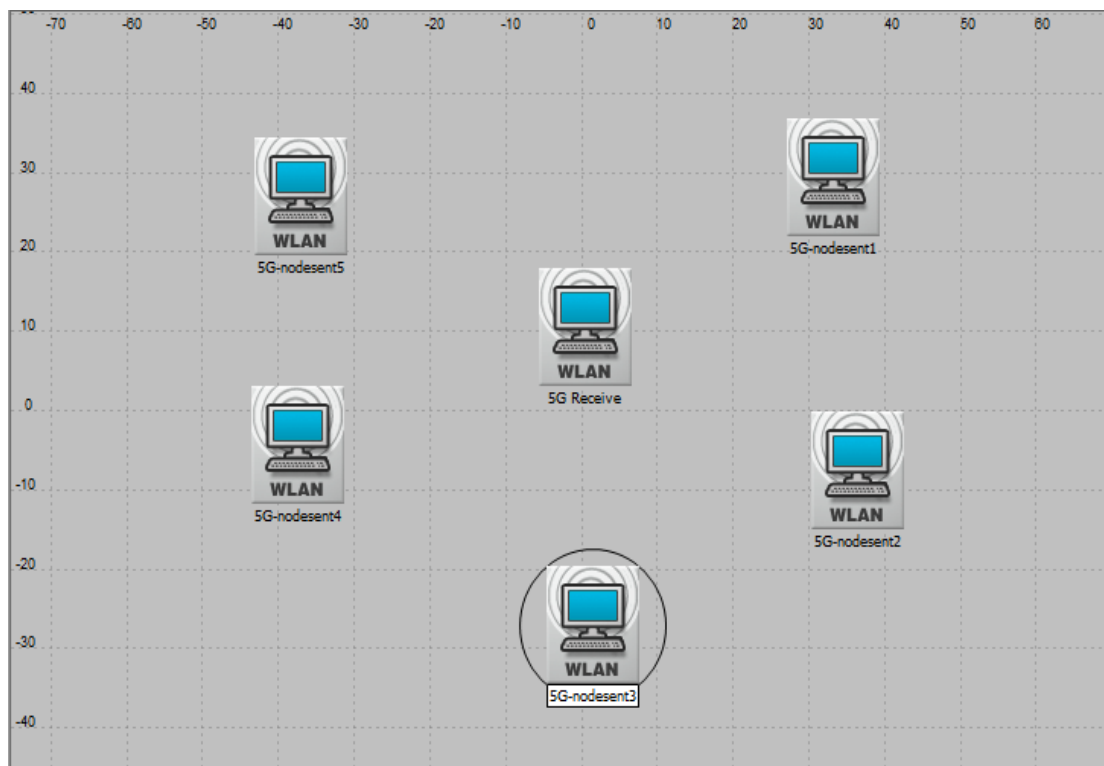
Διάγραμμα 4: Προσπάθειες αναμετάδοσης

Ενα μεγάλο πλεονέκτημα που μπορεί να προσφέρει ένα δίκτυο 5G σε σχέση με ένα 4G και απεικονίζεται επακριβώς στο παραπάνω διάγραμμα είναι η μικρή πιθανότητα αναμετάδοσης του πακέτου(retransmission attempts package). Αυτό σημαίνει ότι οι συσκευές 5G αποδίδουν καλύτερα καθώς έλαβαν γρήγορα το πακέτο και δεν χρειάστηκε αναμετάδοση, κάνοντας το σύστημα πιο αποτελεσματικό αφού δεν παρουσιάζεται υπερφόρτωση.

5.2 Σενάριο 2: Λήψη και Αποστολή δεδομένων σε 4G και 5G δικτύων



Σχήμα 2: Τοπολογία 4G Συσκευών

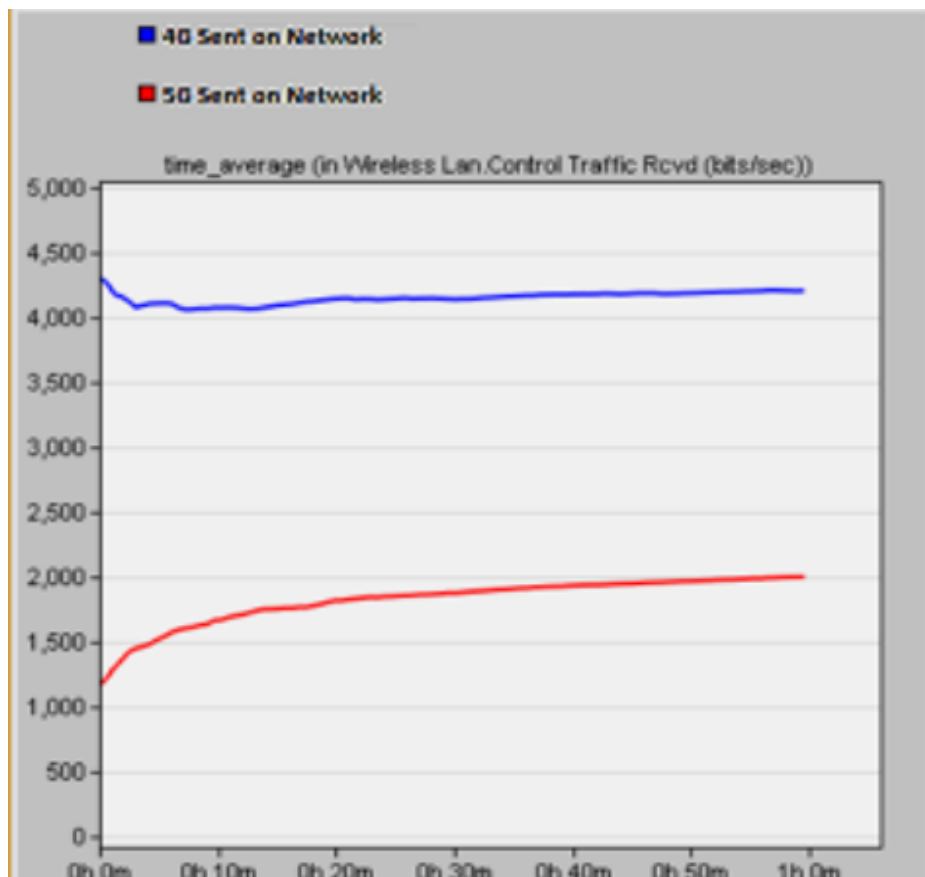


Σχήμα 3: Τοπολογία 5G Συσκευών

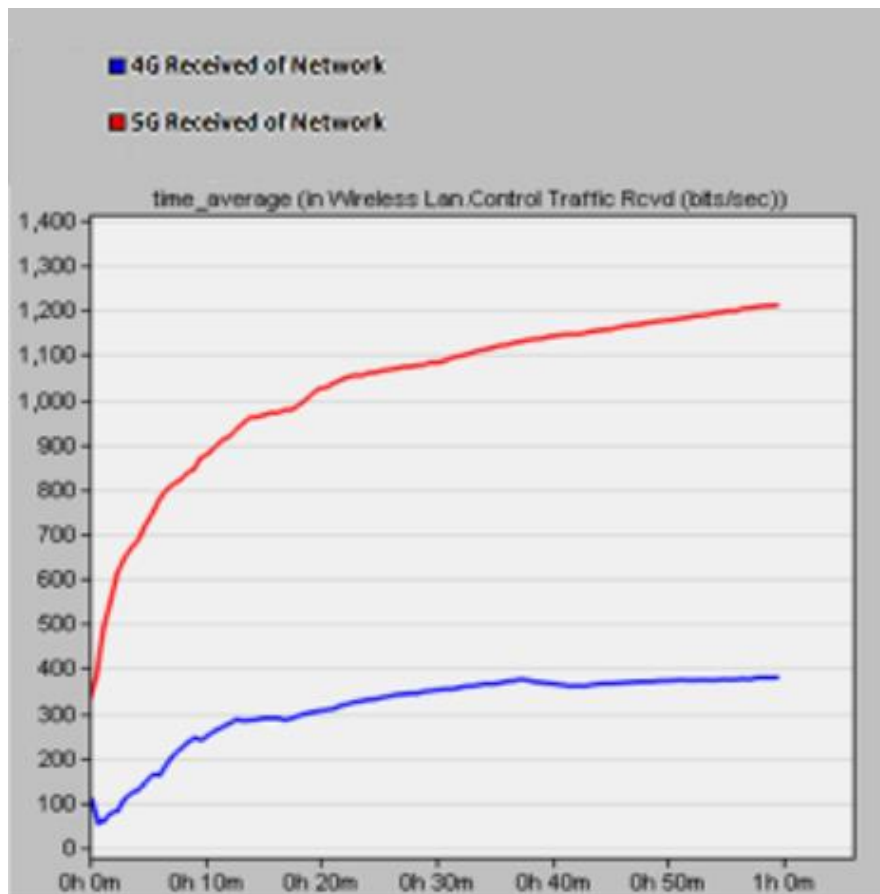
Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

Τα παραπάνω περιβάλλοντα απεικονίζουν ένα δίκτυο 4G συσκευών(nodesenders) που στέλνουν δεδομένα σε μια 4G συσκευή(receiver) στην 1^η εικόνα, και αντίστοιχα ένα δίκτυο 5G συσκευών που στέλνουν δεδομένα σε μια 5G συσκευή στην 2^η εικόνα.

1)Data Traffic Download Diagrams



Διάγραμμα 5: Κυκλοφορία λήψης δεδομένων αποσταλλέντων

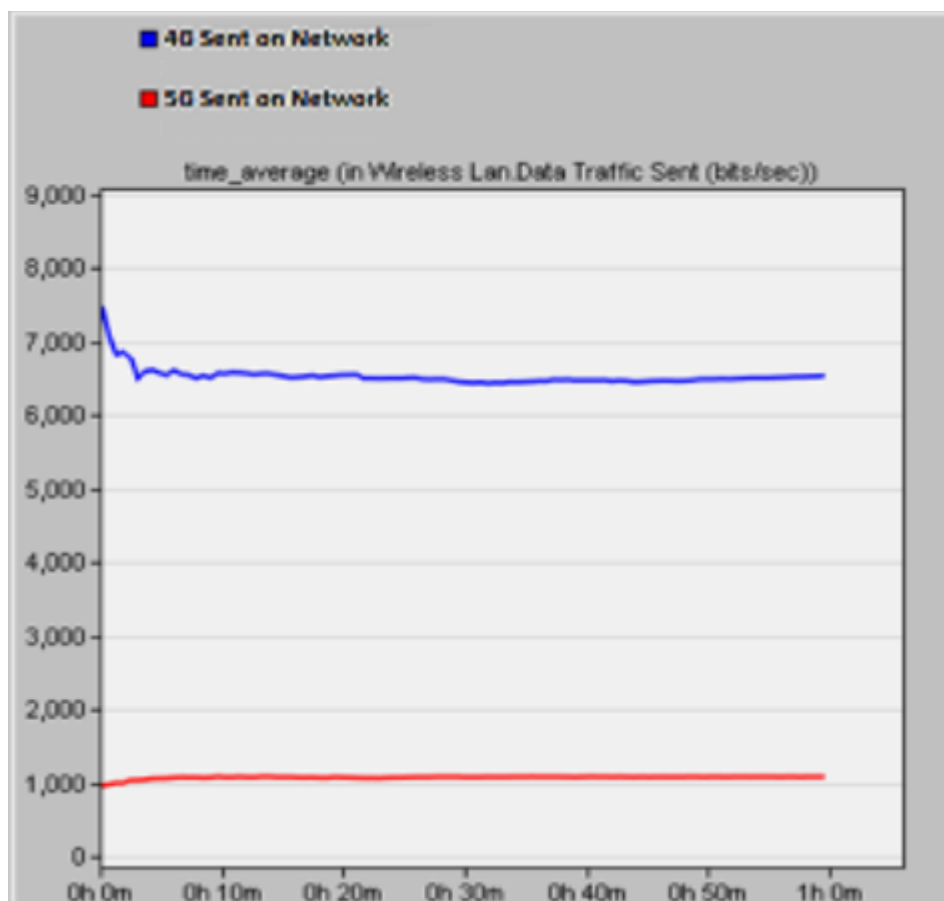


Διάγραμμα 6: Κυκλοφορία λήψης δεδομένων παραληπτών

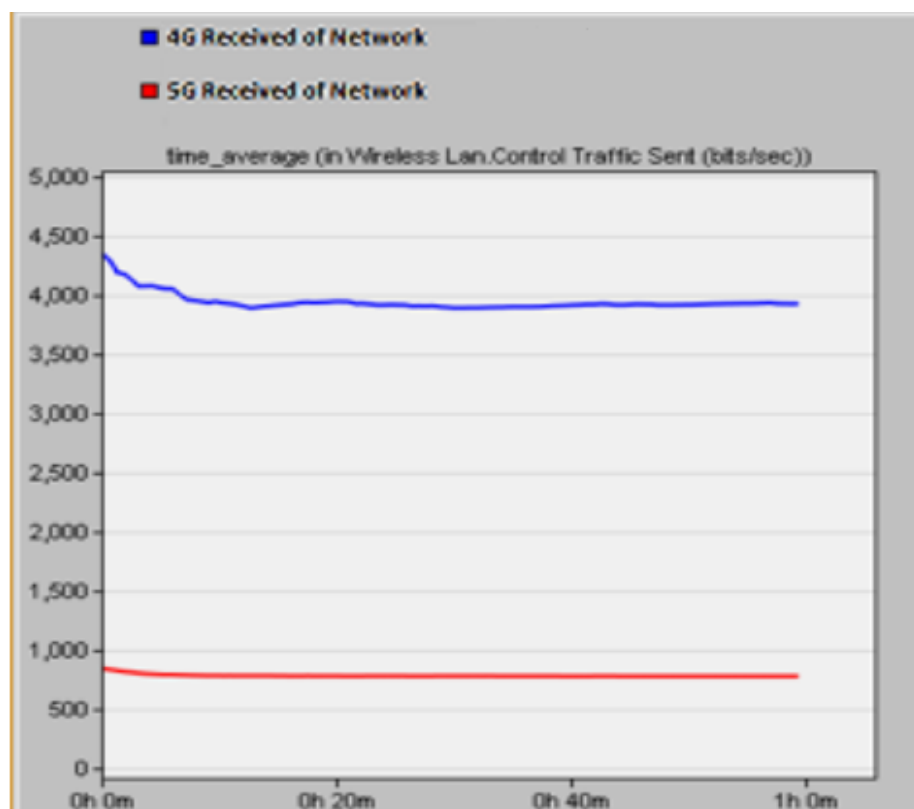
Στο 1^ο διάγραμμα έχουμε την κυκλοφορία λήψης δεδομένων των αποστολών και παρατηρούμε ότι το δίκτυο 4G είναι υψηλότερη σε σχέση με το δίκτυο 5G, καθώς όπως θα δούμε και αργότερα η μεγαλύτερη καθυστέρηση του 4G δικτύου το αναγκάζει να κινείται σε υψηλότερους ρυθμούς όσον αφορά την αποστολή δεδομένων. Παρόλα αυτά και στις 2 περιπτώσεις σταθεροποιείται γρήγορα στο 4G με μια μικρή μείωση της απόδοσης, στο 5G με μια μικρή αύξηση.

Στο επόμενο διάγραμμα έχουμε την απεικόνιση της κυκλοφορίας λήψης δεδομένων των παραληπτών. Στο δίκτυο 5G είναι υψηλότερη και αυξάνεται ραγδαία καθώς οι παραλήπτες ανταποκρίνονται καλύτερα και λαμβάνουν με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα τα δεδομένα σε σχέση με το δίκτυο 4G, που όπως βλέπουμε έχει μια μικρή μείωση στην αρχή και αργότερα αυξάνεται ώπου σταθεροποιείται.

2)Data Traffic Upload Diagrams



Διάγραμμα 7: Κυκλοφορία αποστολής δεδομένων αποστολλέντων

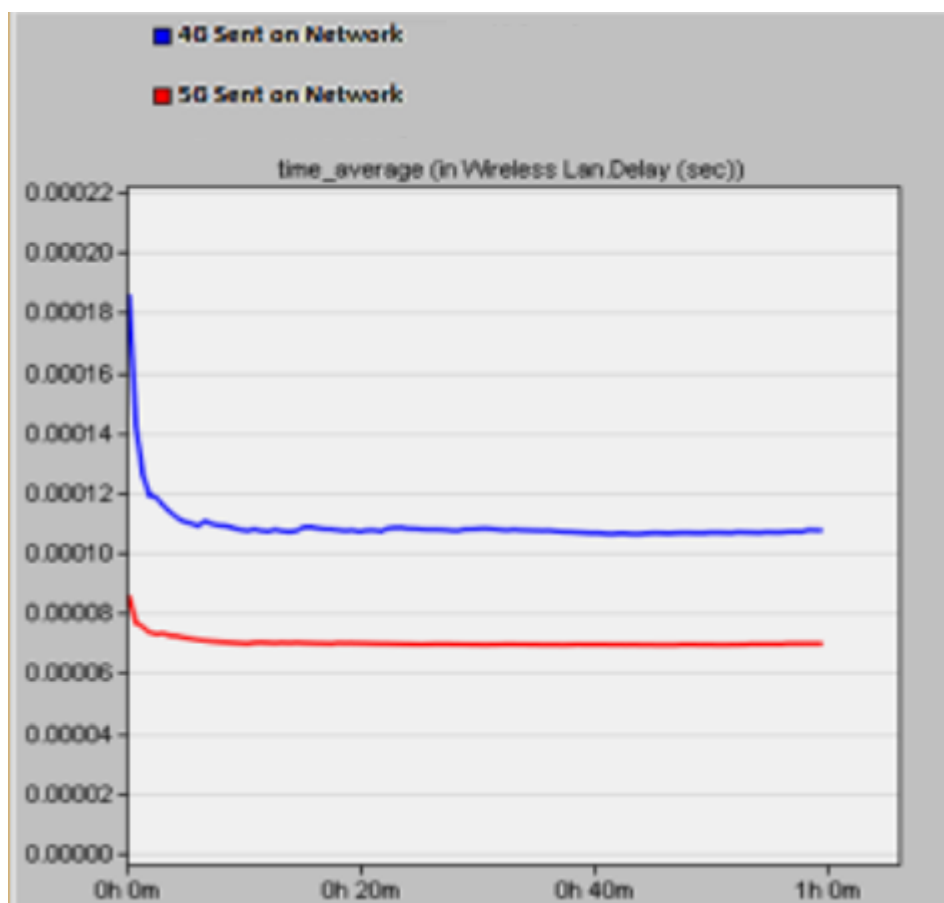


Διάγραμμα 8: Κυκλοφορία αποστολής δεδομένων παραληπτών

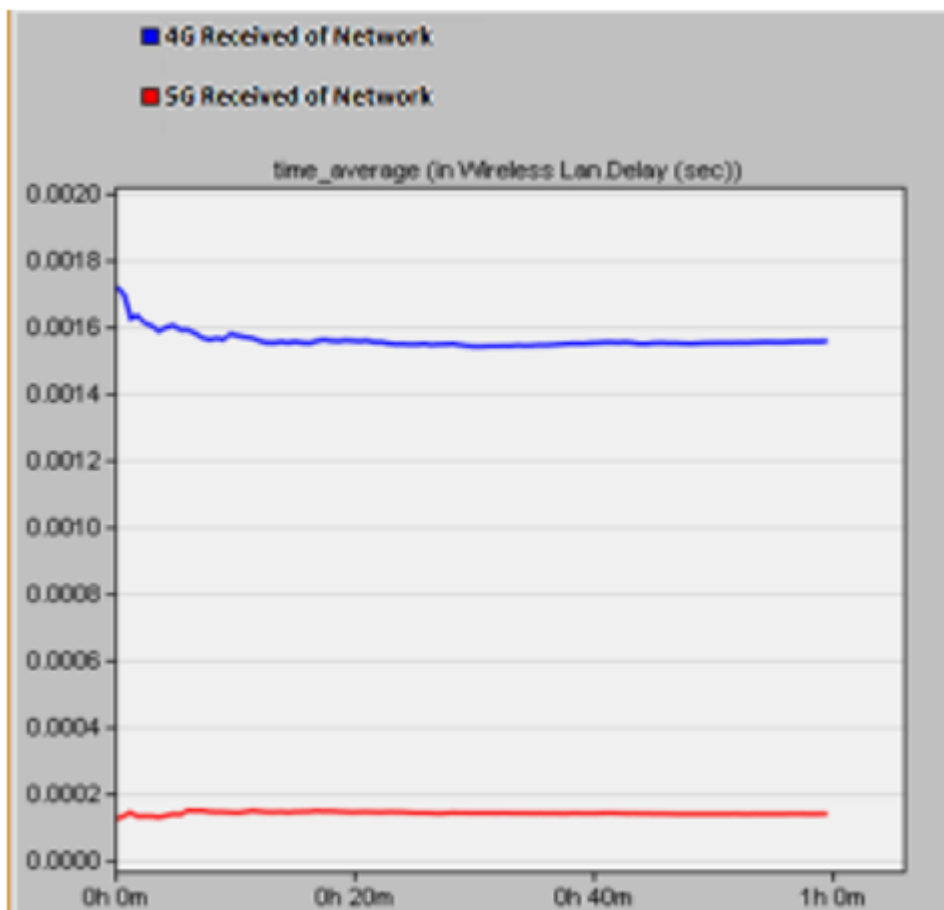
Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

Στα 2 αυτά διαγράμματα παρατηρούμε ότι η κυκλοφορία αποστολής δεδομένων τόσο του παραλήπτη όσο και των αποστολέων είναι μεγαλύτερη στο δίκτυο 4G, το οποίο παρουσιάζει μια ελαφριά μείωση στην αρχή, αλλά αργότερα σταθεροποιείται. Από την άλλη το δίκτυο 5G παραμένει σε χαμηλότερα επίπεδα και σταθερό κάτι που σημαίνει ότι είναι πιο αποτελεσματικό καθώς δεν επιφέρει φόρτο στο δίκτυο.

3)Delay Diagrams



Διάγραμμα 9: Καθυστερήσης αποσταλλέντων

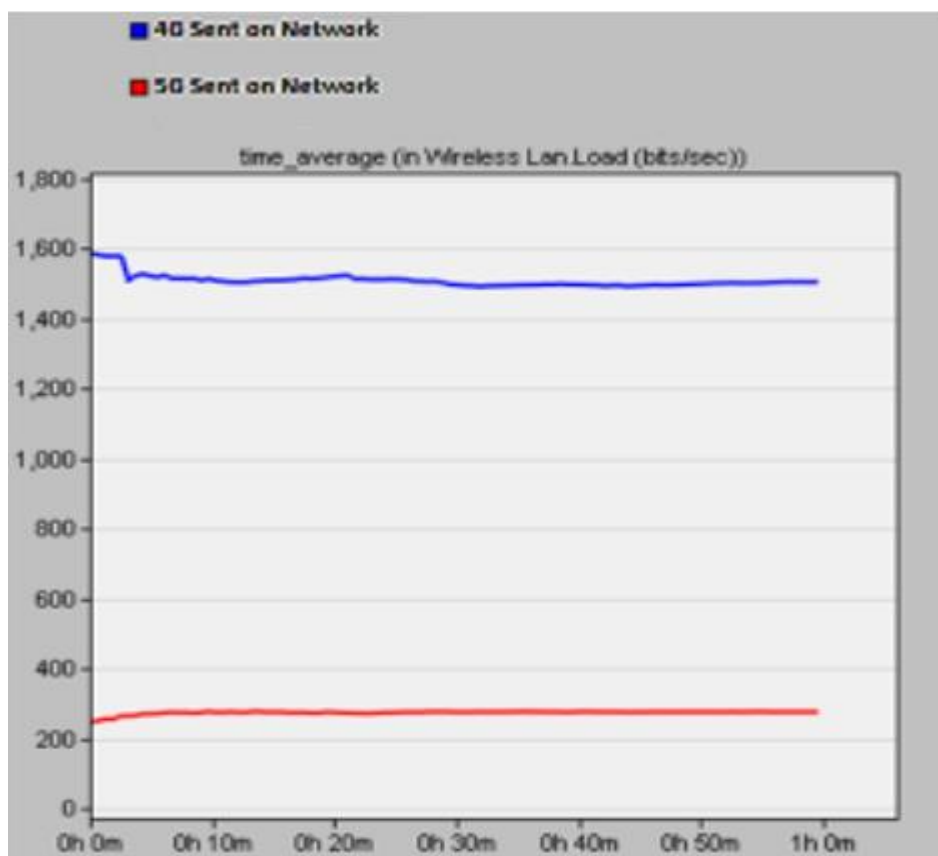


Διάγραμμα 10: καθυστέρηση παραληπτών

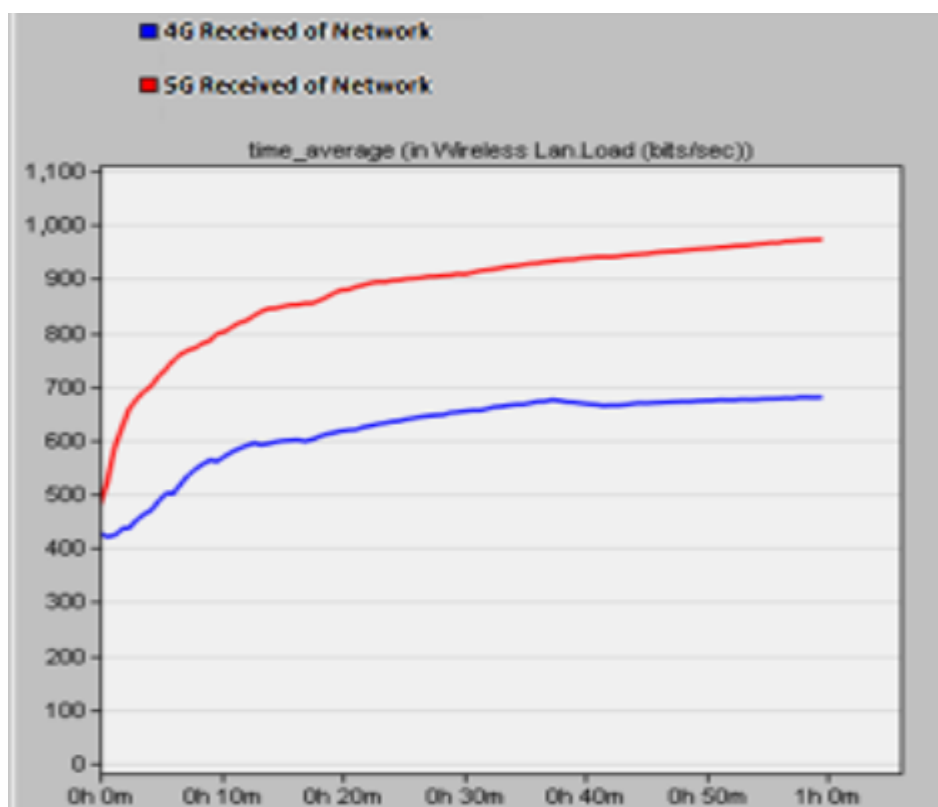
Η καθυστέρηση των δικτύων όπως παρατηρούμε στα διαγράμματα τόσο του παραλήπτη όσο και των αποστολέων, είναι υψηλότερη στο δίκτυο 4G, και όπως παρατηρούμε στην αρχή είναι πολύ υψηλή και ύστερα μειώνεται και παραμένει σταθερή. Σε αντίθεση με το δίκτυο 5G που παραμένει και στις 2 περιπτώσεις σταθερή εκτός από μια ελαφρά μείωση στους αποστολείς.

Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο 4G είναι πιο αργό και προσφέρει χαμηλότερες ταχύτητες και μεγαλύτερη καθυστέρηση σε σχέση με ένα 5G δίκτυο.

4)Data Traffic (Load) Diagrams



Διάγραμμα 11: Φόρτου δικτύου αποστολλέντων



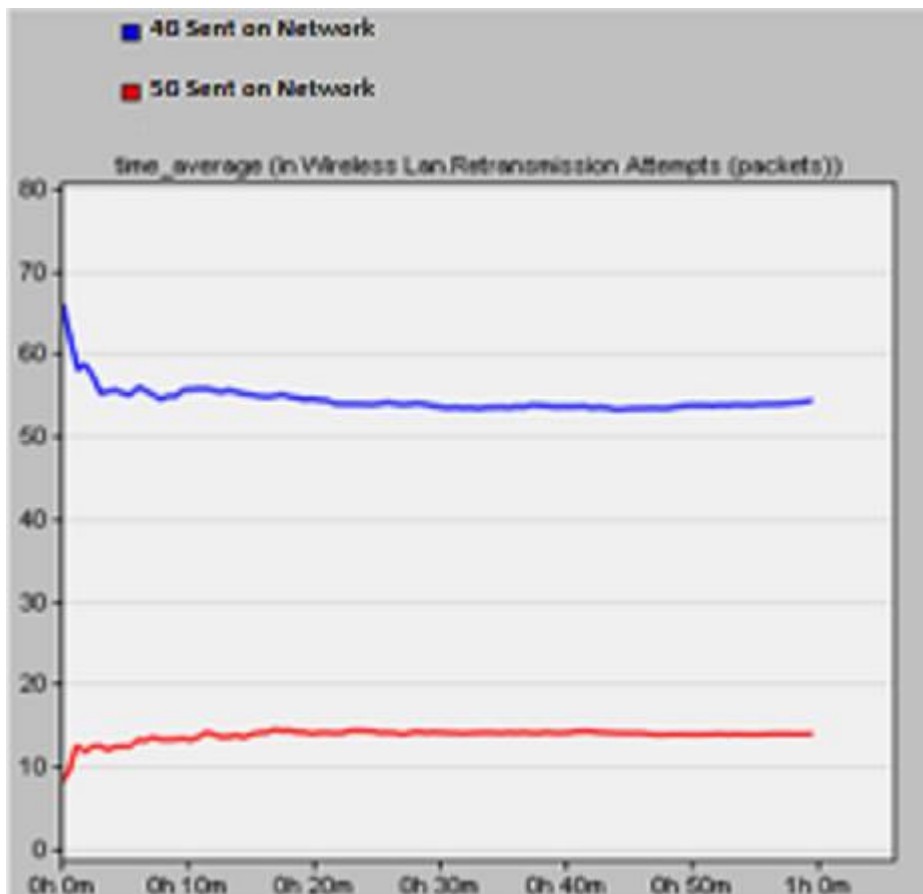
Διάγραμμα 12: Φόρτου δικτύου παραληπτών

Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

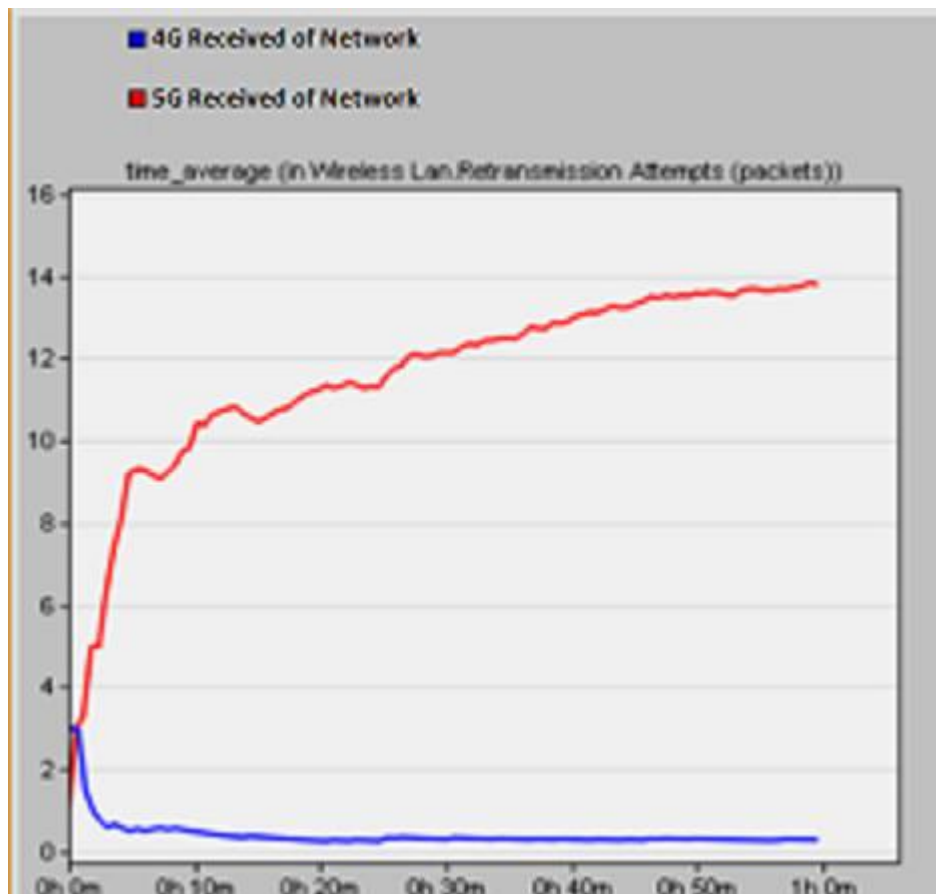
Στο 1^ο διάγραμμα παρατηρούμε ότι το σύστημα 4G στον φόρτο των αποστολών είναι αρκετά υψηλότερο σε σχέση με τον φόρτο των αποστολών στο δίκτυο 5G. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο 4G παρουσιάζει μεγαλύτερη καθυστέρηση και το σύστημα φορτώνεται περισσότερο σε αντίθεση με το δίκτυο 5G

Στο 2^ο διάγραμμα παρατηρούμε ότι ο φόρτος του παραλήπτη στο 5G είναι υψηλότερος από τον φόρτο του δικτύου 4G και ότι και στις 2 περιπτώσεις παρατηρείται μια απότομη αύξηση και ύστερα σταθεροποίηση. Η αιτιολόγηση για αυτό το αποτέλεσμα είναι ότι οι ταχύτητες είναι υψηλότερες στο 5G δίκτυο με αποτέλεσμα να λαμβάνεται μεγαλύτερος φόρτος στο σύστημα αυτό, παρόλα αυτά όπως προαναφέρθηκε η καθυστέρηση είναι χαμηλότερη στο δίκτυο 5G.

5)Retransmission Attempts Diagrams



Διάγραμμα 13: Προσπάθειες αναμετάδοσης αποστολλέντων

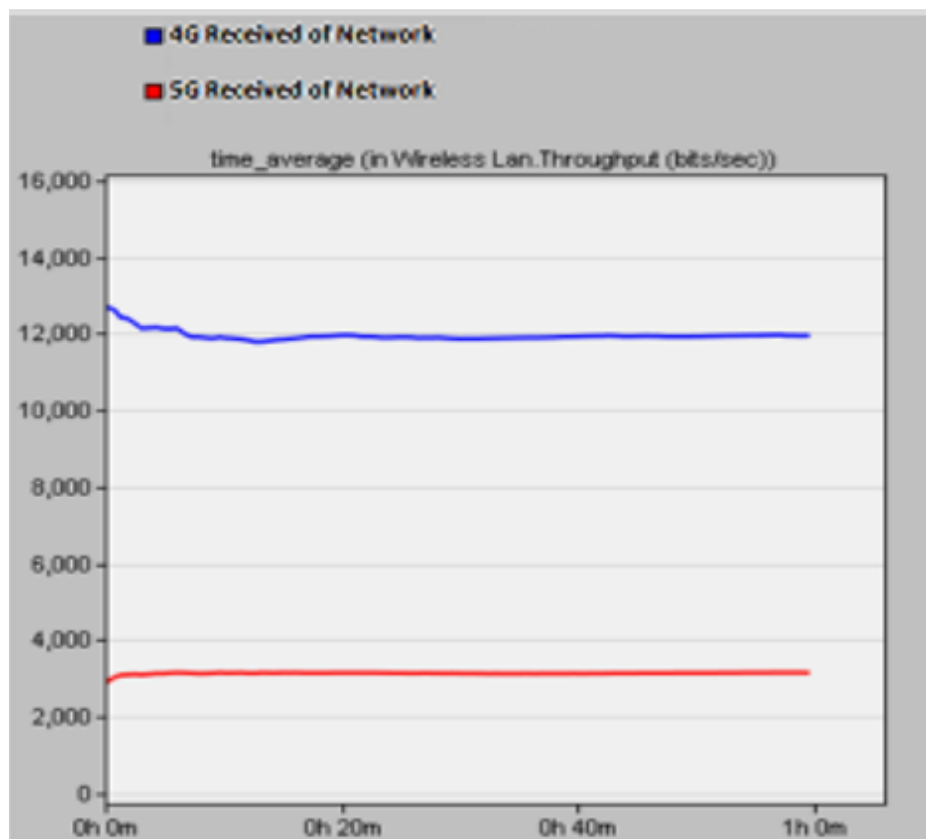


Διάγραμμα 14: Προσπάθειες αναμετάδοσης παραληπτών

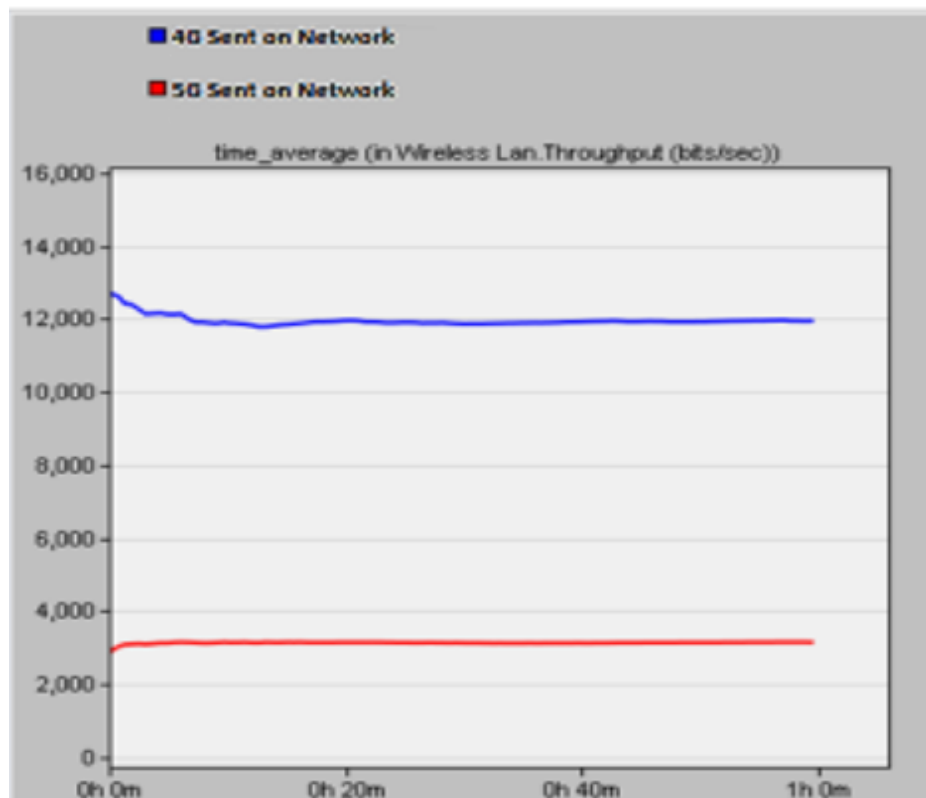
Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι στην περίπτωση των αποστολέων οι προσπάθειες αναμετάδοσης είναι πολύ υψηλότερες στο δίκτυο 4G από ότι στο δίκτυο 5G. Επίσης στην περίπτωση του 4G δικτύου παρατηρείται αρχικά μια μείωση ενώ στο 5G μια μικρή αύξηση και έπειτα μια σταθερότητα και στις 2 περιπτώσεις. Ο κύριος λόγος που παρατηρείται αυτή η τόσο μεγάλη διαφορά μεταξύ των 2 δικτύων είναι ότι το 5G συστήματα ανταποκρίνονται γρηγορότερα και έχουν λιγότερο φόρτο άρα δεν χρειάζονται πολλές προσπάθειες αναμετάδοσης κάτι που δεν ισχύει με το χαμηλότερης ταχύτητας 4G δικτύου.

Στο 2^ο διάγραμμα έχουμε την προσπάθειες αναμετάδοσης του παραλήπτη αυτή την φορά που στην περίπτωση του 5G, παρατηρείται ότι ενώ αρχικά είναι λιγότερες από αυτές του 4G δικτύου στην συνέχεια αυξάνεται ραγδαία, ενώ του 4G μειώνεται και παραμένει σταθερή σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

6)Throughput Diagrams



Διάγραμμα 15: Διεκπεραιωτικότητα παραληπτών



Διάγραμμα 16: Διεκπεραιωτικότητα αποστολλέντων

Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

Τέλος παρατηρούμε ότι η διεκπεραιωτικότητα των δικτύων τόσο του παραλήπτη όσο και των αποστολέων είναι υψηλότερη στην περίπτωση του 4G, καθώς όπως προαναφέρθηκε η μεγαλύτερη καθυστέρηση του δικτύου το ωθεί να τρέχει σε υψηλότερους ρυθμούς, φορτώνοντας το σύστημα. Αντιθέτως το σύστημα 5G παρουσιάζει μια χαμηλή και σταθερή διεκπεραιωτικότητα κάνοντας το πιο αποτελεσματικό και γρήγορο.

6 Συμπέρασμα

Σύμφωνα με όλα αυτά τα δεδομένα αλλά και τις προσομοιώσεις φαίνεται ότι η 5^η γενιά κινητών επικοινωνιών είναι μια καινούργια πρόκληση η οποία θα αλλάξει σε καθοριστικό ρυθμό την καθημερινότητα των ανθρώπων άλλα και την δικτύωση του σε τέτοιο βαθμό που οι προηγούμενες τεχνολογίες δεν είχαν καταφέρει τόσο καλά.

Είναι γεγονός πως εισερχόμαστε σε μια νέα γενιά τηλεπικοινωνιών πιο διαδραστική με μεγαλύτερες ταχύτητες αλλά και μεγαλύτερη επίδραση στην καθημερινότητα.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Andrew S. Tanenbaum "Computer Networks"s.5,2011
2. Pfleeger "Security in Computing" s.l.: Prentice Hall, 1997
3. Johnson,D.B.,Maltz,D.,Broch, J, "DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless AdHoc Networks", Ad Hoc Networking, Boston:Addison-Wesley,,2001
4. James Dean, "4G vs 5G mobile technology"2014.
5. Advanced 5G Network Infrastructure for the Future Internet Public Private Partnership in Horizon 2020, "Creating a Smart Ubiquitous Network for the Future Internet", 2013.
6. Nicola Bui, Matteo Cesana, S. Amir Hosseini, Qi Liao, Ilaria Malanchi-ni, Joerg Widmer, "Anticipatory Networking in Future Generation Mo-bile Networks: a Survey", 2016
7. Majeed Ahmad, "4G and 5G wireless: How they are alike and how they differ" 2015
8. Παπαδάκης Χρυσοβαλάντης Εμμανουήλ, "ΑσύρματαΔίκτυα LTE: Αξιολόγηση Επίδοσης Κατερχόμενης Ζεύξης" 2013.
9. Anass Benjebbour, Keisuke Saito, Yuya Saito, Yoshihisa Kishiyama, NTT DOCOMO Technical Journal, "5G Radio Access Technology" ,2016
10. Adebayo Emmanuel Abejide, "Performance Analysis of an LTE-4G Net-work Running Multimedia Applications", 2014.
11. <http://searchtelecom.techtarget.com/definition/3G>
12. <https://www.engineersgarage.com/articles/what-is-3g-technology-specifications?page=5>
13. <http://searchtelecom.techtarget.com/definition/3G>
14. <https://www.online-sciences.com/technology/3g-technology-third-generation-technology-features-and-applications/>
15. <https://trackimo.com/what-is-3g-technology/>
16. <https://www.online-sciences.com/technology/3g-technology-third-generation-technology-advantages-and-disadvantages>
17. <https://www.4g.co.uk/how-fast-is-4g/>
18. <http://whatis.techtarget.com/definition/5G>
19. <https://www.lifewire.com/5g-vs-4g-4156322>
20. <http://freewimaxinfo.com/5g-technology.html>
21. <https://www.wisdomjobs.com/e-university/5g-tutorial-2183/5g-architecture-24941.html>
22. http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1930-sys_architecture
23. <https://www.rfpage.com/applications-5g-technology/>

Αξιολόγηση επίδοσης 5G-D2D και σύγκριση με συστήματα 4G/ Μαντζάκος Σωκράτης

24. <https://sites.google.com/site/sanaeeg473/wimax-architecture>
25. <https://fmfi-uk.hq.sk/Informatika/Distribuvane%20Systemy/knihy/ICN/ch2s7.htm>
26. <http://www.itu.int/osg/spuold/ni/3G/technology/index.html>