



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ 5G & 6G ΚΑΙ ΤΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ NS3**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΜΠΟΛΟΜΥΤΗ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

(ΑΕΜ: 2770)

Επιβλέπων : Δημήτριος Βέργαδος
Επίκουρος Καθηγητής

Καστοριά 2023

Η παρούσα σελίδα σκοπίμως παραμένει λευκή

Περίληψη

Στην εργασία που ακολουθεί θα αναφερθούμε στις απαιτήσεις αλλά και προκλήσεις των δικτύων κινητής τηλεφωνίας στις μέρες μας. Θα ανακαλύψουμε όλες τις γενιές δικτύων κινητής τηλεφωνίας καθώς και τις τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν παράλληλα με αυτές. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα δίκτυα 5G και 6G καθώς και στον τρόπο και τα πρότυπα λειτουργίας τους. Θα γίνει ανάλυση σε βάθος της πέμπτης γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας και των τεχνολογιών που αναπτύχθηκαν. Θα παρουσιάσουμε προτάσεις και αναλύσεις της μελλοντικής γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας 6G. Συγκρίνουμε τεχνολογίες του παρελθόντος με αυτές του παρόντος και του μέλλοντος. Ανακαλύπτουμε και πειραματιζόμαστε επίσης στα δίκτυα, με σημαντικό εργαλείο τον προσομοιωτή δικτύων NS3, όπου στο τέλος θα προσομοιάσουμε σενάριο δικτύου.

Abstract

In the work that follows we will refer to the requirements and challenges of mobile networks today. We will discover all the generations of mobile networks as well as the technologies that developed alongside them. Particular emphasis is placed on 5G and 6G networks as well as their mode of operation and standards. There will be an in-depth analysis of the fifth generation of mobile networks and the technologies that have been developed. We will present proposals and analyzes of the future generation of 6G mobile networks. We compare technologies of the past with those of the present and the future. We also explore and experiment in networks, with an important tool being the NS3 network simulator, where at the end we will simulate a network scenario.

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Ιστορική Αναδρομή και Δίκτυο.....	12
1.1. Επικοινωνία και Άνθρωπος.....	13
1.2. Το Διαδίκτυο και η Εξάπλωσή του.....	15
1.2.1. Το Διαδίκτυο στις μέρες μας.....	17
1.2.2. Τεχνολογική “Κούρσα”.....	18
1.3 Το Δίκτυο.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Δίκτυα και οι κατηγορίες τους.....	22
2.1. Δίκτυα.....	23
2.2. Ενσύρματα δίκτυα.....	24
2.3. Ασύρματα δίκτυα.....	26
2.3.1. Κινητή τηλεφωνία.....	27
2.3.2. Κυψελοειδή Συστήματα.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Οι Γενιές των Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας.....	31
3.1. 1η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (1G).....	32
3.2. 2η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (2G).....	34
3.3. 2.5 Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (2.5G).....	36
3.4. 2.75 Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (2.75G).....	37
3.5. 3η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (3G).....	38
3.6. 3.5 Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (3.5G).....	40
3.7. 3.75 Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (3.75G).....	41
3.8. 4η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (4G).....	42

3.9. 5η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (5G).....	44
3.10. 6η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (6G).....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Το Δίκτυο 5G.....	47
4.1. Περιγραφή.....	48
4.2. Χαρακτηριστικά.....	49
4.2.1. Το Μοντέλο METIS.....	50
4.2.2 Οι Τοπολογίες RAN.....	52
4.3. Αρχιτεκτονικές 5G Fronthaul & Backhaul.....	57
4.3.1. BACKHAUL.....	59
4.3.2. FRONTHAUL.....	62
4.3.3. 5G-CROSHAUL.....	64
4.4. 5G Οπτική Ασύρματη Επικοινωνία.....	66
4.4.1. Τα Οπτικά Δίκτυα.....	70
4.5. Σταθερή Πρόσβαση 5G.....	72
4.6. Μικροκυμματική ζώνη mmWave.....	77
4.7. Αρχιτεκτονικές NFV & SDN.....	80
4.7.1. Αρχιτεκτονική NFV.....	80
4.7.2. Αρχιτεκτονική SDN.....	83
4.7.3. Ο Συνδυασμός NFV & SDN.....	86
4.8. 5G-PPP.....	87
4.9. Το Δίκτυο 5G στην Ελλάδα.....	89
4.10. Οι εφαρμογές του Δικτύου 5G.....	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Το Δίκτυο 6G	92
5.1. Χαρακτηριστικά.....	95
5.2. Ταχύτητες 6G.....	97
5.3. Συχνότητα των νέων κυμάτων.....	97
5.4. Τεχνητή νοημοσύνη και υπολογιστές αιχμής.....	99
5.5. Αναδυόμενες Τεχνολογίες.....	100
5.6. Νέοι Στόχοι.....	101
5.7. Αρχιτεκτονική 6G.....	102
5.8. Έρευνα και Ανάπτυξη 6G.....	105
5.9. Σύγκριση Δικτύων 5G&6G.....	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Το Περιβάλλον NS3	109
6.1. Τι είναι το NS3.....	110
6.2. Χαρακτηριστικά.....	112
6.3. Η Ιστορία του NS.....	113
6.4. Σχεδιασμός.....	114
6.5. Λειτουργία.....	115
6.5.1. Ροή εργασιών προσομοίωσης.....	116
6.5.2 Προσομοίωση προγράμματος NS3.....	119
Συμπεράσματα.....	127
Βιβλιογραφία.....	129

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Αρχαίος Έλληνας αγγελιοφόρος.....	14
Εικόνα 2. Παγκόσμιος ιστός, Internet.....	16
Εικόνα 3. Δομημένη και Αδόμητη τοπολογία.....	20
Εικόνα 4. Κινητή τηλεφωνία.....	28
Εικόνα 5. Σχέδιο κυψελωτών συστημάτων.....	30
Εικόνα 6. Πομποί αναλογικού σήματος.....	33
Εικόνα 7. Δίκτυο 3G.....	39
Εικόνα 8. Δίκτυο 4G.....	42
Εικόνα 9. Τεχνολογία 4G LTE.....	43
Εικόνα 10. Το δίκτυο 5G.....	48
Εικόνα 11. Τοπολογίες RAN: (a) Full Mesh Topology (b) Ring Topology (c) Star Topology.....	55
Εικόνα 12. Αρχιτεκτονικές Backhaul και Fronthaul.....	58
Εικόνα 13. Η αρχιτεκτονική Backhaul.....	60
Εικόνα 14. Η αρχιτεκτονική Fronthaul σε συνάρτηση με την Backhaul.....	63
Εικόνα 15. Η αρχιτεκτονική Crosshaul.....	65
Εικόνα 16. Οπτικά ασύρματα δίκτυα.....	68
Εικόνα 17. Σχεδιάγραμμα των τεχνολογιών CWDM & DWDM.....	70
Εικόνα 18. Το φάσμα ζώνης 5G mmWave.....	78
Εικόνα 19. Η διαφορά συχνότητας κυμάτων 4G & 5G mmWave.....	80
Εικόνα 20. Αρχιτεκτονική NFV.....	81
Εικόνα 21. Η αρχιτεκτονική SDN.....	84
Εικόνα 22. Συνδυασμός αρχιτεκτονικών SDN & NFV στο δίκτυο.....	86
Εικόνα 23. 5GPPP.....	87
Εικόνα 24. Το δίκτυο 6G.....	95
Εικόνα 25. Απεικόνιση τεχνητής νοημοσύνης του μέλλοντος.....	100

Εικόνα 26. Αρχιτεκτονική δικτύου 6G.....	105
Εικόνα 27. NS3.....	11

Λέξεις κλειδιά - Key words:

WAN: Wide Area Network

WLAN: Wireless Local Area Network

WMAN: Wireless Metropolitan Area Network

GPON : Gigabit Ethernet passive optical network

XG-PON: 10-Gigabit-capable passive optical network

XGS-PON: 10 Gigabit Symmetrical Passive Optical Network

NG-PON2: Next-Generation Passive Optical Network 2

SDN: Software-defined networking

NFV: Network functions virtualization

AMPS: Advance Mobile Phone System

TACS: Transcranial Alternating Current Stimulation

FDD: Full Duplex Definicion

FM: Frequency Modulation

FDMA: frequency-division multiple access

PDC: Pacific digital cellular

GPRS: General packet radio services

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

3GPP: Third generation partnership project

LTE: Long Term Evolution

5G-PPP: 5G Public orivate partners

WiMax: Worldwide Interoperability for Microwave Access

GSM : Global system for mobile

RAN: Radio access network

C-RAN: cloud radio access network

Gbps: gigadits per second

Mgbps: megabits per second

MIMO: Multiple input multiple output

MmWAVE: millimetre Wavelength

RRUs: remote radio units

ARPANET: Advanced research projects agency network

CDMA: code division multiple access

CERN: Conseil European research nuclear

CPRI: common public radio interface

CWDM: course wavelength division multiplexing

DWDM: dense wavelength division multiplexing

EDGE: enhansted data rates for Global Revolution

ETSI: European telecommunications Standard Institute

8PSK: eight phase shift keying

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1. Σύγκριση γενεών δικτύων κινητής τηλεφωνίας.	36
---	----

Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία θα αναλύσουμε τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και αντικείμενα γύρω από αυτά. Προηγείται ιστορική αναδρομή για την εξ αποστάσεως επικοινωνία του ανθρώπου, την εμφάνιση των πρώτων δικτύων και τέλος του διαδικτύου. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύουμε τα δίκτυα σε ευρύτερο πλαίσιο και τις κατηγορίες τους. Ακολουθεί ανάλυση των γενεών δικτύων κινητής τηλεφωνίας στο παρελθόν, στο παρόν αλλά και στο μέλλον. Στο τέταρτο κεφάλαιο θα αναλύσουμε και θα ανακαλύψουμε την πέμπτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας 5G, ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν αναλύσεις, προτάσεις και προοπτικές της έκκτης και μελλοντικής γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας 6G. Τέλος θα παρουσιαστεί το περιβάλλον προσομοίωσης δικτύων NS3 καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ιστορική αναδρομή και Δίκτυο

1.1 Επικοινωνία και Άνθρωπος

Από τα αρχαία χρόνια η επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων αποτελούσε πολύ σημαντικό παράγοντα για την ζωή και την συμβίωση τους. Από την απαρχή της εμφάνισης του ανθρώπου στον κόσμο, η προσπάθεια για επικοινωνία με τους γύρω του είναι συνεχής. Οι πρώτες μορφές επικοινωνίας ήταν η παραγωγή ήχων αλλά και τα νοήματα με κινήσεις των χεριών. Καθώς όμως οι άνθρωποι συνέχιζαν να εξελίσσονται δημιουργήθηκαν οι πρώτες κοινωνικές ομάδες και ταυτόχρονα και οι πρώτοι κώδικες επικοινωνίας, οι διάλεκτοι και αργότερα σε ευρύτερο βαθμό οι γλώσσες ανά γεωγραφικό χώρο. Με την πάροδο του χρόνου η ανάγκη για εξ αποστάσεως επικοινωνία έγινε πλέον επιτακτική. Σε πρώτη φάση αυτοί που ανέλαβαν τον ρόλο αυτό ήταν οι αγγελιοφόροι, οι οποίοι ουσιαστικά ανέλαβαν την αποστολή μηνυμάτων από περιοχή σε περιοχή. Όσο όμως οι συνθήκες συνέχιζαν να αλλάζουν εμφανίστηκε η ανάγκη για πιο γρήγορη αποστολή των μηνυμάτων. Έτσι πρώτα στον χώρο της Αρχαίας Ελλάδας, έχουμε την σταδιακή αντικατάσταση των αγγελιοφόρων από τα ταχυδρομικά περιστέρια.



Εικόνα 1. Αρχαίος Έλληνας αγγελιοφόρος

Πηγή: <https://www.noesis.edu.gr/noesis-online/wiki-texnologias/telecommunications>

Η εξέλιξη του ανθρώπου συνεχίστηκε με γοργούς αλλά και αλματώδης ρυθμούς. Παράλληλα βέβαια και με τις συνεχείς ανακαλύψεις του κατά την διάρκεια της ιστορίας, ο άνθρωπος κατάφερε να φτάσει την επικοινωνία σε ένα άλλο επίπεδο ξεπερνώντας τα εμπόδια της κάθε εποχής. Αυτό γίνεται ακόμα πιο ορατό με την ανακάλυψη και εμφάνιση του ηλεκτρισμού. Πάρα πολλοί επιστήμονες επί σειρά πολλών ετών μόχθησαν να εκμεταλλευτούν τον ηλεκτρισμό σε διάφορες μορφές του. Όταν εν τέλει το κατάφεραν, έφεραν στο φως ανακαλύψεις οι οποίες έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην ιστορία της ανθρωπότητας και στην μετέπειτα εξέλιξή της. Μία από αυτές τις ανακαλύψεις είναι και αυτή του Γκράχαμ Μπελ το 1876. Η ανακάλυψη αυτή δεν είναι άλλη από το τηλέφωνο, που αποτελεί την πιο χαρακτηριστική μορφή συσκευής που μπορούσε να μεταφέρει την ομιλία και τον ήχο σε μεγάλες αποστάσεις. Η ιστορία της εξέλιξης όμως δε σταματάει εκεί καθώς τα μετέπειτα χρόνια ακολούθησαν τα κινητά τηλέφωνα, τα ασύρματα τηλέφωνα και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές που διευκολύνουν ακόμα πιο πολύ την εξ αποστάσεως επικοινωνία.

1.2 Το Διαδίκτυο και η Εξάπλωσή του

Το διαδίκτυο ξεκίνησε τα πρώτα του βήματα κατά την δεκαετία του 1960 όταν κάποιοι ερευνητές σε πανεπιστήμια των Ηνωμένων Πολιτιών Αμερικής, εργάστηκαν σκληρά για το πώς θα γίνει εφικτή η διασύνδεση υπολογιστών που βρίσκονταν σε διαφορετικές περιοχές. Τελικά το 1969 οι κόποι των ερευνητών απέδωσαν καρπούς. Την εμφάνιση του έκανε τότε, με την συμβολή προγράμματος του Αμερικανικού Πενταγώνου, το δίκτυο ARPANET. Απώτερος σκοπός του προγράμματος ήταν η αξιοποίησή του από το Αμερικάνικο Υπουργείο Άμυνας για να επιτευχθούν στρατιωτικοί, αμυντικοί και άλλοι απόρρητοι στόχοι. Λίγο αργότερα οι μελέτες και οι έρευνες γύρω από το διαδίκτυο εντείνονται και παρουσιάζουν θεαματική πρόοδο, με αποτέλεσμα κατά την δεκαετία του 1970 να γίνονται οι πρώτες συνδέσεις.

Έτσι φτάνουμε πλέον σε ένα πολύ απαραίτητο εργαλείο στη ζωή μας το οποίο δεν είναι άλλο από το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο ή αλλιώς e-mail. Λίγο αργότερα έχουμε την πρώτη σύνδεση δύο διαφορετικών εκπαιδευτικών ιδρυμάτων άλλων χωρών στο δίκτυο ARPANET, του University College of London στην Αγγλία και του Royal Radar Establishment στην Νορβηγία. Μετά από αυτό το πρώτο βήμα δεν άργησε να συνδεθεί στο δίκτυο ολόκληρη η πανεπιστημιακή κοινότητα. Σαν αποτέλεσμα ακολούθησε η υπερφόρτωση του δικτύου και αργότερα ο απαραίτητος διαχωρισμός του σε ARPANET και MILNET. Από εκεί και πέρα το καθένα από αυτά ακολουθεί ξεχωριστό μονοπάτι και λειτουργίες. Το ARPANET συνεχίζει να εξυπηρετεί την ακαδημαϊκή και πανεπιστημιακή κοινότητα ενώ

το MILNET χρησιμοποιείται για τις ανάγκες των ενόπλων δυνάμεων. Η απήχηση της νέας αυτής τεχνολογίας στην πανεπιστημιακή κοινότητα, είναι τεράστια και γρήγορα αναπτύσσονται νέα δίκτυα από εκπαιδευτικά ιδρύματα και οργανισμούς, τα οποία εν τέλει θα συνδεθούν πάνω στο ήδη υπάρχον διεθνές δίκτυο.



Εικόνα 2. Παγκόσμιος ιστός, Internet.

Πηγή: <https://www.protothema.gr/technology/article/563251>

Το Διαδίκτυο ή αλλιώς Internet κάνει για πρώτη φορά την εμφάνισή του στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Ανά τον κόσμο η απήχηση και η εξάπλωσή του είναι τόσο μεγάλη που ολοένα και περισσότερες χώρες συνδέονται σε αυτό. Μία από αυτές είναι και η χώρα μας η οποία συνδέθηκε για πρώτη φορά το έτος 1990. Τρία χρόνια αργότερα ο Tim Berners-Lee ως εργαζόμενος στο ερευνητικό κέντρο της Ελβετίας CERN, παρουσίασε για πρώτη φορά το γνωστό σε όλους WWW ή WORLD WIDE WEB ή Παγκόσμιο Ιστό. Με το πέρασμα του χρόνου το διαδίκτυο είχε κάνει την είσοδό του στην κοινωνία και σταδιακά γινόταν προσιτό για όλο και

περισσότερους ανθρώπους. Αρχικά το διαδίκτυο είχε εφαρμογή μόνο μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών. Μετά από συνεχή μελέτες που έγιναν κατέστη δυνατή η εφαρμογή του και στα κινητά τηλέφωνα. 32 χρόνια μετά το διαδίκτυο αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής και της καθημερινότητάς μας σαν εργαλείο αλλά και μέσω διασκέδασης-ψυχαγωγίας, με τις ανάγκες και απαιτήσεις όμως των εκατομμυρίων χρηστών του ολοένα να αυξάνονται. [29]

1.2.1 Το Διαδίκτυο στις μέρες μας

Το διαδίκτυο στις μέρες μας έχει κατακλείσει πλήρως τον κόσμο καθώς οι εφαρμογές του είναι παντού γύρω μας, στην καθημερινότητα και την ζωή μας. Το διαδίκτυο όμως σήμερα πρέπει να ανταποκριθεί στις αυξανόμενες ανάγκες και απαιτήσεις των χρηστών του. Πλέον το διαδίκτυο διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε πολλές πτυχές και τομείς της ζωής των ανθρώπων όπως είναι η ιατρική, οι τηλεπικοινωνίες, οι αυτοκινητοβιομηχανίες, τα social media, η ψυχαγωγία και οι ηλεκτρονικές αγορές. Έτσι λοιπόν εταιρίες από όλο τον κόσμο εργάζονται και μελετούν ασταμάτητα νέες τεχνολογίες και νέους τρόπους προκειμένου να προσφέρουν όσο το δυνατόν καλύτερη διαδικτυακή εμπειρία στους χρήστες. Πλέον παρατηρούμε ότι ο ρυθμός εξέλιξης των κινητών τηλεφώνων αλλά και των δικτύων είναι ραγδαίος. Το διαδίκτυο χάρις στην μεγάλη ποικιλία και τον όγκο πληροφοριών που προσφέρει, έχει ενσωματωθεί πλήρως στις ανάγκες μας καθώς για οποιαδήποτε πληροφορία καθημερινά ανατρέχουμε σε αυτό. Αυτό ακριβώς μαρτυρά η ύπαρξη και η σύνδεσή του σε κάθε σπίτι πλέον.

1.2.2 Τεχνολογική “Κούρσα”

Στη σημερινή εποχή οι τεχνολογικές απαιτήσεις των εκατομμύρια χρηστών του διαδικτύου έχουν οδηγήσει τις εταιρίες παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας, σε μία κούρσα τεχνολογικής εξέλιξης. Οι γρήγοροι ρυθμοί ζωής καθώς και οι σημερινές επαγγελματικές συνθήκες, απαιτούν άμεση πρόσβαση στο διαδίκτυο. Επομένως οι εταιρίες αυτές δαπανούν χρόνο, μέσα και χρήμα για την ανάπτυξη νέων δικτύων και την εξέλιξη των ήδη υπάρχον. Τα δυνατά σήματα, οι υψηλές ταχύτητες και η σύνδεση σε απομακρυσμένα μέρη κερδίζουν πλέον τους χρήστες.

1.3 Το Δίκτυο

Σαν δίκτυο συνήθως ορίζουμε την σύνδεση του αθροίσματος υπολογιστικών μηχανών καθώς και σχετικών περιφερειακών εξαρτημάτων. Τα πρώτα δίκτυα υπολογιστών έκαναν την εμφάνισή τους στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Αυτό προέκυψε από την προσπάθεια Αμερικάνικων πανεπιστημιακών ιδρυμάτων, που είχε στόχο την αμφίδρομη και εξ αποστάσεως επικοινωνία τους.

Ο λόγος ύπαρξης ενός δικτύου έχει τρεις βασικούς σκοπούς:

- ❖ Την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών του αντίστοιχου δικτύου για ανταλλαγή εγγράφων και την ταξινομημένη αποθήκευσή τους.
- ❖ Την αξιόπιστη, άμεση λήψη και διανομή των πληροφοριών σε διάφορες μορφές όπως είναι ένα κείμενο, μία εικόνα ή ένας ήχος.
- ❖ Την μείωση του κόστους λόγω χρήσης ακριβών λογισμικών και υπολογιστικών μηχανών.

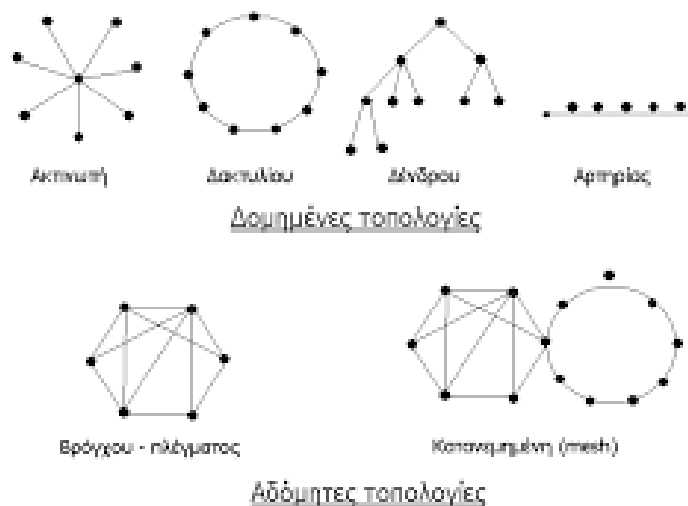
Για να μπορέσει να αναπτυχθεί σωστά ένα δίκτυο υπολογιστών θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σοβαροί παράγοντες, όπως:

- ❖ Υπολογιστικά μηχανήματα.
- ❖ Μέσα μετάδοσης δικτύου.
- ❖ Πρωτόκολλα επικοινωνίας.
- ❖ Λογισμικό ελέγχου δικτύου.

Ένα δίκτυο για να αναπτυχθεί σωστά θα πρέπει αυτό να γίνει με βάση την διάταξη που έχουν τα μέσα μετάδοσης καθώς και με βάση τους συνδέσμους μεταξύ των κόμβων. Σε ευρύτερο πλαίσιο λοιπόν η ανάπτυξη ενός δικτύου ονομάζεται τοπολογία η οποία χωρίζεται σε δύο κομμάτια, την **δομημένη** και την **αδόμητη**. [28][40]

Η δομημένη τοπολογία μπορεί να καθορισθεί ως τοπολογία μονής ή διπλής αρτηρίας - bus, δακτυλίου - ring, ακτινωτή – star και ιεραρχική ή αλλιώς τοπολογία δένδρου. Γενικότερα, η δομημένη τοπολογία αποτελεί τον σκελετό εγκατάστασης ενός καλωδιακού συστήματος σε ένα χώρο (κτίριο ή συγκρότημα κτιρίων, εργοστάσιο κλπ), το οποίο μπορεί να αντεπεξέλθει στις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες των επιχειρήσεων για μηχανοργάνωση, ενδοεπικοινωνίες, λειτουργία τηλεφωνικών κέντρων, συστημάτων ελέγχου και ασφάλειας, δημιουργία ή επέκταση δικτύων μεταφοράς δεδομένων, φωνής και εικόνας και προσθήκη ή αλλαγή θέσεων εργασίας και υπηρεσιών.

Η αδόμητη τοπολογία καθορίζεται ως τοπολογία πλέγματος ή βρόγχου με πολλαπλές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων ή διασυνδεόμενοι βρόγχοι (mesh topology).[40]



Εικόνα 3. Δομημένη και Αδόμητη τοπολογία.

Πηγή: https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TH103/cNetworks_intro%282014%29.pdf

Η βασική διαφορά των δύο κατηγοριών είναι ότι στα δομημένα συστήματα, το δίκτυο επικάλυψης (overlay network) που αυτά υλοποιούν, επιβάλλει μια εικονική τοπολογία των κόμβων του δικτύου πάνω από τη φυσική. Μέσω της εικονικής τοπολογίας υλοποιείται συνήθως μια κατανεμημένη δομή δεικτοδότησης. Το βασικό όφελος των δομημένων συστημάτων είναι το φραγμένο κόστος στην εκτέλεση των λειτουργιών της δομής το οποίο μεταφράζεται ως ο αριθμός των ενεργειών που εκτελούνται στην εικονική τοπολογία. Αντίθετα στα αδόμητα συστήματα ένας κόμβος εισάγεται τυχαία και οι λειτουργίες του δικτύου εκτελούνται συνήθως με πρωτόκολλα πλημμυρίδας μικρής εμβέλειας ή τυχαίες διαδρομές.[40]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Δίκτυα και οι κατηγορίες τους

2.1 Δίκτυα

Δίκτυο σήμερα ονομάζουμε το σύνολο των συσκευών που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους με κύριο σκοπό την επικοινωνία τους. Στις μέρες μας το δίκτυο ευρύτερα έχει να αντιμετωπίσει τις συνεχείς προκλήσεις τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον. Οι κύρια πρόκληση είναι η συνεχόμενη αύξηση των αναγκών και απαιτήσεων του κοινού. Με αυτό το δεδομένο οι πάροχοι υπηρεσιών δικτύου σήμερα, θα πρέπει να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις αυτές δημιουργώντας ξεχωριστά είδη δικτύων τα οποία θα είναι διαμορφωμένα ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης της εκάστοτε συσκευής του χρήστη στο δίκτυο.

Τα δίκτυα λοιπόν χωρίζονται σε δύο μεγάλες βασικές κατηγορίες:

- ❖ Τα ενσύρματα δίκτυα.
- ❖ Τα ασύρματα δίκτυα.[40]

2.2 Ενσύρματα δίκτυα

Ως ενσύρματο δίκτυο ορίζεται ένα δίκτυο όπου οι συσκευές που ανήκουν σε αυτό επικοινωνούν μεταξύ τους με φυσική σύνδεση όπως για παράδειγμα μέσω καλωδίου. Τα ενσύρματα δίκτυα, ανάλογα τον τρόπο χρήσης τους, τον τρόπο μετάδοσης τους και την έκταση που καλύπτουν ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

1). Ανάλογα τον τρόπο χρήσης:

- ❖ Ιδιωτικά δίκτυα : αποτελούν τοπικά αλλά και ευρείας κλίμακας δίκτυα τα οποία αποσκοπούν στην εξυπηρέτηση αναγκών ορισμένων επιχειρήσεων ακόμα και οργανισμών.
- ❖ Δημόσια δίκτυα : είναι συνδρομητικά δίκτυα κυρίως ευρείας κλίμακας που βασίζονται σε υποδομές τηλεπικοινωνιακών εταιριών, παρόχων ακόμα και ακαδημαϊκών συνεργασιών. Είναι τα δίκτυα τα οποία καθιστούν εφικτή για παράδειγμα την πρόσβαση στο Internet.

2). Ανάλογα τον τρόπο μετάδοσης:

- ❖ Δίκτυα εκπομπής : σε αυτή την κατηγορία η αποστολή της πληροφορίας γίνεται μέσω πομπού-κόμβου ενώ ταυτόχρονα όλοι οι κόμβοι που ανήκουν στο δίκτυο, μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στην πληροφορία αυτή.
- ❖ Δίκτυα μεταγωγής : σε αυτή την κατηγορία η αποστολή της πληροφορίας γίνεται με συγκεκριμένο αποστολέα και παραλήπτη. Για να γίνει εφικτή η αποστολή της πληροφορίας είναι πολύ πιθανόν τα δεδομένα να περάσουν μέσα από ενδιάμεσους κόμβους, οι οποίοι απλά θα προωθήσουν την πληροφορία. Τα δίκτυα μεταγωγής χωρίζονται σύμφωνα με τον τρόπο σύνδεσης τους σε:
 - Δίκτυα μεταγωγής μηνυμάτων (Message switching)

- Δίκτυα μεταγωγής πακέτων (Packet switching)
- Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος (Circuit switching)

3). Ανάλογα την έκταση που καλύπτουν :

- ❖ Τα τοπικά δίκτυα ή αλλιώς LAN : οι ταχύτητες των δικτύων αυτών ξεκινούν από τα 10Mbps και φτάνουν μέχρι τα 2Gbps. Είναι τα κατάλληλα δίκτυα για την σύνδεση υπολογιστικών μονάδων σε σχετικά κοντινές αποστάσεις όπως είναι για παράδειγμα μία πολυκατοικία ή ένα κτηριακό συγκρότημα.
- ❖ Τα αστικά δίκτυα ή αλλιώς MAN : είναι τα δίκτυα τα οποία καλύπτουν μεγαλύτερο φάσμα περιοχών όπως είναι για παράδειγμα η έκταση μίας πόλης.[28][41]

2.3 Ασύρματα δίκτυα

Ως ασύρματο δίκτυο ορίζουμε ένα τηλεφωνικό δίκτυο ή ένα δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για την μεταφορά μίας πληροφορίας. Σε ένα ασύρματο δίκτυο η μεταφορά της πληροφορίας επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η συχνότητα των κυμάτων εξαρτάται πάντα από τον ρυθμό μετάδοσης που θα έχει το δίκτυο. Το θετικό με τα ασύρματα δίκτυα είναι ότι δεν περιορίζονται πάντα από κάποια σταθερή εγκατάσταση. Με τα ασύρματα δίκτυα επιτυγχάνεται η επικοινωνία με περιοχές όπου είναι δύσκολο να τοποθετηθούν σταθερές εγκαταστάσεις όπως καλώδια. Μπορούμε να επικοινωνήσουμε με ανθρώπους που βρίσκονται σε άλλο τόπο και ταυτόχρονα αυτή η επικοινωνία να επεκταθεί σε άλλη τοποθεσία.

Τα ασύρματα δίκτυα διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες :

- Δίκτυα ευρείας περιοχής ή αλλιώς WAN.
- Ασύρματα τοπικά δίκτυα ή αλλιώς WLAN.
- Ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα ή αλλιώς WMAN.
- Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.
- Ασύρματα δίκτυα PAN.[42]

2.3.1 Κινητή τηλεφωνία

Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας όπως προαναφέραμε ανήκει στην κατηγορία των ασύρματων δικτύων. Σήμερα η κινητή τηλεφωνία δεν μας επιτρέπει μόνο την επικοινωνία με άλλα πρόσωπα οπουδήποτε, αλλά μας επιτρέπει επίσης να μείνουμε συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο όταν βρισκόμαστε μακριά από μία σταθερή σύνδεση όπως είναι το wifi. Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας απαρτίζεται από ένα μεγάλο αριθμό πομπών οι οποίοι ανήκουν σε εταιρίες τηλεφωνίας ή του διαδικτύου. Οι πομποί αυτοί μεταδίδουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα που επιτρέπουν στα κινητά τηλέφωνα να κάνουν και να δέχονται κλήσεις αλλά και να συνδέονται στο Internet. Αυτοί οι πομποί τοποθετούνται συνήθως σε ψηλούς πύργους ακόμα και σε κτίρια. Βρίσκονται διάσπαρτοι σε όλη την ύπαιθρο, πόλεις και χωριά, όχι όμως σε εντελώς τυχαίες θέσεις. Οι θέσεις των πομπών καθορίζονται ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους αλλά και με την μορφολογία του εκάστοτε αστικού ιστού. Αυτό συμβαίνει για να μην υπάρχουν αλλοιώσεις του σήματος ή άλλες αδυναμίες που μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τους χρήστες και τις συσκευές τους.

Σήμερα σε παγκόσμια κλίμακα τα περισσότερα κινητά τηλέφωνα είναι έξυπνα τηλέφωνα, τα οποία λειτουργούν ως μικροί φορητοί υπολογιστές. Για να συνδεθούν στο Internet σε εξωτερικούς χώρους, χρησιμοποιούν το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Για να γίνει αυτό εφικτό θα πρέπει πρώτα να υπάρχει συμβόλαιο ή ένα πλάνο με μία εταιρία τηλεφωνίας ή ένα πάροχο υπηρεσιών

διαδικτύου. Σε δεύτερη φάση η έξυπνη συσκευή θα χρησιμοποιήσει το σήμα του πλησιέστερου πύργου κινητής τηλεφωνίας έτσι ώστε να επιτευχθεί η σύνδεση.



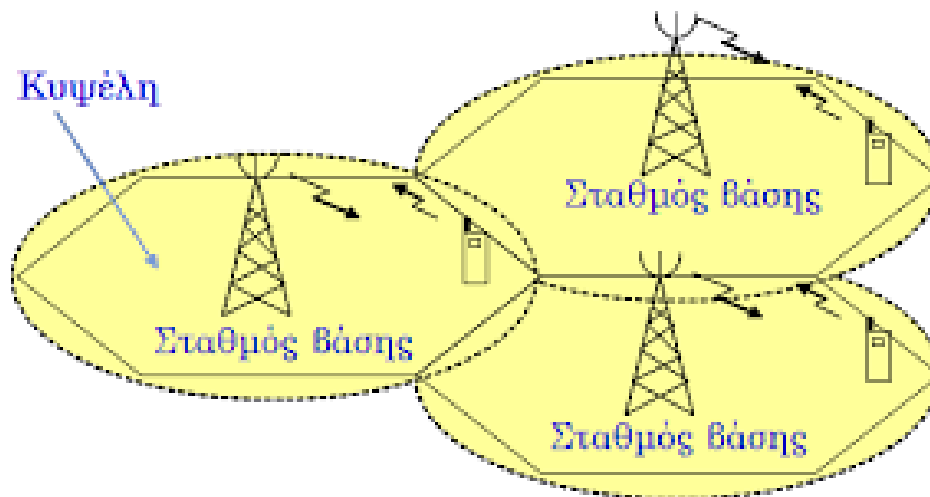
Εικόνα 4. Κινητή τηλεφωνία.

Πηγή: <https://www.pemptousia.gr/2018/02/kiniti-tilefonia-odigies-chrisis-gia-tin-prostasia-apo-ton-antagonismo/>

Στις μέρες μας τα έξυπνα τηλέφωνα έχουν περισσότερες εφαρμογές και δυνατότητες από το να κάνουν και να δέχονται κλήσεις. Μπορούν να λαμβάνουν ηλεκτρονικές επιστολές, να εμφανίζουν ιστοσελίδες του διαδικτύου, να μας κρατούν ενημερωμένους για τον κόσμο ακόμα και τον καιρό γύρω μας ακόμα και να μας ψυχαγωγούν με μουσική, φωτογραφίες, ταινίες και βίντεο. Στις συσκευές αυτές το περιεχόμενο του διαδικτύου ονομάζεται δεδομένα. Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που είναι συνδεδεμένος ο χρήστης, μεταδίδει τα δεδομένα αυτά ασύρματα στις συσκευές, με αποτέλεσμα να παραμένουμε συνδεδεμένοι παντού στο Internet. Η χρήση βέβαια του διαδικτύου μέσω των δεδομένων είναι καθορισμένη από το εκάστοτε συμβόλαιο κινητής τηλεφωνίας, το οποίο συνήθως είναι μηνιαίο.[43]

2.3.2 Κυψελοειδή Συστήματα

Στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούνται ευρέως τα κυψελοειδή ή κυψελωτά συστήματα. Τα κυψελωτά δίκτυα έχουν ευρεία χρήση στις ασύρματες επικοινωνίες. Λόγω της δομής τους τα κυψελωτά δίκτυα χρησιμοποιούν όλο το φάσμα συχνοτήτων και προσφέρουν ποιοτική επικοινωνία μεταξύ μεγάλων περιοχών που βρίσκονται σε απόσταση. Βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών είναι ο διαμερισμός της εκάστοτε γεωγραφικής περιοχής που έχουν να καλύψουν σε μικρότερα τμήματα. Τα τμήματα αυτά ονομάζονται κυψέλες. Ανάλογα την μορφολογία του εδάφους οι μορφές των κυψελών ποικίλουν. Για να λειτουργεί σωστά μία κυψέλη είναι απαραίτητο να διαθέτει δικά της κανάλια όπως και σταθμό βάσης, οποίος συγκροτείται από την κεραία, τον πομπό και τον δέκτη. Το σύνολο από διπλανές κυψέλες ονομάζεται συστάδα. Για να γίνει εφικτή η παράλληλη χρήση του δικτύου από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα, εφαρμόζεται η μέθοδος επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ασφάλεια του δικτύου καθώς επίσης προλαμβάνονται προβλήματα παρεμβολών.[28][44]



Εικόνα 5. Σχέδιο κυψελωτών συστημάτων.

Πηγή: https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/10144/Makris_Kyriakos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Οι Γενιές των Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας

Για πρώτη φορά στο τέλος του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, έχουμε την εμφάνιση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Το γεγονός αυτό ήταν ο καρπός της προσπάθειας και συνεργασίας πάνω σε αυτό τον τομέα, των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και των Σκανδιναβικών χωρών.

3.1 1η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (1G)

Η πρώτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας ή αλλιώς 1G, έκανε την εμφάνισή της κατά την δεκαετία του 80. Η λειτουργία της πρώτης γενιάς βασίζεται κυρίως στην αναλογική τεχνολογία. Η 1η γενιά των δικτύων κάνει ευρεία χρήση των τεχνολογιών FM, FDMA και FDD. Η τεχνολογία FM αντιστοιχεί στην διαμόρφωση της συχνότητας, η FDMA στην πολυπλεξία της ενώ η τεχνολογία FDD στην συχνοδιακριτική αμφίδρομη επικοινωνία. Μία άλλη τεχνολογία επίσης που χρησιμοποιεί αυτή η γενιά των δικτύων είναι η χρήση ίδιου καναλιού μετάδοσης του σήματος.

Ταυτόχρονα με την εμφάνιση της πρώτης γενιάς δικτύων, έχουμε την άφιξη του πρώτου κυψελωτού συστήματος στο Τόκιο. Το σύστημα αυτό ήταν της Nippon Telephone & Telegraph ή αλλιώς NTT. Λίγο αργότερα ακολούθησε το Nordic Mobile Telephones ή αλλιώς NMT καθώς και το βρετανικό Total Access Communication System ή αλλιώς TACS. Περίπου δύο χρόνια αργότερα το TACS θα εξαπλωθεί σε όλη την ευρωπαϊκή ήπειρο. Ταυτόχρονα με το TACS αναπτύσσεται και ένα άλλο παρόμοιο σύστημα κυψελών Αμερικάνικης κατασκευής και προέλευσης, το Advance Mobile Phone System ή αλλιώς AMPS. Για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός των καναλιών, η μετάδοση των δεδομένων και η τεχνική διαμόρφωσης της συχνότητας, τα δύο αυτά προγράμματα (TACS,

AMPS) χρησιμοποιούν το σύστημα Frequency Division Multiplex Access ή αλλιώς FDMA.



Εικόνα 6. Πομποί αναλογικού σήματος.

Πηγή: <https://www.fpress.gr/sfygmos/story/3108/analogiko-sima-telos-tin-paraskeyi>

Το γεγονός ότι η πρώτη γενιά δικτύων εφαρμόζεται σε αναλογικά συστήματα εγκυμονεί κινδύνους λόγω χαμηλού επιπέδου ασφάλειας στην μεταφορά δεδομένων. Άλλο ένα αρνητικό επίσης της γενιάς αυτής, είναι η ανεπαρκής μετάδοση των δεδομένων μεταξύ του πομπού, δηλαδή του σταθμού βάσης, και του δέκτη δηλαδή του κινητού τηλεφώνου. Τα αρνητικά αυτά στοιχεία γρήγορα οδήγησαν στην ανάγκη ανάπτυξης δεύτερης γενιάς δικτύων. [45]

3.2 2η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (2G)

Η αναλογική τεχνολογία των συστημάτων της πρώτης γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας, δημιούργησε πολλές αδυναμίες στο δίκτυο. Δύο από τις βασικότερες αδυναμίες είναι ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων καθώς και η ανεπαρκής διαβίβασή τους. Η ανάγκη για ένα ασύρματο δίκτυο νέας γενιάς είναι πλέον επιτακτική.

Λύση στο πρόβλημα έδωσε τελικά η δεύτερη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας ή αλλιώς 2G. Η δεύτερη γενιά δικτύων επίσημα εδραιώθηκε στο χώρο το έτος 1991. Βασικό γνώρισμα της γενιάς αυτής είναι η μετάδοση της πληροφορίας αλλά και της φωνής με ψηφιακό τρόπο και όχι με αναλογικό. Η φωνή μεταδίδεται από έναν αναλογικό μετατροπέα σήματος σε ψηφιακό. Άλλο ένα βασικό γνώρισμα της γενιάς αυτής είναι η χωρητικότητα του δικτύου, η οποία είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή της πρώτης γενιάς. Πλέον καθίσταται δυνατή η υποστήριξη μηνυμάτων τα λεγόμενά SMS καθώς και η παγκόσμια περιαγωγή. Η πληροφορία και η μετάδοσή της καθίσταται ασφαλής λόγω της ψηφιακής τους φύσης. Μέσω της διαίρεσης κώδικα ή αλλιώς CDMA καθώς και της διαίρεσης του χρόνου ή αλλιώς TDMA, ένα κανάλι συχνοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα από πολλούς χρήστες.[29]

Για να καταστεί εφικτή η σωστή λειτουργία της δεύτερης γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας, αναπτύχθηκαν τα εξής πρότυπα :

- **IS - 136** : Είναι πρότυπο δεύτερης γενιάς Αμερικάνικης προέλευσης το οποίο χρησιμοποιεί εύρος ζώνης τα 60 MHz. Για την μετάδοση από τις κινητές συσκευές προς τον σταθμό βάσης χρησιμοποιούνται συχνότητες από 1930 έως 1990 MHz. Στην αντίστροφη περίπτωση δηλαδή στην μετάδοση από τον σταθμό βάσης προς τις κινητές συσκευές, οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι από 1850 έως 1910 MHz. Ουσιαστικά το IS-136 αποτελεί σε ευρύτερο πλαίσιο το Αμερικάνικο σύστημα δεύτερης γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

- **PDC** : Το συγκεκριμένο πρότυπο αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία το έτος 1990 και η λειτουργία του είναι παρόμοια με εκείνη του Αμερικάνικου IS-136.

- **IS - 95** : Είναι ένα μεταγενέστερο Αμερικάνικο πρότυπο το οποίο αναπτύχθηκε το έτος 1993. Η κύρια διαφορά που έχει με το IS-136 είναι η χρήση της πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα ή αλλιώς CDMA, ενώ το άλλο χρησιμοποιεί την διαίρεση χρόνου ή αλλιώς TDMA. Στο πρότυπο αυτό οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται για μεταδόσεις από τα κινητά στον σταθμό βάσης είναι μεταξύ 869 και 894 MHz και στην αντίστροφη περίπτωση χρησιμοποιούνται συχνότητες μεταξύ 824 και 849 MHz.

- **GSM** : Είναι πρότυπο Ευρωπαϊκής προέλευσης που προήλθε έπειτα από έρευνες της Ευρωπαϊκής επιτροπής CEPT και γρήγορα υιοθετήθηκε παγκοσμίως. Το εύρος ζώνης του είναι τα 25 MHz και η ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιεί είναι τα 900 MHz. Λόγω μικρής χωρητικότητας

αργότερα χρησιμοποιήθηκαν οι ζώνες των 1800 MHz και 1900 MHz αντίστοιχα.[29]

3.3 2.5 Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (2.5G)

Λόγω της απότομης μετάβασης από τα αναλογικά συστήματα της πρώτης γενιάς, στα ψηφιακά συστήματα της δεύτερης, δεν υπήρχαν πολλοί τρόποι για να καλυφθούν οι όλο και περισσότερες ανάγκες των χρηστών. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκαν τα συστήματα 2.5G. Τα συστήματα δικτύων 2.5G είναι κατά βάση κυψελωτά συστήματα. Τα συστήματα αυτά υπερτερούν των προηγούμενων συστημάτων 2G διότι εφαρμόζουν την τεχνική μεταγωγής πακέτων εκτός από την τεχνική μεταγωγής κυκλώματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και πληροφοριών. Ουσιαστικά τα δίκτυα 2.5G αποτελούν δίκτυα δεύτερης γενιάς τα οποία συνδυάζονται με το δίκτυο GPRS ή αλλιώς General Packet Radio Service. Το κεντρικό αυτό δίκτυο επιτρέπει στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 2G, 2,5G καθώς και στα δίκτυα 3G που ακολουθούν παρακάτω, να μεταδίδουν πακέτα IP σε εξωτερικά δίκτυα όπως είναι για παράδειγμα το Internet.

Για την σωστή λειτουργία των συστημάτων 2.5G, έπρεπε να δημιουργηθούν και να χρησιμοποιηθούν 3 βασικά πρότυπα τα οποία είναι :

- **GPRS** : Στο πρότυπο αυτό έχουμε χρήση πρωτόκολλων μεταγωγής πακέτων. Έτσι όταν υπάρξει ανάγκη για αποστολή δεδομένων θα υφίσταται και δέσμευση των πόρων του δικτύου.
- **EGPRS** ή **EDGE** : Το πρότυπο αυτό χτίστηκε γύρω από την τεχνική διαμόρφωσης 8PSK καθώς και την δομή πακέτου TDMA.
- **HSCSD** : Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο χρήστης μπορεί να κάνει χρήση διαδοχικών χρονοθυρίδων για την σύνδεση και μεταφορά των δεδομένων. Στο πρότυπο αυτό όμως έχουμε μεγάλη σπατάλη πόρων του δικτύου. Αυτό οφείλεται κυρίως στην χρήση μεταγωγής κυκλώματος.[28]

3.4 2,75 Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (2,75G)

Η γενιά των δικτύων κινητής τηλεφωνίας 2,75G, αποτελεί το τελευταίο στάδιο εξέλιξης ευρύτερα των δικτύων δεύτερης γενιάς. Στην γενιά αυτή εξελίχθηκε το δίκτυο GPRS σε δίκτυο EDGE με την εισαγωγή της κωδικοποίησης 8PSK. Οι ρυθμοί βελτιωμένων δεδομένων για το GSM Evolution ή αλλιώς EDGE, το Enhanced GPRS ή το IMT Single Carrier (IMT-SC), αποτελούν τεχνολογίες ψηφιακής κινητής τηλεφωνίας συμβατές με το παρελθόν. Το γεγονός αυτό επιτρέπει βελτιωμένους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων. Το EDGE αναπτύχθηκε σε δίκτυα GSM, κάνοντας για πρώτη φορά την εμφάνισή του το έτος 2003 από την εταιρία AT&T, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.[28]

3.5 3η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (3G)

Η ανάγκη για μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, για μεγαλύτερες ταχύτητες καθώς και αξιοπιστία, οδήγησε στην ανάπτυξη της τρίτης γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας ή αλλιώς 3G. Τα πρώτα βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση έγιναν στα μέσα του 2001. Η τρίτη γενιά δικτύων αποτελεί μία ποιοτική αναβάθμιση όλων των προηγούμενων γενεών δικτύων. Η γενιά αυτή προσφέρει ενισχυμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για τα δίκτυα GSM Evolution, ταχύτερη μεταφορά πληροφοριών και καλύτερη ποιότητα φωνής. Οι χρήστες πλέον έχουν γρηγορότερη πρόσβαση στο διαδίκτυο καθώς σε πληθώρα νέων εφαρμογών που δεν υπήρχαν στα προγενέστερα δίκτυα. Με τα δίκτυα 3G, έχουμε ταχύτητες επιπέδου Megabit. Το κοινό κατεβάζει τραγούδια, ταινίες και βίντεο με τρόπους και ταχύτητες πρωτόγνωρες για την εποχή. Η κύρια πρόκληση της νέας αυτής γενιάς δικτύων αποτέλεσε το γεωγραφικό όριο. Το γεωγραφικό όριο αποτελούσε διαχρονικό πρόβλημα για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας μέχρι την εμφάνιση των συστημάτων 3G. Πλέον ο χρήστης έχει ελευθερία κινήσεων ακόμα και αν η περιοχή όπου βρίσκεται δεν καλύπτεται πλήρως από το δίκτυο.



Εικόνα 7. Δίκτυο 3G.

Πηγή: <https://itechnews.gr/2021/07/echo-syskeyi-3g-ti-prepei-na-kano-kai/>

Τα κύρια πρότυπα που αναπτύχθηκαν για την σωστή λειτουργία των συστημάτων 3G είναι τα εξής :

- **UMTS** : Το πρότυπο UMTS που αντιστοιχεί σε Universal Mobile Telecommunication System, εμφανίστηκε για πρώτη φορά το έτος 1996 ως μία αναβαθμισμένη έκδοση του GSM, αλλά ουσιαστικά ήταν μία διαφοροποιημένη μορφή του CDMA. Έπειτα από πολλές μελέτες και διορθώσεις που έγιναν παρουσιάστηκε για δεύτερη φορά ως WCDMA που αντιστοιχεί σε Wideband Code Division Access. Είναι απόλυτα συμβατό με παλαιότερης γενιάς πρότυπα όπως τα GSM, GPRS και EDGE. Παρότι έχει καλύτερο έλεγχο της εκάστοτε υπηρεσίας, η αρχιτεκτονική του βασίζεται στο πρότυπο GPRS. Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων φτάνει τα 16 Mchip/sec ή και παραπάνω, ενώ το ελάχιστο εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί είναι τα 5MHz.

- **3GPP** : Πρότυπο Ευρωπαϊκής προέλευσης το οποίο περιλαμβάνει το πρότυπο UMTS.

- **3GPP2** : Πρότυπο που χρησιμοποιεί κυρίως το CDMA2000. Το CDMA2000 αποτελεί ένα πολύ αξιόπιστο πρότυπο όπου χρησιμοποιεί τις εξής μεθόδους :
 - FDD : Μέθοδος όπου ο πομπός και ο δέκτης εκπέμπουν σε διαφορετική συχνότητα.

 - TDD : Μέθοδος όπου χρησιμοποιείται η ίδια ζώνη συχνοτήτων για μετάδοση και λήψη δεδομένων σε διαφορετικούς χρόνους.[30]

3.6 3.5 Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (3.5G)

Στα μέσα της δεκαετίας του 2000, ακολούθησε μία σειρά από συνεχείς βελτιώσεις και αναβαθμίσεις των προτύπων 3GPP και 3GPP2. Έτσι κάνουμε λόγω για μία νέα γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας το 3.5G ή αλλιώς 3G+. Η πιο σημαντική αναβάθμιση όμως είναι αυτή του 3G HSDPA. Το HSDPA αποτελεί μία βελτιωμένη έκδοση του UMTS, και δημιουργήθηκε για να καλύψει τις ανάγκες για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Με την νέα αυτή τεχνολογία ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων αυξάνεται θεαματικά καθώς και η χωρητικότητα των δικτύων. Η ταχύτητα λήψης των πληροφοριών είναι έως και τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή των συστημάτων 3G. Αξιοποιώντας αυτή την δυνατότητα έχουμε για πρώτη φορά την εμφάνιση νέων εφαρμογών όπως είναι τα

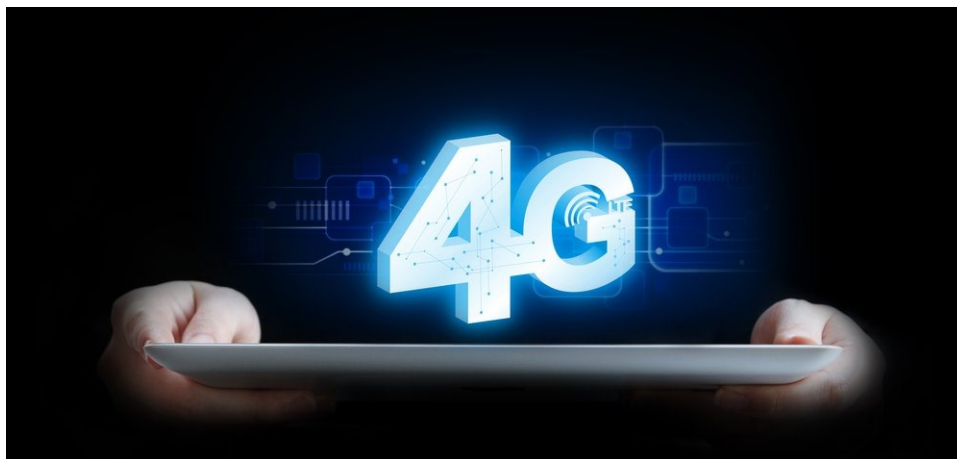
multiplayer παιχνίδια, το instant messaging(chatting) καθώς και το on demand streaming video. Η τεχνολογία του 3G+ και οι υπηρεσίες του παρέχονταν στην χώρα μας από τα μέσα του 2007, σε όλα τα γεωγραφικά διαμερίσματα.[28]

3.7 3.75 Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (3.75G)

Η εξέλιξη και ανάπτυξη γενικότερα των συστημάτων τρίτης γενιάς συνεχίστηκε. Το επόμενο βήμα αποτελεί η 3.75G γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Σαν αποτέλεσμα αυτό είχε την άφιξη του HSUPA. Το HSUPA αποτελεί μία τεχνολογία που επιτρέπει την αποστολή δεδομένων από τον τερματικό σταθμό προς τον σταθμό βάσης με ταχύτητα που φτάνει ακόμα και τα 5,76 Mbps. Με την τεχνολογία αυτή επιτρέπεται η ταχεία αποστολή πληροφοριών αλλά κυρίως η ταχεία λήψη τους. Στο δίκτυο πλέον μπορούν να συνδεθούν πάρα πολλοί χρήστες ταυτόχρονα, ενώ και οι χρόνοι σύνδεσης στο δίκτυο έχουν μειωθεί σημαντικά. Σημαντικά έχουν αυξηθεί επίσης και οι ταχύτητες αποστολής και λήψης των πληροφοριών.[30]

3.8 4η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (4G)

Οι ανάγκες του κοινού πλέον δεν περιορίζονται μόνο στις καλύτερες ταχύτητες των δικτύων , αλλά και στις περισσότερες εφαρμογές και λειτουργίες που μπορούν αυτά να προσφέρουν. Τα πρώτα θεμέλια για μία νέα γενιά δικτύων μπήκαν κιόλας από τον Μάρτιο του 2008, όταν και συζητήθηκαν οι πρώτες παράμετροι από μεγάλες εταιρίες δικτύων. Ένα χρόνο αργότερα περίπου κάνει την εμφάνισή της για πρώτη φορά η 4η γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας ή αλλιώς 4G. Η παγκόσμια και ευρεία χρήση του νέου δικτύου ξεκίνησε λίγο αργότερα, στις αρχές του 2012. Το 4G αποτελεί ένα ευρυζωνικό κυψελωτό δίκτυο του οποίου οι δυνατότητες ορίζονται από την ITU στο IMT ADVANCED.



Εικόνα 8. Δίκτυο 4G.

Πηγή : <https://www.doctorandroid.gr/2016/11/4g-networks-b20-band.html>

Με την άφιξη της τέταρτης γενιάς δικτύων και των συστημάτων 4G, οι ταχύτητες αυξήθηκαν έως και δέκα φορές σε σύγκριση με τις ταχύτητες των συστημάτων τρίτης γενιάς. Επίσης για πρώτη φορά έχουμε την χρήση των

τεχνολογιών WiMax και LTE. Η τεχνολογία WiMax είναι της Αμερικάνικης εταιρίας Sprint ενώ η τεχνολογία LTE παρουσιάστηκε από την Σκανδιναβική εταιρία TeliaSonera. Τα συστήματα 4G δεν υποστηρίζουν τους παραδοσιακούς τρόπους κινητής τηλεφωνίας όπως οι προηγούμενες γενιές δικτύων, δηλαδή με κύκλωμα μεταγωγής. Η επικοινωνία πλέον βασίζεται στο πρωτόκολλο Internet IP ή αλλιώς IP τηλεφωνία. Οι υπηρεσίες 4G αποτελούν πλέον υπηρεσίες αιχμής καθώς για επικοινωνία υψηλής κινητικότητας (μεταφορικό μέσο) η μετάδοση είναι 100Mbit/sec ενώ για επικοινωνία χαμηλής και μέτριας κινητικότητας (πεζοί) η μετάδοση είναι στο 1Gbit/sec. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της γενιάς αυτής είναι η χρήση ψηφιακών συστημάτων τα οποία υποστηρίζουν υπηρεσίες υψηλής ευκρίνειας όπως η IP τηλεφωνία και Mobile TV.[32]



Εικόνα 9. Τεχνολογία 4G LTE.

Πηγή: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.switcher4g.force.lte4g&hl=el&gl=US>

Η κυριότερη διαφορά της τέταρτης γενιάς δικτύων με τις προγενέστερες γενιές, είναι η κατάργηση της τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων. Αξίζει βέβαια να τονιστεί και η τεχνολογία LTE η οποία αναπτύχθηκε στα γραφεία της εταιρίας TeliaSonera με έδρα το Όσλο και την Στοκχόλμη. Με την τεχνολογία LTE έχουν βελτιστοποιηθεί θεαματικά τα μεγέθη των κυψελών μέχρι τα 5 χιλιόμετρα, η απόδοση είναι μειωμένη σε απόσταση έως και τα 30 χιλιόμετρα ενώ πλέον καλύπτονται μεγέθη κυψελών έως και τα 100 χιλιόμετρα. Με την τεχνολογία αυτή η χωρητικότητα και η ταχύτητα του δικτύου έχουν αυξηθεί σημαντικά όπως και η ποιότητα μετάδοσης της φωνής ακόμα και σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης βρίσκεται εν κινήσει.

Ο ρυθμός μετάδοσης του συστήματος LTE προβλεπόταν σε 1Gbps για καθοδική ζεύξη και 500 Mbps για ανοδική ζεύξη. Δυστυχώς όμως το σύστημα δεν μπόρεσε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις αυτές. Την λύση στο πρόβλημα ήρθε να δώσει το LTE-ADVANCED. Το νέο αυτό σύστημα υποστηρίζει τις μεθόδους FDD και TDD ενώ ταυτόχρονα στηρίζεται και στην μεταγωγή πακέτων. Τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι η μικρή καθυστέρηση, η μεγάλη απόδοση και η ανεπανάληπτη ευελιξία του. Από πολλούς η νέα αυτή τεχνολογία έχει ονομαστεί και ως δίκτυο 4G+ χάρις στις νέες καινοτομίες που έχει σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα της τέταρτης γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας.[31]

3.9 5η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (5G)

Στην ζωή μας σήμερα έχει εδραιωθεί για τα καλά το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 4G και 4G+. Τα τελευταία χρόνια όμως έχουμε την εμφάνιση μίας νέας γενιάς δικτύων. Είναι η πέμπτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας γνωστή

και ως 5G. Οι πρώτες συζητήσεις γύρω από το 5G πήραν μέρος το 2017 ενώ η πειραματική του χρήση ξεκίνησε στα μέσα του 2019 με αρχές του 2020. Το νέο δίκτυο έχει χτιστεί πάνω σε κάποια πρότυπα και δυνατότητες του ήδη υπάρχον 4G δικτύου. Οι τεχνολογίες WiMax και LTE συνεχίζουν να υφίστανται. Μεγάλη έμφαση δίνεται επίσης και στο πρότυπο IMT-ADVANCED το οποίο δημιουργήθηκε από τον οργανισμό IMT, εταιρία κολοσσός στην ανάπτυξη ευρυζωνικών προτύπων τα τελευταία χρόνια.

Το δίκτυο 5G προσφέρει ακόμα πιο μεγάλες ταχύτητες στην μετάδοση των δεδομένων σε επίπεδο Gigabit. Μεγάλη καινοτομία αποτελεί και η δυνατότητα που παρέχει το δίκτυο σε μία κινητή συσκευή να έχει πρόσβαση σε μία άλλη, χωρίς να επηρεάζεται από καμία γεωγραφική θέση στον πλανήτη. Η προσπέλαση φυσικών ή μη εμποδίων γίνεται πλέον λίγο πιο δύσκολη καθώς μεγαλύτερες ταχύτητες προϋποθέτουν χαμηλότερες συχνότητες. Ταυτόχρονα με την είσοδο των δικτύων κινητής τηλεφωνίας στην πέμπτη τους γενιά, παρατηρούμε και την ραγδαία εξέλιξη των κινητών συσκευών γενικότερα. Οι συσκευές αυτές σήμερα έχουν εξελιχθεί στη ζωή μας ως μικροί φορητοί υπολογιστές. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα δίκτυα πέμπτης γενιάς έχει φέρει τον κόσμο μας πολύ πιο κοντά και έκανε την πληροφορία πολύ πιο γρήγορη.[34]

3.10 6η Γενιά Δικτύων κινητής τηλεφωνίας (6G)

Το πρότυπο δικτύων έκτης γενιάς γνωστό και ως 6G, αποτελεί την επόμενη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας που επρόκειτο να διαδεχθεί τα συστήματα 5G στο μέλλον. Όπως και όλα τα προηγούμενα πρότυπα δικτύων πριν από αυτό, το 6G αναμένεται να είναι ένα ευρυζωνικό κυψελωτό δίκτυο, στο οποίο η περιοχή εξυπηρέτησης θα χωρίζεται σε μικρότερες γεωγραφικές περιοχές που ονομάζονται κυψέλες. Σήμερα αρκετές εταιρίες κολοσσοί στη κινητή τηλεφωνία (

Apple, Hauwei, LG, Samsung, Xiaomi), ερευνητικά ιδρύματα (Technology Innovation Institute) καθώς και αρκετές χώρες (ΗΠΑ, Κίνα, Ιαπωνία, Νότια Κορέα), έχουν δείξει μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη και αξιοποίηση των συστημάτων 6G.

Τα συστήματα έκτης γενιάς αναμένεται να είναι πολύ πιο γρήγορα και ενισχυμένα από τα συστήματα προηγούμενων γενεών. Πολύ πιθανό σενάριο αποτελεί η υποστήριξη εφαρμογών όπως η εικονική πραγματικότητα (VR), η πανταχού παρούσα άμεση επικοινωνία καθώς και η τεχνητή νοημοσύνη. Το 6G θα αποτελέσει μία γενιά δικτύων η οποία θα υποστηρίζεται από υπολογιστές αιχμής, από blockchain τεχνολογίες ενώ η διαχείριση του θα είναι έξυπνη και αυτοματοποιημένη. Ωστόσο, μέχρι και τα τέλη του 2022, δεν έχει συμφωνηθεί καθολικά από κανένα κυβερνητικό ή μη φορέα, για το ποιες θα είναι οι προϋποθέσεις της νέας τεχνολογίας 6G.[28]

Πίνακας 1. Σύγκριση γενεών δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Γενιά	1G	2G	3G	4G	5G	6G
Χρονολογία	1980	1991	1998	2009	2019	Προορίζεται για το έτος 2030
Τεχνολογία	Αναλογική ή	Ψηφιακή , SMS	Μεγαλύτερη χωρτικότητα δικτύου	Νέα ψηφιακά συστήματα , 4G LTE	Μεγάλη χωρτικότητα , νέες ταχύτητες	Νέες ταχύτητες, καλύτερη ποιότητα
Πρότυπα	AMPS, TACS, FM,	PDC, GPRS	UMTS, 3GPP	LTE, WiMax,	IMT-2020	N/A

	FDMA, FDD	IS-95, GSM, IS-136	3GPP2	LTE ADV		
Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	N/A	50 Kbp/s	2 Mbp/s	1Gbp/s	10 Gbp/s	Υπολογίζεται στα 100 Gbp/s

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Το Δίκτυο 5G

4.1 Περιγραφή

Όπως έχουμε ήδη προαναφέρει, περίπου κάθε δέκα χρόνια, μία νέα γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας εμφανίζεται και διαδέχεται την προηγούμενη. Το πρώτο που εμφανίστηκε ήταν το 1G το οποίο αν και έφερε την επανάσταση στην επικοινωνία, η αναλογική του τεχνολογία το κατέστησε παρωχημένο. Το 2G αργότερα έφερε την πρώτη ψηφιακή τεχνολογία στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας καθώς και τα SMS. Ακολούθησε το 3G που έφερε τις υπηρεσίες δεδομένων και αργότερα το 4G που σύνδεσε τις κινητές συσκευές στο διαδίκτυο με μεγάλες ταχύτητες. Πλέον το 5G αποτελεί την συνέχεια και εξέλιξη των προηγούμενων δικτύων με ακόμη μεγαλύτερες ταχύτητες καθώς και μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου. [34]



Εικόνα 10. Το δίκτυο 5G.

Πηγή: <https://medium.com/@thinkwik/superfast-5g-network-why-you-must-have-it-9d603f6d6e31>

4.2 Χαρακτηριστικά

Οι πρώτες εταιρίες που ξεκίνησαν πειραματικά την λειτουργία των συστημάτων 5G ήταν η Samsung και η Nokia. Στις αρχικές τους παρατηρήσεις οι εταιρίες αυτές έκαναν λόγο για ταχύτητες που αγγίζουν τα 10Gbps, με ελάχιστες καθυστερήσεις στην μετάδοση των πακέτων από την μία συσκευή στην άλλη.

Το 2015 η οργάνωση Next Generation Mobile Networks, η οποία αποτελείται από παρόχους κινητής τηλεφωνίας, κατασκευάστριες εταιρίες κινητών συσκευών και άλλους φορείς του κλάδου των δικτύων, έχει ορίσει τα βασικά χαρακτηριστικά ενός δικτύου το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως δίκτυο πέμπτης γενιάς. Τα βασικά αυτά χαρακτηριστικά είναι :

- Σε αστικές περιοχές η μετάδοση των δεδομένων είναι της τάξης των 100Mbps.
- Το εύρος ζώνης για χρήστες που βρίσκονται στον ίδιο όροφο είναι 1Gbps.

- Ένα σημείο εκπομπής μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα εκατοντάδες χιλιάδες χρήστες.
- Η μετάδοση δεδομένων για χιλιάδες χρήστες ταυτόχρονα είναι επιπέδου δεκάδων megabits.
- Πληρέστερη και ποιοτικότερη κάλυψη του δικτύου μίας περιοχής.
- Η καθυστέρηση κυμαίνεται από 1 έως 10 milisecond.
- Σε συνθήκες χαμηλού σήματος χρήση είναι ακόμα εφικτή και αποδοτική.
- Μικρότερη καθυστέρηση σε σύγκριση με το δίκτυο LTE-ADVANCED.

Λόγω των χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων του 5G, έχει αναπτυχθεί και ένας άλλος τύπος διαδικτύου που ονομάζεται διαδίκτυο των πραγμάτων. Πλέον θα πρέπει να εξυπηρετηθούν είδη αμφίδρομης επικοινωνίας (επικοινωνία μεταξύ μηχανών από το ένα άκρο στο άλλο) όπως είναι η επικοινωνία τύπου μηχανής ή MTC. Η επικοινωνία αυτή χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες, δηλαδή στην κρίσιμη MTC και στην μαζική MTC. Η κρίσιμη MTC χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές καθώς και εφαρμογές κυκλοφοριακής ασφάλειας και ελέγχου. Διακρίνεται από την άμεση ανταπόκριση D2D, η οποία οφείλεται στο μεγάλο εύρος ζώνης που διαθέτει. Από την άλλη η μαζική MTC χρησιμοποιείται για να καλύψει κυρίως τις ανάγκες χαμηλής κατανάλωσης όπως για παράδειγμα είναι οι αισθητήρες. Στην αυτή κατηγορία υπάρχει η δυνατότητα ανταπόκρισης σε μεγάλο αριθμό συσκευών ταυτόχρονα.[33]

4.2.1 Το Μοντέλο METIS

Το μοντέλο METIS αντιστοιχεί σε Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society. Αναπτύχθηκε στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Χρησιμοποιείται διεθνώς

ως βασικό εργαλείο για την ανάπτυξη διαφόρων υπηρεσιών. Τρεις από τις πιο βασικές υπηρεσίες οι οποίες αναπτύσσονται μέσω του METIS, είναι η xMBB, η mMTC και η uMTC. Στην υπηρεσία xMBB κύριος σκοπός είναι η αύξηση του ρυθμού μεταφοράς των δεδομένων καθώς και η υψηλή αξιοπιστία σε περίπτωση που ο ρυθμός μεταφοράς μειώνεται. Έτσι έχουμε ρυθμούς μετάδοσης σε μεγέθη Gbps, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις όπου ο ρυθμός μετάδοσης πέφτει σε επίπεδα Mbps, η αξιοπιστία μετάδοσης και δικτύου παραμένει υψηλή. Στην δεύτερη υπηρεσία που θα αναλύσουμε, δηλαδή στην mMTC, παρατηρούμε ότι το κυριότερο χαρακτηριστικό της υπηρεσίας αυτής είναι η υποστήριξη της σύνδεσης μεγάλου αριθμού συσκευών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση σε κόστος αλλά και σε ενέργεια. Η τρίτη υπηρεσία δεν είναι άλλη από την uMTC. Στην υπηρεσία αυτή θα παρατηρήσουμε την υψηλή αξιοπιστία που παρέχεται χωρίς όμως να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον αριθμό συνδεδεμένων συσκευών, ο οποίος δυστυχώς είναι χαμηλός.

Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει να γίνει και στο METIS-II. Το METIS-II βασίζεται στο επιτυχημένο έργο METIS το οποίο και αναλύσαμε παραπάνω. Θα αναπτύξει τον συνολικό σχεδιασμό του δικτύου νέας γενιάς 5G και θα παρέχει τα τεχνικά μέσα που απαιτούνται για την αποτελεσματική ενσωμάτωση και χρήση των διαφόρων τεχνολογιών και στοιχείων 5G που αναπτύσσονται επί του παρόντος. Το METIS-II θα παρέχει το πλαίσιο συνεργασίας δικτύων πέμπτης γενιάς στο πλαίσιο του προτύπου 5G-PPP, για μια κοινή αξιολόγηση των εννοιών του δικτύου 5G και θα προετοιμάσει συντονισμένη δράση προς τους ρυθμιστικούς φορείς και τους φορείς τυποποίησης. Με βάση την πολύ ισχυρή και διεθνή κοινοπραξία που υφίσταται, με εταίρους από όλες τις περιοχές με ισχυρές πρωτοβουλίες E&A 5G (ΕΕ, ΗΠΑ, Κίνα, Ιαπωνία, Κορέα) που περιλαμβάνει τους περισσότερους από τους μεγαλύτερους διεθνείς προμηθευτές, σημαντικούς φορείς εκμετάλλευσης και βασικούς ερευνητές, το METIS-II θα έχει την μοναδική ικανότητα να οδηγήσει στην οικοδόμηση συναίνεσης παγκοσμίως. Θα εδραιώσει ουσιαστικά μια πλήρη εικόνα των αναγκών των κινητών σήμερα καθώς και των

βιομηχανιών και θα διαδίδει τα αποτελέσματα στους σχετικούς φορείς, φόρουμ και ομάδες τυποποίησης σε όλες τις περιοχές. [1]

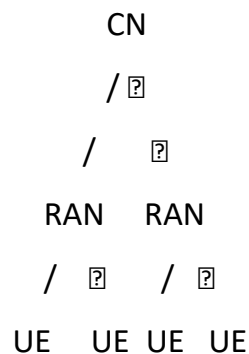
Συνοψίζοντας μπορούμε να αντιληφθούμε πως συνολικά το μοντέλο METIS αποτελεί ένα πολύ σημαντικό τεχνολογικό έργο. Στόχος του έργου αυτού από την πρώτη στιγμή του σχεδιασμού και της εμφάνισής του, είναι η θεμελίωση της νέας γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας 5G. Τα νέα δίκτυα και συστήματα 5G ήρθαν για να μείνουν στην ζωή μας, πάντα όμως με την συνδρομή και υποστήριξη τεχνολογικών μοντέλων και προγραμμάτων όπως είναι το METIS και METIS-II.

4.2.2 Οι Τοπολογίες RAN

Με την άφιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας καθώς και με την ανάπτυξή τους από το 1G στο 5G, έχουμε ταυτόχρονα την εμφάνιση και εδραίωση στο χώρο των δικτύων, των τοπολογιών RAN. Η τοπολογία RAN που αντιστοιχεί σε Radio Access Network, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στα συστήματα τηλεπικοινωνιών. Στην τοπολογία αυτή εφαρμόζεται η τεχνολογία της “ραδιοπρόσβασης”. Ουσιαστικά η τοπολογία RAN βρίσκεται και χρησιμοποιείται μεταξύ μίας συσκευής όπως είναι για παράδειγμα ένα κινητό τηλέφωνο, ένας υπολογιστής ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή και παρέχει σύνδεση με το κέντρο του δικτύου (CN). Ανάλογα το εκάστοτε πρότυπο, τα κινητά τηλέφωνα και άλλες ασύρματες συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο, αναφέρονται ως

εξοπλισμός χρήστη (UE), τερματικός εξοπλισμός (terminal equipment) ή κινητός σταθμός (mobile station). Η λειτουργία RAN παρέχεται συνήθως από ένα τοιπ πυριτίου που βρίσκεται τόσο στο κέντρο του δικτύου (CN) αλλά και στην συσκευή του χρήστη. Είναι επίσης εφικτό για μία μόνο κινητή συσκευή, να συνδεθεί ταυτόχρονα σε πολλαπλά δίκτυα RAN. Για παράδειγμα, είναι σύνηθες για τα ακουστικά να υποστηρίζουν τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης τόσο GSM όσο και UMTS (γνωστή και ως "3G"). Τέτοιες συσκευές μεταφέρουν απρόσκοπτα μια συνεχή κλήση μεταξύ διαφορετικών δικτύων RAN χωρίς ο χρήστης να παρατηρήσει καμία διακοπή στην υπηρεσία που του παράχεται.

Σχεδιάγραμμα κατανόησης λειτουργίας των τοπολογιών RAN :



Στα σημερινά δίκτυα τηλεπικοινωνιών υπάρχουν τρεις βασικές τοπολογίες RAN οι οποίες είναι :

(Α). **Τοπολογία πλήρους πλέγματος** γνωστή και ως **Full Mesh topology**. Σε αυτή την τοπολογία κάθε κόμβος συνδέεται απευθείας με όλους τους άλλους κόμβους στο δίκτυο. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την μερική τοπολογία πλέγματος, όπου μόνο ορισμένοι κόμβοι συνδέονται απευθείας μεταξύ τους. Ένα δίκτυο πλέγματος είναι ένα δίκτυο στο οποίο οι συσκευές ή οι κόμβοι, συνδέονται μεταξύ τους, διακλαδίζοντας άλλες συσκευές ή κόμβους. Αυτά τα

δίκτυα έχουν ρυθμιστεί για την αποτελεσματική δρομολόγηση δεδομένων μεταξύ συσκευών και πελατών. Βοηθούν τις εταιρίες τηλεφωνίας και τους πάροχους δικτύου να παρέχουν μια αξιόπιστη και ποιοτική σύνδεση σε ολόκληρο τον φυσικό χώρο.

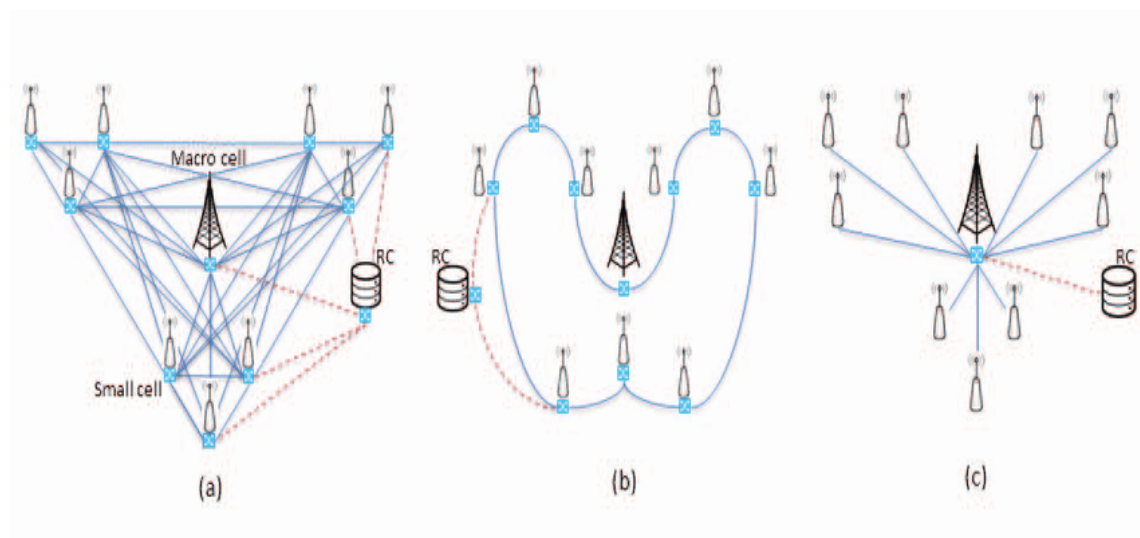
Οι τοπολογίες δικτύου Mesh δημιουργούν πολλαπλές διαδρομές για πληροφορίες που ταξιδεύουν μεταξύ συνδεδεμένων κόμβων. Αυτή η προσέγγιση αυξάνει την ανθεκτικότητα του δικτύου σε περίπτωση αποτυχίας κόμβου ή σύνδεσης. Τα μεγαλύτερα δίκτυα πλέγματος μπορεί να περιλαμβάνουν πολλαπλούς δρομολογητές, διακόπτες και άλλες συσκευές, οι οποίες λειτουργούν ως κόμβοι. Ένα δίκτυο πλέγματος μπορεί να περιλαμβάνει εκατοντάδες κόμβους ασύρματου πλέγματος, κάτι που του επιτρέπει να εκτείνεται σε μια μεγάλη περιοχή. [2]

(B). **Τοπολογία δακτυλίου** ή αλλιώς **Ring topology**. Η τοπολογία δακτυλίου είναι ένας τύπος τοπολογίας δικτύου στην οποία κάθε συσκευή συνδέεται με δύο άλλες συσκευές εκατέρωθεν μέσω καλωδίου RJ-45 ή ομοαξονικού καλωδίου. Αυτό σχηματίζει έναν κυκλικό δακτύλιο συνδεδεμένων συσκευών που του δίνει το αντίστοιχο όνομα.

Τα δεδομένα μεταφέρονται συνήθως προς μία κατεύθυνση κατά μήκος του δακτυλίου, γνωστό ως μονόδρομος δακτύλιος. Τα δεδομένα προωθούνται από τη μια συσκευή στην άλλη, μέχρι να φτάσουν στον προορισμό τους. Σε έναν αμφίδρομο δακτύλιο, τα δεδομένα μπορούν να ταξιδεύουν προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. [3]

(Γ). **Τοπολογία αστέρι** κοινώς γνωστή ως **Star topology**. Εναλλακτικά αναφέρεται ως δίκτυο αστεριών, η τοπολογία αυτή είναι μία από τις πιο κοινές τοπολογίες δικτύου. Κάθε κόμβος συνδέεται με μια κεντρική συσκευή δικτύου, όπως διανομέα, μεταγωγέα ή υπολογιστή. Η κεντρική συσκευή δικτύου

λειτουργεί ως διακομιστής και οι περιφερειακές συσκευές ως πελάτες. Σε μια τοπολογία αστεριού, χρησιμοποιείται είτε ομοαξονικό καλώδιο δικτύου είτε καλώδιο δικτύου RJ-45, ανάλογα με τον τύπο της κάρτας δικτύου κάθε υπολογιστή. Δεν υπάρχει περιορισμός στο πόσοι υπολογιστές μπορούν να συνδεθούν σε μια τοπολογία αστεριού. Ωστόσο, η απόδοση του δικτύου μπορεί να μειωθεί καθώς συνδέονται περισσότεροι υπολογιστές, με αποτέλεσμα να προκύπτουν χαμηλότερες ταχύτητες δικτύου.[4]



Εικόνα 11. Τοπολογίες RAN: (a) Full Mesh Topology (b) Ring Topology (c) Star Topology

Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Different-RAN-topologies-a-full-mesh-b-ring-c-star_fig1_312336842

Λόγω της μεγάλης αύξησης των δικτύων αλλά και της εμφάνισης των τοπολογιών RAN, οι ανάγκες για περισσότερα δίκτυα και για αναβάθμιση τους είναι μεγάλες. Έτσι λοιπόν θα προκύψει η αρχιτεκτονική C-RAN. Στην αρχιτεκτονική αυτή οι ψηφιακές μονάδες τοποθετούνται σε κεντρικά σημεία του δικτύου και οι απομακρυσμένες μονάδες γνωστές και ως RRUs, τοποθετούνται σε αποστάσεις της τάξεως χιλιομέτρων. Η σωστή και ποιοτική επικοινωνία μεταξύ τους επιτυγχάνεται μέσω οπτικής ίνας, γνωστή ως Fronthaul. Με το

χαρακτηριστικό αυτό παρέχεται σύνδεση των ψηφιακών μονάδων βασικής ζώνης στο ευρύτερο δίκτυο. Για την ζεύξη μεταξύ των ψηφιακών μονάδων της βασικής ζώνης και των υπόλοιπων ασύρματων θέσεων στο δίκτυο (Baseband), χρησιμοποιείται Fronthaul με διεπαφή CPRI (Common Public Radio Interface). Το κύριο χαρακτηριστικό της διεπαφής αυτής είναι είναι η μικρή καθυστέρηση και το μεγάλο εύρος ζώνης στο δίκτυο των οπτικών ινών.

Το πρότυπο διεπαφής Common Public Radio Interface (CPRI) ορίζει μια διασύνδεση μεταξύ Ραδιοφωνικού Ελέγχου Εξοπλισμού (REC) και Ραδιοεξοπλισμού (RE). Συχνά, οι συνδέσεις μέσω CPRI χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ τοποθεσιών κυψέλης και σταθμών βάσης, κάτι που συνήθως επιτυγχάνεται με διασύνδεση οπτικών ινών. Ο σκοπός του CPRI είναι να επιτρέψει την αντικατάσταση μιας χάλκινης ή ομοαξονικής σύνδεσης καλωδίου μεταξύ ενός ραδιο-πομποδέκτη (για επικοινωνία κινητής τηλεφωνίας), που συνήθως βρίσκεται σε έναν πύργο ενός σταθμού βάσης, ο οποίος συνήθως βρίσκεται κοντά στο έδαφος. Έτσι η σύνδεση μπορεί να μεταφερθεί σε μια απομακρυσμένη και πιο βολική τοποθεσία. Αυτή η σύνδεση όπου συχνά αναφέρεται και ως δίκτυο Fronthaul, μπορεί να είναι μια ίνα σε μια εγκατάσταση όπου μπορούν να εξυπηρετούνται πολλοί απομακρυσμένοι σταθμοί βάσης. Αυτή η ίνα υποστηρίζει τόσο απλή όσο και πολλαπλή επικοινωνία. Το άκρο της ίνας είναι συνδεδεμένο με τη συσκευή πομποδέκτη που ονομάζεται πομποδέκτης Small form-factor. Σήμερα οι εταιρείες που εργάζονται για τον καθορισμό των προδιαγραφών αυτών είναι η Ericsson AB, Huawei Technologies Co., NEC Corporation και Nokia. [5]

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του δικτύου σήμερα αποτελεί και το δίκτυο Backhaul. Το δίκτυο Backhaul ανήκει στη κατηγορία των ετερογενών δικτύων και είναι γνωστό αλλιώς και ως HeNet. Το δίκτυο αυτό σε αστικούς ιστούς απαρτίζεται από ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό ζεύξεων, των οποίων οι αποστάσεις είναι μικρές μεταξύ τους ενώ οι ταχύτητες τους αγγίζουν το επίπεδο των Mbps.

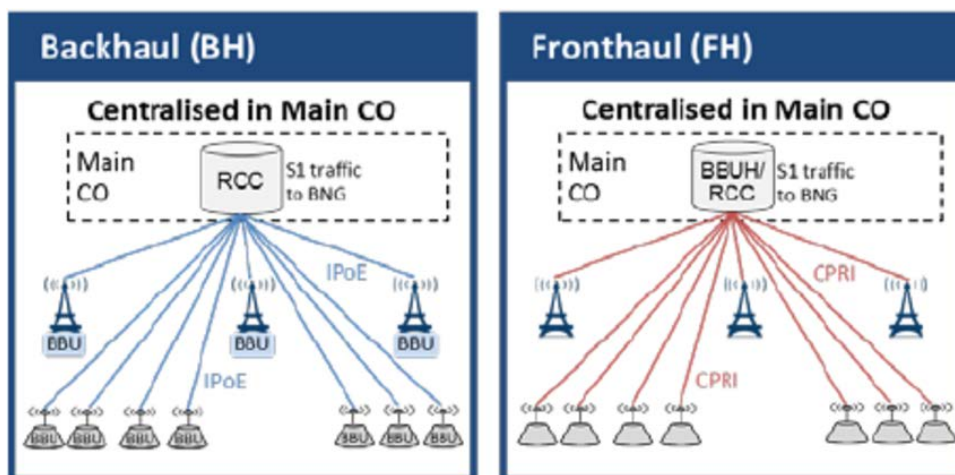
Στα επόμενα χρόνια ενδέχεται να φτάσουν ταχύτητες μεγαλύτερες της τάξεως του 1Gbps.

4.3 Αρχιτεκτονικές 5G Fronthaul & Backhaul

Στην σημερινή εποχή η ανάγκη για γρήγορη και αξιόπιστη αποστολή και λήψη δεδομένων, αποτελεί καθημερινότητα. Τα νέα δίκτυα και συστήματα κινητής τηλεφωνίας 5G συχνά αποκαλούνται και ως δίκτυα τελευταίας γενιάς. Για τον λόγο αυτό καλούνται να αντιμετωπίσουν τις νέες προκλήσεις αλλά και τις αυξανόμενες ανάγκες του κοινού παγκοσμίως.

Η κύρια αποστολή των δικτύων πέμπτης γενιάς σήμερα είναι η μεταφορά μεγάλης ποσότητας δεδομένων, οι λύσεις σε εμπόδια και δυσκολίες που προκύπτουν στην μεταφορά πακέτων μεταξύ ασύρματων δικτύων πρόσβασης RAN και των δικτύων κορμού (Packet Core), έτσι ώστε να ανταποκριθούν στον αυξανόμενο όγκο δεδομένων και να προκύψει χαμηλό κόστος. Οι διαφορετικές ανάγκες που προκύπτουν και ο τεράστιος αριθμός χρηστών του διαδικτύου, καθιστούν τα δίκτυα πέμπτης γενιάς πολυδιάστατα και πολυμορφικά δίκτυα καθώς ενσωματώνουν διάφορες τεχνολογίες ώστε να γίνει εφικτή η υλοποίησή τους. Τα νέα δίκτυα 5G διακινούν όγκο δεδομένων που εκτιμάται ότι φτάνει ακόμα και το 1TB το δευτερόλεπτο ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Έχει

παρατηρηθεί επίσης η μεγάλη αύξηση συνδεδεμένων συσκευών στο δίκτυο που υπολογίζεται σε περίπου ένα εκατομμύριο τερματικά ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Πλέον ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων έχει ταχύτητες που κυμαίνονται από 1 έως 10 Gb/sec. Ένα επίσης πολύ σημαντικό στοιχείο των νέων αυτών δικτύων είναι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του δικτύου, η μείωση των χρονικών καθυστερήσεων αλλά και η μείωση καθυστερήσεων λόγω περιβάλλοντος όπως ο αέρας, η βροχή, το χιόνι και ο παγετός. Οι καθυστερήσεις αυτές μπορεί να προκύψουν είτε μεταξύ των χρηστών είτε ευρύτερα στο δίκτυο.



Εικόνα 12. Αρχιτεκτονικές Backhaul και Fronthaul.

Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Placement-of-RCC-and-BBU-in-Backhaul-and-Fronthaul-architecture_fig1_291808846

Για να μπορέσουν σήμερα τα δίκτυα πέμπτης γενιάς να ανταποκριθούν και να υλοποιήσουν τους στόχους και τα χαρακτηριστικά που προαναφέραμε, είναι απαραίτητη η χρήση διαφορετικών τεχνολογιών. Οι τεχνολογίες αυτές κατηγοριοποιούνται σε τρεις βασικές ομάδες οι οποίες είναι :

- ❖ **Χρήση υπαρχών βάσεων και υποδομών ινών.** Στην τεχνολογική αυτή ομάδα αναφερόμαστε σε υποδομές ινών στο δίκτυο πρόσβασης όπως είναι οι GPON και WDM, αλλά και σε ήδη υπάρχουσες υποδομές χαλκού όπως είναι οι υποδομές VDSL, BONDING 35B και G.FAST.

- ❖ **Επαναπροσδιορισμός και εφαρμογή οπτικών ινών.** Αυτό συμβαίνει όπου κρίνεται απαραίτητο και απαιτείται μεγάλη χωρητικότητα στο δίκτυο. Έτσι επιτυγχάνεται η αύξηση της ποιότητας αλλά και των δυνατοτήτων του δικτύου καθώς και η μείωση του κόστους ευρύτερα στο δίκτυο και την χρήση του.
- ❖ **Ασύρματες τεχνολογίες.** Όταν αναφερόμαστε σε ασύρματες τεχνολογίες, αναφερόμαστε σε τεχνολογίες όπως microwave, mmWAVE και optical wireless τεχνολογίες. Η τεχνολογική αυτή ομάδα είναι άκρως απαραίτητη καθώς μέσω των τεχνολογιών που διαθέτει, μπορούν να επιλυθούν διάφορα προβλήματα που προκύπτουν όταν δεν είναι δυνατή η ενσύρματη σύνδεση. Επίσης υπάρχουν και περιπτώσεις όπου κρίνεται αναγκαία η ανάπτυξη ασύρματου δικτύου αφού προηγηθεί έρευνα του 5G croshaul. [46]

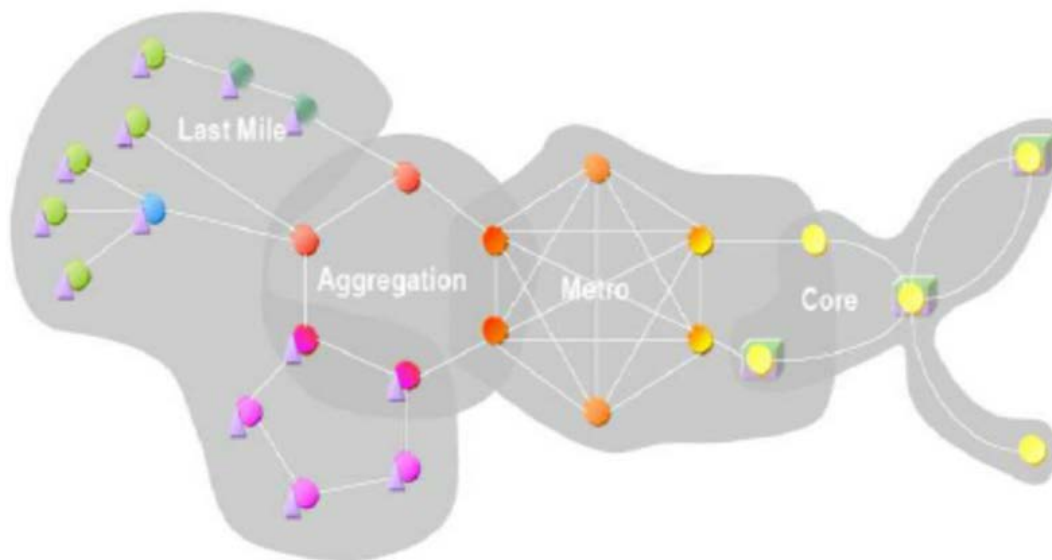
4.3.1 BACKHAUL

Σε ένα ιεραρχικό δίκτυο τηλεπικοινωνιών, το τμήμα backhaul του δικτύου περιλαμβάνει τις ενδιάμεσες ζεύξεις μεταξύ του κεντρικού δικτύου ή του δικτύου κορμού και των μικρών υποδικτύων στην άκρη του ευρύτερου δικτύου. Ο πιο κοινός τύπος δικτύου στον οποίο εφαρμόζεται το δίκτυο backhaul είναι ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Μια τοπολογία backhaul ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας, που αναφέρεται επίσης ως mobile-backhaul, συνδέει μια τοποθεσία κυψέλης με το κεντρικό δίκτυο. Οι δύο κύριες μέθοδοι υλοποίησης backhaul για κινητά είναι το backhaul που βασίζεται σε ίνες και το ασύρματο backhaul από σημείο σε σημείο. Άλλες μέθοδοι, όπως η ενσύρματη γραμμή που βασίζεται σε χαλκό, οι δορυφορικές επικοινωνίες και οι ασύρματες τεχνολογίες από σημείο σε πολλά σημεία, καταργούνται σταδιακά καθώς οι απαιτήσεις χωρητικότητας και καθυστέρησης γίνονται υψηλότερες στα δίκτυα 4G και 5G.

Τόσο στους τεχνικούς όσο και στους εμπορικούς ορισμούς, το backhaul γενικά αναφέρεται στην πλευρά του δικτύου που επικοινωνεί με το παγκόσμιο διαδίκτυο. Σε αυτό το σημείο υπάρχουν χρεώσεις χονδρικής εμπορικής πρόσβασης προς ή σε ένα σημείο ανταλλαγής διαδικτύου ή άλλη τοποθεσία πρόσβασης στο κεντρικό δίκτυο. Μερικές φορές υπάρχουν δίκτυα μεσαίου μιλίου μεταξύ του LAN του ίδιου του πελάτη και αυτών των εναλλαγών. Αυτή μπορεί να είναι μια τοπική σύνδεση WAN. Τα κινητά τηλέφωνα που επικοινωνούν με έναν μόνο πύργο κινητής τηλεφωνίας αποτελούν ένα τοπικό υποδίκτυο. Η σύνδεση μεταξύ του πύργου κινητής τηλεφωνίας και του υπόλοιπου κόσμου ξεκινά με μια σύνδεση backhaul στον πυρήνα του δικτύου του παρόχου υπηρεσιών διαδικτύου, μέσω ενός σημείου παρουσίας ή αλλιώς point of presence. Ένα backhaul μπορεί να περιλαμβάνει ενσύρματα, οπτικές ίνες και ασύρματα εξαρτήματα. Τα ασύρματα τμήματα μπορεί να περιλαμβάνουν τη χρήση ζωνών κυμάτων και τοπολογιών δικτύου πλέγματος που μπορεί να χρησιμοποιούν ασύρματο κανάλι υψηλής χωρητικότητας για να μεταφέρουν πακέτα στους συνδέσμους κυμάτων ή ινών.

Η επιλογή της τεχνολογίας backhaul πρέπει να λαμβάνει υπόψη παραμέτρους όπως η χωρητικότητα, το κόστος, η εμβέλεια και η ανάγκη για πόρους όπως το φάσμα συχνοτήτων, η οπτική ίνα, η καλωδίωση ή τα δικαιώματα διέλευσης. Γενικά, οι λύσεις backhaul μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μεγάλο βαθμό σε ενσύρματες (μισθωμένες γραμμές χαλκού/ίνας) ή ασύρματες (σημείο-προς-σημείο, σημείο-προς-πολλαπλό σημείο μέσω ζεύξεων υψηλής χωρητικότητας). Το ενσύρματο backhaul είναι συνήθως μια πολύ δαπανηρή λύση και συχνά αδύνατο να αναπτυχθεί σε απομακρυσμένες περιοχές, καθιστώντας το ασύρματο μια πιο κατάλληλη και πιο βιώσιμη επιλογή. Η ασύρματη αρχιτεκτονική Multi-hop μπορεί να ξεπεράσει τα εμπόδια των ενσύρματων λύσεων και να οδηγήσει σε αποτελεσματικές μεγάλες περιοχές κάλυψης, με την αυξανόμενη ζήτηση στις αναδυόμενες αγορές όπου συχνά το κόστος είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη λήψη απόφασης τεχνολογιών

σήμερα. Μια λύση ασύρματης backhaul μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες «κατηγορίας κινητής τηλεφωνίας», ενώ αυτό δεν είναι εύκολα εφικτό με ενσύρματη συνδεσιμότητα backhaul. [7][47]



Εικόνα 13. Η αρχιτεκτονική Backhaul.

Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/291349629_Mobile_Backhaul_Network_Convergence#pf2

Οι τεχνολογίες Backhaul περιλαμβάνουν:

- Οπτικό ελεύθερου χώρου (FSO).
- Μετάδοση ραδιοφωνικών κυμάτων από σημείο σε σημείο (επίγεια ή σε ορισμένες περιπτώσεις, μέσω δορυφόρου).
- Οι τεχνολογίες πρόσβασης κυμάτων από σημείο σε πολλαπλό σημείο, όπως LMDS, Wi-Fi, WiMAX. Μπορούν επίσης να λειτουργήσουν για σκοπούς backhauling.
- Παραλλαγές DSL, όπως ADSL, VDSL και SHDSL.
- Διεπαφές PDH και SDH/SONET, όπως (κλασματικές) E1/T1, E3, T3, STM-1/OC-3 κ.λπ.

- Ethernet
- Τηλεφωνία VoIP μέσω αποκλειστικών και δημόσιων δικτύων IP.

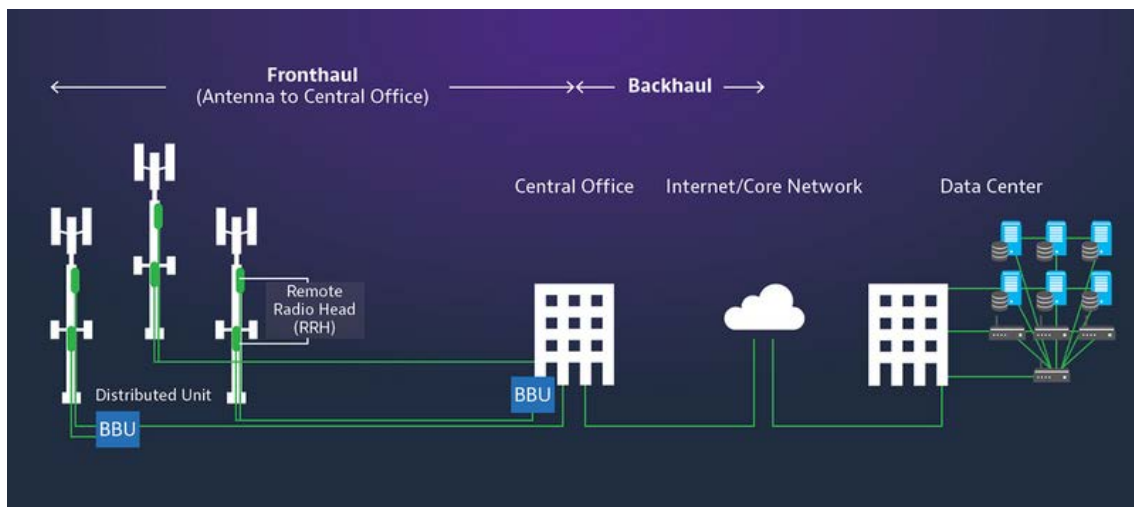
Η χωρητικότητα Backhaul μπορεί επίσης να μισθωθεί από άλλο φορέα εκμετάλλευσης δικτύου, οπότε ένας φορέας εκμετάλλευσης δικτύου επιλέγει γενικά την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Αυτό μπορεί να περιοριστεί σε λιγότερες τεχνολογίες εάν η απαίτηση είναι πολύ συγκεκριμένη, όπως βραχυπρόθεσμες συνδέσεις για βοήθεια έκτακτης ανάγκης/καταστροφών ή για δημόσιες εκδηλώσεις. Σε αυτή την περίπτωση το κόστος και ο χρόνος θα ήταν σημαντικοί παράγοντες και θα απέκλειαν αμέσως τις ενσύρματες λύσεις, εκτός εάν η προϋπάρχουσα υποδομή ήταν άμεσα προσβάσιμη ή διαθέσιμη.[47]

4.3.2 FRONTHAUL

Το τμήμα fronthaul μιας αρχιτεκτονικής τηλεπικοινωνιών C-RAN (Cloud Radio Access Network) περιλαμβάνει τους ενδιάμεσους συνδέσμους μεταξύ των κεντρικών ραδιοελεγκτών και των ραδιοφωνικών κεφαλών (ή των ιστών) στην «άκρη» ενός κυψελοειδούς δικτύου. Τα τελευταία χρόνια το fronthaul γίνεται πιο ουσιαστικό καθώς το 5G γίνεται πιο προσιτό στο ευρύ κοινό και η χρήση του όλο και αυξάνεται. Σε γενικές γραμμές συμπίπτει με το δίκτυο backhaul, αλλά είναι εμφανώς διαφορετικό. Τεχνικά σε ένα C-RAN τα δεδομένα backhaul αποκωδικοποιούνται μόνο από το δίκτυο fronthaul στους κεντρικούς ελεγκτές, από όπου στη συνέχεια μεταφέρονται στο κεντρικό δίκτυο. Περιλαμβάνει αποκλειστικές ίνες που μεταφέρουν δεδομένα σε μορφή CPRI ή OBSAI. Αυτό το δίκτυο οπτικών ινών είτε ανήκει είτε είναι μισθωμένο από κάποιον πάροχο του

δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, για παράδειγμα, η BT Openworld κατέχει το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου οπτικών ινών . Υπάρχουν προτάσεις για τροποποίηση του Ethernet ώστε να καταστεί πιο κατάλληλο για το δίκτυο Fronthaul.

Πρόσφατα, έχει προταθεί μια νέα ασύρματη λύση fronthaul για την ανάπτυξη εξαιρετικά πυκνών μικρών κυψελών, όπου έχουν εισαχθεί δικτυωμένες ιπτάμενες πλατφόρμες (NFP), όπως UAV, drones, δεμένα μπαλόνια και πλατφόρμες μεγάλου, μεσαίου και χαμηλού ύψους που φέρουν πομποδέκτες FSO, ως εναέριοι κόμβοι για τη συγκέντρωση της κίνησης μικρών κυψελών και την προσφορά συνδεσιμότητας με το κεντρικό δίκτυο. [8]



Εικόνα 14. Η αρχιτεκτονική Fronthaul σε συνάρτηση με την Backhaul.

Πηγή: <https://www.viavisolutions.com/pt-br/fronthaul>

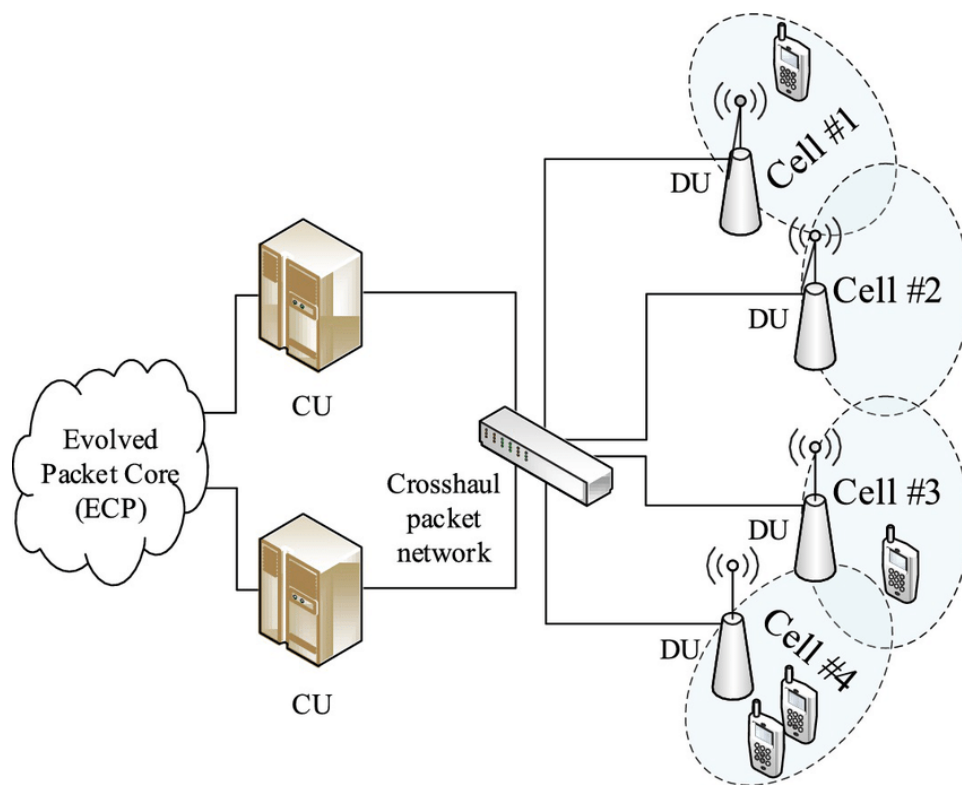
4.3.3 5G-CROSHAUL

Το τεχνολογικό έργο 5G- Crosshaul αποτελεί αποτέλεσμα μελετών από αρμόδιους φορείς, οι οποίοι συνεχίζουν να μελετούν το έργο αυτό για την καταλληλότητά του ακόμα και σήμερα. Η μελέτες δεν επικεντρώνονται μόνο στο συγκεκριμένο έργο αλλά και σε άλλες παρόμοιες τεχνολογίες μέχρι την τελική τους έγκριση. Τα δίκτυα 5G που εξυπηρετούν ένα τσουνάμι δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα απαιτούν λύσεις fronthaul και backhaul μεταξύ των τοπολογιών RAN και του πυρήνα, πακέτων ικανών να αντιμετωπίσουν αυτόν τον αυξημένο φόρτο κυκλοφορίας ενώ πληρούν νέες αυστηρές απαιτήσεις υπηρεσίας 5G με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Το κατά πόσο το έργο αυτό είναι αποδοτικό και κατάλληλο στην εφαρμογή του, εξαρτάται από παράγοντες όπως είναι η πυκνότητα του δικτύου, η ενεργειακή απόδοση, η απόσταση σύνδεσης, ο συγχρονισμός, η καθυστερήσεις που θα προκύψουν, το συνολικό κόστος του προγράμματος και ζητήματα λειτουργίας όπως προβλήματα αξιοπιστίας και αυτόματης διόρθωσης.

Το έργο 5G-Crosshaul στοχεύει στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου δικτύου μεταφοράς backhaul και fronthaul 5G, επιτρέποντας μια ευέλικτη και καθορισμένη από λογισμικό αναδιαμόρφωση όλων των στοιχείων δικτύωσης σε ένα ενοποιημένο περιβάλλον διαχείρισης προσανατολισμένο στις αντίστοιχες υπηρεσίες. Το προβλεπόμενο δίκτυο μεταφορών Xhaul θα αποτελείται από διακόπτες υψηλής χωρητικότητας και ετερογενείς ζεύξεις μετάδοσης (π.χ. οπτικές ίνες ή ασύρματες ίνες, χαλκός υψηλής χωρητικότητας, mmWave) που θα

διασυνδέουν Remote Radio Heads, 5GPoAs (π.χ. macro και μικρές κυψέλες), μονάδες επεξεργασίας cloud (μίνι κέντρα δεδομένων) και σημεία παρουσίας των βασικών δικτύων ενός ή πολλών παρόχων υπηρεσιών. Αυτό το δίκτυο μεταφορών θα διασυνδέει ευέλικτα την κατανεμημένη 5G πρόσβαση και τις λειτουργίες του βασικού δικτύου, που φιλοξενούνται σε κόμβους νέφους εντός του δικτύου, μέσω της υλοποίησης:

- (i) **Μιας υποδομής ελέγχου** που χρησιμοποιεί ένα ενοποιημένο, αφηρημένο μοντέλο δικτύου για την ενοποίηση του επιπέδου ελέγχου (Xhaul Control Infrastructure, XCI).
- (ii) **Ένα ενοποιημένο επίπεδο δεδομένων** που περιλαμβάνει καινοτόμες τεχνολογίες μετάδοσης υψηλής χωρητικότητας και νέες αρχιτεκτονικές μεταγωγής καθυστέρησης (Xhaul Packet Forwarding Element, XFE).



Εικόνα 15. Η αρχιτεκτονική Crosshaul

Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Topology-of-C-RAN-crosshaul-network_fig1_345315033

Η επίδειξη και η επικύρωση των εξαρτημάτων της τεχνολογίας Xhaul που αναπτύχθηκαν θα ενσωματωθούν σε ένα ευέλικτο και επαναδιαμορφωμένο από λογισμικό 5G δοκιμαστικό περιβάλλον στο Βερολίνο. Τα πειράματα Xhaul που σχετίζονται με την κινητικότητα θα πραγματοποιηθούν χρησιμοποιώντας τρένα υψηλής ταχύτητας της Ταϊβάν. Οι στόχοι Xhaul KPI που αξιολογούνται θα περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου κατά 20%, καθυστερήσεις μικρότερες από 1 ms και μείωση TCO κατά 30%. [10]

4.4 5G Οπτική Ασύρματη Επικοινωνία

Η υλοποίηση ενός ασύρματου δικτύου, είναι η λύση που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του κοινού σήμερα, με τον πλέον ασφαλή και σύγχρονο τρόπο. Επιπρόσθετα μπορεί να υλοποιηθεί ένα απομονωμένο ασύρματο δίκτυο για τους επισκέπτες - πελάτες (guest portal), οι οποίοι θα μπορούν να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο με ασφάλεια και ταυτόχρονα χωρίς να θίγεται η ακεραιότητα του τοπικού δικτύου. Η σύνδεση δύο ή περισσότερων χώρων οι οποίοι βρίσκονται σχετικά κοντά ή είναι απομακρυσμένοι αλλά παρόλα αυτά υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ τους, είναι μια κλασική πλέον εφαρμογή της τεχνολογίας ασύρματης δικτύωσης. Το χαμηλό κόστος σε αντίθεση με τα υπέρογκα ποσά των μισθωμένων γραμμών (leased lines) που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δυσβάστακτα για τους επιχειρηματίες. Επίσης η ταχύτητα υλοποίησης και εφαρμογής των ασύρματων οπτικών δικτύων, αποτελούν τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες στην επιλογή λύσης ασύρματης δικτύωσης.

Η χρήση ασύρματων λύσεων θεωρείται αναγκαία σε περιπτώσεις όπου το κόστος των ενσύρματων επιλογών είναι αρκετά υψηλό και δεν είναι εφικτή η

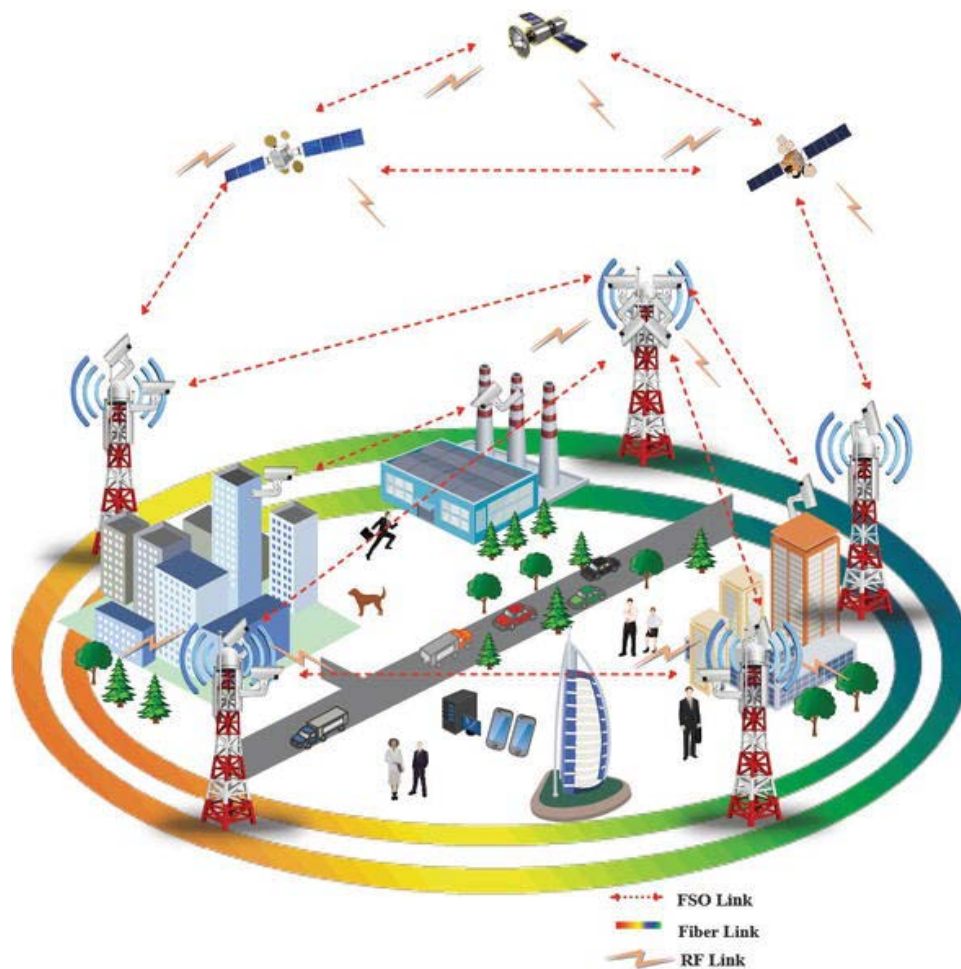
υλοποίησή τους. Στις ήδη υπάρχουσες γενιές όπως είναι 2G, 3G, 4G, χρησιμοποιούνται συνδέσεις σταθερού σημείου προς σημείου μέχρι την ζώνη συχνότητας Millimetre Wave. Επιπλέον λόγω του κορεσμού των μικρότερων συχνοτήτων 50GHz, οι εταιρίες και οι πάροχοι δικτύων έχουν στραφεί προς ζώνες συχνοτήτων από 50GHz έως 90GHz. Το συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων παρέχει αυξημένες αναξιοποίητες συνεχόμενες ζώνες.

Το ETSI (European Telecommunications Standard Institute) καθιέρωσε τις προδιαγραφές των μεταδόσεων mmWave στο Vband από 57GHz έως 66GHz και στο E-band από 71GHz έως 76GHz και 81GHz έως 86GHz. Το περιβάλλον αυτό θεωρείται το πιο κατάλληλο για πλούσια και ποιοτική ανάπτυξη των τεχνολογιών Backhaul και Fronthaul.

Αν ληφθεί σοβαρά το μικρότερο μήκος των αποστάσεων μεταξύ των συνδέσεων Backhaul και Fronthaul καθώς και η απουσία προβλημάτων ορατότητας που οδηγεί στην αύξηση του οπτικού πεδίου (LOS), μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί μία νέα τεχνολογία η οποία δεν είναι άλλη από τις οπτικές ασύρματες επικοινωνίες (OWN). Η συντομογραφίες LOS και OWN αντιστοιχούν σε Line Of Site και Optical Wireless Network αντίστοιχα. Για να καταστεί λειτουργική η τεχνολογία αυτή απαιτούνται πομποί τύπου laser, έτσι ώστε να επιτευχθούν ασύρματες συνδέσεις με κύριο χαρακτηριστικό την υψηλή ταχύτητα και την μεγάλη χωρητικότητα. Ταυτόχρονα εφαρμόζεται και η τεχνολογία VLC η οποία χρησιμοποιεί τα συστήματα υψηλής ισχύος LED, για να επιτευχθεί η ενδοεπικοινωνία.

Επίσης στο χώρο των ασύρματων δικτύων, μία νέα υποσχόμενη τεχνολογία έχει κάνει την εμφάνισή της, τα συστήματα small cells. Για να μπορέσει η τεχνολογία αυτή να ανταποκριθεί επάξια στον ρόλο της και στις σημερινές απαιτήσεις και προκλήσεις, απαραίτητο κομμάτι είναι ένα backhaul. Το backhaul αυτό θα μεταφέρει το σήμα από point σε multipoint, στο φάσμα mmWave, για συχνότητες από 30GHz έως 300GHz. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση

κατευθυνόμενων κεραιών, με απώτερο σκοπό να παραμείνουν οι συχνότητες 50GHz έως 90GHz, που αποτελούν προδιαγραφή του ιδρύματος ETSI.



Εικόνα 16. Οπτικά ασύρματα δίκτυα.

Πηγή: <https://www.intechopen.com/chapters/55559>

Οι μέγιστες αποδόσεις ρυθμού δεδομένων κορυφής ενός συνδέσμου mmWave, επιτυγχάνονται κυρίως από την επιλεγμένη συχνότητα σε :

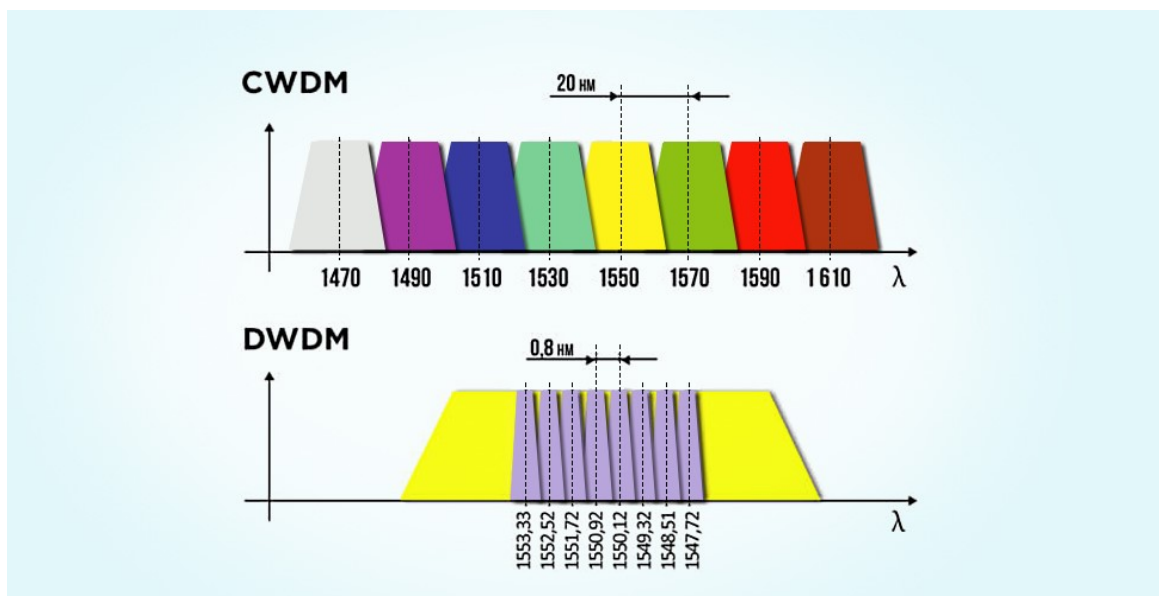
- i) **V-band** ζώνη. Τα νούμερα της ζώνης V ξεκινούν από 450Mbit/sec και φτάνουν έως και το 1Gbit/sec.
- ii) **E-band** ζώνη. Διάφορα είδη της ζώνης E που κυκλοφορούν στο εμπόριο μπορούν να επιτύχουν ρυθμό μεταφοράς δεδομένων έως και 1 Gbit/sec και σε ορισμένες περιπτώσεις έως και 1.25 Gbit/sec.

- iii) Πρότυπο **5G-Croshaul**. Με το πρότυπο αυτό μπορούμε να επιτύχουμε ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων ακόμα και 4Gbit/sec, σε κάθε κόμβο.

Η εκάστοτε απόσταση και τοπολογία που χρησιμοποιείται σε μια περιοχή, προσαρμόζουν την πυκνότητα του αντίστοιχου δικτύου. Για μία απόσταση 150 μέτρων μεταξύ κυψελών, η χωρητικότητα του δικτύου αγγίζει τα δεκάδες Gbits/sec σε κάθε τετραγωνικό χιλιόμετρο. Τα οπτικά συστήματα σήμερα παρέχουν δυνατότητες σύνδεσης μεταξύ της ζώνης ultra-short, δηλαδή η σύνδεση εντός ενός ολοκληρωμένου δικτύου, καθώς και της ζώνης ultra-long, της ζώνης όπου η σύνδεση προκύπτει μέσω δορυφόρων. Συνοψίζοντας, καταλαβαίνουμε ότι οι ασύρματες οπτικές συνδέσεις που πραγματοποιούνται με την χρήση συστημάτων LED, εξυπηρετούν τις ανάγκες χρήσης έως και τα 200 μέτρα, ενώ για ανάγκες που προκύπτουν σε μεγαλύτερες αποστάσεις γίνεται αναγκαία η χρήση συστημάτων laser. [48]

4.4.1 Τα Οπτικά Δίκτυα

Στην εποχή μας τα οπτικά δίκτυα έχουν μεγάλη απήχηση και εφαρμογή λόγω της μεγάλης χωρητικότητας που διαθέτουν, των μικρών καθυστερήσεων, του χαμηλού κόστους και της μεγάλης απόστασης που μπορούν αυτά να καλύψουν μεταξύ των συνδέσμων. Οι δύο κύριες τεχνολογίες που θα συναντήσει κανείς στα οπτικά δίκτυα είναι η τεχνολογία CWDM και η τεχνολογία DWDM.[11]



Εικόνα 17. Σχεδιάγραμμα των τεχνολογιών CWDM & DWDM.

Πηγή: <https://forum.huawei.com/enterprise/en/cwdm-vs-dwdm/thread/853033-875>

Το CWDM ακρωνύμιο σημαίνει Coarse Wavelength Division Multiplexing. Όπως δηλώνει το όνομα, είναι μια μορφή πολυπλεξίας οπτικών ινών, έτσι τα

δίκτυα CWDM μπορούν να στέλνουν ταυτόχρονη, αμφίδρομη επικοινωνία. Ο όρος "coarse" αναφέρεται στην απόσταση μήκους κύματος μεταξύ των καναλιών. Το CWDM χρησιμοποιεί σήματα λέιζερ που διαφέρουν σε βήματα των 20nm. Διατίθενται συνολικά 18 διαφορετικά κανάλια με εύρος μήκους κύματος από 1610nm έως 1270nm. Από αυτά τα 8 μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα μόνο σύστημα. Δεδομένου ότι κάθε κανάλι είναι ικανό για ταχύτητες δεδομένων 3,125 Gbps, η συνολική ικανότητα είναι 10 Gbps για οποιοδήποτε καλώδιο CWDM.

Με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, χαμηλό κόστος και καλή εμβέλεια μετάδοσης (έως 60 km), το CWDM συμφέρει σε πολλές περιπτώσεις. Είναι καλύτερο σε εφαρμογές σε επίπεδο πόλης. Πολλοί πάροχοι ευρυζωνικού Διαδικτύου, κατασκευάζουν το μεγαλύτερο μέρος της υποδομής τους σε γραμμές CWDM. Μεγάλες πανεπιστημιούπολεις και κέντρα δεδομένων επωφελούνται επίσης από την ενσωμάτωση του CWDM. Ένα από τα συχνά αγνοούμενα πλεονεκτήματα του Coarse WDM είναι η συμβατότητά του με συνδέσεις GBIC και SFP. Αυτό το καθιστά ιδανικό για την αναβάθμιση παλαιών συστημάτων που εξακολουθούν να χρησιμοποιούν παλαιότερη διεπαφή. Το πιο σημαντικό πράγμα είναι ότι ποτέ δεν χρειάζεται να δεσμευτεί μια επιλογή καλωδίου. Τα δίκτυα είναι ενεργά και ευέλικτα και πάντα θα βρεθούν διάφορες θέσεις μέσα στο σχέδιο. Το CWDM μπορεί να είναι η ευέλικτη γραμμή που κρατά τις επιλογές ανοιχτές, αλλά μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθούν άλλα σχέδια καλωδίων όπου υπάρχει ανάγκη. Συνοψίζοντας, το CWDM είναι ιδανικό για γρήγορα και μεγάλα δίκτυα που δεν χρειάζονται ακριβότερες ταχύτητες. Είναι επίσης ιδανικό για μια σταδιακή αναβάθμιση παλαιότερων συστημάτων.

Μερικές φορές, είναι πιο εύκολο να κατανοήσουμε την αξία μίας τεχνολογίας, συγκρίνοντάς την με εναλλακτικές. Στην πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος, το DWDM (Dense WDM) είναι η άλλη δημοφιλής επιλογή. Το DWDM έχει

απόσταση μήκους κύματος 0,4 nm. Αυτό επιτρέπει μια πιο πυκνή συστάδα σημάτων (εξ ου και το όνομα) και μπορεί να παράγει πολύ υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων έως και 100 Gbps. Η κύρια διαφορά μεταξύ CWDM και DWDM είναι αυτή η χρωματική απόσταση. Ενώ το DWDM μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει περισσότερες πληροφορίες, οι μικρότερες διαφορές μειώνουν την ανοχή του σήματος και απαιτούν πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια στη σχεδίαση λέιζερ. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το DWDM είναι πολύ πιο δαπανηρό ανά κομμάτι καλωδίου από το CWDM.[12] [49]

4.5 Σταθερή Πρόσβαση Δικτύων 5G

Για να μπορέσει να υπάρξει και να υλοποιηθεί σταθερή υποδομή οπτικού δικτύου πρόσβασης κινητής τηλεφωνίας, θα πρέπει οι συνδέσεις Backhaul και Fronthaul, να καλυφθούν από παθητικά οπτικά δίκτυα PONs (point to multipoint). Η τυποποιημένη ανάπτυξη και λειτουργία PON έχει ολοκληρωθεί από την αρχική υιοθέτηση μέσω των προτύπων της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) για την οικογένεια G-PON και μέσω των προτύπων του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) για το Ethernet PON ή «EPON».

Για να επιτευχθούν οι στόχοι και κυρίως οι συνδέσεις του δικτύου σταθερής πρόσβασης, στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς, χρησιμοποιούνται και εξελίσσονται οι τεχνολογίες GPON, XG-PON, XGS-PON και NG-PON2.

GPON : Το GPON, γνωστό και ως G.984 (παθητικό οπτικό δίκτυο με δυνατότητα gigabit), είναι ένα πρότυπο για παθητικά οπτικά δίκτυα (PON) που δημιουργήθηκε από το ITU-T. Χρησιμοποιείται συνήθως για την υλοποίηση της πιο απομακρυσμένης σύνδεσης με τον πελάτη (τελευταίο χιλιόμετρο ή τελευταίο μίλι) των υπηρεσιών οπτικής ίνας προς τις εγκαταστάσεις (FTTP).

Το GPON θέτει απαιτήσεις για το οπτικό μέσο και το υλικό που χρησιμοποιείται για την πρόσβαση σε αυτό και καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα πλαίσια ethernet μετατρέπονται σε οπτικό σήμα, καθώς και τις παραμέτρους αυτού του σήματος. Το εύρος ζώνης της σύνδεσης μεταξύ του OLT (τερματισμός οπτικής γραμμής) και των ONT (τερματικά οπτικού δικτύου) είναι 2,4 Gbit/sec καθοδικά, 1,2 Gbit/sec ανοδικά ή σπάνια συμμετρικά 2,4 Gbit/sec. Κοινόχρηστο έως και 128 ONT χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (TDMA), το οποίο ορίζει το πρότυπο. Το GPON καθορίζει πρωτόκολλα για διόρθωση σφαλμάτων (Reed–Solomon) και κρυπτογράφηση (AES) και ορίζει ένα πρωτόκολλο για έλεγχο γραμμής (OMCI) που περιλαμβάνει έλεγχο ταυτότητας.

Αν και οι υλοποιήσεις του GPON μοιράζονται πολλά κοινά χαρακτηριστικά, πολλά χαρακτηριστικά παρέμειναν απροσδιόριστα, επομένως στην πράξη, υπάρχει μικρή συμβατότητα μεταξύ των διαφόρων υλοποιήσεων. Συγκεκριμένα, το ακριβές είδος καλωδίου οπτικών ινών και συνδέσμων που θα χρησιμοποιηθούν δεν έχει καθοριστεί.

Ο κύριος οπτικός πομπός, γνωστός ως τερματικό οπτικής γραμμής (OLT), στεγάζεται στο κεντρικό γραφείο του τηλεπικοινωνιακού φορέα. Ένα λέιζερ στο OLT εγχέει φωτόνια από το κεντρικό σταθμό σε ένα καλώδιο οπτικών ινών, από γυαλί και πλαστικό, που καταλήγει σε έναν παθητικό οπτικό διαχωριστή. Ο διαχωριστής χωρίζει το μεμονωμένο σήμα από το κεντρικό σταθμό σε πολλά σήματα που μπορούν να σταλούν σε έως και 64 καταναλωτές. Ο αριθμός των καταναλωτών που εξυπηρετούνται από ένα μόνο λέιζερ καθορίζεται από τα

μηχανολογικά κριτήρια του χειριστή, ο οποίος μπορεί να επιλέξει να μειώσει τον αριθμό σε 32 καταναλωτές. Επιπλέον, ο χειριστής μπορεί να επιλέξει να διαμοιράσει το σήμα δύο φορές, για παράδειγμα, μία φορά σε οκτώ και ξανά σε ένα άλλο σημείο πιο μακριά στη γραμμή. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ του κεντρικού σταθμού και του χώρου χρήσης μπορεί να είναι 20 χιλιόμετρα, ωστόσο οι χειριστές θα την περιορίσουν κανονικά στα 16 χιλιόμετρα προκειμένου να διατηρήσουν υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης.

Σε αντίθεση με την τεχνολογία ADSL, η οποία επιδεινώνεται καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταξύ του κεντρικού γραφείου και του νοικοκυριού, με σοβαρή απώλεια σήματος πέραν των 3 χιλιομέτρων. Όλα τα νοικοκυριά σήμερα, μπορούν να απολαμβάνουν internet υψηλής ταχύτητας εντός της εμβέλειας 16 χιλιομέτρων ενός κεντρικού σταθμού οπτικών ινών.[13]

XG-PON : Το XG-PON γνωστό και ως 10G-PON ή G.987, είναι ένα πρότυπο δικτύωσης υπολογιστών του 2010 για συνδέσμους δεδομένων, ικανό να παρέχει κοινόχρηστους ρυθμούς πρόσβασης στο διαδίκτυο έως και 10 Gbit/sec, σε υπάρχουσα ίνα. Αυτό είναι το πρότυπο επόμενης γενιάς του ITU-T που ακολουθεί το GPON ή το PON με δυνατότητα Gigabit. Η οπτική ίνα μοιράζεται από πολλούς συνδρομητές σε ένα δίκτυο γνωστό ως FTTx με τρόπο που συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, συχνά εκτοπίζοντας χάλκινες τηλεφωνικές γραμμές που συνδέουν τις εγκαταστάσεις με το τηλεφωνικό κέντρο. Η αρχιτεκτονική του παθητικού οπτικού δικτύου (PON) έχει γίνει ένας οικονομικά αποδοτικός τρόπος για την κάλυψη των απαιτήσεων απόδοσης σε δίκτυα πρόσβασης, και μερικές φορές επίσης σε μεγάλα οπτικά τοπικά δίκτυα για "Fibre-to-the-desk".

Τα παθητικά οπτικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για το τελευταίο χιλιόμετρο του δικτύου "Fibre-to-the-home" ή "Fibre-to-the-premises" με διαχωριστές που συνδέουν κάθε κεντρικό πομπό με πολλούς συνδρομητές. Η κοινόχρηστη

χωρητικότητα 10 Gbit/sec είναι η ταχύτητα μεταβίβασης σε όλους τους χρήστες που είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο PON και η ταχύτητα ανοδικής ροής 2,5 Gbit/sec. Χρησιμοποιεί τεχνικές πολυπλεξίας για να αποτρέψει την παρεμβολή των πλαισίων δεδομένων μεταξύ τους. Οι χρήστες διαθέτουν μια συσκευή δικτύου που μετατρέπει τα οπτικά σήματα στα σήματα που χρησιμοποιούνται στην καλωδίωση ενός κτιρίου, όπως το Ethernet και η ενσύρματη αναλογική απλή παλαιότερη τηλεφωνική υπηρεσία. Το XGS-PON είναι μια σχετική τεχνολογία που μπορεί να προσφέρει ταχύτητες upstream και downstream (συμμετρικές) έως και 10 Gbit/sec . [35]

XGS-PON : Το XGS-PON είναι ένα νέο εκσυγχρονισμένο πρότυπο για Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (PON) που μπορεί να υποστηρίξει συμμετρική μεταφορά δεδομένων υψηλότερης ταχύτητας 10 Gbps και αποτελεί μέρος της οικογένειας προτύπων που είναι γνωστά ως PON με δυνατότητα Gigabit ή G-PON. Το G-PON σημαίνει Gigabit PON ή 1 Gigabit PON. Το "X" στο XGS αντιπροσωπεύει τον αριθμό 10 και το γράμμα "S" σημαίνει συμμετρικό, XGS-PON = 10 Gigabit Symmetrical PON. Μια παλαιότερη, μη συμμετρική έκδοση PON 10 Gigabit (XG-PON) περιοριζόταν στα 2,5 Gbps στην απέναντι κατεύθυνση.

Το νέο πρότυπο XGS-PON κυκλοφόρησε το 2016 και ορίστηκε ως έκδοση ITU-T G.9807.1. Το πεδίο εφαρμογής του νέου προτύπου ορίζει το XGS-PON ως συμμετρικό δίκτυο παθητικής οπτικής πρόσβασης με δυνατότητα 10 Gigabit για οικιακούς, επαγγελματικούς, κινητούς backhaul και άλλες εφαρμογές. Για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου προτύπου για αυτήν τη συμμετρική εξέλιξη των 10 Gbps του G-PON, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία του προηγούμενου προτύπου XG-PON. Αυτό σημαίνει ότι τα ίδια στοιχεία οπτικού πομποδέκτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για XG είτε για XGS-PON.

Η ταυτόχρονη μετάδοση ανόδου και καθόδου μέσω της ίδιας ίνας καθίσταται δυνατή μέσω της πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος (WDM).

Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει ένα μήκος κύματος XGS-PON ή χρώμα μετάδοσης φωτός για άνοδο και ένα άλλο χρώμα φωτός για κάθοδο.

Αν και οι συμβάσεις μορφοποίησης ινών και δεδομένων για την τεχνολογία XGS-PON παραμένουν αμετάβλητες από το αρχικό πρότυπο G-PON, τα μήκη κύματος έχουν αλλάξει. Το XGS-PON λειτουργεί σε μήκος κύματος καθόδου 1577nm και μήκος κύματος ανόδου 1270nm. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι να επιτραπεί σε πολλαπλές υπηρεσίες PON να συνυπάρχουν στο ίδιο PON και να επιτραπεί η απρόσκοπτη αναβάθμιση και μεταφορά υπηρεσιών ή να επιτραπεί σε διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών να χρησιμοποιούν το ίδιο PON ακόμα και να προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών (π.χ. business verses residential). Καθώς το XGS-PON ήταν μια ενημέρωση του προτύπου XG-PON για την παροχή συμμετρικής χωρητικότητας, τα XG και XGS-PON λειτουργούν στα ίδια μήκη κύματος καθόδου και ανόδου, αυτή είναι η μόνη περίπτωση όπου υπάρχει επαναχρησιμοποίηση των ίδιων μηκών κύματος. Σήμερα, η πλειονότητα των φορέων που αναζητούν την ανάπτυξη υπηρεσιών 10G επιλέγουν το XGS-PON. [16]

NG-PON2 : Επίσης γνωστό ως TWDM-PON, Next-Generation Passive Optical Network 2 είναι ένα πρότυπο τηλεπικοινωνιακού δικτύου του 2015 για ένα παθητικό οπτικό δίκτυο (PON). Το πρότυπο αναπτύχθηκε από την ITU και περιγράφει λεπτομερώς μια αρχιτεκτονική ικανή για συνολική απόδοση δικτύου 40 Gbit/s, που αντιστοιχεί σε έως και 10 Gbit/sec συμμετρικές ταχύτητες upstream και downstream διαθέσιμες σε κάθε συνδρομητή.

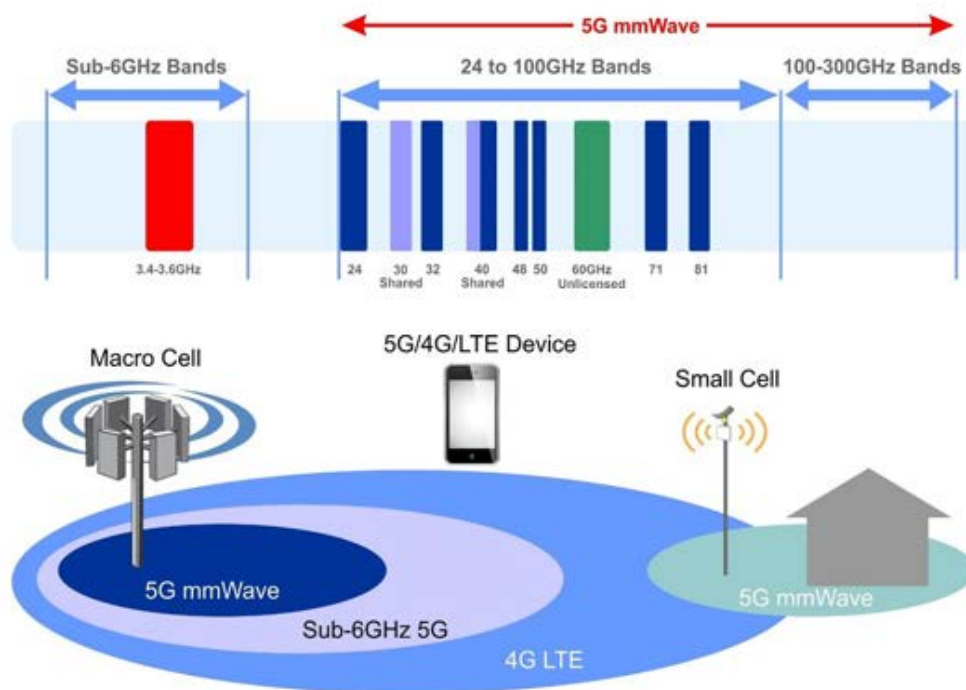
Το NG-PON2 είναι συμβατό με την υπάρχουσα ίνα PON αντικαθιστώντας το τερματικό οπτικής γραμμής (OLT) στο κεντρικό γραφείο και τη μονάδα οπτικού δικτύου (ONU) κοντά σε κάθε τελικό χρήστη. Μοναδικό σε αυτό το πρότυπο είναι η χρήση ενεργών φίλτρων και ρυθμιζόμενων λέιζερ στο ONU. Από το 2019 έως το 2021 κυκλοφόρησε μια σειρά από νέες Συστάσεις με την επικεφαλίδα

Higher Speed PON (σειρά G.9804) που προορίζονταν ως διάδοχοι του NG-PON2.
[17]

4.6 Μικροκυμματική Ζώνη mmWave

Τα δίκτυα 5G συνεχίζουν να εξαπλώνονται σε όλο τον κόσμο. Αυτή η επόμενη γενιά ασύρματης επικοινωνίας τροφοδοτείται, εν μέρει, από μια νέα τεχνολογία που είναι γνωστή ως κύμα χιλιοστών (mmWave). Οι αερομεταφορείς των ΗΠΑ ενδιαφέρονται ιδιαίτερα για την τεχνολογία και αποτελεί επίσης βασικό μέρος της κυκλοφορίας στην Κίνα και την Ιαπωνία. Τελικά, θα χρησιμοποιηθεί σε όλο τον κόσμο σε διάφορους βαθμούς επίσης. Παρόλο που δεν θα χρησιμοποιεί απαραίτητως κάθε δίκτυο 5G τεχνολογία mmWave, τουλάχιστον όχι όλη την ώρα.

Όπως συμβαίνει με κάθε νέα τεχνολογία, υπάρχουν αναπόφευκτα προβλήματα και εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν προτού γίνει “mainstream”. Η τεχνολογία κυμάτων χιλιοστού είχε το μεγαλύτερο μερίδιο αμφισβητήσεων τα τελευταία χρόνια, με ερωτήματα σχετικά με την καταλληλότητά της σε μεγάλες αποστάσεις. Πόσο καλά μπορεί να περάσει μέσα από τοίχους και ακόμη και αν η βροχή ή το χέρι του χρήστη μπορεί να εμποδίσει το σήμα. Αυτά τα ζητήματα δεν είναι αβάσιμα, αλλά τα περισσότερα από αυτά έχουν επιλυθεί τα τελευταία χρόνια. Η τεχνολογία MmWave είναι σχεδόν έτοιμη να κάνει το δημόσιο ντεμπούτο της, οπότε ας εξετάσουμε την τρέχουσα κατάσταση αυτών των ανησυχιών. Αρχικά, ας ανακεφαλαιώσουμε γρήγορα τι είναι το κύμα χιλιοστών. []



Εικόνα 18. Το φάσμα ζώνης 5G mmWave.

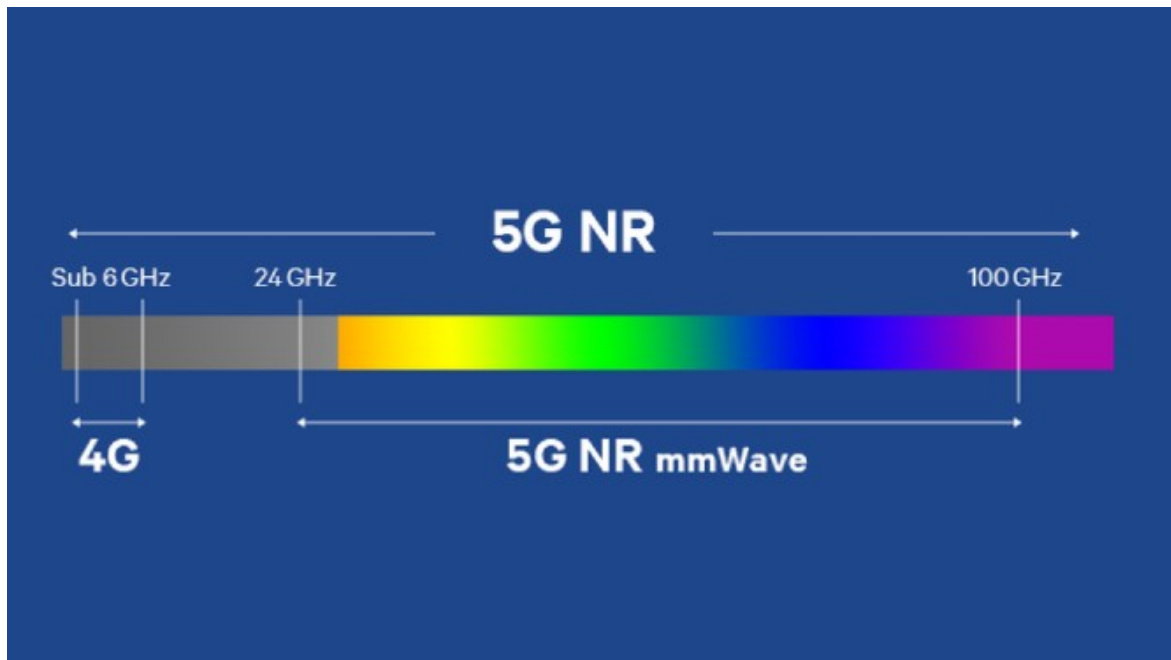
Πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/5g-mmwave-future-ahmad-el-omar>

Το MmWave και το 5G αποτελούν σχεδόν συνώνυμες τεχνολογίες, αλλά υπάρχουν βασικές διαφορές μεταξύ των δύο. Η τεχνολογία mmWave είναι μόνο μία τεχνολογία που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα δίκτυα 5G. Σε συνδυασμό, αυτές οι τεχνολογίες έχουν σχεδιαστεί για να προσφέρουν πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων στους πελάτες και περισσότερο εύρος ζώνης.[19]

Ο όρος mmWave αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ 24GHz και 100GHz, το οποίο έχει πολύ μικρό μήκος κύματος. Αυτό το τμήμα του φάσματος είναι σχεδόν αχρησιμοποίητο, επομένως η τεχνολογία mmWave στοχεύει να αυξήσει σημαντικά το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Οι χαμηλότερες συχνότητες είναι πιο επιβαρυνμένες με τηλεοπτικά και ραδιοφωνικά σήματα, καθώς και με τα τρέχοντα δίκτυα 4G LTE, τα οποία συνήθως βρίσκονται μεταξύ 800 και 3.000 MHz. Ένα άλλο πλεονέκτημα αυτού του μικρού μήκους κύματος είναι ότι μπορεί να μεταφέρει δεδομένα ακόμα πιο γρήγορα, αν και η απόσταση μεταφοράς του είναι μικρότερη.

Επίσης τον πιο σημαντικό παράγοντα για την απόσταση των συνδέσμων σε mmWave, αποτελούν :

- Η ζώνη **V-band**, η οποία εκτείνεται από τα 50m έως και τα 1000m, ενώ μέχρι τα 600m παίζει καθοριστικό ρόλο η κεραία που χρησιμοποιείται στην εκάστοτε περιοχή.
- Η ζώνη **E-band**, η οποία εκτείνεται από εκατοντάδες έως χιλιάδες μέτρα.



Εικόνα 19. Η διαφορά συχνότητας κυμάτων 4G & 5G mmWave.

Πηγή: <https://www.voicendata.com/fuss-mmwave-india-overrated/>

Με λίγα λόγια, οι ζώνες χαμηλότερης συχνότητας καλύπτουν πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις, αλλά προσφέρουν χαμηλότερες ταχύτητες δεδομένων, ενώ οι ζώνες υψηλής συχνότητας καλύπτουν πολύ μικρότερες περιοχές, αλλά μπορούν να μεταφέρουν πολύ περισσότερα δεδομένα. Το MmWave είναι μόνο μέρος της εικόνας του 5G, αλλά οι πάροχοι λατρεύουν ιδιαίτερα να το συζητούν επειδή επιτρέπει εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης και δείχνει τα πιο εντυπωσιακά στοιχεία ταχύτητας δεδομένων. [18]

Ο κύριος στόχος με το mmWave είναι να αυξηθεί το εύρος ζώνης δεδομένων που είναι διαθέσιμο σε μικρότερες, πυκνοκατοικημένες περιοχές. Είναι βασικό μέρος του 5G σε πολλές πόλεις, τροφοδοτώντας δεδομένα σε αθλητικά γήπεδα, εμπορικά κέντρα και συνεδριακά κέντρα, καθώς και οπουδήποτε η συμφόρηση δεδομένων μπορεί να είναι πρόβλημα. Σε αγροτικές πόλεις και χωριά, οι ζώνες κάτω των 6 GHz και οι χαμηλές ζώνες κάτω των 2 GHz διαδραματίζουν πιο κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση συνεπούς κάλυψης σε μεγάλες περιοχές.[20]

4.7 Οι Αρχιτεκτονικές NFV & SDN

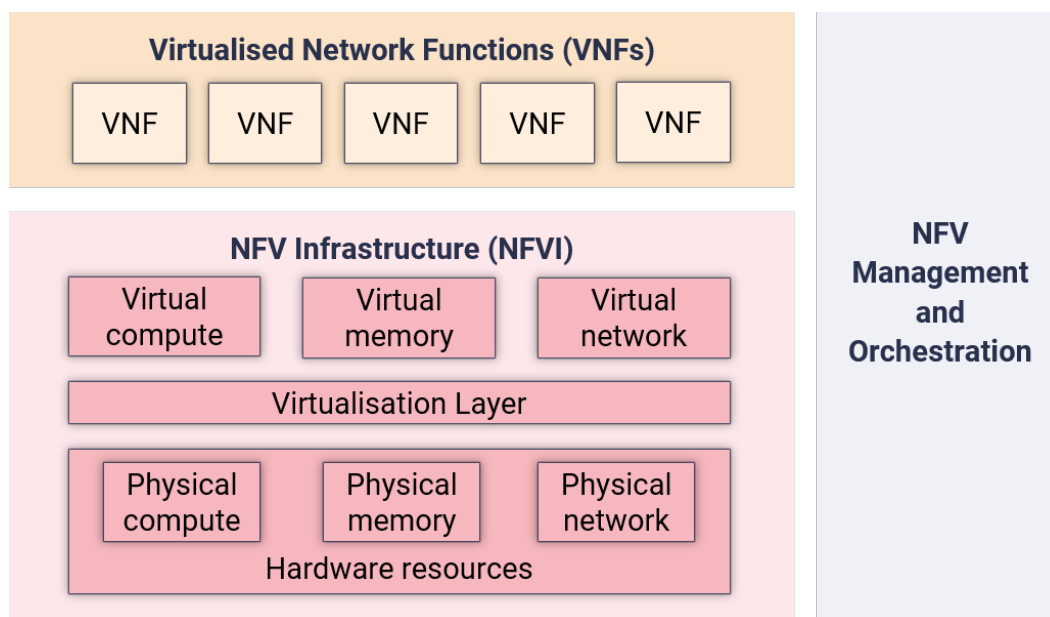
Οι αρχιτεκτονικές NFV και SDN, αποτελούν δύο διαφορετικές αρχιτεκτονικές δικτύου οι οποίες δημιουργήθηκαν με διαφορετικό σκεπτικό και σχεδιασμό και προορίζονται για διαφορετικό έργο στο δίκτυο. Παρά τις διαφορές που έχουν μεταξύ τους, αλληλοσυμπληρώνονται στο σημερινό δίκτυο και για αυτό τον λόγο είναι γνωστές και ως NFV&SDN Architecture.

4.7.1 Αρχιτεκτονική NFV

Η αρχιτεκτονική δικτύου NFV είναι μια ιδέα αρχιτεκτονικής δικτύου που χρησιμοποιεί τις δοκιμασμένες τεχνολογίες εικονικοποίησης IT. Το NFV έχει σχεδιαστεί για να παρέχει τις υπηρεσίες δικτύου που απαιτούνται για την υποστήριξη μιας υποδομής εντελώς ανεξάρτητης, αποσυνδέοντας τις λειτουργίες δικτύου από ιδιόκτητες συσκευές υλικού που έχουν κατασκευαστεί για το σκοπό αυτό. Το λογισμικό που παρέχει αυτές τις υπηρεσίες δικτύου είναι γνωστό ως εικονικές λειτουργίες δικτύου (VNF) και εκτελείται σε γενικό υλικό. Η βασική κατανόηση των διαφόρων στοιχείων της αρχιτεκτονικής NFV βοηθά να κατανοήσουμε γιατί αυτή η προσέγγιση έχει κερδίσει την προσοχή των επιχειρήσεων που αναζητούν πιο ευέλικτες και αυτοματοποιημένες μεθόδους για την ανάπτυξη και τη διαχείριση ευρέως κατανεμημένων υποδομών και πόρων δικτύου. Τα κύρια στοιχεία μιας αρχιτεκτονικής NFV περιλαμβάνουν τις εικονικές λειτουργίες δικτύου (VNFs), την Υποδομή NFV (NFVI) και τη διαχείριση και οργάνωση NFV (MANO).

Το NFVI βασίζεται σε χαμηλού κόστους, τυποποιημένο υλικό και λογισμικό υπολογιστών, εικονικές μηχανές και διαχειριστές εικονικής υποδομής που επιτρέπουν τα φυσικά και εικονικά επίπεδα δικτύου. Παρέχει τους φυσικούς πόρους για αποθήκευση, δίκτυο και λογισμικό στα οποία αναπτύσσονται και διαχειρίζονται τα VNF. Το NFVI παρέχει το επίπεδο εικονικοποίησης που

βρίσκεται πάνω από το υλικό και αφαιρεί τους πόρους υλικού, ώστε να μπορούν να χωριστούν λογικά και να προβλεφθούν για την υποστήριξη VNF. Το NFVI είναι επίσης κρίσιμο για την κατασκευή πολύπλοκων, ευρέως καταναμεμημένων δικτύων χωρίς τους γεωγραφικούς περιορισμούς που σχετίζονται με τις παραδοσιακές αρχιτεκτονικές δικτύων. [50]



Εικόνα 20. Αρχιτεκτονική NFV.

Πηγή: <https://stlpartners.com/articles/telco-cloud/nfv-architectural-framework/>

Η διαχείριση και ενορχήστρωση δικτύου NFV (MANO) είναι ένα πλαίσιο που αναπτύχθηκε από μια ομάδα εργασίας του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI). Από την αρχική ρύθμιση έως τις καθημερινές λειτουργίες, το NFV συντονίζει τους πόρους, το NFVI καθώς και τα VNF, που εκτελούνται σε ένα εικονικοποιημένο κέντρο δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων υπολογιστών, δικτύων, αποθήκευσης και εικονικών μηχανών (VM). Το NFV MANO χρησιμοποιεί πρότυπα για τυπικά VNF που επιτρέπουν στους αρχιτέκτονες να επιλέξουν τους κατάλληλους πόρους NFVI που πρόκειται να αναπτυχθούν.

Το **NFV MANO** αποτελείται από τρεις λειτουργικές περιοχές:

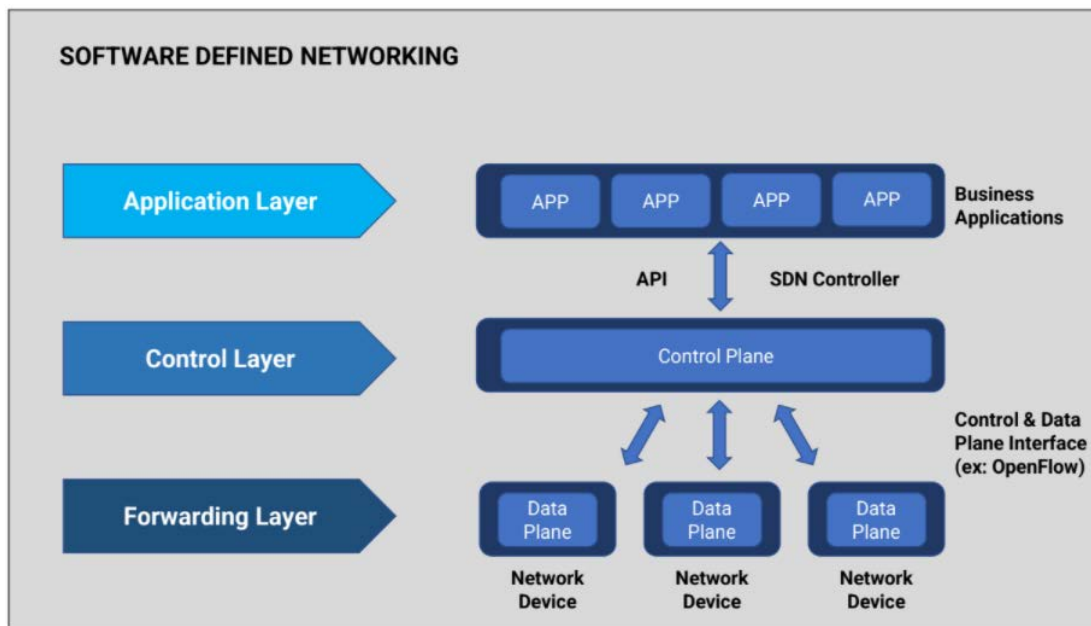
- Το **NFV Orchestrator**, αποτελεί την περιοχή όπου διαδραματίζεται ο χειρισμός και η ενσωμάτωση του VNF, η διαχείριση του κύκλου ζωής, η συνολική διαχείριση πόρων, η επικύρωση και εξουσιοδότηση αιτημάτων πόρων NFVI.
- Ο **Διαχειριστής VNF**, ελέγχει τη διαχείριση του κύκλου ζωής του VNF, παρέχοντας ρόλο συντονισμού και προσαρμογής για τη διαμόρφωση και την αναφορά συμβάντων NFVI και Συστημάτων Διαχείρισης Στοιχείων Δικτύου.
- Το **Virtual Infrastructure Manager**, το οποίο ελέγχει και διαχειρίζεται τους πόρους υπολογισμού, αποθήκευσης και δικτύου NFVI. [21][50]

4.7.2 Αρχιτεκτονική SDN

Το Software Defined Networking (SDN) είναι μια προσέγγιση αρχιτεκτονικής δικτύου που επιτρέπει στο δίκτυο να ελέγχεται έξυπνα και κεντρικά ή να «προγραμματίζεται» χρησιμοποιώντας εφαρμογές λογισμικού. Αυτό βοηθά τους χειριστές να διαχειρίζονται ολόκληρο το δίκτυο με συνέπεια και ανεξάρτητα από την υποκείμενη τεχνολογία δικτύου. Οι επιχειρήσεις και οι πάροχοι υπηρεσιών περιβάλλονται από έναν αριθμό ανταγωνιστικών δυνάμεων. Η μεγάλη ανάπτυξη του περιεχομένου πολυμέσων, η διόγκωση του υπολογιστικού νέφους, ο αντίκτυπος της αυξανόμενης χρήσης κινητής τηλεφωνίας και οι συνεχιζόμενες

επιχειρηματικές πιέσεις για μείωση του κόστους, ενώ τα έσοδα παραμένουν σταθερά, όλα συγκλίνουν για να προκαλέσουν τον “όλεθρο” στα παραδοσιακά επιχειρηματικά μοντέλα.

Για να συμβαδίσουν, πολλοί από αυτούς τους παίκτες στρέφονται στην τεχνολογία SDN για να φέρουν επανάσταση στο σχεδιασμό και τις λειτουργίες του δικτύου. Το SDN επιτρέπει τον προγραμματισμό της συμπεριφοράς του δικτύου με κεντρικά ελεγχόμενο τρόπο μέσω εφαρμογών λογισμικού που χρησιμοποιούν ανοιχτά API. Ανοίγοντας παραδοσιακά κλειστές πλατφόρμες δικτύου και εφαρμόζοντας ένα κοινό επίπεδο ελέγχου SDN, οι χειριστές μπορούν να διαχειρίζονται ολόκληρο το δίκτυο και τις συσκευές του με συνέπεια, ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα της υποκείμενης τεχνολογίας δικτύου.



Εικόνα 21. Η αρχιτεκτονική SDN.

Πηγή: <https://www.atmeccs.com/software-defined-networking-sdn/>

Υπάρχουν τέσσερις κρίσιμοι τομείς στους οποίους η τεχνολογία SDN μπορεί να κάνει τη διαφορά:

1) **Προγραμματισμός δικτύου:** Το SDN επιτρέπει τον έλεγχο της συμπεριφοράς

του δικτύου από το λογισμικό που βρίσκεται πέρα από τις συσκευές δικτύωσης που παρέχουν φυσική συνδεσιμότητα. Ως αποτέλεσμα, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων μπορούν να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά των δικτύων τους ώστε να υποστηρίζουν νέες υπηρεσίες, ακόμη και μεμονωμένους πελάτες. Με την αποσύνδεση του υλικού από το λογισμικό, οι χειριστές μπορούν να εισαγάγουν καινοτόμες, διαφοροποιημένες νέες υπηρεσίες γρήγορα και χωρίς τους περιορισμούς των κλειστών και αποκλειστικών πλατφορμών.

2) **Νοημοσύνη και έλεγχος** : Το SDN βασίζεται σε λογικά συγκεντρωμένες τοπολογίες δικτύου, οι οποίες επιτρέπουν τον έξυπνο έλεγχο και διαχείριση των πόρων του δικτύου. Διανέμονται παραδοσιακές μέθοδοι ελέγχου δικτύου. Οι συσκευές λειτουργούν αυτόνομα με περιορισμένη επίγνωση της κατάστασης του δικτύου. Με το είδος του κεντρικού ελέγχου που παρέχει ένα δίκτυο που βασίζεται σε SDN, η διαχείριση εύρους ζώνης, η αποκατάσταση, η ασφάλεια και οι πολιτικές μπορούν να είναι εξαιρετικά έξυπνες και βελτιστοποιημένες.

3) **Αφαίρεση του δικτύου**: Οι υπηρεσίες και οι εφαρμογές που εκτελούνται σε τεχνολογία SDN αφαιρούνται από τις υποκείμενες τεχνολογίες και παρέχουν φυσική συνδεσιμότητα για τον έλεγχο του δικτύου. Οι εφαρμογές θα αλληλεπιδρούν με το δίκτυο μέσω API, αντί για διεπαφές διαχείρισης στενά συνδεδεμένες με το υλικό.

4) **Ανοιχτότητα** : Οι αρχιτεκτονικές SDN εγκαινιάζουν μια νέα εποχή ανοίγματος, επιτρέποντας τη διαλειτουργικότητα πολλών προμηθευτών καθώς και την προώθηση ενός οικοσυστήματος ουδέτερου ως προς τους προμηθευτές. Το άνοιγμα προέρχεται από την ίδια την προσέγγιση SDN. Τα ανοιχτά API υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως ενορχήστρωση cloud, OSS/BSS, SaaS και δικτυωμένες εφαρμογές κρίσιμες για τις επιχειρήσεις. Επιπλέον, το έξυπνο λογισμικό μπορεί να ελέγχει το υλικό από πολλούς προμηθευτές με ανοιχτές προγραμματικές διεπαφές όπως το OpenFlow. Τέλος,

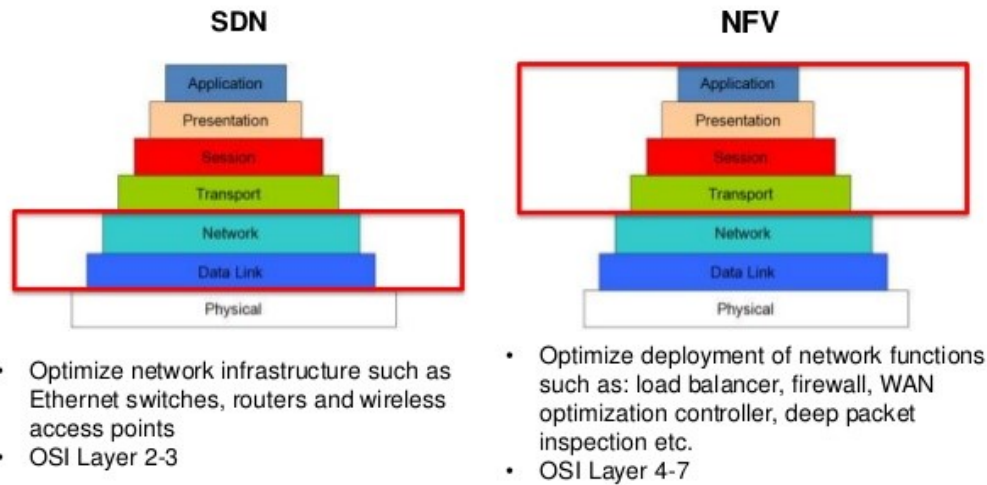
μέσα από το SDN, έξυπνες υπηρεσίες δικτύου και εφαρμογές μπορούν να εκτελούνται σε ένα κοινό περιβάλλον λογισμικού. [22][51][52]

Ένα βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας SDN είναι η ικανότητα των χειριστών δικτύου να γράφουν προγράμματα που χρησιμοποιούν SDN API και δίνουν στις εφαρμογές τον έλεγχο της συμπεριφοράς του δικτύου. Το SDN επιτρέπει στους χρήστες να αναπτύσσουν εφαρμογές που γνωρίζουν το δίκτυο, να παρακολουθούν έξυπνα τις συνθήκες δικτύου και να προσαρμόζουν αυτόματα τη διαμόρφωση του δικτύου όπως απαιτείται. [51][52]

4.7.3 Ο Συνδυασμός NFV&SDN

Αν και οι αρχιτεκτονικές NFV και SDN έχουν δημιουργηθεί και τυποποιηθεί με ξεχωριστό τρόπο και για διαφορετικό σκοπό, η από κοινού λειτουργία τους έχει ιδιαίτερα μεγάλη σημασία. Η αρχιτεκτονική NFV από την μία πλευρά, προσφέρει δυνατότητες δημιουργίας νέων λειτουργιών στο δίκτυο και όταν απαιτείται τις αξιοποιεί στο μέγιστο, χρησιμοποιώντας πάντα τους κατάλληλους πόρους. Για να καταστεί εφικτή αυτή δυνατότητα θα χρειαστεί η αρχιτεκτονική SDN. Έτσι θα μπορέσει το δίκτυο να προσαρμοστεί ανάλογα στον επαναπροσδιορισμό των εκάστοτε λειτουργιών.

Applicability



Εικόνα 22. Συνδυασμός αρχιτεκτονικών SDN & NFV στο δίκτυο.

Πηγή: <https://vividcomm.com/2017/06/01/dynamic-networks-sdn-and-nfv/>

Οι δύο αυτές αρχιτεκτονικές δικτύου έχουν διαφορετική προέλευση, για αυτό τον λόγο δεν έχουν συνδυαστεί απευθείας σε μία ενιαία αρχιτεκτονική. Σύμφωνα όμως με το ευρωπαϊκό ίδρυμα ETSI, η αρχιτεκτονική αυτή είναι συμβατή. Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που έπρεπε να επιλυθεί ήταν οι ονομασίες των παραγόντων, διότι ανάλογα την αρχιτεκτονική τα παρόμοια κουτιά του δικτύου έφεραν άλλη ονομασία. Έτσι διατηρήθηκαν οι λειτουργίες δικτύου PNFs. Υπάρχουν βέβαια και λειτουργίες του δικτύου που δεν έχουν σχέση με καμία από τις δύο αρχιτεκτονικές. [51]

4.8 5G-PPP

Το 5G-PPP που αντιστοιχεί σε Infrastructure Public Private Partnership, είναι μια κοινή πρωτοβουλία μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και της ευρωπαϊκής βιομηχανίας ΤΠΕ (κατασκευαστές ΤΠΕ, φορείς τηλεπικοινωνιών, πάροχοι

υπηρεσιών, ΜΜΕ και ερευνητικά ιδρύματα). Το 5G-PPP βρίσκεται τώρα στην τρίτη του φάση. Οι πρώτες προσπάθειες ξεκίνησαν στις Βρυξέλλες τον Ιούνιο του 2018. Το 5G PPP θα προσφέρει λύσεις, αρχιτεκτονικές, τεχνολογίες και πρότυπα για τις πανταχού παρούσες υποδομές επικοινωνίας επόμενης γενιάς, της επόμενης δεκαετίας. Η πρόκληση για τη Σύμπραξη Δημόσιου Ιδιωτικού Τομέα 5G (5G PPP) είναι να εξασφαλίσει την ηγετική θέση της Ευρώπης στους συγκεκριμένους τομείς όπου η Ευρώπη είναι ισχυρή ή όπου υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας νέων αγορών όπως είναι οι έξυπνες πόλεις, η ηλεκτρονική υγεία, οι έξυπνες μεταφορές, η εκπαίδευση, η ψυχαγωγία και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης. Η πρωτοβουλία 5G PPP θα ενισχύσει την ευρωπαϊκή βιομηχανία ώστε να ανταγωνιστεί επιτυχώς τις παγκόσμιες αγορές και να ανοίξει νέες ευκαιρίες καινοτομίας.



Εικόνα 23. 5GPPP

Πηγή: <https://5g-ppp.eu/>

Οι βασικές προκλήσεις και στόχοι για την υποδομή 5G-PPP είναι:

- Η παροχή μεγαλύτερης χωρητικότητας ασύρματης περιοχής ακόμα και 1000 φορές υψηλότερη.
- Περισσότερες δυνατότητες εξυπηρέτησης σε σύγκριση με το 2010.
- Εξοικονόμηση έως και 90% της ενέργειας ανά παρεχόμενη υπηρεσία. Η κύρια προσπάθεια θα είναι στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπου η κυρίαρχη κατανάλωση ενέργειας προέρχεται από το δίκτυο.

- Μείωση του μέσου κύκλου χρόνου δημιουργίας υπηρεσίας από 90 ώρες σε 90 λεπτά.
- Δημιουργία ενός ασφαλούς και αξιόπιστου Διαδικτύου με «μηδενικό αντιληπτό» χρόνο διακοπής για την παροχή υπηρεσιών.
- Διευκόλυνση πολύ πυκνών ασύρματων συνδέσεων επικοινωνίας για τη σύνδεση άνω των 7 τρισεκατομμυρίων ασύρματων συσκευών, που θα εξυπηρετούν πάνω από 7 δισεκατομμύρια ανθρώπους.
- Εξασφάλιση πρόσβασης για όλους τους χρήστες και παντού, σε ένα ευρύτερο πάνελ υπηρεσιών και εφαρμογών με χαμηλότερο κόστος.[23]

4.9 Το Δίκτυο 5G στην Ελλάδα

Στην χώρα μας το δίκτυο 5G έκανε για πρώτη φορά την εμφάνισή του πιλοτικά στην πόλη των Τρικάλων το έτος 2018. Ανάλογη πρόταση είχε δεχθεί και η πόλη της Πάτρας, το πρόγραμμα όμως είχε παγώσει προσωρινά για λόγους υγείας. Όσο αφορά την Κύπρο, η εταιρία επικοινωνιών κυπριακών συμφερόντων

Cyta, είναι αυτή που θα φέρει για πρώτη φορά πιλοτικά το 2019 το νέο δίκτυο 5G στο “νησί της Αφροδίτης”.

Η χώρα μας, αν και άργησε να αναλάβει πρωτοβουλίες για την ανάπτυξη του δικτύου 5G, σήμερα βρίσκεται σε ένα πολύ καλό επίπεδο, ανταγωνιστικό άλλων χωρών. Οι ελληνικές κυβερνήσεις και εταιρίες τηλεπικοινωνιών, έχουν αντιληφθεί πλήρως την κρισιμότητα των δικτύων αυτών για την ανάπτυξη της εθνικής οικονομίας καθώς και την ψηφιακή αναβάθμιση της κοινωνικής ζωής σε όλους τους τομείς της καθημερινής ζωής των πολιτών.

Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα της Εθνικής Επιτροπής Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ), το δίκτυο 5G αναμένεται στο τέλος του 2023 να καλύπτει με ταχύτητες τουλάχιστον 100Mbps, το 60% του πληθυσμού της χώρας. Ο κύριος στόχος είναι το ποσοστό αυτό να φτάσει το 90% μέσα στο 2026 με 2027. Μεγάλης σημασίας είναι και η πρωτοβουλία του υπουργείου Ψηφιακής Διακυβέρνησης για πλήρη κάλυψη των μεγάλων αυτοκινητοδρόμων της χώρας έως τέλος του 2025, έτσι ώστε να είναι δυνατή η παροχή νέων υπηρεσιών, όπως η συνδεσιμότητα των οχημάτων για την αποφυγή συγκρούσεων.[36]

4.10 Οι εφαρμογές του Δικτύου 5G

Στην εποχή μας, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς γνωστά και ως 5G, επιχειρούν να καλύψουν κάθε είδους ανάγκες που προκύπτουν είτε από τους χρήστες είτε από εφαρμογές με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Με την ανάπτυξη των νέων αυτών δικτύων, επιτυγχάνεται η αμφίδρομη σύνδεση κάθε συσκευής με το διαδίκτυο, με ταυτόχρονα εφικτή και την διαδικασία ελέγχου

αυτών από μακρινές αποστάσεις. Τα δίκτυα 5G και οι τεχνολογίες τους έδωσαν την δυνατότητα χρήσης τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας από άλλη τοποθεσία, κάτι που ήταν αδύνατο να συμβεί με παλαιότερης γενιάς δίκτυα. Πλέον υλοποιείται η ιδέα των αυτόνομων οχημάτων που θα μπορούν με ασφάλεια να κινούνται στους δημόσιους δρόμους, μία καινοτομία που οδηγεί σε αποδοτικές, ποιοτικές και ασφαλείς μεταφορές.

Τα νέα αυτά δίκτυα έχουν βρει εφαρμογή και στον ζωτικό τομέα της υγείας αφού πλέον καθίσταται ευκολότερη η εξ αποστάσεως παρακολούθηση ασθενών. Σε ορισμένες πιο σοβαρές περιπτώσεις μάλιστα, όπου υπάρχει επιτακτική ανάγκη χειρουργείου, δίνεται η δυνατότητα χειρουργικής επέμβασης μέσω ρομποτικών μηχανημάτων. Κάτι τέτοιο απαιτεί αξιόπιστη και ποιοτική σύνδεση, χωρίς καθυστερήσεις και απώλειες δικτύου.

Η τελευταία προς χρήση γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας 5G, αποτελεί μία ριζική αναβάθμισή όλων των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας στο σημερινό δίκτυο. Τα νέα δίκτυα έχουν φέρει την επανάσταση σε πολλούς τεχνολογικούς τομείς, με νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί. Η πρόσβαση στο διαδίκτυο έχει βελτιωθεί σημαντικά όπως και η ποιότητα του δικτύου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την διευκόλυνση της καθημερινότητας των πολιτών και των χρηστών σε μεγάλο βαθμό. Η τεχνολογία όμως δεν επαναπαύεται σε αυτό, όπως και οι χρήστες, οι ανάγκες των οποίων πληθαίνουν καθημερινά. Οι συζητήσεις έχουν ξεκινήσει ήδη για την εμφάνιση της επόμενης γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Θα είναι η έκτη γενιά γνωστή και ως 6G. [53][28]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Το Δίκτυο 6G

Παρόλο που τα ασύρματα δίκτυα 5G βρίσκονται ακόμα στα αρχικά στάδια ανάπτυξης, οι εταιρείες ασύρματων επικοινωνιών ατενίζουν ήδη το μέλλον και σχεδιάζουν το επόμενο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που θα έρθει. Αυτό δεν είναι άλλο από την έκτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας γνωστή και ως 6G.



Εικόνα 24. Το δίκτυο 6G.

Πηγή: <https://techblog.gr/tag/6g/>

Η τεχνολογία διαδικτύου κινητής τηλεφωνίας που διαθέτουμε σήμερα βασίζεται κυρίως στο 4G, ένα ασύρματο πρότυπο που κυκλοφόρησε για πρώτη φορά στα τέλη του 2009. Το 4G αύξησε ριζικά τις ταχύτητες δεδομένων στα τηλέφωνα, επιτρέποντας στους χρήστες να κάνουν διαδικτυακές δραστηριότητες όπως αξιοποίηση βίντεο HD και παίζοντας βιντεοπαιχνίδια. Η AT&T, η T-Mobile και άλλοι πάροχοι υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας κυκλοφόρησαν το 5G το 2019. Τώρα είναι απασχολημένοι με τη δημιουργία δικτύων κινητής τηλεφωνίας 5G σε ολόκληρη τη παγκόσμια κοινότητα. Η Verizon και η T-Mobile κυκλοφόρησαν επίσης οικιακό ίντερνετ 5G, το οποίο χρησιμοποιεί αυτά τα δίκτυα για να παρέχει οικιακό Wi-Fi παρόμοιο με μια εγκατάσταση διαδικτύου μέσω οπτικών ινών ή καλωδίου.

Οι τρέχουσες ταχύτητες 5G κυμαίνονται μεταξύ 40 και 1.100 Mbps, ανάλογα με τον τύπο του δικτύου 5G όπου δραστηριοποιείται ο χρήστης. Αξιοποιώντας τεχνολογία όπως το φάσμα κυμάτων χιλιοστών και τη διαμόρφωση δέσμης, οι ειδικοί εκτιμούν ότι το 5G θα μπορούσε τελικά να φτάσει σε μέγιστες ταχύτητες έως και 10.000 Mbps. Είτε το 5G επιτυγχάνει αυτόν τον στόχο είτε όχι, οι εταιρείες ασύρματης σύνδεσης απομακρύνονται τώρα από το να εξυπηρετούν

απλώς τα τηλέφωνα και κάνουν σχέδια για χρήση του 5G για άλλες εφαρμογές όπως στη βιομηχανία, τις επιχειρήσεις, την υγειονομική περίθαλψη και την εξ αποστάσεως εργασία. Ίσως από τη στιγμή που οι ταχύτητες θα φτάσουν τα επίπεδα των 10.000 Mbps (10 Gbps), οι εταιρείες ασύρματης σύνδεσης θα ξεκινήσουν το 6G. Αυτό που είναι ξεκάθαρο είναι ότι το 6G θα προσφέρει κάτι περισσότερο από απλές ταχύτητες διαδικτύου. [24]

5.1 Χαρακτηριστικά

Το 6G είναι η έκτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Το 6G ακολουθεί το 4G και το 5G, χρησιμοποιώντας ζώνες υψηλότερης συχνότητας και ευέλικτη τεχνολογία δικτύωσης που βασίζεται σε τεχνολογία cloud για να προσφέρει ταχύτητες ρεκόρ και καθυστέρηση μικροδευτερόλεπτου. Σύμφωνα με ερευνητικές εργασίες και ειδικούς στις τηλεπικοινωνίες, το 6G χρησιμοποιεί την τεχνολογία που προοριζόταν αρχικά για κινητά τηλέφωνα και την εφαρμόζει σε ένα πολύ ευρύτερο σύνολο χρήσεων, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών, της υγειονομικής περίθαλψης, της γεωργίας και των δικτύων έξυπνων κατοικιών. Στην πορεία, όλο και περισσότεροι άνθρωποι θα αρχίσουν να βιώνουν μια απρόσκοπτη συνδεσιμότητα μεταξύ του διαδικτύου και της καθημερινής τους ζωής.

Τεχνικά, το 6G δεν υπάρχει ακόμα. Όμως, όπως το φαντάζονται οι ειδικοί, το 6G είναι η επόμενη φάση της ασύρματης τεχνολογίας, που ενσωματώνει νέες προσεγγίσεις όπως υπολογιστές αιχμής και τεχνητή νοημοσύνη, για να βοηθήσει στη δημιουργία ενός εντελώς νέου τύπου διαδικτύου. Οι ερευνητές του 6G έχουν επίσης εξετάσει τη δυνατότητα των κυμάτων terahertz, μικροσκοπικών ραδιοκυμάτων μεγέθους υποχιλιοστών, που βρίσκονται στο όριο μεταξύ των μικροκυμάτων και της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Να μειώσουν σημαντικά την καθυστέρηση και να αυξήσουν τις ταχύτητες δεδομένων έως και 1 Tbps. Αυτό είναι χίλιες φορές πιο γρήγορο από τις ταχύτερες ταχύτητες Wi-Fi που διατίθενται από τους περισσότερους παρόχους διαδικτύου σήμερα.

Όλα αυτά είναι καθαρά θεωρητικά σε αυτό το πρώιμο στάδιο φυσικά. Ωστόσο, το αυξανόμενο ενδιαφέρον για το θέμα έχει οδηγήσει κρατικές επενδύσεις στην έρευνα και σε συνεργασίες μεταξύ πανεπιστημίων και εταιρειών τηλεπικοινωνιών.

Είναι δύσκολο να πούμε πώς θα μοιάζει το 6G σε τελική ανάλυση, καθώς δεν υπάρχει ακόμα. Ωστόσο, σε συνεντεύξεις μέσω ενημέρωσης και ερευνητικές εργασίες, οι εταιρείες ασύρματης επικοινωνίας και οι ακαδημαϊκοί, περιγράφουν το 6G ως ένα πλήρως ενσωματωμένο σύστημα που βασίζεται στο διαδίκτυο και επιτρέπει τη στιγμιαία επικοινωνία μεταξύ των χρηστών, των συσκευών, των οχημάτων και του υπόλοιπου περιβάλλοντος. Αυτήν τη στιγμή, έχουμε το Internet of Things (IoT) με έξυπνα τηλέφωνα και έξυπνες οικιακές συσκευές. Θα μπορούσαμε τελικά να φτάσουμε σε ένα ολοκληρωμένο διαδίκτυο των πάντων. Αλλά αυτό θα εξαρτηθεί από τις μελλοντικές εξελίξεις όπως το 6G και τον τρόπο λειτουργίας του. [25]

5.2 Ταχύτητες 6G

Ορισμένοι ειδικοί πιστεύουν ότι τα δίκτυα 6G θα μπορούσαν μια μέρα να μας επιτρέψουν να επιτύχουμε μέγιστες ταχύτητες ενός terabit ανά δευτερόλεπτο (Tbps) σε μια συσκευή διαδικτύου. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε χίλιες φορές ταχύτερο δίκτυο από 1 Gbps, το οποίο αποτελεί την μεγαλύτερη ταχύτητα που είναι διαθέσιμη στα περισσότερα οικιακά δίκτυα διαδικτύου σήμερα. Είναι 100 φορές ταχύτερο από 10 Gbps, την υποθετική μέγιστη ταχύτητα του 5G. Είναι λοιπόν μια ρόδινη εικασία παρότι η τεχνολογία σήμερα βρίσκεται πολύ μακριά από την επίτευξη αυτών των ταχυτήτων. Ωστόσο, οι ερευνητές προβλέπουν ότι το 6G θα δώσει έμφαση στο εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης και αξιοπιστία. Στο 6G, το διαδίκτυο θα είναι άμεσα και συνεχώς προσβάσιμο και συνυφασμένο για πολλούς χρήστες στην καθημερινή ζωή.

5.3 Συχνότητα των νέων κυμάτων

Το 2019, η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) άνοιξε τις πύλες για ένα πιθανό μέλλον 6G, επιτρέποντας στις εταιρείες να αρχίσουν να πειραματίζονται με αυτό που ονομάζεται «κύματα τεραχερτζ» ή «κύματα υποχιλιοστών». Πρόκειται για ζώνες ραδιοφώνου που εμπίπτουν στο φάσμα από 95 GHz έως 3THz (terahertz).

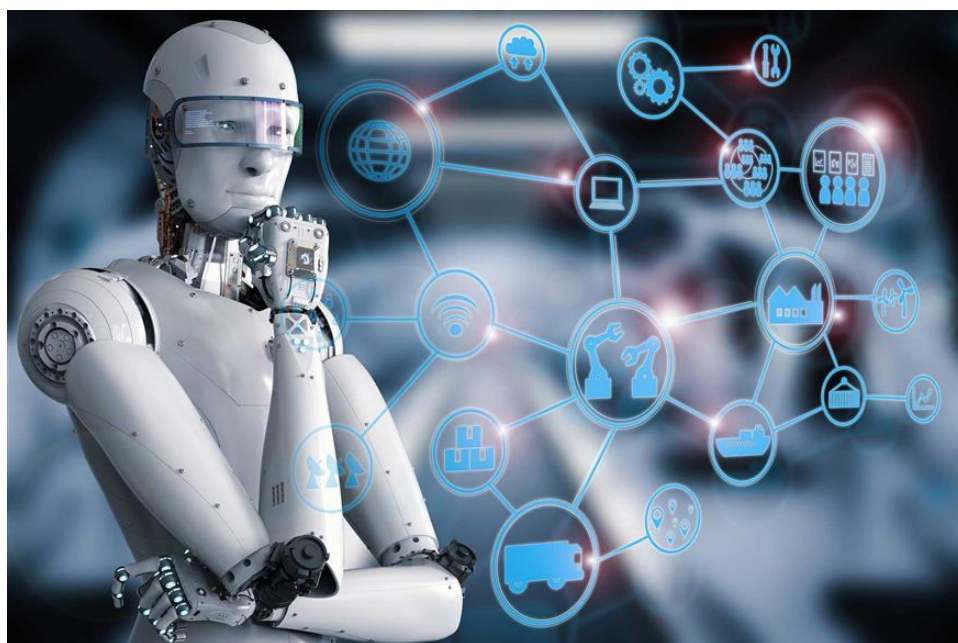
Τα κύματα Terahertz έρχονται σε υψηλότερη συχνότητα από τα κύματα χιλιοστού, τα οποία σήμερα διαφημίζονται ως ένα είδος λύσης για τη

συμφόρηση δικτύου και τους περιορισμούς εύρους ζώνης. Οι προηγμένες εκδόσεις του 5G εξαρτώνται από ζώνες κυμάτων χιλιοστών για τη μεταφορά τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων σε εξαιρετικά γρήγορες ταχύτητες με ελάχιστο χρόνο απόκρισης, καθιστώντας (θεωρητικά) δυνατή την ανάπτυξη πραγμάτων όπως αυτοματοποιημένα αυτοκίνητα και χειρουργεία εξ αποστάσεως.

Το πρόβλημα είναι ότι τα κύματα χιλιοστού λειτουργούν μόνο σε μικρές αποστάσεις, απαιτώντας μια «ορατή γραμμή» μεταξύ του πομπού και του χρήστη. Τα κύματα terahertz έχουν ακόμη μικρότερο εύρος. Αλλά εάν μπορούν να αξιοποιηθούν σωστά με ορισμένες καινοτόμες προσεγγίσεις δικτύωσης, μπορεί να δημιουργηθεί ακόμη μεγαλύτερη χωρητικότητα για την εκτέλεση εξελιγμένων δραστηριοτήτων τύπου Jetsons μέσω ενός ασύρματου δικτύου 6G.

5.4 Τεχνητή νοημοσύνη και υπολογιστές αιχμής

Τα αυτοματοποιημένα αυτοκίνητα και τα drones, τα τηλεκατευθυνόμενα εργοστάσια και άλλες χρήσεις της τεχνητής νοημοσύνης (AI) έχουν γίνει το κεντρικό θέμα σε πολλές συζητήσεις, εν μέσω της άνοδου του 5G. Η έλευση του 6G αναμένεται να το κάνει ακόμα περισσότερο και ορισμένοι ειδικοί πιστεύουν ότι θα χρειαστεί η τεχνητή νοημοσύνη για να είναι όλα συντονισμένα και να λειτουργούν ομαλά.



Εικόνα 25. Απεικόνιση τεχνητής νοημοσύνης του μέλλοντος.

Πηγή: <https://www.ethnos.gr/greece/article/133880/elsaday2020texnhthnohmosynhpolemioshsymmaxostoyergazomenoy>

Ο Razvan-Andrei Stoica και ο Giuseppe Abreu, δύο ερευνητές στο Πανεπιστήμιο Jacobs στη Βρέμη της Γερμανίας, δήλωσαν ότι το 6G θα μπορούσε να βασιστεί στη «συνεργατική τεχνητή νοημοσύνη» για να βοηθήσει τα

αυτόνομα αυτοκίνητα να επικοινωνούν μεταξύ τους, να κινούνται ανάμεσα στους πεζούς και την συνολική κυκλοφορία και να καθορίζουν τις καλύτερες διαδρομές όπου χρειαστεί. Αποτελεί μέρος μιας αναδυόμενης τάσης που ονομάζεται "υπολογιστική ακμή", η οποία μετακινεί τη διαχείριση δικτύου μακριά από τα κεντρικά νέφη (clouds), προς πιο τοπικές συσκευές, κάνοντας τα πάντα να λειτουργούν πιο ομαλά και μειώνοντας τους χρόνους απόκρισης.

Ένας άλλος ερευνητής του 6G, ο Roberto Saracco στο Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Καινοτομίας & Τεχνολογίας, πρότεινε ότι αντικείμενα όπως η τεχνητή νοημοσύνη και οι υπολογιστές αιχμής θα μπορούσαν να βοηθήσουν τις ίδιες τις συσκευές να γίνουν κεραιές δικτύου. Αυτό θα επιτευχθεί διατηρώντας τη σύνδεσή Wi-Fi σε ένα ρευστό, συνεχώς μεταβαλλόμενο μοντέλο των χρηστών και των συσκευών τους. [24]

5.5 Αναδυόμενες Τεχνολογίες

Η εικονική πραγματικότητα αναμένεται να παίξει μεγάλο ρόλο στο 5G. Αλλά αυτό είναι μόνο η αρχή. Στην εποχή του 6G χρόνια από τώρα, ορισμένοι ειδικοί φαντάζονται την εμφάνιση ακόμη πιο καθηλωτικών τεχνολογιών, όπως οι κυτταρικές επιφάνειες, τα συνδεδεμένα εμφυτεύματα και οι «ασύρματες διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή».

Ο Walid Saad, μέλος της σχολής της Virginia Tech και ο κύριος συγγραφέας βιβλίου του Ιουλίου 2019 για το 6G, προβλέπει ότι τα smartphone θα πέσουν τελικά στο περιθώριο υπέρ των έξυπνων φορητών συσκευών, ακουστικών και εμφυτευμάτων «που μπορούν να λάβουν άμεσες αισθητηριακές εισροές στον άνθρωπο.» Η ιαπωνική εταιρεία κινητής τηλεφωνίας NTT DoCoMo οραματίζεται

μια πλήρη συγχώνευση φυσικής ζωής και κυβερνοχώρου: «Για τους ανθρώπους, θα καταστεί δυνατό για τον κυβερνοχώρο να υποστηρίζει την ανθρώπινη σκέψη και δράση σε πραγματικό χρόνο, μέσω φορητών συσκευών και μικροσυσκευών που είναι τοποθετημένες στο ανθρώπινο σώμα».

Άλλες αλλαγές που είναι πιθανό να φέρει το 6G περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- **Νανοπυρήνα (Nano-core).** Ένας λεγόμενος νανο-πυρήνας αναμένεται να εμφανιστεί ως ένας κοινός πυρήνας υπολογιστών που θα περιλαμβάνει στοιχεία HPC και AI. Ο νανο-πυρήνας δεν χρειάζεται να είναι φυσικό στοιχείο δικτύου. Αντίθετα, θα μπορούσε να περιλαμβάνει μια λογική συλλογή υπολογιστικών πόρων, που μοιράζονται πολλά δίκτυα και συστήματα.
- **Συντονισμός άκρων και πυρήνα.** Τα δίκτυα 6G θα δημιουργήσουν ουσιαστικά περισσότερα δεδομένα από τα δίκτυα 5G και η πληροφορική θα εξελιχθεί ώστε να περιλαμβάνει τον συντονισμό μεταξύ των ακραίων και βασικών πλατφορμών. Ως απάντηση σε αυτές τις αλλαγές, τα κέντρα δεδομένων θα πρέπει να εξελιχθούν.
- **Διαχείριση δεδομένων.** Οι δυνατότητες 6G για την ανίχνευση, την απεικόνιση και τον προσδιορισμό τοποθεσίας θα δημιουργήσουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων που πρέπει να διαχειρίζονται για λογαριασμό των κατόχων του δικτύου, των παρόχων υπηρεσιών και των κατόχων δεδομένων.[38]

5.6 Νέοι Στόχοι

Πολλές εταιρίες κολοσσοί στον χώρο των δικτύων όπως η Nokia, οραματίζονται μια νέα αρχιτεκτονική συστήματος 6G με τα ακόλουθα διακριτά

κριτήρια σχεδιασμού ή στόχους όπως πλατφόρμα cloud, απλοποίηση και βιωσιμότητα, ευελιξία, προγραμματισμός, εξειδίκευση, ευρωστία και ασφάλεια και εγγενής ενοποίηση δυνατοτήτων AI/ML.

Όλα αυτά τα κριτήρια σχεδιασμού και οι στόχοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάπτυξη της νέας αρχιτεκτονικής του συστήματος 6G, ενώ οι μεμονωμένοι παράγοντες στο πλέγμα ευρύτερης αξίας, μπορεί να έχουν διαφορετικές προτεραιότητες με βάση τις περιπτώσεις χρήσης που στοχεύουν.

Όλοι οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να επικεντρωθούν στη βιωσιμότητα δημιουργώντας δίκτυα μηδενικού αποτυπώματος άνθρακα. Κάθε πτυχή της λειτουργίας του δικτύου έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιεί ή να αντισταθμίζει τις εκπομπές CO₂. Άλλοι ενδιαφερόμενοι μπορεί να επιλέξουν να εξειδικεύσουν τα δίκτυά τους για το μέλλον, επιτρέποντας εμπειρίες που καθλώνουν όπως η εκτεταμένη πραγματικότητα (XR), η ολογραφική τηλεπαρουσία και η ψηφιακή αδελφοποίηση. Επίσης μια επιχείρηση μπορεί να δημιουργήσει ένα δίκτυο επικεντρωμένο στη σύνδεση του αυξανόμενου πλήθους συσκευών και αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης, κάτι που απαιτεί προσαρμοσμένα χαρακτηριστικά και λειτουργίες. Καθώς συγχωνεύουμε τον ανθρώπινο, τον ψηφιακό και τον φυσικό κόσμο στην εποχή του 6G, ένα κύμα νέων συσκευών θα γίνει μέρος της συνδεσιμότητας μας, συνδέοντας κάθε είδους φορητό και εξατομικευμένο αισθητήρα, ακόμη και το ύφασμα στα ρούχα μας. Τέτοια συστήματα υψηλής διασύνδεσης θα χρειαστούν ιδιαίτερη προσοχή στον τομέα του απόρρητου και την ασφάλεια μαζί με τα δεδομένα που ανταλλάσσουν και παράγουν.[38]

5.7 Αρχιτεκτονική 6G

Η οικοδόμηση ενός δικτύου που υποστηρίζει τέτοιου είδους περιπτώσεις χρήσης και στόχους συστήματος θα απαιτήσει διάφορες αρχιτεκτονικές καινοτομίες που καλύπτουν πολλούς τομείς. Ένα δίκτυο 6G μπορεί να εξαπλωθεί σε πολλαπλές ετερογενείς και κατανεμημένες δημόσιες και ιδιωτικές πλατφόρμες cloud, από διαφορετικούς ενδιαφερόμενους και θα χρησιμοποιεί μια πλατφόρμα cloud με ποικίλες δυνατότητες, όπως η επιτάχυνση υλικού. Οι υλοποιήσεις θα επιτύχουν ένα νέο επίπεδο προγραμματισμού για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις πολλών και διαφορετικών περιπτώσεων χρήσης. Η αρχιτεκτονική θα συνοδεύεται από την ευελιξία και τον υψηλό βαθμό εξειδίκευσης που απαιτείται για να αναπτυχθεί σε μεγάλης κλίμακας δίκτυα ευρείας περιοχής καθώς και σε εξαιρετικά τοπικά δίκτυα εσωτερικής και προσωπικής περιοχής. Το 6G θα υποστηρίξει αυτήν την προσαρμογή στον πιο κατάλληλο βαθμό, καθιστώντας κάθε δίκτυο μοναδικό και προσαρμοσμένο στις προβλεπόμενες ανάγκες ανάπτυξης του.

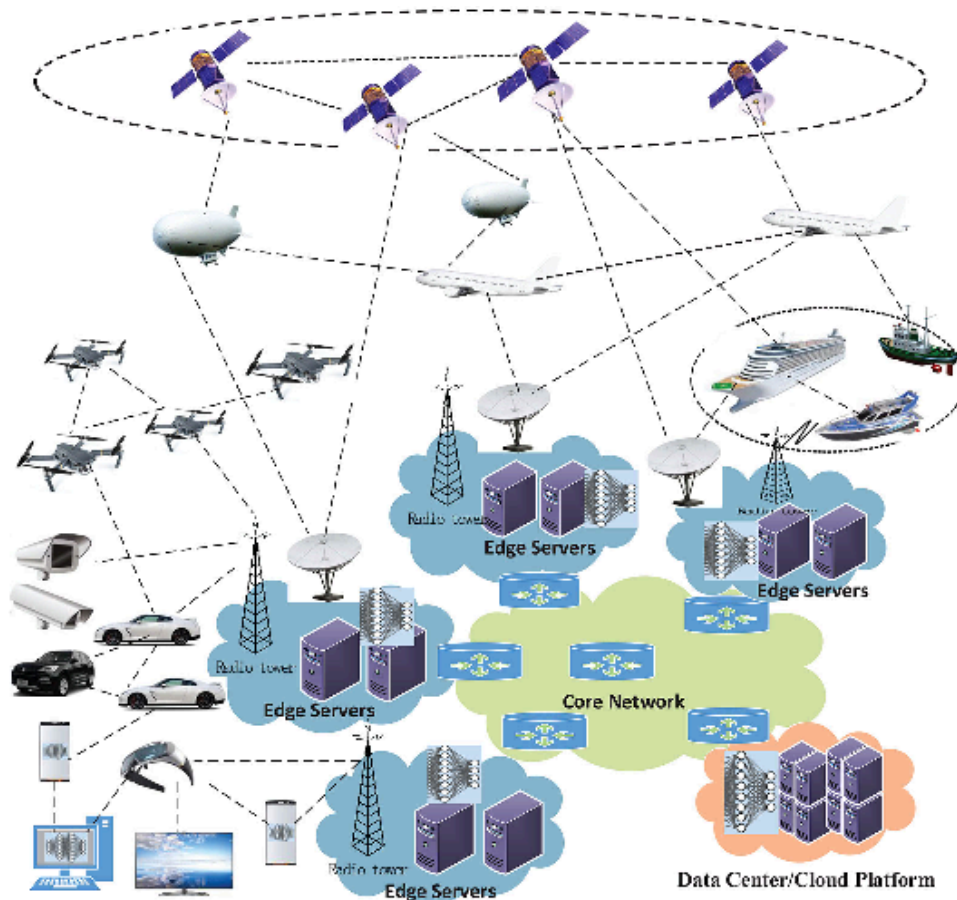
Δεύτερον, θα εισαχθεί ένα νέο επίπεδο εξειδίκευσης και απλοποίησης που θα επιτρέψει στα δίκτυα και τις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας να κατασκευαστούν σχεδόν όπως τα σύνολα Lego με κάθε δίκτυο ραδιοπρόσβασης (RAN) ή λειτουργία βασικού δικτύου να περιλαμβάνει ένα επίπεδο. Οι ανοιχτές και βασισμένες σε υπηρεσίες διεπαφές θα επιτρέψουν στους πελάτες να συναρμολογούν εύκολα αυτά τα επίπεδα, ενσωματώνοντας υπηρεσίες και λειτουργίες από πολλούς προμηθευτές ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες και συνθήκες του πελάτη. Για παράδειγμα, θα μπορούσαμε να ξεκινήσουμε με μια κύρια δομή που αποτελείται από επίπεδα ελέγχου ταυτότητας και αναγνώρισης συνδρομητών και στη συνέχεια να στοιβάζουμε δευτερεύοντα επίπεδα όπως η κινητικότητα, η διασυνεργασία και η περιαγωγή. Θα μπορούσαμε να ολοκληρώσουμε την κατασκευή με αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες και πρόσθετα επίπεδα, όπως εξειδικευμένες λειτουργίες και προσαρμοσμένα χαρακτηριστικά. Στη διαδικασία αυτή, η διάκριση μεταξύ δικτύου πρόσβασης και δικτύου πυρήνα θα θολώσει, επιτρέποντας μια πιο άμεση επικοινωνία μεταξύ

των λειτουργιών RAN και του βασικού δικτύου. Αν και οι έννοιες του RAN και του δικτύου πυρήνα δεν θα εξαφανιστούν εντελώς, μπορούμε να εμπλουτίσουμε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δύο, ακόμη και να συγχωνεύσουμε παρόμοιες συναρτήσεις.

Η αρχιτεκτονική 6G θα συνοδεύεται από προηγμένες λειτουργίες αυτοματισμού που θα παρέχουν την οργάνωση και τον αυτοματισμό σε πολλούς τομείς δικτύου. Πιθανώς σε πολλούς ενδιαφερόμενους, πολλαπλούς τομείς διαχείρισης και πρόσθετους πόρους καθώς επίσης σε εγκαταστάσεις πέρα από το παραδοσιακό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Για παράδειγμα, απαιτείται σημαντική αύξηση των δυνατοτήτων υπολογισμού και αποθήκευσης για την αποθήκευση και την επεξεργασία του τεράστιου όγκου δεδομένων που θα συλλεχθούν για υπηρεσίες όπως το AI/ML, η εκτεταμένη πραγματικότητα (XR) και το metaverse. Προτείνεται μια ειδική αρχιτεκτονική δεδομένων και πληροφοριών για τη συλλογή και την έκθεση των απαιτούμενων πληροφοριών από τις διάφορες πηγές δεδομένων σε ολόκληρο το σύστημα 6G με αποτελεσματικό τρόπο. Επίσης, είναι ζωτικής σημασίας να καθοριστεί η βέλτιστη τοποθέτηση και επιλογή αυτών των πόρων και υπηρεσιών από μια άποψη συνολικής απόδοσης του συστήματος, με παράλληλη τήρηση των περιορισμών υπηρεσιών και των KPI/KVI του συστήματος.

Η Nokia έχει ήδη αρχίσει να κάνει τα πρώτα βήματα προς την ενίσχυση των δυνατοτήτων του δικτύου με μια σειρά από νέες δυνατότητες και βελτιώσεις στο 5G-Advanced, το οποίο θα κυκλοφορήσει το 2025. Όπως περιγράφεται από τον Chief Strategy and Technology Officer Nishant Batra σε πρόσφατη ανάρτηση ιστολογίου, η Nokia έχει αρχίσει να βλέπει διαφορετικά τον τρόπο με τον οποίο δημιουργεί δίκτυα. Η εταιρία θα σχεδιάσει τα δίκτυα ως κάτι περισσότερο από μια μεγάλη λίστα χαρακτηριστικών, βελτιώσεων και τεχνολογιών, παρέχοντας στους παρόχους υπηρεσιών τα μέσα για να βελτιώσουν τις δυνατότητες του δικτύου σε τρεις διαστάσεις: εμπειρία, επέκταση και άριστη λειτουργία. Η νέα αρχιτεκτονική του συστήματος 6G είναι το επόμενο λογικό βήμα σε αυτό το

μονοπάτι που εκμεταλλεύεται πλήρως το δυναμικό των πρόσφατων καινοτομιών και των αποδεδειγμένων ιδεών.



Εικόνα 26. Αρχιτεκτονική δικτύου 6G.

Πηγή: <https://www.semanticscholar.org/paper/6G-Vision%3A-An-AI-Driven-Decentralized-Network-and-Qiao-Huang/a7bbe3d4b346d7e308f17a8e460fa68cb16c245c>

Ενώ μια νέα αρχιτεκτονική συστήματος θα είναι βασικό συστατικό της δικτύωσης στην εποχή του 6G, δεν θα είναι το μόνο. Η Nokia ερευνά πολλαπλές τεχνολογίες που θεωρείται ότι θα καθορίσουν τα δίκτυα 6G του μέλλοντος. Νέες τεχνολογίες φάσματος, ανίχνευση δικτύου, πλαίσια διεπαφής που ορίζονται από AI/ML, ασφάλεια και εμπιστοσύνη και ποιοτική συνδεσιμότητα. Η αρχιτεκτονική του συστήματος 6G θα λειτουργήσει ως κόλλα και ύφασμα για αυτές τις τεχνολογίες, δίνοντάς μας τη βάση για να κάνουμε πιο ριζικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο δημιουργούμε δίκτυα.

Συνοψίζοντας , δεν υπάρχει αμφιβολία ότι μπορεί να είμαστε μάρτυρες εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας και ισχύος που θα προσέλκυαν τους πελάτες για υπηρεσίες 6G. Η συνδεσιμότητα και ο αυτοματισμός με προηγμένες εκδόσεις μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη τέτοιων δικτύων που είχαν προβλεφθεί σε προηγούμενες συζητήσεις. Προτείνεται επίσης η αντιμετώπιση των ελλείψεων των τρεχόντων δικτύων, η βελτίωση του σχεδιασμού του δικτύου και η βελτιστοποίηση του δικτύου ευρύτερα. Τα προηγμένα συστήματα AI και οι ισχυροί υπολογιστές αιχμής θα αξιοποιήσουν την ταχύτερη αστραπιαία ταχύτητα του 6G για να συντονιστούν με πολύπλοκα συστήματα για να αναπτύξουν απρόσκοπτη συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο.[26]

5.8 Έρευνα και Ανάπτυξη 6G

Πολλοί οργανισμοί και πανεπιστήμια δείχνουν ενδιαφέρον και εμπλέκονται ενεργά στην έρευνα της νέας τεχνολογίας 6G όπως είναι:

- Το Πανεπιστήμιο του Aneiro, το οποίο κυκλοφόρησε βιβλίο για το 2019 «Γιατί 6G;» που συζητά τις κινητήριες δυνάμεις πίσω από την ανάπτυξη νέου δικτύου όπως το 6G, ποιες είναι οι πιο πρόσφατες δυνατότητες και οι βασικές τεχνολογίες που μπορεί να αναμένονται.
- Η Samsung, η οποία επιθυμεί επίσης να συμμετάσχει στον ερευνητικό αγώνα καθώς ξεκίνησε την έρευνα 6G τον Ιούνιο του 2019.
- Η SK Telecom, ένας οργανισμός τηλεπικοινωνιών της Νότιας Κορέας. Ο συγκεκριμένος οργανισμός έχει υπογράψει συμφωνίες με την Ericsson, τη Samsung και τη Nokia για τη διεξαγωγή έρευνας και ανάπτυξης στην τεχνολογία κινητών δικτύων 6G από κοινού.
- Ο TeraView, οργανισμός κατασκευής εξοπλισμού δοκιμών terahertz, ο οποίος υποστηρίχθηκε πρόσφατα με 191 εκατομμύρια £ από το

Sustainable Innovation Fund με το Innovate UK, έναν οργανισμό καινοτομίας με έδρα το Ηνωμένο Βασίλειο. Αυτό θεωρείται ότι είναι ένα κρίσιμο βήμα προς τα εμπρός για να γίνει πραγματικότητα το 6G. Με επίκεντρο τη χρήση της τεχνογνωσίας και της πνευματικής ιδιοκτησίας του, το TeraView θα βοηθήσει στη δημιουργία των μπλοκ για το μελλοντικό δίκτυο 6G και θα επιταχύνει την ανάπτυξή του.

- Η Google και η Apple έχουν εκφράσει το ενδιαφέρον τους για την έρευνα 6G και εντάχθηκαν στην Next G Alliance, η οποία δημιουργήθηκε τον Οκτώβριο του 2020 για να δημιουργήσει έναν οδικό χάρτη 6G και να παρακινήσει τις εταιρείες της Βόρειας Αμερικής να προετοιμαστούν και να βρίσκονται στην πρώτη γραμμή της υιοθέτησης του 6G σε όλο τον κόσμο.
- Η κορεατική MNC και η LG Electronics έχουν προχωρήσει στην ανάπτυξη τεχνολογίας 6G με την ίδρυση ερευνητικού κέντρου. Το CTO Park Il-pyeong της εταιρείας επρόκειτο να υποστηρίξει την E&A για το δίκτυο 6G επόμενης γενιάς και να ηγηθεί του ρόλου με την παγκόσμια τυποποίηση και τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών ευκαιριών. [24]

5.9 Σύγκριση Δικτύων 5G & 6G

Τα δίκτυα 5G αποτελούν σήμερα την τελευταία γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Η μελλοντική άφιξη όμως του νέου δικτύου 6G, δημιουργεί πολλά ερωτήματα και απορίες που οδηγούν σε αναπόφευκτη σύγκριση των δύο αυτών τεχνολογιών. Οι κύριες περιπτώσεις σύγκρισης των δικτύων αυτών είναι :

❖ **Η χρήση διαφορετικού φάσματος.**

Τα δίκτυα 5G και 6G χρησιμοποιούν ασύρματο φάσμα υψηλότερης εμβέλειας για ταχύτερη μετάδοση δεδομένων από τα παλαιότερα δίκτυα 4G, 3G και 2G. Ωστόσο, όταν συγκρίνουμε το 5G έναντι του 6G, το πρώτο εκχωρείται για συχνότητες χαμηλής και υψηλής ζώνης κάτω των 6 GHz (Gigahertz) και άνω των 24 και 25 GHz αντίστοιχα. Η τελευταία γενιά 6G θα λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων 95 GHz έως 3 THz (Terahertz). Δεδομένου ότι χρησιμοποιείται διαφορετικό φάσμα, η τεχνολογία 5G έναντι της τεχνολογίας 6G, μπορεί να έχει πολλαπλές περιπτώσεις χρήσης για διάφορους βιομηχανικούς τομείς ώστε να βελτιώσει την αποτελεσματικότητά τους.

❖ **Το 6G θεωρείται ταχύτερη τεχνολογία από το 5G.**

Λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα απόδοσης, το 6G θα συμβάλει σε υψηλότερη απόδοση, η οποία είναι πολύ καλύτερη από τα ασύρματα δίκτυα 5G που αναπτύχθηκαν πρόσφατα. Λειτουργώντας σε ζώνες συχνοτήτων terahertz, το 6G θα παρέχει μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων έως 1.000 gigabit/sec, με καθυστέρηση μικρότερη από 100 μικροδευτερόλεπτα. Όταν μιλάμε για ταχύτητα δικτύου 5G έναντι 6G, η ταχύτητα 6G αναμένεται να είναι 100 φορές μεγαλύτερη από το 5G με βελτιωμένη αξιοπιστία και ευρύτερη κάλυψη δικτύου.

❖ **Το ασύρματο 6G επιταχύνει το IoT του μέλλοντος.**

Το Internet of Things (IoT) γίνεται πραγματικότητα σήμερα με την εφαρμογή λύσεων που βασίζονται στο 5G μετά από εκτεταμένες δοκιμές δικτύου 5G, κάτι που δεν ήταν δυνατό με προηγούμενα δίκτυα όπως το 4G LTE, λόγω κακού σχεδιασμού των συχνοτήτων που εφαρμόστηκαν. Οι συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πολύ στενές και πλήρης για τη μετάδοση δεδομένων που απαιτούνται από έξυπνες συσκευές για να δώσουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το 5G κάλυψε το κενό και προχωρώντας με το 6G αναμένεται να συνδεθούν δέκα φορές περισσότερες συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο με αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων συσκευών τα επόμενα χρόνια.

❖ **Η χαμηλή καθυστέρηση και στα δύο δίκτυα.**

Ο χρόνος που απαιτείται από ένα πακέτο πληροφοριών που μεταδίδεται σε μια συχνότητα είναι γνωστός ως λανθάνουσα κατάσταση. Τα δίκτυα 4G είχαν καθυστέρηση περίπου 50 χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) ενώ τα δίκτυα 5G είχαν δέκα φορές μικρότερο λανθάνοντα χρόνο από το 4G, δηλαδή 5 ms. Με το Διαδίκτυο 6G, η καθυστέρηση θα μειωθεί σε εύρος από 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου έως 1 μικροδευτερόλεπτο, μειώνοντας έτσι την καθυστέρηση έως και πέντε φορές από αυτή του δικτύου πέμπτης γενιάς. Έτσι καθίσταται δυνατή πλέον η μαζική μετάδοση δεδομένων σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Το Περιβάλλον NS3

Στην σημερινή εποχή τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αλλά και τα ενσύρματα δίκτυα, αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας και της καθημερινότητάς μας. Αυτό έχει οδηγήσει πολλούς ανθρώπους στον χώρο της τεχνολογίας ευρύτερα, στο να πειραματιστούν αλλά και στο να προσομοιάσουν μη πραγματικά δίκτυα με πραγματικούς όμως όρους. Για να γίνει αυτό εφικτό χρησιμοποιούνται διάφοροι προσομοιωτές δικτύου όπως είναι το NS3. Η ονομασία του οποίου αντιστοιχεί σε Network Simulator 3.



Εικόνα 27. NS3

Πηγή: <https://patel999jay.github.io/post/woss-integration-ns3/>

6.1 Τί είναι το NS3

Ο προσομοιωτής δικτύου NS3 είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του πραγματικού δικτύου σε έναν υπολογιστή γράφοντας σενάρια σε γλώσσα προγραμματισμού C++ ή σε γλώσσα Python. Κανονικά για να δούμε πώς λειτουργεί το δίκτυό μας χρησιμοποιούνται διάφορες παράμετροι. Δεν υπάρχει ο απαιτούμενος αριθμός υπολογιστών και δρομολογητών για τη δημιουργία διαφορετικών τοπολογιών. Ακόμα κι αν έχουμε αυτούς τους πόρους, είναι πολύ ακριβό να χτίσουμε ένα τέτοιο δίκτυο για πειραματικούς σκοπούς. Έτσι, για να ξεπεραστούν αυτά τα μειονεκτήματα χρησιμοποιείται το NS3, το οποίο είναι ένας προσομοιωτής δικτύου διακριτών συμβάντων για το διαδίκτυο.

Το NS3 βοηθά στη δημιουργία διαφόρων εικονικών κόμβων (δηλαδή υπολογιστών στην πραγματική ζωή) και με τη βοήθεια διαφόρων κλάσεων Helper μας επιτρέπει να εγκαταστήσουμε συσκευές, στοίβες διαδικτύου ακόμα και εφαρμογές, στους κόμβους μας.

Χρησιμοποιώντας το NS3 μπορούμε να δημιουργήσουμε συνδέσεις PointToPoint, Wireless, CSMA, μεταξύ κόμβων. Η σύνδεση PointToPoint είναι ίδια με ένα LAN συνδεδεμένο μεταξύ δύο υπολογιστών. Η ασύρματη σύνδεση είναι ίδια με τη σύνδεση WiFi μεταξύ διαφόρων υπολογιστών και δρομολογητών. Η σύνδεση CSMA είναι ίδια με την τοπολογία διαύλου μεταξύ υπολογιστών. Μετά τη δημιουργία συνδέσεων προσπαθούμε να εγκαταστήσουμε NIC σε κάθε κόμβο για να ενεργοποιήσουμε τη συνδεσιμότητα του δικτύου.

Όταν οι κάρτες δικτύου είναι ενεργοποιημένες στις συσκευές, προσθέτουμε διαφορετικές παραμέτρους στα κανάλια δηλαδή, διαδρομή του πραγματικού δικτύου που χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων, που είναι ο ρυθμός δεδομένων καθώς και το μέγεθος πακέτου. Τώρα χρησιμοποιούμε την εφαρμογή για να δημιουργήσουμε “κίνηση” και να στείλουμε τα πακέτα χρησιμοποιώντας αυτές τις εφαρμογές. [27]

6.2 Χαρακτηριστικά

Το NS3 μας δίνει ειδικά χαρακτηριστικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πραγματικές ενσωματώσεις. Μερικά από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

➤ **Ανίχνευση των κόμβων:**

Το NS3 μας επιτρέπει να εντοπίσουμε τις διαδρομές των κόμβων και μας βοηθά να γνωρίζουμε πόσα δεδομένα στέλνονται ή λαμβάνονται. Τα αρχεία ανίχνευσης δημιουργούνται για την παρακολούθηση αυτών των δραστηριοτήτων.

➤ **NetAnim:**

Αντιπροσωπεύει το Network Animator. Είναι μια κινούμενη έκδοση που αποσκοπεί στο πώς θα φαίνεται το δίκτυο στην πραγματικότητα και πώς θα μεταφέρονται τα δεδομένα από τον έναν κόμβο στον άλλο.

➤ **Αρχείο Pcap:**

Το NS3 βοηθά στη δημιουργία αρχείου pcap που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη όλων των πληροφοριών των πακέτων (π.χ. Αριθμός ακολουθίας, IP πηγής, IP προορισμού). Αυτά τα pcaps μπορούν να προβληθούν χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο λογισμικού γνωστό ως Wireshark.

➤ **GnuPlot:**

Το GnuPlot χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση γραφημάτων από τα δεδομένα που λαμβάνουμε από το αρχείο παρακολούθησης του NS3. Το GnuPlot δίνει πιο ακριβές γράφημα σε σύγκριση με άλλα εργαλεία δημιουργίας γραφημάτων και επίσης είναι λιγότερο περίπλοκο.

Σε γενικό πλαίσιο το NS3 μπορεί να εκτελέσει τις περισσότερες από τις δραστηριότητες που εκτελούνται στο δίκτυο, στην πραγματικότητα. [27]

6.3 Η Ιστορία του NS

Η πρώτη έκδοση του ns, γνωστή ως ns-1, αναπτύχθηκε στο Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) στο χρονικό πλαίσιο 1995-97 από τους Steve McCanne, Sally Floyd, Kevin Fall και άλλους συνεργάτες. Αυτό ήταν γνωστό ως προσομοιωτής δικτύου LBNL και η έμπνευσή του προήλθε το 1989 από έναν παλαιότερο προσομοιωτή γνωστό ως REAL, από τον S. Keshav. Η ανάπτυξη του ns-1 σταμάτησε όταν ιδρύθηκε το ns-2. Δεν αναπτύσσεται πλέον ούτε διατηρείται.

Λίγο αργότερα έκανε την εμφάνισή του το NS-2. Το Ns-2 ξεκίνησε ως αναθεώρηση του ns-1. Από το 1997 έως το 2000, η ανάπτυξη ns υποστηρίχθηκε από την DARPA μέσω του έργου VINT στο LBL, στο Xerox PARC, στο UCB και στο USC/ISI. Το Ns-2 ενσωματώνει σημαντικές συνεισφορές από τρίτα μέρη, συμπεριλαμβανομένου του ασύρματου κώδικα από τα έργα UCB Daedalus και CMU Monarch και τη Sun Microsystems. Η ανάπτυξη του ns-2 σταμάτησε στο έτος 2010. Δεν αναπτύσσεται πλέον ούτε διατηρείται.

Σημαντικά χαρακτηριστικά του NS2 :

1. Είναι ένας διακριτός προσομοιωτής συμβάντων για έρευνα δικτύωσης.
2. Παρέχει ουσιαστική υποστήριξη για την προσομοίωση δέσμης πρωτοκόλλων όπως TCP, FTP, UDP, https και DSR.
3. Προσομοιώνει ενσύρματο και ασύρματο δίκτυο.
4. Βασίζεται κυρίως στο Unix.
5. Χρησιμοποιεί την TCL ως γλώσσα δέσμης ενεργειών.
6. Otcl: Αντικειμενοστραφή υποστήριξη
7. Tclcl: Σύνδεση C++ και otcl

Το 2003, μια ομάδα με επικεφαλής τους Tom Henderson, George Riley, Sally Floyd και Sumit Roy, υπέβαλε αίτηση και έλαβε χρηματοδότηση από το Εθνικό

Ίδρυμα Επιστημών των ΗΠΑ (NSF) για την κατασκευή ενός αντικαταστάτη του ns-2, που ονομάζεται ns-3. Αυτή η ομάδα συνεργάστηκε με το πρόγραμμα Planete του INRIA στη Sophia Antipolis, με τον Mathieu Lacage ως επικεφαλής λογισμικού, και σχημάτισε ένα νέο τεχνολογικό έργο ανοιχτού κώδικα. Στη διαδικασία ανάπτυξης του ns-3, αποφασίστηκε να εγκαταλειφθεί εντελώς η συμβατότητα με το ns-2. Ο νέος προσομοιωτής θα γραφόταν από την αρχή, χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού C++. Η ανάπτυξη του ns-3 ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2006. Το ns-3 αναπτύσσεται και διατηρείται ενεργό μέχρι σήμερα. [37]

6.4 Σχεδιασμός

Το ns-3 είναι χτισμένο με χρήση γλώσσας προγραμματισμού C++ και Python, με δυνατότητα scripting. Η βιβλιοθήκη NS αναδιπλώνεται από την Python χάρη στη βιβλιοθήκη pybindgen που αναθέτει την ανάλυση των κεφαλίδων ns C++ στο castxml και το pygccxml, για να δημιουργήσει αυτόματα την αντίστοιχη δέσμευση σε C++. Αυτά τα αρχεία C++ που δημιουργούνται αυτόματα μεταγλωττίζονται τελικά στη λειτουργική μονάδα NS Python για να επιτρέπουν στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με τα μοντέλα και τον πυρήνα της C++ NS, μέσω των σεναρίων Python. Ο προσομοιωτής NS διαθέτει ένα ενσωματωμένο σύστημα που βασίζεται σε ειδικά χαρακτηριστικά για τη διαχείριση των προεπιλεγμένων τιμών για τις παραμέτρους προσομοίωσης.

Για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο NS, χρειάζεται ένας υπολογιστής και ένας μεταγλωττιστής C++. Μπορούμε να αναπτύσσουμε NS σε διάφορα είδη Unix (FreeBSD, Linux, SunOS, Solaris), έτσι εγκαθίσταται πιο ομαλή λειτουργία. Θα πρέπει να εκτελείται σε έναν υπολογιστή που μοιάζει με Posix, πιθανώς με κάποια προσαρμογή. Το Ns δημιουργείται και εκτελείται επίσης στα Windows. Τα απλά σενάρια θα πρέπει να εκτελούνται σε οποιοδήποτε λογικό μηχάνημα,

αλλά τα πολύ μεγάλα σενάρια επωφελούνται από μεγάλες ποσότητες μνήμης. Το Ns είναι αρκετά μεγάλο. Το πακέτο allinone απαιτεί περίπου 320 MB χώρου στο δίσκο για να κατασκευαστεί. Η κατασκευή ns από κομμάτια μπορεί να εξοικονομήσει χώρο στο δίσκο. Εάν πολλά άτομα θέλουν να μοιράζονται αρχεία στο δέντρο κατασκευής ns για εξοικονόμηση χώρου, υπάρχει η δυνατότητα λήψης ενός απλού σεναρίου perl. [37]

6.5 Λειτουργία

Το Ns απαιτεί μια μέτρια ενημερωμένη εγκατάσταση του Tcl/Tk (με αρχεία κεφαλίδας) και δύο επιπλέον πακέτα: tclcl και otcl. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις λειτουργικού συστήματος δεν συνοδεύονται από πλήρεις εγκαταστάσεις Tcl/Tk ή με άλλα πακέτα. Επομένως πιθανότατα θα χρειαστεί να εγκατασταθούν πολλά πακέτα.

Γενικότερα υπάρχουν οι εξής τυπικοί τρόποι δημιουργίας ns:

- Δημιουργία κάθε στοιχείου ξεχωριστά ("από τα κομμάτια") ή εκτέλεση ενός σεναρίου που τα εγκαθιστά όλα σε μία λήψη ("allinone"). Εάν ο χρήστης θελήσει απλώς να το δοκιμάσει γρήγορα, μπορεί να δοκιμάσει το πακέτο allinone. Εάν θελήσει να κάνει ανάπτυξη σε επίπεδο C, ή να εξοικονομήσει χρόνο λήψης, χώρο στο δίσκο ή έχει πρόβλημα με το allinone, θα πρέπει να το δημιουργήσει μέσα από τα κομμάτια.
- Εγκατάσταση του πακέτου allinone: Αυτό το πακέτο έχει μια δέσμη ενεργειών εγκατάστασης και χειρίζεται την εγκατάσταση των πακέτων Tcl/Tk, OTcl, tclcl, ns-2, nam-1 και άλλων πακέτων. Ενημέρωση allinone: Το πακέτο "allinone" ενημερώνεται μόνο για κάθε κυκλοφορία. [37]

6.5.1 Ροή εργασιών προσομοίωσης

Η γενική διαδικασία δημιουργίας μιας προσομοίωσης NS μπορεί να χωριστεί σε διάφορα στάδια:

- (1) **Ορισμός τοπολογίας:** Για να διευκολύνει τη δημιουργία βασικών εγκαταστάσεων και να καθορίσει τις αλληλεπιδράσεις τους, το ns-3 διαθέτει ένα σύστημα δοχείων και βοηθών, που διευκολύνει αυτή τη διαδικασία.
- (2) **Ανάπτυξη μοντέλων:** Προστίθενται μοντέλα στην προσομοίωση όπως για παράδειγμα, UDP, IPv4, συσκευές και σύνδεσμοι από σημείο σε σημείο και εφαρμογές. Τις περισσότερες φορές αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας βοηθούς.
- (3) **Διαμόρφωση κόμβου και συνδέσμου:** τα μοντέλα ορίζουν τις προεπιλεγμένες τιμές τους όπως είναι το μέγεθος των πακέτων που αποστέλλονται από μια εφαρμογή ή το MTU μιας σύνδεσης από σημείο σε σημείο. Τις περισσότερες φορές αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας το σύστημα χαρακτηριστικών.
- (4) **Εκτέλεση:** Οι εγκαταστάσεις προσομοίωσης δημιουργούν συμβάντα, τα δεδομένα που ζητούνται από τον χρήστη καταγράφονται.
- (5) **Ανάλυση απόδοσης:** Αφού ολοκληρωθεί η προσομοίωση και τα δεδομένα είναι διαθέσιμα ως ίχνος συμβάντων με χρονική σήμανση. Αυτά τα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να αναλυθούν στατιστικά με εργαλεία

όπως το R για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

(6) **Γραφική Οπτικοποίηση:** Τα ακατέργαστα ή επεξεργασμένα δεδομένα που συλλέγονται σε μια προσομοίωση μπορούν να γραφτούν χρησιμοποιώντας εργαλεία όπως το Gnuplot, το matplotlib ή το XGRAPH.[27]

6.5.2 Προσομοίωση προγράμματος NS3.

Παρακάτω ακολουθεί η προσομοίωση σεναρίου ενός δικτύου 5G με την βοήθεια του προσομοιωτή δικτύων NS3. Το συγκεκριμένο σενάριο και ο κώδικάς του μπορούν να βρεθούν στην διεύθυνση που παρατίθεται παρακάτω στο παράρτημα κώδικα, και βρίσκεται στον κατάλογο nr, examples, με την ονομασία cttc-fh-compression.cc.

Στο ακόλουθο σενάριο προσομοίωσης πραγματοποιείται ανάπτυξη δικτύου πολλαπλών κυψελών με αντίστοιχη κατανομή τοποθεσιών. Αυτό το παράδειγμα περιγράφει πώς να ρυθμιστεί μια προσομοίωση χρησιμοποιώντας το μοντέλο καναλιού 3GPP από το TR 38.900. Το παράδειγμα αποτελείται από μια ανάπτυξη εξαγωνικού πλέγματος που αποτελείται από μια κεντρική τοποθεσία και έναν αριθμό εξωτερικών τοποθεσιών δακτυλίων γύρω από αυτήν την κεντρική τοποθεσία. Κάθε τοποθεσία είναι τμηματοποιημένη, που σημαίνει ότι ένας αριθμός από τρεις συστοιχίες κεραιών ή πάνελ αναπτύσσονται ανά gNB. Αυτές οι τρεις κεραιές δείχνουν σε 30°, 150° και 270° στον οριζόντιο άξονα. Κατανέμεται μια ζώνη σε κάθε τομέα μιας τοποθεσίας και οι ζώνες είναι συνεχόμενες σε συχνότητα.

Παρέχεται ένας αριθμός παραμέτρων προσομοίωσης που μπορούν να διαμορφωθούν στη γραμμή εντολών, όπως ο αριθμός των UE ανά κελί ή ο αριθμός των εξωτερικών δακτυλίων. Ανακαλύπτοντας τις πιθανές παραμέτρους θα μάθουμε τι μπορεί να ρυθμιστεί μέσω της γραμμής εντολών.

Με την προεπιλεγμένη διαμόρφωση, το παράδειγμα θα δημιουργήσει μία ροή DL ανά UE. Το παράδειγμα θα εκτυπώσει στην οθόνη το τελικό αποτέλεσμα κάθε ροής, καθώς και θα τα γράψει σε ένα αρχείο.

Στο σενάριο αυτό σκοπός είναι να εμφανίσουμε και να αναλύσουμε τις τιμές(σε millisecond):

Mean flow throughput (Μέση απόδοση ροής)

Mean flow delay (Μέση καθυστέρηση ροής)

Median flow delay (Διάμεση καθυστέρηση ροής)

Αρχικά θα χρησιμοποιηθεί στο τερματικό η εντολή :

`./ns3 run cttc-fh-compression`

Έτσι θα επιτύχουμε την ενοποίηση εξαρτήσεων που δημιουργούνται από τον μεταγλωττιστή για το συγκεκριμένο αρχείο κώδικα. Οι τιμές που εμφανίζονται είναι σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχει ήδη το παράδειγμα γραμμένους στον κώδικα.

Mean flow throughput : 4.175296

Mean flow delay : 8.227358

Median flow delay: 6.322222

```
spyros@spyros:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run cttc-fh-compression
Consolidate compiler generated dependencies of target libnr-obj
Consolidate compiler generated dependencies of target cttc-fh-compression
numcells: 3
numUEs: 6
Cell: 0 mcs (same mcs): 28
Cell: 1 mcs (same mcs): 28
Cell: 2 mcs (same mcs): 28
Cell: 0 lambda (same lambda): 2000
Cell: 1 lambda (same lambda): 2000
Cell: 2 lambda (same lambda): 2000

Mean flow throughput: 4.175296
Mean flow delay: 8.227358
Median flow delay: 6.322222
```

Στιγμιότυπο 1: τιμές αποτελεσμάτων πρώτης δοκιμαστικής προσομοίωσης.

Εν συνεχεία θα εμφανίσουμε μία λίστα δυνατών παρεμβάσεων στο πρόγραμμα με την εντολή:

```
./ns3 run 'cttc-fh-compression --help'
```

```
spyros@spyros:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run 'cttc-fh-compression --help'
[Program Options] [General Arguments]

Program Options:
--scenario:          The urban scenario string (UMa or UMi) [UMi]
--numRings:         The number of rings around the central site [0]
--ueNumPergNb:      The number of UE per cell or gNB in multiple-ue topology [2]
--logging:          Enable logging [false]
--traces:           Enable output traces [true]
--packetSize:       packet size in bytes to be used by UE traffic [600]
--lambda:           Number of UDP packets generated in one second per UE [2000]
--uniformLambda:   1: Use same lambda (packets/s) for all UEs and cells (equal to 'lambda' input), 0: use different packet arrival rates (lambdas) among cells [true]
--simTimeMs:        Simulation time [1400]
--numerologyBwp:    The numerology to be used (NR only) [2]
--pattern1:         The TDD pattern to use [F|F|F|F|F|F|F|F|F|F|]
--pattern2:         The TDD pattern to use [F|F|F|F|F|UL|UL|UL|UL|UL|]
--uniformPattern:   1: Use same TDD pattern (pattern1) for all cells, 0: use different TDD patterns (pattern1 and pattern2) for cells [true]
--direction:        The flow direction (DL or UL) [DL]
--technology:       The radio access network technology [NR]
--operationMode:    The network operation mode can be TDD or FDD [TDD]
--simTag:           tag to be appended to output filenames to distinguish simulation campaigns [default]
```

Στιγμιότυπο 2: ευύτερα στοιχεία σεναρίου προσομοίωσης.

Διαπιστώνουμε έτσι ότι ένας σημαντικός παράγοντας που μπορούμε να αλλάξουμε είναι ο αριθμός των UE ανά κελί. Έτσι σαν πρώτη εφαρμογή θα αλλάξουμε αυτόν τον αριθμό σε 13. Επειδή όμως ο αριθμός των κελιών είναι 3 ο τελικός αριθμός UE συνολικά θα ανέρχεται σε 39.

Χρησιμοποιώντας την εντολή :

```
./ns3 run 'cttc-fh-compression --ueNumPergNb=13'
```

Οι τιμές που προκύπτουν είναι:

Mean flow throughput : 4.175296

Mean flow delay : 8.456553

Median flow delay: 7.658814

```
spyros@spyros:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run 'cttc-fh-compression --ue
NumPergNb=13'
numcells: 3
numUEs: 39
Cell: 0 mcs (same mcs): 28
Cell: 1 mcs (same mcs): 28
Cell: 2 mcs (same mcs): 28
Cell: 0 lambda (same lambda): 2000
Cell: 1 lambda (same lambda): 2000
Cell: 2 lambda (same lambda): 2000

Mean flow throughput: 4.175296
Mean flow delay: 8.456553
Median flow delay: 7.658814
```

Στιγμιότυπο 3: τιμές αποτελεσμάτων πρώτης προσομοίωσης έχοντας 13 UE ανά κόμβο.

Σαν δεύτερη εφαρμογή θα αλλάξουμε τον αριθμό σε 26. Επειδή όμως πάλι ο αριθμός των κελιών είναι 3 ο τελικός αριθμός UE συνολικά θα ανέρχεται σε 78 .

Χρησιμοποιώντας την εντολή :

```
./ns3 run 'cttc-fh-compression --ueNumPergNb=26'
```

Οι τιμές που προκύπτουν είναι:

```
spyros@spyros:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run 'cttc-fh-compression --ue
NumPergNb=26'
numcells: 3
numUEs: 78
Cell: 0 mcs (same mcs): 28
Cell: 1 mcs (same mcs): 28
Cell: 2 mcs (same mcs): 28
Cell: 0 lambda (same lambda): 2000
Cell: 1 lambda (same lambda): 2000
Cell: 2 lambda (same lambda): 2000

Mean flow throughput: 4.175296
Mean flow delay: 7.965361
Median flow delay: 8.672379
```

Στιγμιότυπο 4: τιμές αποτελεσμάτων πρώτης προσομοίωσης έχοντας 26 UE ανά κόμβο.

Mean flow throughput : 4.175296

Mean flow delay : 7.965361

Median flow delay: 8.677379

Τέλος σαν τρίτη εφαρμογή θα αλλάξουμε τον αριθμό σε 40. Επειδή πάλι ο αριθμός των κελιών είναι 3 ο τελικός αριθμός UE συνολικά θα ανέρχεται σε 120 .

Χρησιμοποιώντας την εντολή :

```
./ns3 run 'cttc-fh-compression --ueNumPergNb=40'
```

Οι τιμές που προκύπτουν είναι:

```
spyros@spyros:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run 'cttc-fh-compression --ue
NumPergNb=40'
numcells: 3
numUEs: 120
Cell: 0 mcs (same mcs): 28
Cell: 1 mcs (same mcs): 28
Cell: 2 mcs (same mcs): 28
Cell: 0 lambda (same lambda): 2000
Cell: 1 lambda (same lambda): 2000
Cell: 2 lambda (same lambda): 2000

Mean flow throughput: 4.175296
Mean flow delay: 9.167964
Median flow delay: 8.794887
```

Στιγμιότυπο 5: τιμές αποτελεσμάτων πρώτης προσομοίωσης έχοντας 40 UE ανά κόμβο.

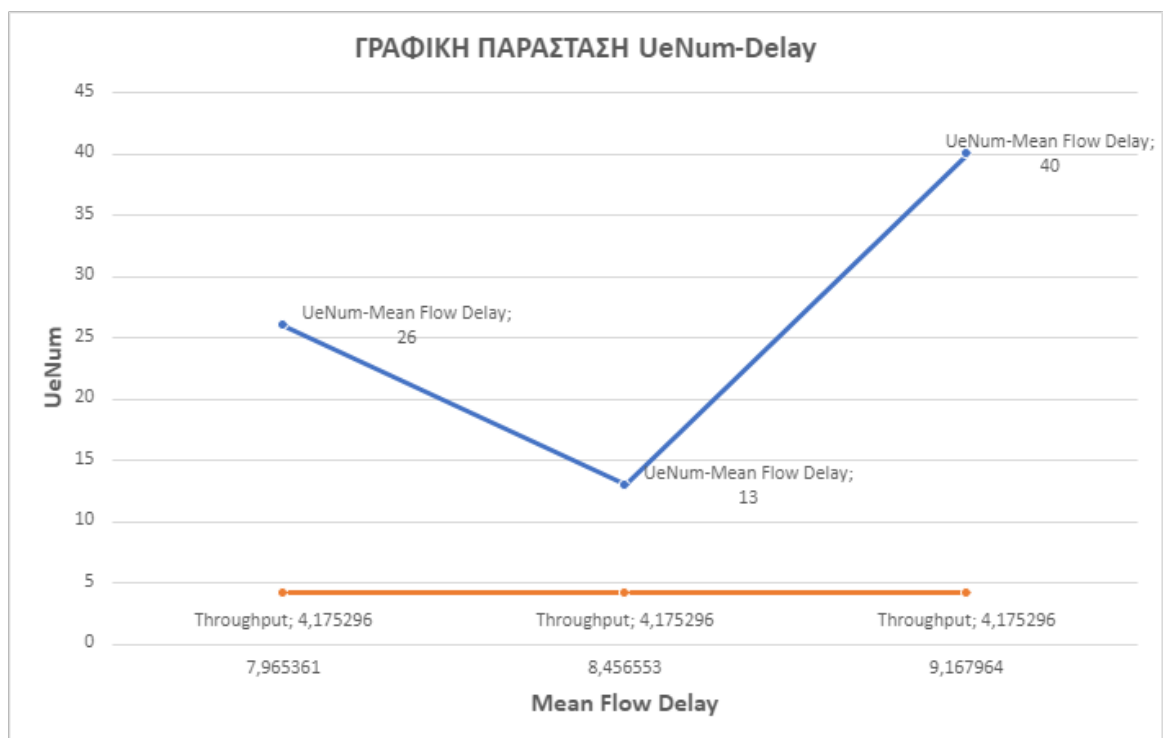
Mean flow throughput : 4.175296

Mean flow delay : 9. 167964

Median flow delay: 8.794887

Καταλαβαίνουμε λοιπόν, πώς κατά την διάρκεια της προσομοίωσης αυτής η τιμή Mean flow throughput παραμένει πάντα σταθερή (4.175296) ενώ όλες οι άλλες τιμές μεταβάλλονται με την εναλλαγή των αριθμών των UEs.

Ακολουθεί γραφική παράσταση UeNum-Delay και των τιμών Mean flow throughput (σε συνάρτηση πάντα με τον αριθμό UE).



Γραφική παράσταση: UeNum-Delay τιμές Mean flow throughput σε συνάρτηση με τον αριθμό UE.

Συμπεράσματα

Η εξέλιξη και ανάπτυξη των δικτύων τα τελευταία 40 χρόνια είναι ραγδαία. Πλέον βρισκόμαστε στην φάση ανάπτυξης και χρήσης της πέμπτης γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας 5G. Μαζί με τα δίκτυα όμως αναπτύσσονται και νέες τεχνολογίες με τις οποίες καθίσταται δυνατή και ποιοτική η λειτουργία τους. Εκτός αυτού θα πρέπει να κατανοήσουμε πως οι καινούργιες αυτές τεχνολογίες ήρθαν για να μείνουν και να εδραιωθούν σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς της τεχνολογίας αλλά και της καθημερινότητάς μας. Η ζωή στο μέλλον σύμφωνα με πολλούς ειδικούς, αναμένεται να είναι πιο εύκολη αλλά και άμεσα συνυφασμένη με την τεχνολογία αιχμής του αύριο.

Πλέον καθίσταται δυνατή και προσιτή η ενασχόληση με τα δίκτυα για το ευρύ κοινό. Σήμερα ένας απλός φοιτητής πληροφορικής έχει την δυνατότητα στο σπίτι του μέσω του προσωπικού του υπολογιστή, να πειραματιστεί με μη πραγματικά δίκτυα στο πλαίσιο πραγματικών όρων και συνθηκών. Έτσι μπορεί κανείς να κατανοήσει καλύτερα τα δίκτυα, την δομή τους και τον τρόπο λειτουργίας τους. Το γεγονός αυτό βοηθά η ανάπτυξη και χρήση προσομοιωτών δικτύων όπως είναι και το περιβάλλον NS3.

Επίσης θα πρέπει να αναλογιστούμε με προσοχή τις επιλογές και ευκαιρίες του μέλλοντος σε όλους τους τομείς. Κυρίως στον τομέα των δικτύων και των τηλεπικοινωνιών. Αναπτύσσοντας τον τομέα αυτό θα μπορέσουμε να φέρουμε την καθημερινότητά μας σε πολύ πιο ευνοϊκά επίπεδα όχι μόνο σε θέματα επικοινωνιών αλλά και σε θέματα τεχνολογικών γνώσεων, τεχνολογικής κατάρτισης, καθημερινής και έγκυρης ενημέρωσης και ασφάλειας. Οι νέες τεχνολογίες των δικτύων κινητής τηλεφωνίας αν αξιοποιηθούν σωστά, θα μπορέσουν να κάνουν την ζωή μας πιο ασφαλή όχι μόνο στον τομέα των επικοινωνιών αλλά και στους τομείς των μεταφορών και της υγείας. Απαραίτητη προϋπόθεση για την αξιοποίηση των τεχνολογιών του μέλλοντος, είναι η

ενασχόληση και η εξοικείωση με τον χώρο των δικτύων, μέσω προγραμμάτων προσομοίωσής τους.

Βιβλιογραφία

1. METIS-II <https://metis-ii.5g-ppp.eu/>
2. Mesh network topology (mesh network) <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/mesh-network-topology-mesh-network>
3. Ring Topology <https://www.sunbirdcim.com/glossary/ring-topology>
4. Star Topology <https://www.computerhope.com/jargon/s/startopo.htm>
5. Common Public Radio Interface https://en.wikipedia.org/wiki/Common_Public_Radio_Interface
6. Δομές δικτυοδότησης και φυσική τοπολογία σε peer to peer περιβάλλοντα <https://nemertes.library.upatras.gr/items/c9ecd49b-9810-4469-92e9-00f1181f875b>
7. Backhaul telecommunications [https://en.wikipedia.org/wiki/Backhaul_\(telecommunications\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Backhaul_(telecommunications))
8. Fronthaul <https://en.wikipedia.org/wiki/Fronthaul>
9. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ..pdf
10. 5G Croshaul <https://5g-ppp.eu/xhaul/>
11. CWDM vs DWDM: What's the Difference? <https://community.fs.com/blog/what-is-the-difference-between-dwdm-and-cwdm-optical-technologies.html>
12. What is Coarse Wavelength Division Multiplexing Technology <https://www.cablesandkits.com/learning-center/what-is-cwdm>
13. GPON <https://en.wikipedia.org/wiki/GPON>
14. Understanding Network TAPs https://www.networkcritical.com/network-taps?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_term=passive%20optical%20network&utm_campaign=AP+%7C+Network+Critical+%7C+Europe+Master&hsa_acc=2320586013&hsa_cam=16771761508&hsa_grp=136098043398&hsa_ad=591043597122&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-306744361115&hsa_kw=passive%20optical%20network&hsa_mt=p&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=EAlaIQobChMIoJ2k_bqP_AIVh7rVCh0NYQyYEAAYyAAEgKW8fD_BwE
15. How 5G Network Architecture Necessities Will Impact Local Networks https://blog.velco.tech/?utm_term=gpon%20network&utm_campaign

16. XGS-PON <https://www.viavisolutions.com/en-us/xgs-pon>
17. NG-PON2 <https://en.wikipedia.org/wiki/NG-PON2>
18. Techtargt Networking, millimeter Wave (MM Wave) <https://www.techtargt.com/searchnetworking/definition/millimeter-wave-MM-wave>
19. What is mm wave and how does it fit into 5G? <https://www.rcrwireless.com/20160815/featured/mmwave-5g-tag31-tag99>
20. 5G mmWave: Facts and fictions you should definitely know <https://www.androidauthority.com/what-is-5g-mmwave-933631/>
21. Defining The Elements of NFV Architectures <https://blog.equinix.com/blog/2019/10/17/networking-for-nerds-defining-the-elements-of-nfv-architectures/>
22. What is SDN? <https://www.ciena.com/insights/what-is/What-Is-SDN.html>
23. About the 5G PPP <https://5g-ppp.eu/>
24. Ο δρόμος προς το 6G για τα ασύρματα δίκτυα <https://www.naftemporiki.gr/afieromata/1358007/o-dromos-pros-to-6g-gia-ta-asyrmata-diktya/>
25. What Is 6G and What Will It Look Like? <https://www.highspeedinternet.com/resources/6g-internet>
26. A new architecture for a new 6G era <https://www.bell-labs.com/institute/blog/a-new-architecture-for-a-new-6g-era/#gref>
27. Network Simulator 3 <https://www.geeksforgeeks.org/network-simulator-3/>
28. ΔΙΚΤΥΑ 5G - PPP ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ
29. 2G <https://en.wikipedia.org/wiki/2G>
30. What is 3G? <https://www.techtargt.com/searchnetworking/definition/3G-third-generation-of-mobile-telephony>
31. What is 4G (fourth generation wireless)? <https://www.techtargt.com/searchmobilecomputing/definition/4G>
32. 4G <https://en.wikipedia.org/wiki/4G>
33. What is 5G? <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/what-is-5g.html>

34. 5G <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
35. XGPON <https://en.wikipedia.org/wiki/10G-PON>
36. Το «θαύμα» στην ανάπτυξη των δικτύων 5G: Πώς η Ελλάδα κλέβει την παράσταση https://www.businessdaily.gr/tehnologia/69127_thayma-stin-anaptyxi-ton-diktyon-5g-pos-i-ellada-klebei-tin-parastasi
37. Ns (simulator) [https://en.wikipedia.org/wiki/Ns_\(simulator\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ns_(simulator))
38. What is 6G? Overview of 6G networks & technology <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/6G>
39. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΡΧΑΙΩΝ ΜΕΣΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟΝ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟ <http://3gym-n-ionias.att.sch.gr/sjob/epikoinonies.htm>
40. ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TH103/cNetworks_in_tro%282014%29.pdf
41. Ενσύρματα δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών https://el.wikibooks.org/wiki/%CE%95%CE%BD%CF%83%CF%8D%CF%81%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B1%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD_%CE%A5%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CF%8E%CE%BD
42. Ασύρματο δίκτυο https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CF%8D%CF%81%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF
43. Κινητό τηλέφωνο https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CF%8C_%CF%84%CE%B7%CE%BB%CE%AD%CF%86%CF%89%CE%BD%CE%BF
44. ΜΕΛΕΤΗ AD-HOC ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΣΥΣΚΕΥΩΝ https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/10144/Makris_Kyriakos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
45. 1G <https://en.wikipedia.org/wiki/1G>
46. Fixed Mobile Converged Transport: COMBO Perspective https://www.researchgate.net/publication/291808846_Fixed_Mobile_Converged_Transport_COMBO_Perspective#pf2

47. Mobile Backhaul Network
Convergence. https://www.researchgate.net/publication/291349629_Mobile_Backhaul_Network_Convergence#pf2
48. Challenges and Opportunities of Optical Wireless Communication Technologies <https://www.intechopen.com/chapters/55559>
49. CWDM vs DWDM <https://forum.huawei.com/enterprise/en/cwdm-vs-dwdm/thread/853033-875>
50. NFV Architectural Framework: The ETSI architectural framework explained <https://stlpartners.com/articles/telco-cloud/nfv-architectural-framework/>
51. Dynamic Networks: SDN and NFV <https://vividcomm.com/2017/06/01/dynamic-networks-sdn-and-nfv/>
52. Software-Defined Networking (SDN) <https://www.atmeccs.com/software-defined-networking-sdn/>
53. Εφαρμογές 5G στην αυτοκινητοβιομηχανία <https://startupper.gr/slider/82819/efarmoges-5g-stin-aftokinitoviomichania/>

Παράρτημα Κώδικα

Το παράρτημα κώδικα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία διατίθεται στο παρακάτω σύνδεσμο : <https://gitlab.com/cttc-lena/nr> .