

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: Μελέτη και Αξιολόγηση Τεχνολογιών και Υπηρεσιών για Κινητά Δίκτυα  
Πέμπτης Γενιάς και εξής**

**ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ : ΦΩΤΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ**

**ΑΜ : 4933**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΧΡΗΣΤΟΣ Ι. ΜΠΟΥΡΑΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2020**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά τον υπεύθυνο καθηγητή της διπλωματικής και καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών κ. Χρήστο Ι. Μπούρα, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας το θέμα της διπλωματικής μου, αλλά και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε κατά την διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου στο Τμήμα.

Ακόμα, έχω την ανάγκη να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτωρ Αναστασία Κόλλια, για την απλόχερη και άμεση βοήθεια της σε κάθε μου ερώτηση-δυσκολία που αντιμετώπισα κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής, καθώς επίσης για την υποστήριξη που μου προσέφερε σε κάθε βήμα της διαδικασίας.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους διδάσκοντες του Τμήματος, για όλα τα εφόδια που μου έδωσαν κατά την φοίτηση μου στη σχολή, έτσι ώστε να συνεχίσω με αμείωτο ενδιαφέρον και επιμονή την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Επιπροσθέτως, ευχαριστώ όλα τα μέλη της οικογένειας μου για την στήριξη και την βοήθεια τους, χωρίς τα οποία δεν θα ήταν δυνατή η επίτευξη του στόχου μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας και με βάση το θέμα αυτής, πραγματοποιήθηκε δημοσίευση επιστημονικού άρθρου με τίτλο "5G networks : Advancement & Challenges", Christos Bouras, Paraskevi Fotakoroulou, Anastasia Kollia, που παρουσιάστηκε στο συνέδριο ICWMC 2019 τον Ιούνιο του 2019. Αυτή η δημοσίευση υποδεικνύει τη μεγάλη σημασία και αναγκαιότητα των δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς, καθώς αναλύονται οι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν μέχρι το 2020, που είναι αναμενόμενο να τεθεί σε ισχύ η 5G τεχνολογία. Επιπροσθέτως, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση των αναδυόμενων τεχνολογιών που θα προσφέρει η 5<sup>η</sup> γενιά κινητής τηλεφωνίας και εξάγονται ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με αυτές.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη μελέτη και αξιολόγηση των τεχνολογιών και υπηρεσιών για κινητά δίκτυα 5ης γενιάς και εξής. Αρχικά, παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά ενός κινητού δικτύου επικοινωνίας, καθώς επίσης τα κύρια πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα αυτού του δικτύου. Επιπροσθέτως, αναφέρονται οι γενιές κινητής τηλεφωνίας, οι οποίες είναι οι 1G, 2G και 3G. Εν συνεχεία, γίνεται αναφορά στα 4G κινητά δίκτυα επικοινωνίας και πιο συγκεκριμένα στην αρχιτεκτονική τους και στην ιστορική πορεία τους μέχρι σήμερα. Ακόμα, αναλύονται οι τεχνολογίες των 4G κινητών δικτύων, καθώς επίσης οι βασικές ελλείψεις των δικτύων αυτών.

Εν συνεχεία, παρουσιάζονται τα κινητά δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς και δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη δομή, στην ιστορική εμφάνιση και στις τεχνολογίες αυτών των δικτύων. Επίσης, παρατίθενται οι σχετικές μελέτες, υλοποιήσεις και έρευνες που έχουν γίνει πάνω στο 5G δίκτυο μέχρι σήμερα. Επιπροσθέτως, αναφέρονται οι απαιτήσεις και οι δυνατότητες των 5G κινητών δικτύων επικοινωνίας, καθώς επίσης, και οι βασικές διαφορές ανάμεσα στα 4G και 5G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Ακολούθως, μελετούνται οι κύριες τεχνολογίες των 5G κινητών δικτύων επικοινωνίας και αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά και οι

δυνατότητες της καθεμίας από αυτές. Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στις κυριότερες νέες υπηρεσίες, που θα είναι δυνατό να απολαύσουν οι χρήστες, με την έλευση του κινητού δικτύου 5<sup>ης</sup> γενιάς.

Ακόμα, εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα, που αφορούν τις κύριες τεχνολογίες της 5G τεχνολογίας και παρουσιάζεται μία SWOT Analysis. Τέλος, καταγράφονται ιδέες και προτάσεις για μελλοντική έρευνα σχετικά με τις τεχνολογίες και τις υπηρεσίες της επόμενης γενιάς κινητής επικοινωνίας, η οποία ακολουθεί μετά την 5G, δηλαδή της 6G τεχνολογίας.

## EXECUTIVE SUMMARY

Within the framework of this thesis and on the basis of its topic, a scientific article was published, entitled "5G networks: Advancement & Challenges", by Christos Bouras, Paraskevi Fotakopoulou, Anastasia Kollia, presented at the ICWMC 2019 conference in June 2019. This publication highlights the great importance and necessity of 5G networks, as the challenges are analyzed which need to be addressed by 2020, when 5G technology is expected to come into force. In addition, particular emphasis is given to the analysis of emerging technologies offered by the 5<sup>th</sup> generation of mobile telephony and some conclusions are drawn about them.

This thesis deals with the study and evaluation of technologies and services for the 5<sup>th</sup> generation of mobile networks. Initially, the structure of the thesis is presented. The general features of a mobile communication network, as well as the main advantages and disadvantages of this network, are then presented. In addition, the generations of mobile communication networks are referenced, namely 1G, 2G and 3G. Subsequently, the 4G mobile communication networks are analyzed, and more specifically their architecture and their historical evolution to this day. The thesis also analyzes the technologies of 4G mobile networks, as well as the main shortcomings of these networks.

Subsequently, the 5<sup>th</sup> generation mobile networks are presented and particular focus is given on the structure, historical appearance and technologies of these networks. Also, there are discussed the related studies, implementations and surveys about the 5G network. In addition, the requirements and capabilities of 5G mobile communication networks are mentioned, as well as the main differences between the 4G and 5G mobile networks.

After that, the main technologies of 5G mobile communication networks are studied and the main characteristics and capabilities of each one of them are analyzed. In addition, the main new services that

users will be able to enjoy with the advent of the 5th generation mobile network are referenced.

In addition, there are conducted several significant conclusions, regarding the main technologies of 5G technology and a SWOT Analysis is presented. Finally, there are several ideas and suggestions for future research activity on the technologies and services of the next mobile generation, which follows after 5G, which is 6G technology.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
EXECUTIVE SUMMARY .....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	9
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	10
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ .....	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	15
2. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	18
2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	19
2.1.1 Πλεονεκτήματα Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας .....	21
2.1.2 Μειονεκτήματα Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας .....	23
2.2 ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ .....	24
2.2.1 Πρώτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας .....	25
2.2.2 Δεύτερη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας .....	25
2.2.3 Τρίτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας .....	27
3. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ 4G .....	29
3.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ 4G ΔΙΚΤΥΑ .....	30
3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ/ΕΜΦΑΝΙΣΗ-ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ 4G ΔΙΚΤΥΩΝ .....	32
3.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 4G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	33
3.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΕΙΣ 4G ΔΙΚΤΥΟΥ .....	37
4. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ 5G .....	38
4.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	39
4.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ-ΕΜΦΑΝΙΣΗ 5G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	40
4.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 5G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	48
4.4 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ/ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ/ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΑ 5G ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	48
4.5 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ-ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ 5G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	55
4.6 ΑΝΑΓΚΕΣ 5G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	59
4.7 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ 4G-5G ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	62

4.8 ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ 5G ΔΙΚΤΥΩΝ .....	64
4.9 ΜΕΛΕΤΗ 5G ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ .....	65
4.9.1 Κύριες Τεχνολογίες 5G .....	66
4.9.2 Υπηρεσίες 5G Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας .....	93
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	99
6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ/ΑΝΟΙΧΤΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	107



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

**Σχήμα 2** : Κινητό δίκτυο επικοινωνίας. [82]

**Σχήμα 2.1** : Τα στοιχεία ενός κινητού δικτύου επικοινωνίας. [1]

**Σχήμα 2.2** : Σύγκριση Mobile-Desktop internet users. [4]

**Σχήμα 2.2.1** : Η εξέλιξη της κινητής τηλεφωνίας. [80]

**Σχήμα 2.2.2** : Η αρχιτεκτονική ενός LTE-4G δικτύου. [8]

**Σχήμα 2.2.3** : Η εξέλιξη των τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας. [40]

**Σχήμα 2.2.3.1** : Η τεχνολογία MIMO. [17]

**Σχήμα 2.2.3.2** : Συμπύεση δεδομένων στην VoIP τεχνολογία. [22]

**Σχήμα 3.1** : Η αρχιτεκτονική ενός 5G κινητού δικτύου επικοινωνίας. [35]

**Σχήμα 4.9.1.1** : Η MIMO Τεχνολογία.

**Σχήμα 4.9.1.3** : Η D2D Τεχνολογία.

**Σχήμα 4.1.1** : Η πυκνότητα των δικτύων ως συνδυασμός femtocell, picocell, microcell και macrocell. [44]

**Σχήμα 4.1.2** : Η διασύνδεση των συσκευών και προϊόντων στην 5G τεχνολογία Internet of Things. [50]

**Σχήμα 4.1.3** : Η αρχιτεκτονική της SDN τεχνολογίας.

**Σχήμα 4.1.4** : Η διασύνδεση των κινητών συσκευών με τους cloud servers μέσω του Internet. [56]

**Σχήμα 4.9.2** : Η βασική αρχιτεκτονική του mobile cloud.

**Σχήμα 4.9.1.1** : Η αρχιτεκτονική της CR τεχνολογίας.

**Σχήμα 4.1.5** : Η χρήση οποιοδήποτε διαθέσιμου καναλιού μέσω της τεχνολογίας Cognitive Radio. [61]

**Σχήμα 4.2.1** : 5G Υπηρεσίες – Περιπτώσεις χρήσης. [63]

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

**Πίνακας 1** : Σύγκριση 1G, 2G, 3G, 4G και 5G τεχνολογιών.

**Πίνακας 2** : Αξιολόγηση των τεχνολογιών της 5<sup>ης</sup> γενιάς κινητών δικτύων.

**Πίνακας 3** : SWOT analysis για την 5<sup>η</sup> γενιά κινητών δικτύων.

## ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

**1G:** Πρώτη γενιά (First Generation) κινητής τηλεφωνίας

**2G:** Δεύτερη γενιά (Second Generation) κινητής τηλεφωνίας

**2.5G:** 2.5 γενιά (Second and a half Generation) κινητής τηλεφωνίας

**2.75G:** 2.75 γενιά κινητής τηλεφωνίας

**3D:** 3rd Definition

**3G:** Τρίτη γενιά (Third Generation) κινητής τηλεφωνίας

**4G:** Τέταρτη γενιά (Fourth Generation) κινητής τηλεφωνίας

**5G:** Πέμπτη γενιά (Fifth Generation) κινητής τηλεφωνίας

**APIs:** Application Program Interfaces

**BS:** Base Station

**CAPEX:** Capital Expenses

**CR:** Cognitive Radio

**CROWD:** Connectivity management for eneRgy Optimised Wireless Dense networks

**D2D:** Device-to-Device

**DARPA:** Defense Advanced Research Projects Agency

**EPC:** Evolved Packet Core

**EuCNC:** European Conference on Networks and Communications

**E-UTRAN:** Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

**FCC:** Federal Communications Commission

**Gbps:** Gigabits per second

**GPRS:** General Packet Radio Service

**GPS:** Global Positioning System

**HetNets:** Heterogeneous Networks

**IDC:** International Data Corporation

**IETF:** Internet Engineering Task Force

**IoT:** Internet of Things

**IP:** Internet Protocol

**IPv4:** Internet Protocol version 4

**IPv6:** Internet Protocol version 6

**ITU:** International Telecommunications Union

**KT:** Korean Telecom

**LANs:** Local Area Networks

**LTE:** Long Term Evolution

**M2Mi:** Machine-to-Machine Intelligence

**Mbps:** Megabits Per Second

**METIS:** Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society

**MFemtocell:** Mobile Femtocell

**NFV:** Network Function Virtualization

**MIMO:** Multiple-Input and Multiple-Output

**MMS:** Multimedia Messaging Service

**ms:** milliseconds

**MTC:** Machine Type Communications

**NTT:** Nippon Telegraph and Telephone

**NYU:** New York University

**OFDM:** Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

**OPEX:** Operating Expenses

**PU:** Primary Users

**QoS :** Quality of Service

**RAN:** Radio Access Network

**RAT:** Radio Access Technology

**RFID:** Radio-Frequency Identification

**SaT5G:** Satellite and Terrestrial Network for 5G

**SBSs :** Secondary Base Stations

**SDN:** Software Defined Networking

**SDR System:** Software Defined Radio System

**SUs:** Secondary Users

**SLT:** Sri Lanka Telecom

**SMS:** Short Message Service

**SWOT:** Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

**TDD:** Time Division Duplexing

**TRL:** Technology Readiness Level

**TV:** Television

**UE:** User Equipment

**UHD:** Ultra High Definition

**VM:** Virtual Machine

**VNFs:** Virtual Network Functions

**VoIP:** Voice over Internet Protocol

**VR:** Virtual Reality

**WAP:** Wireless Application Protocol

**WPANs:** Wireless Personal Area Networks

**WLANs:** Wireless Local Area Networks

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι πλέον γνωστό ότι τα 5G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας είναι δίκτυα σπουδαίας σημασίας και γίνεται ήδη αναφορά σ'αυτά, αφού έχουν συζητηθεί σε πολλές έρευνες, επιστημονικά άρθρα και συνέδρια παγκοσμίως. Πρόκειται για δίκτυα, που θα παίξουν σημαντικό ρόλο, τόσο στην επιστημονική κοινότητα όσο και στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων στις επόμενες δεκαετίες (2020-2030), σε διεθνές επίπεδο. Όπως αποδεικνύεται στο άρθρο [46], είναι σε εξέλιξη ένας παγκόσμιος αγώνας για την τεχνολογία 5G, τον οποίο κερδίζει η Κίνα, καθώς είναι περισσότερο προετοιμασμένη για την έλευση της νέας ασύρματης τεχνολογίας, σύμφωνα με την μελέτη των εταιριών τηλεπικοινωνιών Analysys Mason και Recon Analytics. Στην δεύτερη θέση είναι η Νότια Κορέα, ενώ στην τρίτη θέση βρίσκονται οι Ηνωμένες Πολιτείες.

Σύμφωνα με το άρθρο [47], προετοιμασίες για την καινοτομία της 5G ασύρματης επικοινωνίας γίνονται και σε εθνικό επίπεδο, καθώς η Πάτρα επιλέχθηκε ως πόλη πιλότος στη νέα ψηφιακή κοινωνία, μαζί με την πόλη των Τρικάλων και θα συνδράμουν για την επιτυχία του προγράμματος. Επιπλέον, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα πολυάριθμα οφέλη στις υπηρεσίες προς τους πολίτες αλλά και σε διάφορους τομείς, όπως η εκπαίδευση, η έρευνα, ο πολιτισμός κ.α., καθώς επίσης στις νέες αναπτυξιακές προοπτικές με την αύξηση των επενδύσεων και την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, που θα προσφέρουν τα νέα 5G δίκτυα.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των ερευνητών, τα 5G κινητά δίκτυα θα μπορούν να προσφέρουν μία μεγάλη γκάμα από νέες τεχνολογίες και υπηρεσίες στο προσεχές μέλλον σε απίστευτα υψηλές ταχύτητες και με ακόμα χαμηλότερη καθυστέρηση. Ακόμα, θα υποστηρίζουν τις υπάρχουσες συσκευές, όπως τα smartphones, τους υπολογιστές και τα tablets, αλλά και νέες "έξυπνες" συσκευές, καθώς επίσης την επικοινωνία και διασύνδεση μεταξύ τους (Machine-to-Machine) αλλά και το Internet Of Things (IoT).

Άλλες καινοτομίες που θα προσφέρει το 5G με την έλευση του θα είναι η εξαιρετική κάλυψη, η ομοιόμορφη συνδεσιμότητα και η

προσαρμογή σε περιπτώσεις όπου απαιτείται χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και κριτικής σημασίας συνδεσιμότητα, ώστε να αξιοποιείται σε ευαίσθητες εφαρμογές όπως η σήμανση των δρόμων και άλλες βιομηχανικές χρήσεις. Έτσι, από τα παραπάνω [48], το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι η νέα καινοτόμα 5G τεχνολογία είναι χρήσιμη σε όλα τα φάσματα και είναι απόλυτα συνδεδεμένη με διάφορους τομείς της ζωής μας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να μελετηθούν οι σύγχρονες τεχνολογίες και υπηρεσίες των 5G κινητών δικτύων επικοινωνίας. Αρχικά, παρουσιάζεται μια γενική εικόνα του τι είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας. Ακόμα, γίνεται αναφορά στην ιστορική εξέλιξη των κινητών δικτύων επικοινωνίας, ξεκινώντας από το 1G φτάνοντας στο σύγχρονο 5G. Επίσης, γίνεται εκτενής αναφορά στις δύο πρόσφατες τεχνολογίες κινητών δικτύων, τα 4G και τα 5G κινητά δίκτυα επικοινωνίας. Στην συνέχεια, γίνεται μια ειδική ανάλυση σχετικά με τις κύριες τεχνολογίες αλλά και τις υπηρεσίες των 5G συστημάτων επικοινωνίας, οι οποίες θα είναι διαθέσιμες στο ευρύ κοινό το 2020.

Στο Κεφάλαιο 2, αρχικά γίνεται μια μελέτη στα κινητά δίκτυα και στα στοιχεία που τα απαρτίζουν γενικά, αναλύοντας την δομή τους και παραθέτοντας τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα τους, καθώς επίσης τα μειονεκτήματα τους. Εν συνεχεία, μελετάται ξεχωριστά και αναλυτικά η κάθε τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας (1G, 2G, 3G) και αναφέρονται τα χαρακτηριστικά καθεμιάς, αλλά και πότε και πού ξεκίνησε η ανάπτυξη τους.

Στο Κεφάλαιο 3, γίνεται ειδική αναφορά στα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Αναλύεται η αρχιτεκτονική τους, δηλαδή τα επιμέρους στοιχεία που συγκροτούν ένα 4G ασύρματο δίκτυο, και γίνεται αναφορά στην εμφάνιση και την εξέλιξη τους, δηλαδή πότε και από ποιους δημιουργήθηκαν. Επιπλέον, μελετώνται οι τεχνολογίες που υποστηρίζονται από τα 4G δίκτυα, οι οποίες είναι οι εξής : Smart Antennas for Multiple-Input and Multiple-Output (MIMO), IPv6 (Internet Protocol version 6), VoIP (Voice over Internet Protocol), OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) και Software Defined Radio (SDR) System. Επιπροσθέτως, παρουσιάζονται τα προβλήματα και οι ελλεί-



φεις των 4G συστημάτων, τα οποία ουσιαστικά οδηγούν στην δημιουργία των 5G κινητών δικτύων.

Στο Κεφάλαιο 4, ερευνώνται αναλυτικά τα κινητά δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς. Παρουσιάζονται η δομή και η ιστορική πορεία των δικτύων αυτών, καθώς επίσης οι δυνατές τεχνολογίες που μπορούν να προσφέρουν στους χρήστες τις υψηλές απαιτήσεις, που έχουν τεθεί από αυτή τη γενιά. Επιπροσθέτως, αναφέρονται οι σχετικές μελέτες και έρευνες που έχουν γίνει μέχρι τώρα παγκοσμίως, οι οποίες αφορούν τα 5G δίκτυα. Επιπλέον, γίνεται μια συζήτηση σχετικά με τις απαιτήσεις και τις δυνατότητες των δικτύων 5ης γενιάς, που πρέπει να πληρούν τα δίκτυα αυτά, έτσι ώστε να λειτουργούν σωστά. Οι απαιτήσεις αυτές είναι οι υψηλοί ρυθμοί δεδομένων, η χαμηλή καθυστέρηση, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η υψηλή επεκτασιμότητα, η βελτιωμένη συνδεσιμότητα και αξιοπιστία και τέλος η βελτιωμένη ασφάλεια.

Ακολούθως, γίνεται ανάλυση στις ανάγκες, που θα καλύπτουν τα 5G κινητά δίκτυα επικοινωνίας στους διάφορους τομείς της καθημερινής ζωής μας στο μέλλον, οι οποίοι είναι η διασκέδαση, η εικονική και η επαυξημένη πραγματικότητα, τα αυτοκινούμενα οχήματα και οι "έξυπνες" πόλεις. Στην συνέχεια, αναφέρονται οι βασικές διαφορές μεταξύ των δύο τεχνολογιών κινητών δικτύων επικοινωνίας (4G - 5G). Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στην τρέχουσα κατάσταση των 5G κινητών δικτύων, δηλαδή παρουσιάζονται όλες οι πρόσφατες υλοποιήσεις και τα demos που έχουν γίνει σε πραγματικό χρόνο το τελευταίο χρονικό διάστημα παγκοσμίως.

Έπειτα, παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνολογίες των 5G κινητών συστημάτων, οι οποίες είναι οι εξής : Massive MIMO, Millimeter Wave, Device-to-Device Communication (D2D), Energy Efficient Communications, Ετερογενή Πυκνά Δίκτυα (Ultra Dense Networks), Internet of Things (IoT), Network Function Virtualization (NFV), Software Defined Networking (SDN), Big Data and Mobile Cloud Computing και Cognitive Radio. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται οι κυριότερες νέες υπηρεσίες και περιπτώσεις χρήσης, οι οποίες θα είναι άμεσα διαθέσιμες στους χρήστες, μετά την εμπορική κυκλοφορία και είσοδο του 5G στη ζωή μας. Οι υπηρεσίες αυτές είναι οι ακόλουθες : Ευρυζωνι-κότητα Κινητών

Δικτύων (Mobile Broadband), Αυτοκινητοβιομηχανία, Smart Society, Smart Grids, Υγεία, Βιομηχανία και Εφοδιαστική Αλυσίδα.

Στο Κεφάλαιο 5, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τις 5G τεχνολογίες, μέσω του Πίνακα 2. Στην συνέχεια, ακολουθεί μία SWOT Analysis, η οποία καταγράφει τα δυνατά σημεία, τις αδυναμίες, τις ευκαιρίες και τις απειλές που έχουν εντοπιστεί σχετικά με την 5<sup>η</sup> γενιά κινητών δικτύων και την υιοθέτησή της.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6, σημειώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα και προβληματισμό, παρουσιάζοντας ζητήματα που πιθανόν θα απασχολήσουν τους επιστήμονες και ερευνητές τα επόμενα έτη, όσον αφορά τις 5G και 6G τεχνολογίες, αλλά και την κινητή τηλεπικοινωνία γενικότερα.

## 2. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Τα κινητά δίκτυα επικοινωνίας είναι ένας τύπος τηλεπικοινωνιακών δικτύων, που αποτελούνται από μια συλλογή τερματικών, οντοτήτων και κόμβων συνδεδεμένων μεταξύ τους μέσω συνδέσμων, που επιτρέπουν την τηλεπικοινωνία μεταξύ των χρηστών των τερματικών. Οι οντότητες αντιπροσωπεύουν ανθρώπους, που χρησιμοποιούν φορητές κινητές συσκευές και ταυτόχρονα επικοινωνούν μεταξύ τους, με μηνύματα ή με σήματα φωνής. [81]

Λόγω της μεγάλης εξάπλωσης της κινητής τεχνολογίας επικοινωνιών μεταξύ των ανθρώπων, άρχισαν να δημιουργούνται και να αναπτύσσονται πολλές κινητές εφαρμογές που διευκολύνουν την επικοινωνία και βοηθούν τους ανθρώπους να διαχειρίζονται την ιατρική, χρηματοοικονομική, εκπαιδευτική και κοινωνική ζωή τους με γρήγορη πρόσβαση στις πληροφορίες τους ανεξάρτητα από το πού είναι ή πού είναι οι πληροφορίες που χρειάζονται. [81]

Με τη χρήση αυτών των εφαρμογών, οι άνθρωποι μπορούν να γνωρίζουν τα αποτελέσματα των ιατρικών εξετάσεών τους, να έχουν τα

ιατρικά τους αρχεία στα χέρια τους σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, να γνωρίζουν τα νέα της οικογένειάς τους όταν βρίσκονται στο εξωτερικό, να έχουν την ευκαιρία να γνωρίσουν νέους ανθρώπους, να πληρώνουν τους λογαριασμούς τους, να μεταφέρουν χρήματα στις οικογένειες και τα παιδιά τους, να μαθαίνουν νέες γλώσσες, να μελετούν τα μαθήματά τους, να μοιράζονται τις γνώσεις τους, να έχουν επιχειρηματικές συναντήσεις με συναδέλφους και συνεργάτες και πολλά άλλα. [81]



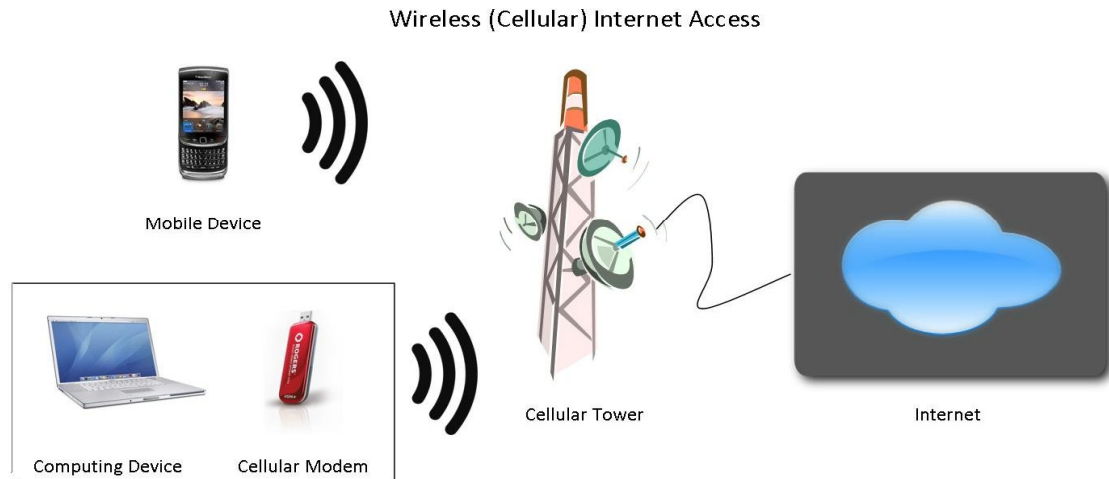
**Σχήμα 2 : Κινητό δίκτυο επικοινωνίας. [82]**

## 2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Ένα ασύρματο/κινητό δίκτυο επικοινωνίας ονομάζεται ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από υλικό (hardware) και λογισμικό (software), έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών, συνήθως μέσω μετάδοσης του αέρα. [7]

Ένα κινητό δίκτυο επικοινωνίας είναι ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Ασύρματος σταθμός : τελική συσκευή (smartphone, laptop κτλπ) η οποία εκτελεί τις εφαρμογές.
- Σταθμός βάσης : είναι υπεύθυνος για την αποστολή πακέτων μεταξύ ενσύρματων δικτύων και ασύρματων σταθμών στην περιοχή του.
- Υποδομή δικτύου : μεγαλύτερο δίκτυο, συνήθως ενσύρματο, με το οποίο επικοινωνεί ο ασύρματος σταθμός και είναι υπεύθυνο για την παροχή υπηρεσιών (π.χ. διευθυνσιοδότηση και δρομολόγηση).



**Σχήμα 2.1 : Τα στοιχεία ενός κινητού δικτύου επικοινωνίας. [1]**

Η δομή ενός κινητού δικτύου επικοινωνίας είναι κυψελοειδής. Για να καθοριστεί η εμβέλεια ενός κινητού δικτύου σε μία γεωγραφική περιοχή, η περιοχή αυτή διαμελίζεται σε μικρότερες περιοχές που λέγονται κυψέλες, οι οποίες εφάπτονται μεταξύ τους, με κάθε κυψέλη να έχει μόνο ένα σταθμό βάσης ή Base Station (BS), συνθέτοντας έτσι μια δομή κυψελών. Η δομή αυτή επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται για την απαιτούμενη κάλυψη μιας περιοχής κάνοντας επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. [3], [25]

Με την μέθοδο αυτή, αυξάνεται η χωρητικότητα του δικτύου, αλλά πρέπει η ισχύς κάθε κυψέλης να είναι όση χρειάζεται, ώστε να μην ξεπερνάει τα όρια της και να υπερχειλίζει άλλες κυψέλες της ίδιας δομής. Η ενδοκαναλική παρεμβολή είναι ένα από τα πιο κοινά προβλήματα στα κινητά δίκτυα και δημιουργείται όταν ένας κινούμενος χρήστης βρεθεί εντός εύρους μετάδοσης περισσότερων του ενός σταθμού βάσης, που χρησιμοποιεί το ίδιο κανάλι με κάποιον άλλο σταθμό για την μετάδοση δεδομένων. Για να μη δημιουργείται ενδοκαναλική παρεμβολή σε γειτονικές κυψέλες, η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να απέχουν επαρκή απόσταση οι κυψέλες μιας δομής, που έχουν την ίδια συχνότητα με τις κυψέλες μιας άλλης δομής. Η ενδοκαναλική παρεμβολή μειώνεται όσο αυξάνει ο αριθμός των κυψελών της δομής. [3], [25]

Η ακτίνα κάθε κυψέλης σε αραιοκατοικημένες περιοχές είναι έως και 35 χιλιόμετρα ενώ σε πυκνοκατοικημένες περιοχές δεν ξεπερνά τα 300 μέτρα. Σε περιοχές με πολύ μεγάλη ζήτηση χωρητικότητας δικτύου, όπως σε αστικά κέντρα, οι σταθμοί βάσης υπερφορτώνονται και έτσι υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα του δικτύου. Έτσι, γίνεται διάσπαση των υπάρχοντων κυψελών σε μικρότερες, στις οποίες χρησιμοποιούνται κεραιές μικρότερης ισχύος (macro BS - micro BS - pico BS) όπως σε κτήρια, στο μετρό, Δημόσιους Οργανισμούς, οδικές αρτηρίες κ.α. [3], [25]

### 2.1.1 Πλεονεκτήματα Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας

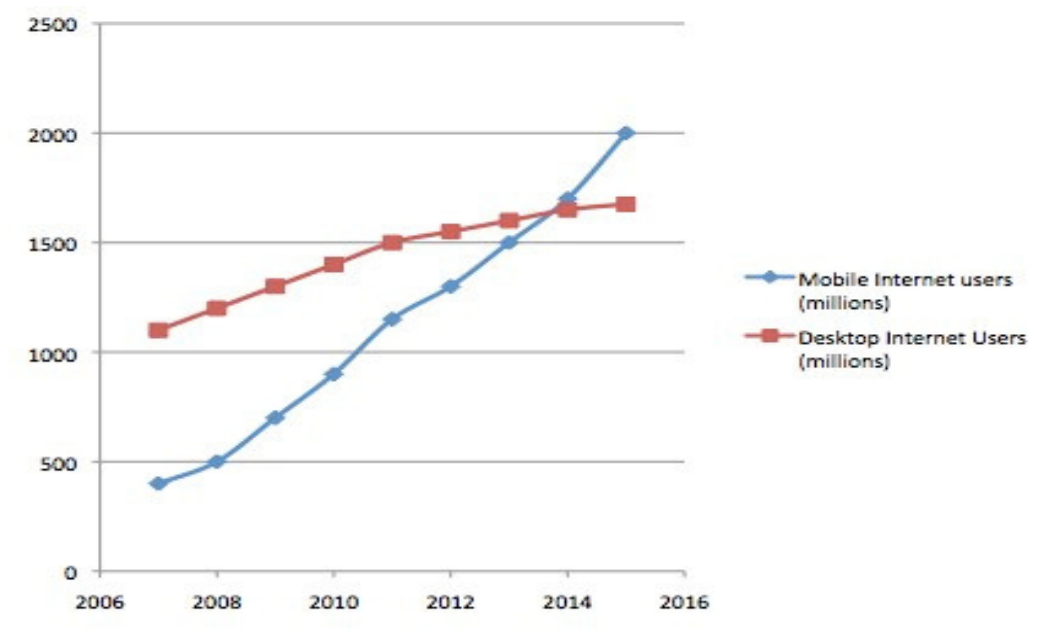
Είναι ευρέως γνωστό πως οι άνθρωποι της σύγχρονης κοινωνίας, χρησιμοποιούν σε καθημερινή βάση τα κινητά δίκτυα επικοινωνίας (Mobile Networks), αφού οι χρήσεις των συσκευών, που τα υποστηρίζουν είναι πολλές (Smartphones, tablets, laptops κ.α.). Αυτό συμβαίνει, διότι τα οφέλη της χρήσης των κινητών δικτύων είναι πολλά.

Μερικά από τα σημαντικότερα από αυτά είναι :

- Δυνατότητα κινητικότητας : Ο χρήστης μπορεί να κινηθεί σε οποιαδήποτε απόσταση χωρίς να χρειάζεται να ανησυχεί για καλώδια.

- Επεκτασιμότητα : Ένα δίκτυο μπορεί να επεκταθεί εύκολα προσθέτοντας νέους σταθμούς εργασίας, καθώς δεν απαιτούνται καλώδια.
- Φθηνότερη εγκατάσταση : Η εγκατάσταση των κινητών δικτύων είναι λιγότερο χρονοβόρα και σαφώς φθηνότερη οικονομικά λύση.
- Αξιοπιστία : Η επικοινωνία γίνεται ασύρματα, οπότε δεν υπάρχουν προβλήματα που οφείλονται στις δυσλειτουργίες των καλωδίων.
- Παροχή φιλικού περιβάλλοντος προς τους χρήστες : Οι χρήστες δεν χρειάζεται να έχουν ειδικές γνώσεις, έτσι ώστε να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν τα ασύρματα κινητά δίκτυα. Ο καθένας μπορεί να έχει πρόσβαση σε αυτά, ανεξαρτήτως φύλου, ηλικίας ή μορφωτικού επιπέδου.
- Μεγάλη χωρητικότητα του δικτύου : Είναι δυνατό να εξυπηρετείται ταυτόχρονα ένας μεγάλος αριθμός κινητών χρηστών στο δίκτυο.
- Κινητές συσκευές - παροχή υπηρεσιών : Ο κινητός χρήστης μπορεί να απολαύσει όλες τις υπηρεσίες (e-mail, social media, ενημέρωση, online games), οποιαδήποτε στιγμή το επιθυμεί, χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε κινητή συσκευή (smartphone, tablet, laptop κ.α.) [2]

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, ο αριθμός των ατόμων, που χρησιμοποιούν τα κινητά δίκτυα επικοινωνίας, αυξάνεται όλο και περισσότερο από χρόνο σε χρόνο, σε σχέση με την χρήση σταθερού ενσύρματου διαδικτύου. Αυτό φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



**Σχήμα 2.2: Σύγκριση Mobile-Desktop internet users. [4]**

### 2.1.2 Μειονεκτήματα Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας

Πέρα από τα πολλά οφέλη των κινητών δικτύων επικοινωνίας, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματά τους. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι :

- Χαμηλή ποιότητα επικοινωνίας : Τα ασύρματα δίκτυα επηρεάζονται από τις εκάστοτε καιρικές και κλιματολογικές συνθήκες.
- Έλλειψη ασφάλειας : Η έλλειψη ασφάλειας οφείλεται στο μη ασφαλές μέσο μετάδοσης, δηλαδή του αέρα.
- Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης : Λόγω του μη ασφαλούς μέσου μετάδοσης, δηλαδή του αέρα.
- Μεταβλητότητα του ρυθμού μετάδοσης : Λόγω του μη ασφαλούς μέσου μετάδοσης, δηλαδή του αέρα. [5]

## 2.2 ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Η κινητή ασύρματη βιομηχανία ξεκίνησε να δημιουργείται και να εξελίσσεται από τις αρχές του 1970. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, η βιομηχανία κυψελοειδούς επικοινωνίας έχει δει εκρηκτική ανάπτυξη. Τα δίκτυα ασύρματης επικοινωνίας έχουν γίνει πολύ πιο διαδεδομένα από ό,τι θα μπορούσε κανείς να φανταστεί, όταν η έννοια της ασύρματης επικοινωνίας αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1960 και του 1970. [79]

Η ταχεία παγκόσμια αύξηση του αριθμού των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας έχει αποδείξει με ακρίβεια ότι οι ασύρματες επικοινωνίες είναι ένας ισχυρός, βιώσιμος μηχανισμός φωνής και μεταφοράς δεδομένων. Η ευρεία επιτυχής εξάπλωση των κυψελοειδών δικτύων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη νεότερων ασύρματων συστημάτων και προτύπων για πολλούς άλλους τύπους τηλεπικοινωνιακής κίνησης, εκτός από τις κινητές φωνητικές τηλεφωνικές κλήσεις. Έτσι, αυτή η ανάπτυξη είχε σαν απόρροια την εξέλιξη των γενεών κινητής τηλεφωνίας, ξεκινώντας από το 1G φτάνοντας στο αναμενόμενο 5G. [79]



Σχήμα 2.2.1 : Η εξέλιξη της κινητής τηλεφωνίας. [80]



### 2.2.1 Πρώτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας

Η 1<sup>η</sup> γενιά κινητής τηλεφωνίας (1G) είναι η πρώτη που αναπτύχθηκε. Πρόκειται για μία αναλογική τεχνολογία, με μόνη υπηρεσία την μετάδοση της φωνής. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο εμπορικό κινητό δίκτυο επικοινωνίας, το οποίο αναπτύχθηκε στο Τόκιο το 1979 και μέσα σε πέντε χρόνια εξαπλώθηκε στην υπόλοιπη Ιαπωνία. Στην συνέχεια, το 1981 αναπτύχθηκε στην Δανία, στην Φιλανδία, στην Νορβηγία και στη Σουηδία και το 1983 στην Αμερική. Έπειτα, στα επόμενα χρόνια ακολούθησαν οι υπόλοιπες χώρες. [2], [12], [39]

Το 1984, η Bell Labs ανέπτυξε σύγχρονη εμπορική κυψελοειδή τεχνολογία, η οποία χρησιμοποίησε πολλαπλούς, κεντρικά ελεγχόμενους σταθμούς βάσης (κυψέλες), ο καθένας από τους οποίους παρείχε υπηρεσίες σε μια μικρή περιοχή (ένα κελί). Οι θέσεις των cells δημιουργήθηκαν έτσι ώστε να επικαλύπτονται εν μέρει. Σε ένα κυψελοειδές σύστημα, ένα σήμα, μεταξύ ενός σταθμού βάσης (σημείο κυψέλης) και ενός τερματικού (τηλεφώνου), χρειάζεται μόνο να είναι αρκετά ισχυρό για να φτάσει μεταξύ των δύο, έτσι ώστε το ίδιο κανάλι να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα για ξεχωριστές συνομιλίες σε διαφορετικά κελιά. [2], [12], [39]

Τα 1G δίκτυα σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για φωνητικές κλήσεις, χωρίς σχεδόν καμία αναφορά στις υπηρεσίες δεδομένων. Τα κυριότερα μειονεκτήματα της 1G τεχνολογίας είναι η χαμηλή ποιότητα στην μετάδοση της φωνής με πολλά προβλήματα σύνδεσης, το χαμηλό επίπεδο ασφάλειας, η έλλειψη υπηρεσιών, η χαμηλή διάρκεια μπαταρίας της κινητής συσκευής, η περιορισμένη χωρητικότητα και οι ογκώδεις και βαριές συσκευές. [2], [12], [39]

### 2.2.2 Δεύτερη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας

Λόγω των ελλείψεων και των προβλημάτων, που προκλήθηκαν από την χρήση της 1G, αλλά και της προόδου των τεχνολογικών επιτευγμάτων, έγινε αισθητή η ανάγκη για την βελτιστοποίηση του. Η

αναβάθμιση αυτή επήλθε με την 2<sup>η</sup> γενιά κινητής τηλεφωνίας (2G). Πρόκειται για μία ψηφιακή τεχνολογία, η οποία υποστηρίζει την ψηφιακή μετάδοση φωνής και δεδομένων και κυκλοφόρησε εμπορικά στην Φιλανδία το 1991. [13], [2], [39]

Τα 2G δίκτυα ήταν πιο αποδοτικά και παρείχαν περισσότερη ασφάλεια. Οι νέες υπηρεσίες, που μπορούσαν να προσφερθούν στους χρήστες των 2G κινητών δικτύων είναι τα μηνύματα κειμένου (Short Message Service-SMS) και εικόνας (Multimedia Messaging Service-MMS). Ορισμένα οφέλη από το 2G ήταν ότι τα ψηφιακά σήματα απαιτούν λιγότερη ενέργεια από την μπαταρία, επομένως βοηθάει τις κινητές μπαταρίες να διαρκέσουν περισσότερο. Ακόμα, η ψηφιακή κωδικοποίηση βελτιώνει τη σαφήνεια της φωνής και μειώνει τον θόρυβο στη γραμμή, καθώς τα ψηφιακά σήματα θεωρούνται φιλικά προς το περιβάλλον. Ένα ακόμη όφελος αποτελεί το γεγονός ότι η ψηφιακή κρυπτογράφηση παρείχε μυστικότητα και ασφάλεια στις κλήσεις δεδομένων και φωνής. Η χρήση της 2G τεχνολογίας απαιτεί ισχυρά ψηφιακά σήματα, τα οποία βοηθούν τα κινητά τηλέφωνα να λειτουργούν σωστά. [13], [2], [39]

Υπάρχουν και ενδιάμεσες μεταβατικές γενιές, που προσφέρουν υψηλότερες ταχύτητες στα δίκτυα δεύτερης γενιάς, οι τεχνολογίες 2.5G και 2.75G. Αυτές οι τεχνολογίες αναπτύχθηκαν μετά από την 2G και φέρουν καλύτερη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων πάνω από το 2G σύστημα. Η 2.5G τεχνολογία ήταν το πρώτο βήμα στην εξέλιξη της τεχνολογίας 3G, καθώς εισήγαγε την τεχνική μεταγωγής πακέτων που ήταν πιο αποδοτική από την προηγούμενη και ο όρος της τεχνολογίας αυτής χρησιμοποιείται μερικές φορές για να αναφερθεί στην υπηρεσία General Packet Radio Service (GPRS), η οποία είναι ένα ασύρματο πρότυπο δεδομένων. Ως ενδιάμεσο βήμα από 2G σε 3G, η 2.5G είδε μερικές από τις προόδους που είναι εγγενείς στα 3G δίκτυα, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων μεταγωγής πακέτων. Η 2.5G τεχνολογία παρείχε καλύτερες ταχύτητες δεδομένων και έδινε δυνατότητα σε υπηρεσίες, όπως η πρόσβαση στο πρωτόκολλο ασύρματων εφαρμογών (WAP), η υπηρεσία μηνυμάτων πολυμέσων (MMS)

και οι υπηρεσίες επικοινωνίας μέσω Internet, όπως πρόσβαση στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail) και στο World Wide Web. [67], [68]

Η 2.75G τεχνολογία χαρακτηρίζεται ως EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution). Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα, που προσέφερε η έλευση αυτής της τεχνολογίας, αποτελεί η δυνατότητα γρήγορης και ταχείας μετάδοσης δεδομένων και ταχύτητας πληροφοριών (έως 384kbit / s). Γενικά, η χρήση 2G τηλεφώνων έγινε πιο διαδεδομένη και εξαπλώθηκε γρήγορα, με αποτέλεσμα οι άνθρωποι να αρχίσουν να χρησιμοποιούν τα κινητά τους τηλέφωνα στις καθημερινές τους ζωές, γεγονός που οδήγησε σε υψηλή ζήτηση για υπηρεσίες δεδομένων (π.χ. πρόσβαση στο Internet) και σε μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων. Ως εκ τούτου, γεννήθηκε η ανάγκη να εισαχθεί μια κυψελοειδής τεχνολογία καλύτερης απόδοσης και ως εκ τούτου η 3G εισήχθη για να καλύψει τέτοιες απαιτήσεις. [68]

Ένα από τα κυριότερα μειονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι το γεγονός ότι αν δεν υπάρχει κάλυψη δικτύου σε κάποια περιοχή τότε τα κινητά τηλέφωνα δε λειτουργούν. Επιπροσθέτως, τα 2G κινητά δίκτυα δεν υποστηρίζουν πολυμεσικά δεδομένα, όπως τα βίντεο. [13], [2], [39]

### 2.2.3 Τρίτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας

Καθώς η χρήση των 2G τηλεφώνων έγινε πιο διαδεδομένη και οι άνθρωποι άρχισαν να χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα στην καθημερινή τους ζωή, κατέστη σαφές ότι η ζήτηση για υπηρεσίες δεδομένων (όπως η πρόσβαση στο Internet) αυξανόταν. Επιπλέον, εάν η εμπειρία από τις σταθερές ευρυζωνικές υπηρεσίες ήταν κάτι απαραίτητο και ευχάριστο προς τους χρήστες, θα υπήρχε επίσης ζήτηση για όλο και μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων. Η 2G τεχνολογία δεν αρκούσε για να επιτευχθεί αυτό, οπότε η βιομηχανία άρχισε να εργάζεται για την επόμενη γενιά τεχνολογίας γνωστή ως 3G. [2], [14], [39]

Η 3<sup>η</sup> γενιά κινητής τηλεφωνίας (3G) είναι μία τεχνολογία που αναπτύχθηκε για να προσφέρει ακόμα υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και καλύτερη ποιότητα φωνητικών κλήσεων, συνδυάζοντας ασύρματη επικοινωνία, Internet και άλλες πολυμεσικές επικοινωνίες. Οι υψηλές ταχύτητες σύνδεσης της τεχνολογίας 3G επέτρεψαν τη μετατροπή της βιομηχανίας, αφού για πρώτη φορά κατέστη δυνατή η ροή μέσω ραδιοφώνου και ακόμη και η τηλεοπτική διαθεσιμότητα σε συσκευές 3G. [2], [14], [39]

Οι νέες τεχνολογικές δυνατότητες των 3G κινητών δικτύων ήταν το έναυσμα ανάπτυξης ποικίλων εφαρμογών, όπως το GPS (Global Positioning System), υψηλής ποιότητας παιχνίδια, υπηρεσίες που βασίζονται στην τοποθεσία του χρήστη, Mobile TV, βιντεοδιασκέψεις, υπηρεσίες πολυμέσων (ψηφιακές φωτογραφίες και ταινίες) κ.α. Τα πρώτα δίκτυα 3G εισήχθησαν το 1998. Σε αντίθεση με προηγούμενες τεχνολογίες, οι τεχνολογίες, που ανήκουν στην ομάδα τρίτης γενιάς βασίζονται σε υψηλής ταχύτητας μετάδοση δεδομένων μοιρασμένων σε πακέτα (packet-switched). [2], [14], [39]

Τα κινητά δίκτυα αυτής της γενιάς προσφέρουν πιο γρήγορη επικοινωνία, υψηλότερη ταχύτητα στην μετάδοση δεδομένων και περισσότερη ασφάλεια. Τα μειονεκτήματα της 3G τεχνολογίας είναι τα υψηλά έξοδα για τις άδειες για τις 3G υπηρεσίες, τα ακριβά και μεγάλα σε μέγεθος 3G κινητά τηλέφωνα και η μεγάλη απαίτηση εύρους ζώνης. [2], [14], [39]

Όπως γίνεται αντιληπτό, η εξέλιξη των κινητών δικτύων επικοινωνίας υπήρξε μεγάλη και αναμένεται να εξελιχθεί περαιτέρω (5G), προσφέροντας ακόμα πιο υψηλές ταχύτητες και μια πληθώρα νέων εφαρμογών και υπηρεσιών, για την εξυπηρέτηση των χρηστών τους.

Τεχνολογίες	1G	2G	3G	4G	5G
Χρονική Περίοδος	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2020	2020-2030
Data rate	2kbps	64 kbps	2 Mbps	1Gbps	Πάνω από 1Gbps
Υπηρεσίες	Μετάδοση φωνής	Ψηφιακή μετάδοση φωνής, SMS, MMS	Νέες εφαρμογές (GPS, Mobile TV, video games, υπηρεσίες πολυμέσων , κ.α.)	Υψηλής ποιότητας υπηρεσίες (Τηλεδιασκέψεις, 3D παιχνίδια, εφαρμογές πολυμέσων, κ.α.), wearable devices	Νέες Τεχνολογίες (IoT, MIMO, D2D communication, κ.α. ), νέες περιπτώσεις χρήσης (όπως smart cities)
Κύρια χαρακτηριστικά	Κινητικότητα	Γρήγορη, μαζική εξάπλωση	Καλύτερη Internet εμπειρία χρήστη	Χαμηλότερη καθυστέρηση, πιο γρήγορο Internet	Καλύτερη απόδοση δικτύου, υψηλές ταχύτητες
Switching	Circuit	Circuit, Packet	Packet	All packet	All packet

**Πίνακας 1 : Σύγκριση 1G, 2G, 3G, 4G και 5G τεχνολογιών.**

### 3. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ 4G

Η τέταρτη γενιά (4G) κινητών δικτύων είναι η επόμενη εκδοχή και επέκταση της 3G γενιάς. Η 4G κινητή επικοινωνία προσφέρει μεγάλη χωρητικότητα (περισσότεροι χρήστες εξυπηρετούνται ταυτόχρονα ανά κυψέλη) και υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Έτσι, δίνεται στους χρήστες η δυνατότητα να χρησιμοποιούν υψηλής ποιότητας υπηρεσίες, όπως τηλεδιασκέψεις, 3D παιχνίδια, αποστολή και λήψη μεγάλων αρχείων σε ελάχιστο χρόνο, εφαρμογές πολυμέσων (High

Definition video) κ.α. Σε αντίθεση με προηγούμενες γενιές, ένα σύστημα 4G δεν υποστηρίζει την παραδοσιακή υπηρεσία τηλεφωνίας με κυκλώματα μεταγωγής, αλλά επικοινωνία βασισμένη στο πρωτόκολλο Internet (IP). [6]

### 3.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ 4G ΔΙΚΤΥΑ

Η αρχιτεκτονική ενός 4G δικτύου επικοινωνίας μοιάζει αρκετά με την αρχιτεκτονική ενός 3G δικτύου, βέβαια με ορισμένες βελτιώσεις-αλλαγές. Όλα τα δεδομένα, τα οποία αντιμετωπίζονται σαν πακέτα δεδομένων, φτάνουν στον BS. Εκεί, τα πακέτα δεδομένων δρομολογούνται μέσω του IP πρωτοκόλλου. Μια άλλη σημαντική πρόοδος του 4G δικτύου είναι η ενσωμάτωση ασύρματων LANs (Local Area Networks) στο συνολικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Το LAN δίκτυο είναι ένα σύνολο συνδεδεμένων υπολογιστών, που εκτείνονται σε περιορισμένη γεωγραφική περιοχή, δηλαδή είναι ένα δίκτυο ενός ή περισσότερων δωματίων, ενός κτιρίου ή ακόμα και κοντινών κτιρίων. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα για να συνδέουν προσωπικούς υπολογιστές και σταθμούς εργασίας σε επιχειρήσεις, με σκοπό την κοινή χρήση των μέσων (π.χ. των εκτυπωτών) και την ανταλλαγή πληροφοριών. [6], [26]

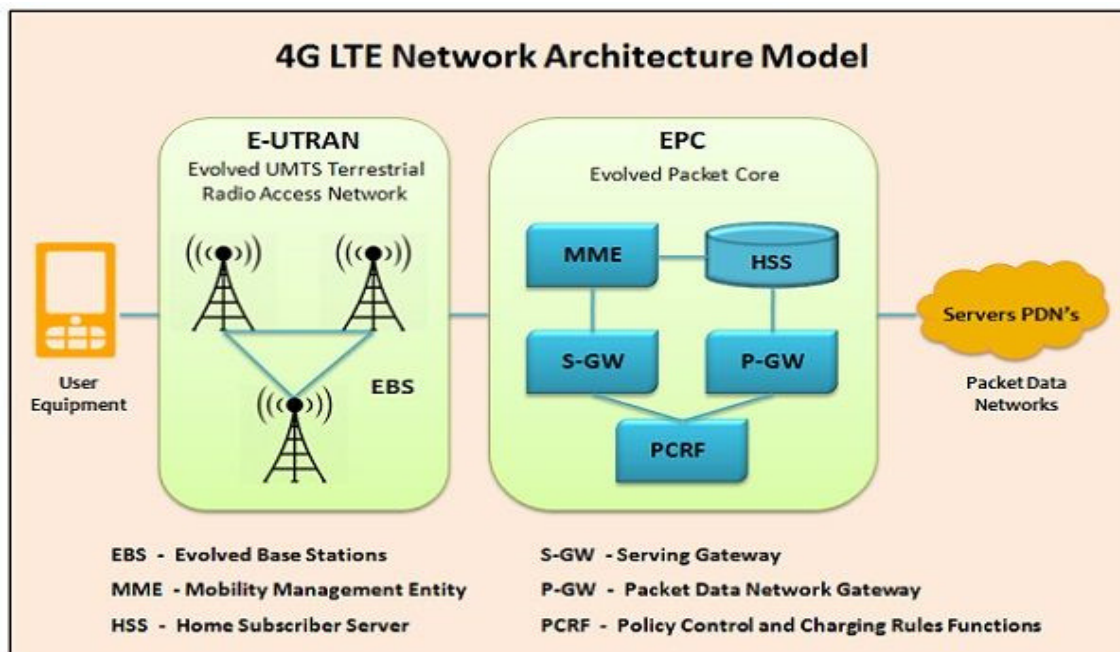
Ομοίως, αναπτύσσονται νέα πρότυπα διεπαφής αέρα για ασύρματα LAN υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με αυτά για το κυψελοειδές δίκτυο 4G, που επιτρέπουν στα ασύρματα LANs να διασυνδέονται με το 4G IP πρωτόκολλο, μέσω δρομολογητών (Routers) με ενσωματωμένη ασύρματη πρόσβαση. [6], [26]

Η LTE (Long Term Evolution) είναι μία τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση των κινητών συσκευών, με υψηλές ταχύτητες. Βασίζεται στα προϋπάρχοντα δίκτυα, αυξάνοντας την χωρητικότητα και την ταχύτητα του δικτύου χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές. Η LTE τεχνολογία προσφέρει καλύτερη

απόδοση, χαμηλότερη καθυστέρηση και την ικανότητα να διαχειρίζεται καλύτερα την ολόενα αυξανόμενη κυκλοφορία δεδομένων. [6], [10]

Η αρχιτεκτονική ενός LTE-4G κινητού δικτύου επικοινωνίας απαρτίζεται από τρία επιμέρους στοιχεία, τα οποία είναι :

- Εξοπλισμός του χρήστη (User Equipment) : είναι οποιαδήποτε συσκευή η οποία μπορεί να παρέχει επικοινωνία μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη, όπως ένα κινητό τηλέφωνο, υπολογιστές, κ.α.
- Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN): παρέχει έλεγχο για την επικοινωνία μεταξύ του user equipment και του EPC. Το LTE χρησιμοποιείται έτσι ώστε κάθε συσκευή να μπορεί να συνδεθεί μόνο σε μία κυψέλη (Cell) και έναν BS κάθε φορά.
- Evolved Packet Core (EPC): είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με τα δίκτυα πακέτων δεδομένων και με το IP υποσύστημα. [9]



Σχήμα 2.2.2: Η αρχιτεκτονική ενός LTE-4G δικτύου. [8]

### 3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ/ΕΜΦΑΝΙΣΗ-ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ 4G ΔΙΚΤΥΩΝ

Η 4<sup>η</sup> γενιά κινητής τηλεφωνίας (4G) είναι η πιο πρόσφατη ιστορικά και η πιο εξελιγμένη τεχνολογικά. Είναι η τεχνολογία, που χρησιμοποιείται από 165 χώρες ανά τον πλανήτη, με την Ευρώπη να συγκεντρώνει περίπου το 30% όλων των 4G δικτύων παγκοσμίως. Η πρώτη εμφάνιση του 4G στην Ελλάδα έγινε το 2012. [11]

Σύμφωνα με μία μελέτη της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU), έγινε εκτίμηση ότι μέχρι τα τέλη του 2016 3,6 δις άνθρωποι σε όλο τον κόσμο θα έχουν πρόσβαση σε κινητά δίκτυα επικοινωνίας και μέσα στα επόμενα έτη ο αριθμός θα αυξανόταν ακόμα περισσότερο. Αυτό επιβεβαιώθηκε από το γεγονός ότι τον Φεβρουάριο του 2017, οι κινητές συσκευές αντιπροσώπευσαν το 49,7% των προβολών των ιστοσελίδων παγκοσμίως, με την Ασία και την Αφρική να αποτελούν τις πρώτες κινητές αγορές. Η Κένυα κατέγραψε το υψηλότερο ποσοστό κίνησης στο Internet από κινητές συσκευές, ακολουθούμενη από τη Νιγηρία, την Ινδία, τη Σιγκαπούρη, τη Γκάνα και την Ινδονησία. Η Αμερική και η Ευρώπη έχουν το υψηλότερο ποσοστό διείσδυσης στην αγορά ευρυζωνικών συνδρομών, περίπου 78,2% και 76,6% αντίστοιχα, ενώ το 2016 ο παγκόσμιος μέσος όρος ήταν σχεδόν 50%. [11], [65]

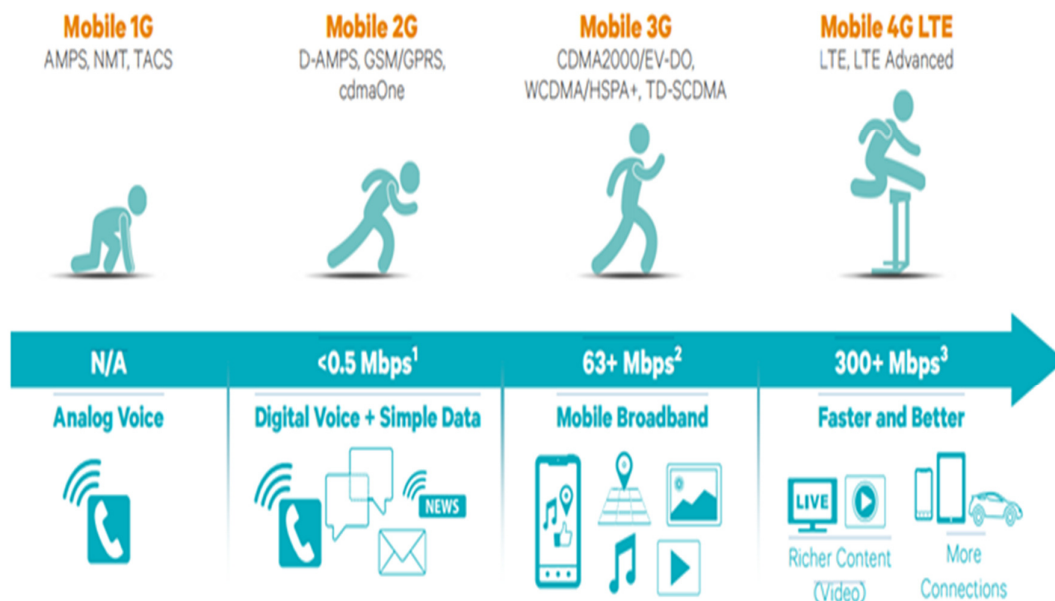
Η χρήση του κινητού Internet πρόκειται να έχει ένα πολλά υποσχόμενο μέλλον, καθώς προβλέπεται ότι η παγκόσμια κίνηση κινητών δεδομένων θα αυξηθεί σχεδόν 7 φορές μεταξύ 2016 και 2021. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Ιανουαρίου 2018, ο παγκόσμιος κινητός πληθυσμός ανήλθε σε 3,7 δισεκατομμύρια χρήστες. Σύμφωνα με τα στατιστικά, προβλέπεται ότι το 2019 ο πληθυσμός αυτός θα είναι 4,68 δισεκατομμύρια και το 2020 4,78 δισεκατομμύρια. [65], [66]

Το LTE προτάθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 2004. Το πρότυπο οριστικοποιήθηκε το 2008 και τα πρώτα δίκτυα στο κόσμο που εγκαταστάθηκαν για δημόσια χρήση, ήταν στο Όσλο και τη Στοκχόλμη από την εταιρεία TeliaSonera, τον Δεκέμβρη του 2009. Η εξέλιξη του LTE είναι το LTE Advanced, το οποίο προτυποποιήθηκε το Μάρτιο του 2011. Οι αναβαθμισμένες υπηρεσίες του LTE Advanced διατέθηκαν το 2013. [10]



Είναι γεγονός ότι η βιομηχανία των δικτύων κινητής τηλεφωνίας έχει επιτύχει σημαντική ανάπτυξη, ξεκινώντας από το 1G, φτάνοντας στο σημερινό 4G με παγκόσμια χρήση και με συνεχή αναζήτηση να επιτευχθεί το μελλοντικό 5G. Το μόνο σίγουρο είναι ότι τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αποτελούν πλέον έναν σημαντικό δίαυλο επικοινωνίας για τους χρήστες και ότι η εξέλιξή τους μπορεί να προσφέρει ακόμα πιο καινοτόμες και βελτιωμένες υπηρεσίες στο μέλλον.

Powered by evolving mobile technologies for better experiences



Σχήμα 2.2.3: Η εξέλιξη των τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας. [40]

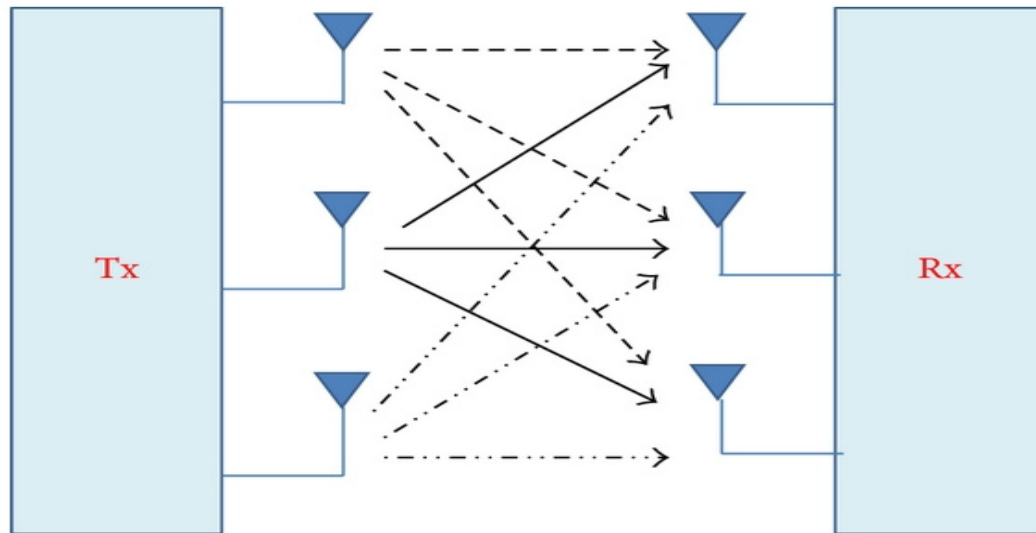
### 3.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 4G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Οι τεχνολογίες, που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα 4G δίκτυα επικοινωνίας είναι οι εξής :

- Smart Antennas for Multiple-Input and Multiple-Output (MIMO)
- IPv6 (Internet Protocol version 6)
- VoIP (Voice over Internet Protocol)
- OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)
- Software Defined Radio (SDR) System

### 3.3.1 MIMO

Η τεχνολογία MIMO χρησιμοποιείται για καλύτερη απόδοση σήματος και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Πρόκειται για μία μέθοδο ικανή να πολλαπλασιάσει την χωρητικότητα μιας ραδιοζεύξης, χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραιές (antennas) εκπομπής και λήψης για την εκμετάλλευση της πολλαπλής διάδοσης. Επιτρέπει στην ίδια συχνότητα να χρησιμοποιηθεί για άλλους χρήστες, χωρίς ανησυχία παρεμβολής. Στέλνονται ραδιοσήματα απευθείας σε έναν χρήστη, ακολουθώντας τον καθώς κινείται. Ο πομπός και ο δέκτης διαθέτουν περισσότερες από μία κεραιές και είναι σε θέση να χρησιμοποιούν τις διαφορετικές διαδρομές που υπάρχουν μεταξύ των δύο οντοτήτων για να παρέχουν βελτιώσεις στον ρυθμό μετάδοσης σήματος. Ουσιαστικά, η τεχνολογία MIMO είναι μία πρακτική τεχνική για την αποστολή και την λήψη περισσότερων από ένα σημάτων δεδομένων ταυτόχρονα, μέσω του ίδιου ραδιοφωνικού καναλιού. [15], [16]



**Σχήμα 2.2.3.1: Η τεχνολογία MIMO. [17]**

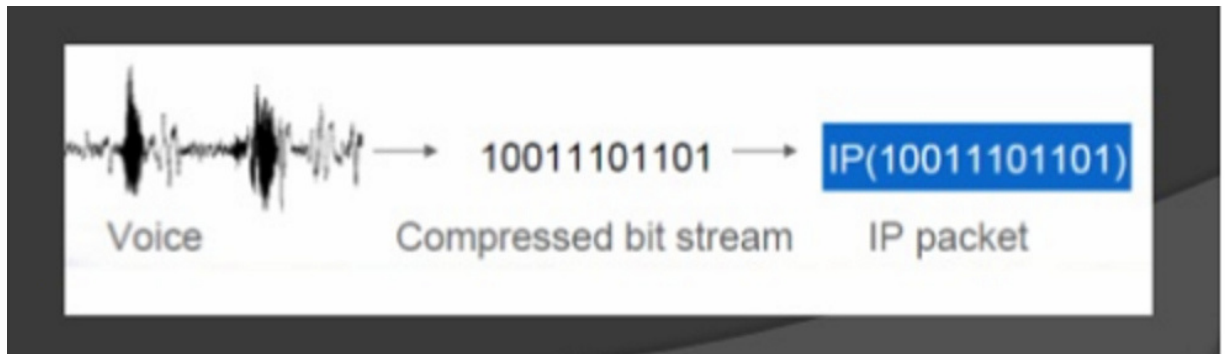
### 3.3.2 IPv6

Πρόκειται για την πιο πρόσφατη έκδοση του IP πρωτοκόλλου, το οποίο χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση και τον εντοπισμό των συσκευών καθώς επίσης για την δρομολόγηση της κυκλοφορίας στο Internet. Με την ταχεία ανάπτυξη του Internet μετά την εμπορευματοποίηση του στη δεκαετία του 1990, έγινε φανερό ότι θα χρειαστούν πολύ περισσότερες διευθύνσεις για να συνδεθούν οι συσκευές, σε σχέση με τον χώρο διευθύνσεων του IPv4. Έτσι, ο οργανισμός Internet Engineering Task Force (IETF) ανέπτυξε το IPv6, ένα πρωτόκολλο που βελτιστοποιεί την παροχή των υπηρεσιών, αφού έχει σχεδιαστεί με βασικό γνώμονα την κινητικότητα και την ασφάλεια των συσκευών. [18]

### 3.3.3 VoIP

Πρόκειται για μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεδομένων φωνής και πολυμέσων (κλήσεις, εικόνες, βίντεο, φωτογραφίες, μηνύματα κειμένου κ.α.), επιτρέποντας την μετάδοσή

τους μόνο ως IP πακέτα. Δημιουργούνται ροές από bits, τα οποία στη συνέχεια συμπιέζονται και τοποθετούνται σε ένα πακέτο. Έτσι, επιτυγχάνεται πιο γρήγορη μετάδοση των δεδομένων καθώς επίσης αύξηση της διάρκειας της μπαταρίας της συσκευής λόγω μεγαλύτερης συμπίεσης των δεδομένων. [19], [20]



**Σχήμα 2.2.3.2: Συμπίεση δεδομένων στην VoIP τεχνολογία. [22]**

### 3.3.4 OFDM

Πρόκειται για μία μέθοδο κωδικοποίησης ψηφιακών δεδομένων. Το εύρος ζώνης (bandwidth) χωρίζεται σε ένα μεγάλο αριθμό μικρότερων συχνοτικών τμημάτων που είναι μαθηματικά ορθογώνια, τα οποία ονομάζονται orthogonal sub-carrier signals και χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν δεδομένα παράλληλα σε κανάλια επικοινωνίας. Το OFDM επιτρέπει τη μεταφορά περισσό-τερων δεδομένων από μια μορφή πολυπλεξίας (χρόνος, συχνότητα, κώδικας κ.α.), καθώς επίσης την αποστολή πολλαπλών σημάτων ταυτόχρονα από την ίδια κεραία (antenna) σε μία συσκευή. Οι συχνότητες χωρίζονται σε απόσταση τέτοια ώστε τα σήματα να μην αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. [19], [21]

### 3.3.5 SDR

Η SDR είναι μια συλλογή τεχνολογιών υλικού (hardware) και λογισμικού (software) που επιτρέπει αρχιτεκτονικές συστημάτων αναδιαμόρφωσης για ασύρματα δίκτυα και τερματικά χρηστών. Για μία εφαρμογή που σχεδιάστηκε για σταθμούς βάσης στα κυψελωτά δίκτυα, μπορεί οι αναβαθμίσεις των προτύπων (standards) να είναι συχνές. Με το SDR, με τη δημιουργία μιας γενικής πλατφόρμας υλικού, οι αναβαθμίσεις των προτύπων μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν. Οι μεταναστεύσεις σε διάφορα πρότυπα (όπως για παράδειγμα από ένα άλλο πρότυπο σε LTE) θα μπορούσαν να διευθετηθούν απλά φορτώνοντας νέο λογισμικό και ανασυνθέτοντάς το χωρίς αλλαγές υλικού, παρά το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά σχήματα διαμόρφωσης και συχνότητες. [23], [24]

## 3.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΕΙΣ 4G ΔΙΚΤΥΟΥ

Παρά το γεγονός ότι, η 4<sup>η</sup> γενιά τηλεφωνίας προσφέρει μία μεγάλη ποικιλία εφαρμογών και υπηρεσιών, οι ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών της σύγχρονης κοινωνίας αλλά και των εταιριών πληροφορικής το καθιστούν ελλιπές. Έτσι, όσο η τεχνολογία εξελίσσεται και οι απαιτήσεις αυξάνονται, προκύπτουν κάποια προβλήματα και ελλείψεις όσον αφορά τα 4G LTE δίκτυα κινητής επικοινωνίας.

Τα 4G LTE δίκτυα προσφέρουν μέγιστη ταχύτητα μέχρι περίπου 1Gbps, το οποίο δεν επιτυγχάνεται πάντα λόγω παρεμβολών όπως τα ψηλά κτίρια. Επίσης, η κάλυψη του 4G δικτύου σε απομακρυσμένα χωριά ή νησιά είναι περιορισμένη και σε ορισμένες περιπτώσεις ανύπαρκτη. Στα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς τίθενται επίσης θέματα ασφάλειας, δεδομένου ότι το δίκτυο δεν χρησιμοποιείται μόνο για επικοινωνία, αλλά παρέχει επίσης διάφορες λειτουργίες όπως το Internet, το οποίο πρέπει να είναι πολύ ασφαλές, αφού υπάρχουν διάφορες απειλές που μπορούν να προκαλέσουν απώλεια ή διαρροή πληροφοριών. Ένα

ακόμα πρόβλημα αφορά το handover, αφού υπάρχει πιθανότητα να χαθεί η σύνδεση κατά την επικοινωνία στα 4G δίκτυα. Το handover είναι η διαδικασία κατά την οποία μία συνδεδεμένη κλήση ή σύνδεση μεταφέρεται από μία κυψέλη σε μία άλλη ή σε κάποια πιο κοντινή για καλύτερη επίδοση χωρίς να χαθεί, καθώς ο χρήστης κινείται. [27], [28], [29]

Τα προβλήματα αυτά αναμένεται να λυθούν με την εμφάνιση της επόμενης γενιάς κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή το 5G, το οποίο υπόσχεται να προσφέρει αναβαθμισμένες υπηρεσίες και νέες εφαρμογές με ακόμα υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

#### 4. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ 5G

Η 5<sup>η</sup> γενιά κινητής επικοινωνίας είναι ένα επερχόμενο σύστημα που σχεδιάζεται για να έχει υψηλότερες ταχύτητες και μεγαλύτερη χωρητικότητα, καθώς επίσης χαμηλότερη καθυστέρηση σε σχέση με τα υπάρχοντα κυψελωτά 4G δίκτυα. Από το 2017, η ανάπτυξη του 5G είναι υπό την ηγεσία αρκετών εταιριών, όπως η Samsung, Intel, Nokia, Ericsson και άλλες. Η ανάδειξη των πρώτων δύο 5G πόλεων στην Ελλάδα που επιλέχθηκαν, η Πάτρα και τα Τρίκαλα, έχει προγραμματιστεί να κάνει τα πρώτα της βήματα μέσα στο 2019. Οι δύο πόλεις πρόκειται να λειτουργήσουν σε μικρή έκταση ως «πιλότος», που θα βάλει τη χώρα στο μονοπάτι της ευρωπαϊκής κοινωνίας των Gigabit. Ο δήμος της Πάτρας έχει "παγώσει" την πειραματική εφαρμογή του 5G, καθώς άτομα κυρίως από τον ιατρικό κλάδο υποστήριξαν ότι η έλευση του εγκυμονεί κινδύνους για την δημόσια υγεία. Στην πόλη των Τρικάλων, ήδη η πιλοτική εφαρμογή του 5G έχει γίνει δεκτή. Η 5G τεχνολογία αναμένεται να κάνει επίσημα την εμπορική εμφάνισή της στην Ευρώπη το 2020, σύμφωνα με τους παρόχους των ΗΠΑ. [27], [30], [31], [69]

Η νέα γενιά των 5G κινητών δικτύων αναμένεται να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Να παρέχει 1000 φορές τη σημερινή χωρητικότητα
- Να εξυπηρετεί 100 δισεκατομμύρια συσκευές
- Να παρέχει ρυθμούς της τάξης των 10 Gbps με ελάχιστη καθυστέρηση [32]

#### 4.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

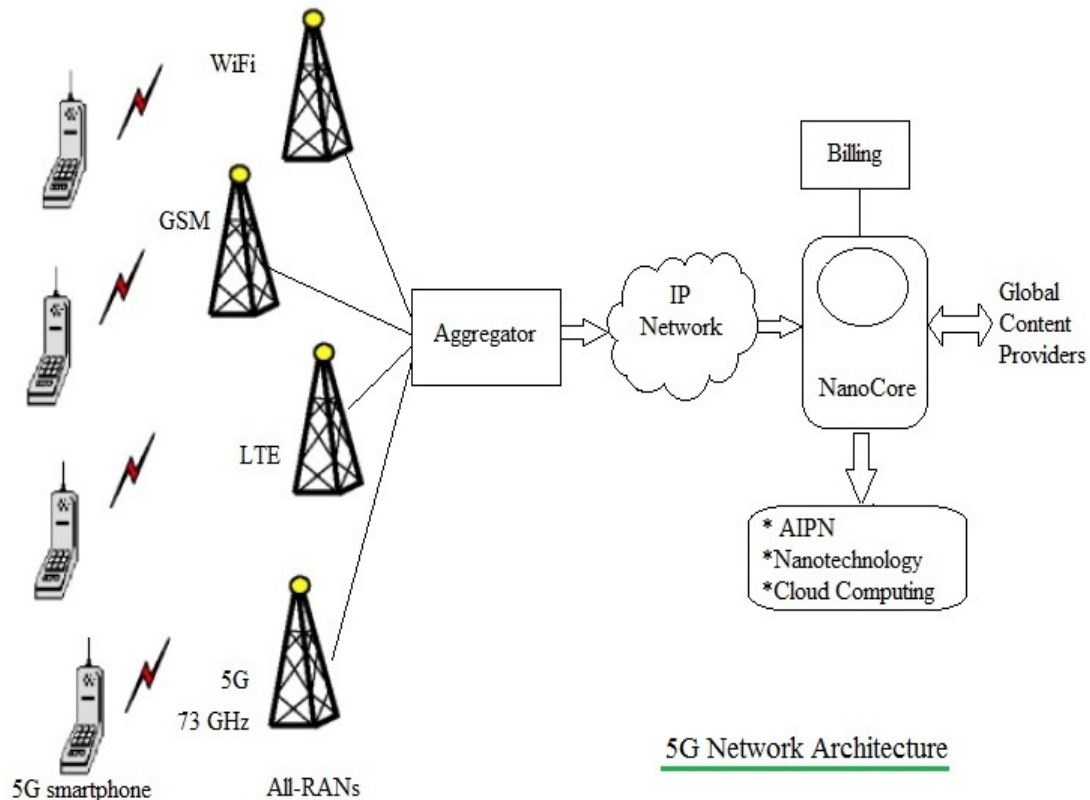
Η αρχιτεκτονική του 5G είναι εξαιρετικά προηγμένη, αφού τα στοιχεία του δικτύου και τα διάφορα τερματικά είναι αναβαθμισμένα στα χαρακτηριστικά τους για να προσφέρουν τις νέες υπηρεσίες και εφαρμογές στους χρήστες. [33]

Στην 5G τεχνολογία, όπως και στην 4G, η επικοινωνία είναι βασισμένη στο πρωτόκολλο IP και σχεδιάζεται για τα ασύρματα κινητά δίκτυα επικοινωνίας. Η αρχιτεκτονική του 5G περιλαμβάνει ένα κινητό τερματικό ή περισσότερα (δηλαδή κάποια συσκευή) και έναν αριθμό από ανεξάρτητες και αυτόνομες ραδιοτεχνολογίες (όπως 3G, 4G, LAN κ.α.). Καθεμιά από αυτές τις ραδιοτεχνολογίες θεωρείται σαν τον IP σύνδεσμο προς τον εξωτερικό κόσμο του Internet. Η IP τεχνολογία είναι σχεδιασμένη αποκλειστικά για να εξασφαλίσει επαρκή δεδομένα ελέγχου για την κατάλληλη δρομολόγηση των IP πακέτων, που σχετίζονται με συγκεκριμένες συνδέσεις εφαρμογών, όπως για παράδειγμα την επικοινωνία μεταξύ ενός server και ενός client στο Internet. [33]

Ένα ακόμα στοιχείο του 5G δικτύου είναι ο aggregator, ο οποίος συγκεντρώνει και δρομολογεί όλη την κίνηση στα RAN (Radio Access Networks) δίκτυα. Το 5G κινητό τερματικό φιλοξενεί διάφορες διασυνδέσεις ραδιοσυχνοτήτων, προκειμένου να παρέχει υποστήριξη για όλη την πρόσβαση στο φάσμα και τις ασύρματες ραδιοτεχνολογίες. [34]

Το τελευταίο στοιχείο της 5G αρχιτεκτονικής είναι το 5G nanocore, το οποίο αποτελείται από νανοτεχνολογία και cloud computing. Το cloud computing χρησιμοποιεί το Internet καθώς επίσης

κεντρικούς απομακρυσμένους servers για να διατηρήσει τα δεδομένα και τις εφαρμογές των χρηστών. Επίσης, το cloud computing επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιούν εφαρμογές χωρίς να χρειάζεται εγκατάσταση και να έχουν πρόσβαση στα αρχεία τους από οποιονδήποτε υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος στο Internet. [34]



**Σχήμα 3.1: Η αρχιτεκτονική ενός 5G κινητού δικτύου επικοινωνίας. [35]**

#### 4.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ-ΕΜΦΑΝΙΣΗ 5G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Σύμφωνα με τους ερευνητές, οι 5G συνδέσεις θα μπορούν να είναι περίπου τρεις φορές πιο γρήγορες σε σχέση με τις συνδέσεις στα 4G δίκτυα, το οποίο θα έχει σαν αποτέλεσμα να μπορούν να συνδεθούν



περισσότερες συσκευές στο δίκτυο. Έτσι, το 5G δίκτυο θα προσφέρει γρήγορη και ομαλή μετάδοση δεδομένων στους χρήστες του. [36]

Τον Απρίλιο του 2008, η NASA συνεργάστηκε με την Machine-to-Machine Intelligence (M2Mi) εταιρία, για να αναπτύξουν την 5G τεχνολογία. Επίσης, το 2008 η Νότια Κορέα ανέπτυξε ένα πρόγραμμα για τα 5G κινητά συστήματα επικοινωνίας. [30], [36]

Τέσσερα χρόνια αργότερα, τον Αύγουστο του 2012, το πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης ίδρυσε το NYU WIRELESS, ένα ερευνητικό κέντρο σχεδιασμένο να διεξάγει λεπτομερείς εργασίες για το ασύρματο 5G δίκτυο. Στις 8 Οκτωβρίου 2012, το πανεπιστήμιο Surrey του Ηνωμένου Βασιλείου εξασφάλισε 35 εκατομμύρια λίρες για ένα νέο 5G ερευνητικό κέντρο, το οποίο χρηματοδοτείται από το Βρετανικό Ταμείο Επενδύσεων στις Βρετανικές Επιχειρήσεις και από κοινοπραξία βασικών διεθνών φορέων κινητών επικοινωνιών και παρόχων υποδομών, συμπεριλαμβανομένων των Huawei, Samsung, Telefonica Europe, Fujitsu Laboratories Europe, Rohde & Schwarz και Aircom International. Αυτό το νέο ερευνητικό κέντρο θα προσφέρει εγκαταστάσεις δοκιμών σε φορείς κινητής τηλεφωνίας που επιθυμούν να αναπτύξουν ένα κινητό πρότυπο που χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια και λιγότερο ραδιοφάσμα, ενώ παράγει ταχύτητες υψηλότερες από το σημερινό 4G με τις προσδοκίες ότι η νέα τεχνολογία θα είναι έτοιμη μέσα σε μια δεκαετία. [30], [36]

Το project "Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society" (METIS) δημιουργήθηκε τον Νοέμβριο του 2012 και είχε ως στόχο την μελέτη του 5G. Την ίδια χρονιά, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συγχρηματοδότησε ένα νέο έργο που στόχευε να εστιάσει την προσοχή της στην «τεχνολογία μικρών κυψελών», η οποία είναι ζωτικής σημασίας για τις τεχνολογίες 5G. [30], [36]

Τον Φεβρουάριο του 2013, μία εταιρία έκανε δύο μελέτες με στόχο την καλύτερη κατανόηση των μελλοντικών τεχνικών πτυχών των κινητών επικοινωνιών προς τον ορισμό της κινητής τηλεφωνίας νέας γενιάς. Στην συνέχεια, τον Μάιο του 2013, η Samsung δήλωσε ότι έχουν

αναπτύξει ένα σύστημα 5G, το οποίο κατά τη δοκιμή, έστειλε δεδομένα με ταχύτητες μεταφοράς στα 1.056 Gbit/s σε απόσταση μέχρι 2 χιλιομέτρων. Η Ινδία και το Ισραήλ, τον Ιούλιο του 2013, συμφώνησαν να εργαστούν από κοινού για την ανάπτυξη τεχνολογιών τηλεπικοινωνιών πέμπτης γενιάς. [30]

Την 1η Οκτωβρίου 2013, η NTT (Nippon Telegraph and Telephone), η ίδια εταιρεία που εγκαινίασε το πρώτο παγκόσμιο δίκτυο 5G στην Ιαπωνία, κερδίζει το βραβείο Υπουργού Εσωτερικών και Επικοινωνιών. Στις 6 Νοεμβρίου 2013, η Huawei ανακοίνωσε ότι σχεδιάζει να επενδύσει τουλάχιστον 600 εκατομμύρια δολάρια για δίκτυα 5G επόμενης γενιάς ικανά να επιταχύνουν ταχύτητες 100 φορές ταχύτερα από τα σύγχρονα δίκτυα LTE. [30]

Τον Σεπτέμβριο του 2014, δημοσιεύθηκε το βιβλίο "Millimeter Wave Wireless Communications" από την Prentice Hall, το οποίο παρέχει μια επισκόπηση βασικών εννοιών από επικοινωνίες, κυκλώματα, κεραίες, διάδοση και παγκόσμια πρότυπα και γράφτηκε από τέσσερις κορυφαίους επαγγελματίες σε ασύρματες επικοινωνίες, τους Theodore Rappaport, Robert Heath, Robert Daniels και James Murdock. [30]

Στις 23 Απριλίου 2014, το ερευνητικό κέντρο της Σχολής Μηχανικών Τάντων του Πανεπιστημίου της Νέας Υόρκης πραγματοποίησε την πρώτη διάσκεψη κορυφής για το 5G. Η εκδήλωση έφερε σε επαφή τους ηγέτες έρευνας και ανάπτυξης στον τομέα της ασύρματης και κινητής βιομηχανίας στον ακαδημαϊκό χώρο, τις επιχειρήσεις και την κυβέρνηση για να εξερευνήσουν το μέλλον της ασύρματης τεχνολογίας 5G, με ιδιαίτερη έμφαση στις κεραίες, τη διάδοση και τη μοντελοποίηση καναλιών. Στις 8 Μαΐου 2014, η NTT DoCoMo ξεκινά τη δοκιμή κινητών δικτύων 5G με τις εταιρίες Alcatel Lucent, Ericsson, Fujitsu, NEC, Nokia και Samsung. [30]

Τον Ιούνιο του 2014, το ερευνητικό πρόγραμμα της CROWD επιλέχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για να συμμετάσχει στην ομάδα των "πρώρων 5G πρόδρομων έργων". Τα έργα αυτά συνέβαλαν στην πρώιμη επίδειξη δυνητικών τεχνολογιών για τη μελλοντική 5G

υποδομή, η οποία είναι πανταχού παρούσα και υπερβολικά υψηλού εύρους ζώνης. Το CROWD συμπεριλήφθηκε στην λίστα των εκδηλώσεων στην European Conference on Networks and Communications (EuCNC) που διοργανώθηκε στην Ιταλία. Τον Οκτώβριο του 2014, ξεκίνησε το ερευνητικό έργο TIGRE5-CM (Ολοκληρωμένες τεχνολογίες για τη διαχείριση και λειτουργία δικτύων 5G) με στόχο τον σχεδιασμό μιας αρχιτεκτονικής για τα κινητά δίκτυα μελλοντικής γενιάς με βάση το πρότυπο SDN (Software Defined Networking), με συντονιστή του έργου το IMDEA Networks Institute. Τον Νοέμβριο του 2014, ανακοινώθηκε ότι η Megafon και η Huawei θα αναπτύξουν ένα δίκτυο 5G στη Ρωσία, έτσι ώστε το δοκιμαστικό δίκτυο να είναι διαθέσιμο μέχρι το τέλος του 2017. Τέλος, στις 19 Νοεμβρίου 2014, οι Huawei και SingTel ανακοίνωσαν την υπογραφή συμφωνίας για την έναρξη κοινού προγράμματος καινοτομίας 5G. [30]

Στη 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2015, ξεκίνησε το project METIS-II που είχε ως στόχο τον σχεδιασμό του 5G δικτύου πρόσβασης. Στις 8 Σεπτεμβρίου 2015, η Verizon ανακοίνωσε ένα χάρτη πορείας για να ξεκινήσει τη δοκιμή της 5G τεχνολογίας στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2016. Στην 1<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2015, η γαλλική επιχείρηση Orange ανακοίνωσε ότι πρόκειται να αναπτύξει τεχνολογίες 5G για να ξεκινήσει την πρώτη δοκιμή τον Ιανουάριο του 2016 στο Belfort, πόλη της ανατολικής Γαλλίας. [30]

Στις 22 Ιανουαρίου 2016, η Σουηδική εταιρεία κινητής τηλεφωνίας Ericsson δήλωσε ότι συνεργάστηκε με την TeliaSonera για την ανάπτυξη υπηρεσιών 5G με βάση το δίκτυο της TeliaSonera και την τεχνολογία 5G της Ericsson. Η σύμπραξη στοχεύει στην παροχή υπηρεσιών 5G στους πελάτες της TeliaSonera στη Στοκχόλμη της Σουηδίας και το Ταλίν της Εσθονίας το 2018. Στις 22 Φεβρουαρίου 2016, η NTT DoCoMo και η Ericsson πέτυχαν στην πρώτη παγκόσμια δοκιμή να επιτύχουν μία σύνδεση 20Gbit/s με δύο ταυτόχρονα συνδεδεμένες κινητές συσκευές σε 5G. Επίσης στις 22 Ιανουαρίου 2016, η Samsung και η Verizon συνεργάστηκαν για να ξεκινήσουν μια δοκιμή για το 5G. Στις 29 Ιανουαρίου 2016, η Google αποκάλυψε ότι αναπτύσσουν ένα δίκτυο 5G που ονομάζεται SkyBender. Σχεδίαζαν να διανέμουν αυτή τη

σύνδεση μέσω ηλιακών κινητήρων. Στα μέσα Μαρτίου 2016, η Βρετανική κυβέρνηση επιβεβαίωσε τα σχέδια της για να καταστήσει το Ηνωμένο Βασίλειο παγκόσμιο ηγέτη στο 5G. Στις 2 Ιουνίου 2016, κυκλοφόρησε το πρώτο ολοκληρωμένο βιβλίο για το 5G. Το βιβλίο "Τεχνολογία κινητών και ασύρματων επικοινωνιών 5G", εκδίδεται από το Cambridge University Press ,από τον Afif Osseiran (Ericsson), τον Jose F. Monserrat (UPV) και τον Patrick Marsch (Nokia Bell Labs) και καλύπτει τα πάντα από τις πιο πιθανές περιπτώσεις χρήσης καθώς και ένα ευρύ φάσμα επιλογών τεχνολογίας σε πιθανές αρχιτεκτονικές συστημάτων 5G. [30]

Στις 7 Ιουλίου 2016, ο Ευρωπαίος Επίτροπος για την Ψηφιακή Οικονομία και την Κοινωνία, ο Günther Oettinger, έλαβε μια δημόσια διακήρυξη για την έγκαιρη ανάπτυξη της 5G τεχνολογίας στην Ευρώπη, που καθορίζει τις βιομηχανικές συστάσεις για τον τρόπο με τον οποίο η Ευρώπη μπορεί να υποστηρίξει και να προωθήσει την καινοτομία και την ανάπτυξη 5G και να θέσει χρονοδιαγράμματα για τις δοκιμές του 5G από τις εταιρίες Deutsche Telekom, Ericsson, Hutchison Whampoa Europe, Inmarsat, Nokia, Orange, Proximus, KPN, SES, Tele2, Telecom Italia, Telefónica, Telekom Austria, Telenor, Telia Company και Vodafone. Στις 14 Ιουλίου 2016, η Federal Communications Commission (FCC) ψήφισε ομόφωνα την πρόταση για την απελευθέρωση τεράστιων ποσοτήτων νέου εύρους ζώνης στο υπόλειμμα φάσματος υψηλών συχνοτήτων για την επόμενη 5G γενιά ασύρματων επικοινωνιών. Στις 17 Οκτωβρίου 2016, η Qualcomm ανακοίνωσε το πρώτο modem 5G, το Snapdragon X50, ως το πρώτο εμπορικό chipset κινητής τηλεφωνίας 5G. [30]

Τον Ιανουάριο του 2017, η Reliance Jio και η Samsung συνεργάστηκαν για την αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου 4G LTE-A σε 5G στην Ινδία. Τον Φεβρουάριο του 2017, η εταιρεία τηλεπικοινωνιών BSNL συνεργάστηκε με τη Nokia για τη δημιουργία δικτύων 5G. Τον Μάρτιο του 2017, η Airtel της Ινδίας ανακοίνωσε μια συνεργασία με τη Nokia για τη δημιουργία δικτύων κινητής τηλεφωνίας και διαδικτύου 5G στη χώρα. Στις 21 Μαρτίου 2017, η LMT της Λετονίας εγκατέστησε τον πρώτο κινητό 5G BS στη Λετονία στο νέο Κέντρο Φυσικών Επιστημών

του Πανεπιστημίου της Λετονίας. Στις 29 Ιουνίου 2017, η Satellite and Terrestrial Network for 5G (SaT5G) κοινοπραξία ανακοίνωσε την έναρξη ενός 30μηνου έργου για την απρόσκοπτη και οικονομικά βιώσιμη ενσωμάτωση δορυφόρων σε δίκτυα 5G, βελτιώνοντας την ανθεκτικότητα και την αποτελεσματικότητα των υπηρεσιών 5G και το άνοιγμα νέων αγορών στη διανομή μέσω ενημέρωσης, στις μεταφορές και στις υποεξυπηρετούμενες περιοχές. Η κοινοπραξία χρηματοδοτούταν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο πλαίσιο του προγράμματος Horizon 2020 και αποτελούταν από 16 μέλη, μεταξύ των οποίων τα Airbus Defense και Space, Avanti Communications, BT, Broadpeak, Gilat Satellite Networks, OneAccess, Thales Alenia Space, TNO, University of Surrey, Zodiac Inflight Innovation και SES, των οποίων οι δορυφόροι ήταν σε θέση να παρέχουν την χωρητικότητα. [30]

Τον Ιούνιο του 2017, η Σρι Λάνκα Telecom μετατρέπεται στην πρώτη Telco για να δοκιμάσει με επιτυχία την Pre-5G LTE Advanced Pro Τεχνολογία στην Νότια Ασία. Τον Ιούλιο του 2017, η Telecom Italia Mobile υπέγραψε συμφωνία με την κυβέρνηση του Αγίου Μαρίνου για αναβάθμιση του 4G δικτύου του σε 5G. Θα ήταν το πρώτο πανελλαδικό δίκτυο 5G στον κόσμο. Στις 18 Ιουλίου 2017, οι 28 υπουργοί τηλεπικοινωνιών της ΕΕ και της Νορβηγίας υπέγραψαν δήλωση προθέσεων στο Ταλίν της Εσθονίας, επιδιώκοντας να καθιερώσουν μια κοινή βάση για τα μελλοντικά πρότυπα 5G και να επιβεβαιώσουν την προθυμία των κρατών μελών να τοποθετήσουν την Ευρώπη ως ηγετική αγορά για την 5G τεχνολογία. [30]

Στις 22 Αυγούστου 2017, η πρωτοποριακή δοκιμή δυνατοτήτων τεχνολογίας 5G διεξήχθη από τη Dialog Axiata με συνεργάτες την Ericsson και την Huawei στο Dialog Iconic στο Colombo. Στις 29 Σεπτεμβρίου 2017, στην ψηφιακή διάσκεψη της ΕΕ στο Ταλίν της Εσθονίας, μια συνεργασία της Ericsson, της Intel και της Telia Eesti ανακοίνωσε ότι είχαν υλοποιήσει το πρώτο ζωντανό δημόσιο δίκτυο 5G στην Ευρώπη στο λιμάνι του Ταλίν για να συνδεθούν με τα κρουαζιερόπλοια στο λιμάνι. Στις 17 Οκτωβρίου 2017, η Qualcomm ανακοίνωσε την πρώτη κινητή 5G σύνδεση με ταχύτητα σύνδεσης 1 Gbit/s. Ακόμα, στις 29 Νοεμβρίου 2017, η Verizon Communications Inc. ανακοίνωσε ότι

θα αναπτύξει ασύρματες οικιακές ευρυζωνικές 5G υπηρεσίες σε πέντε πόλεις των ΗΠΑ, ξεκινώντας από το δεύτερο εξάμηνο του 2018. [30]

Τον Φεβρουάριο του 2018, οι εταιρίες BT Group και Huawei επιβεβαίωσαν μια υπογεγραμμένη συμφωνία για την παράταση της συνεργασίας τους, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη και τη ζωντανή δοκιμή της 5G τεχνολογίας δικτύου και εξοπλισμού των πελατών. Τον Μάρτιο του 2018, το Ηνωμένο Βασίλειο ανακοίνωσε ότι σχεδιάζει να δημιουργήσει μία "5G πόλη" σε μία δοκιμή πολλών εκατομμυρίων λιρών, η οποία θα ανοίξει τον δρόμο για την μελλοντική διάθεση της 5G τεχνολογίας σε εθνικό επίπεδο. Τον Μάιο του 2018, η επιτροπή επικοινωνιών και τεχνολογίας πληροφορικής της Σαουδικής Αραβίας, εξέδωσε άδειες δοκιμών στις Mobily, STC Group και Zain Group. Αυτές οι άδειες, που ήταν 3.6-3.8 GHz, έδωσαν τη δυνατότητα στους παρόχους δικτύων κινητής τηλεφωνίας να δοκιμάσουν την 5G τεχνολογία με 100 MHz φάσμα μεταξύ Ιουνίου 2018 και τέλη 2019. [36], [103]

Τον Ιούλιο του 2018, η Ericsson και η Telefónica Telecom έκαναν επίδειξη μιας 5G μεταφοράς δεδομένων των 27 Gbps στη Μπογκοτά της Κολομβίας. Τον Σεπτέμβριο του 2018, η ομοσπονδιακή επιτροπή επικοινωνιών των Ηνωμένων Πολιτειών ανακοίνωσε το σχέδιο 5G FAST σε μια προσπάθεια να προωθήσει τη θέση της χώρας μεταξύ των χωρών που έχουν αναπτύξει 5G δίκτυα. Τον ίδιο μήνα, η τουρκική εταιρεία κινητής τηλεφωνίας Turkcell ανακοίνωσε τη συμφωνία της με τη Nokia για την ανάπτυξη 5G τεχνολογιών. Το Νοέμβριο του 2018, η εταιρεία κινητής τηλεφωνίας MTN Group της Νοτίου Αφρικής συνεργάστηκε με την Ericsson για να αναπτύξει μια σταθερή 5G ασύρματη σύνδεση πρόσβασης στο Midrand της Νότιας Αφρικής. Τον Δεκέμβριο του 2018, η Ericsson ανακοίνωσε την συμφωνία της με την εταιρεία τηλεπικοινωνιών Tigo για τον εκσυγχρονισμό του δικτύου ραδιοπρόσβασης. Επίσης τον ίδιο μήνα, ο πάροχος ευρυζωνικών τηλεπικοινωνιών Telefónica Germany ανακοίνωσε ότι, σε συνεργασία με τη Nokia, ολοκλήρωσαν την κατασκευή του "Early 5G Innovation Cluster" στο Βερολίνο. [103]

Τον Φεβρουάριο του 2019, η Nokia και η Saudi Telecom Company υπέγραψαν συμφωνία για την έναρξη του 5G δικτύου και την έγκαιρη

διάθεση υπηρεσιών στη Σαουδική Αραβία. Τον ίδιο μήνα, η Telecom Egypt και η Nokia συμφωνούν να εισαγάγουν ένα 5G δίκτυο στην Αίγυπτο. Τον Μάρτιο του 2019, ο μαλαισιανός πάροχος τηλεπικοινωνιών Maxis Communications υπέγραψε την συνεργασία της με τις Huawei, U Mobile και ZTE Corporation για την ανάπτυξη της 5G τεχνολογίας στη Μαλαισία. Στις 3 Απριλίου 2019, η Νότια Κορέα έγινε η πρώτη χώρα που υιοθέτησε την 5G τεχνολογία. Μερικές ώρες αργότερα η Verizon ξεκίνησε τις 5G υπηρεσίες της στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τον ίδιο μήνα, η Ιαπωνία διέθεσε πάνω από 24 GHz φάσμα για την 5G. Τον Ιούνιο του 2019, η αμερικανική εταιρεία τεχνολογίας Qualcomm ξεκίνησε την κατασκευή ενός 5G κέντρου στην Ταϊπέι της Ταϊβάν. [30], [103]

Τον ίδιο μήνα, οι εταιρίες China Telecom, China Unicom και China Mobile διέθεσαν εμπορικές άδειες για 5G υλοποίηση στην Κίνα. Στις 26 Ιουλίου 2019, η Telecom Italia και η Vodafone συμφώνησαν να συγχωνεύσουν την κινητή τους υποδομή πύργου και να αναπτύξουν από κοινού την 5G στην Ιταλία. Στις 2 Σεπτεμβρίου του 2019, ο γαλλικός πάροχος τηλεπικοινωνιών Iliad SA ανακοίνωσε συνεργασία με τη Nokia για την ανάπτυξη 5G δικτύου στη Γαλλία και στην Ιταλία. Στις 9 Σεπτεμβρίου του 2019, η Samsung ανακοίνωσε συνεργασία με την SK Telecom για την ανάπτυξη και εμπορευματοποίηση της πρώτης 8K-5G τηλεόρασης στον κόσμο. Η συσκευή αυτή αναμένεται να προσφέρει εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης οθόνη, που είναι επίσης ικανή για εξαιρετικά γρήγορες ταχύτητες σύνδεσης, επιτρέποντας στους χρήστες να κατεβάσουν VR και άλλα περιεχόμενα. [103]

Στις 10 Σεπτεμβρίου του 2019, η NTT Docomo ανακοίνωσε συμφωνία με την Omron και τη Nokia Networks για συνεργασία σε δοκιμές 5G τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας εντός εργοστασίων στην Ιαπωνία. Στις 8 Οκτωβρίου 2019, η Ericsson επιλέχθηκε από τον πάροχο υπηρεσιών Telia ως τον μοναδικό προμηθευτή του δικτύου ασύρματης πρόσβασης 5G για το εθνικό δίκτυο επόμενης γενιάς της Telia στη Νορβηγία, όπου η διάθεση 5G αναμένεται να ξεκινήσει το 2020 και να επεκταθεί έως το 2023. Τον Φεβρουάριο του 2020, η Nokia ξεκίνησε ένα 5G πρόγραμμα πιστοποίησης με σκοπό να εκπαιδεύσει και να

πιστοποιήσει επαγγελματίες επιχειρήσεων και τεχνολογίας σε παρόχους υπηρεσιών και επιχειρήσεις. [103]

#### 4.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 5G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Μαζί με την εμφάνιση και εξέλιξη της πέμπτης γενιάς κινητής τηλεφωνίας, έκαναν την εμφάνισή τους και οι νέες τεχνολογίες των 5G κινητών δικτύων. Αυτές οι νέες τεχνολογίες αναπτύχθηκαν για να υποστηρίξουν τις υψηλές ταχύτητες μετάδοσης των ασύρματων 5G συστημάτων. Οι 5G τεχνολογίες είναι :

- Massive Multiple-Input and Multiple-Output (MIMO)
  - Millimeter Wave
  - Device-to-Device Communication (D2D)
  - Energy Efficient Communications
  - Ετερογενή Πυκνά Δίκτυα (Ultra Dense Networks)
  - Internet of Things (IoT)
  - Software Defined Networking (SDN)
  - Network Function Virtualization (NFV)
  - Big Data and Mobile Cloud Computing
  - Cognitive Radio
- [37], [38]

#### 4.4 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ/ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ/ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΑ 5G ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Το 2012, η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου ανακοίνωσε τη δημιουργία ενός κέντρου καινοτομίας 5G στο Πανεπιστήμιο του Surrey, και ήταν το πρώτο ερευνητικό κέντρο παγκοσμίως που δημιουργήθηκε ειδικά για έρευνα 5G κινητής τηλεφωνίας. Το 2012, το NYU WIRELESS ιδρύθηκε ως πολυεπιστημονικό ερευνητικό κέντρο, με έμφαση στην ασύρματη έρευνα 5G, καθώς και στη χρήση του στον τομέα της ιατρικής



και της πληροφορικής. Το κέντρο χρηματοδοτείται από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών και ένα διοικητικό συμβούλιο 10 μεγάλων ασύρματων εταιρειών (από τον Ιούλιο του 2014). Το 2012, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, υπό την αιγίδα της Neelie Kroes, δέσμευσε 50 εκατομμύρια ευρώ για έρευνα για την παροχή 5G κινητής τηλεφωνίας μέχρι το 2020. [30]

Ειδικότερα, το έργο METIS 2020 ήταν το εμβληματικό έργο που επέτρεψε την επίτευξη παγκόσμιας συναίνεσης σχετικά με τις απαιτήσεις και τα τεχνολογικά στοιχεία του 5G. Ο συνολικός τεχνικός στόχος του METIS, που οδηγείται από διάφορες εταιρείες τηλεπικοινωνιών, ήταν να παρέχει ένα σύστημα που υποστηρίζει απόδοση 1,000 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τις τρέχουσες εφαρμογές LTE. Επιπλέον, το 2013 ξεκίνησε ένα άλλο έργο, το οποίο ονομάζεται 5GrEEn, που συνδέεται με το έργο METIS και επικεντρώνεται στο σχεδιασμό πράσινων δικτύων κινητής τηλεφωνίας 5G. Στόχος είναι να αναπτυχθούν κατευθυντήριες γραμμές για τον ορισμό ενός δικτύου νέας γενιάς, με ιδιαίτερη έμφαση στην ενεργειακή απόδοση, την βιωσιμότητα και την οικονομική προσιτότητα. Τον Νοέμβριο του 2012, ένα ερευνητικό πρόγραμμα χρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ξεκίνησε υπό το συντονισμό του Ινστιτούτου IMDEA Networks στην Μαδρίτη της Ισπανίας. [30]

Τον Ιανουάριο του 2013, ξεκίνησε ένα νέο έργο που ονομαζόταν CROWD (Connectivity management for eneRgy Optimised Wireless Dense networks), κάτω από την τεχνική επίβλεψη του Ινστιτούτου IMDEA Networks, για να σχεδιάσει βιώσιμες λύσεις δικτύωσης και λογισμικού για την ανάπτυξη πολύ πυκνών, ετερογενών ασύρματων δικτύων. Το έργο στοχεύει στη βιωσιμότητα με στόχο την αποδοτικότητα του κόστους και την ενεργειακή απόδοση. Τον Νοέμβριο του 2013, η κινέζικη εταιρεία τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού Huawei ανέφερε ότι θα επενδύσει 600 εκατομμύρια δολάρια σε έρευνα για τεχνολογίες 5G τα επόμενα πέντε χρόνια. Αυτή η ερευνητική πρωτοβουλία της εταιρείας δεν αφορούσε επενδύσεις για την παραγωγή τεχνολογιών 5G για τους παγκόσμιους φορείς τηλεπικοινωνιών, αλλά μόνο στην Μάλτα. [30]

Το 2015, η Huawei και η Ericsson δοκιμάζουν τεχνολογίες σχετιζόμενες με τις 5G σε αγροτικές περιοχές της βόρειας Ολλανδίας. Τον Ιούλιο του 2015, ξεκίνησαν τα ευρωπαϊκά έργα METIS-II και 5GNORMA. Το έργο METIS-II βασίστηκε στο επιτυχημένο πρόγραμμα METIS και ανέπτυξε το γενικό σχεδιασμό 5G δικτύου ραδιοεπικοινωνίας και προσέφερε τις τεχνικές δυνατότητες που απαιτούνται για την αποτελεσματική ολοκλήρωση και χρήση των διαφόρων 5G τεχνολογιών και εξαρτημάτων που αναπτύσσονται επί του παρόντος. Η METIS-II έδωσε επίσης το πλαίσιο συνεργασίας 5G στο 5G-PPP για μια κοινή αξιολόγηση των εννοιών του 5G δικτύου ραδιοεπικοινωνιών και προετοίμασε συντονισμένη δράση προς τους ρυθμιστικούς φορείς και τους οργανισμούς τυποποίησης. Από την άλλη πλευρά, ο βασικός στόχος της 5G NORMA ήταν να αναπτύξει μια πρωτοποριακή, προσαρμοστική και μελλοντική αρχιτεκτονική 5G κινητού δικτύου. Αυτή η αρχιτεκτονική επέτρεπε τη δημιουργία πρωτοφανών επιπέδων προσαρμοστικότητας στο δίκτυο, εξασφαλίζοντας αυστηρές απαιτήσεις απόδοσης, ασφάλειας, κόστους και ενέργειας που πρέπει να πληρούνται. Με την 5G NORMA, κορυφαίες εταιρείες στο κινητό οικοσύστημα στόχευαν την ηγετική θέση στην Ευρώπη στη 5G τεχνολογία. [30]

Επιπλέον, τον Ιούλιο του 2015 ξεκίνησε το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα mmMAGIC. Το πρόγραμμα mmMAGIC ανέπτυξε νέες ιδέες για την τεχνολογία κινητής ασύρματης πρόσβασης (RAT-Radio Access Technology) για την ανάπτυξη της ζώνης mmwave. Αυτό αποτέλεσε βασικό στοιχείο του οικοσυστήματος 5G multi-RAT και χρησιμοποιήθηκε ως βάση για την παγκόσμια προτυποποίηση. Το έργο επέτρεψε εξαιρετικά γρήγορες κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες για χρήστες κινητών τηλεφώνων, υποστηρίζοντας 3D streaming, εμβληματικές εφαρμογές και υπηρεσίες cloud υψηλής απόκρισης. Η φιλοδοξία του έργου αυτού ήταν να προετοιμάσει το έδαφος για ένα ευρωπαϊκό ξεκίνημα σε 5G πρότυπα και να ενισχύσει την ευρωπαϊκή ανταγωνιστικότητα. Η mmMAGIC συντονίστηκε από τη Samsung. Η Ericsson ενήργησε ως τεχνικός διευθυντής, ενώ η Intel, η Fraunhofer HHI, η Nokia, η Huawei και η Samsung οδήγησαν η καθεμία τις τεχνικές εργασίες του έργου. [30]

Επίσης τον Ιούλιο του 2015, η IMDEA Networks ξεκίνησε το έργο Xhaul, που είχε σαν στόχο την ανάπτυξη μιας προσαρμοστικής, αξιόπιστης, οικονομικά αποδοτικής λύσης μεταφοράς 5G δικτύου. Το έργο Xhaul απλοποίησε σε μεγάλο βαθμό τις λειτουργίες του δικτύου παρά την αυξανόμενη τεχνολογική ποικιλομορφία. Ακόμα, τον ίδιο μήνα, ξεκίνησε το ευρωπαϊκό ερευνητικό 5G πρόγραμμα Flex5Gware. Ο στόχος του Flex5Gware ήταν να προσφέρει πλατφόρμες υλικού υψηλής ευελιξίας (Hardware-HW) μαζί με πλατφόρμες HW-agnostic λογισμικού (Software-SW), λαμβάνοντας υπόψη την αυξημένη χωρητικότητα, το μειωμένη χρήση ενέργειας, καθώς και την δυνατότητα κλιμάκωσης και ομαλής μετάβασης από 4G κινητά ασύρματα συστήματα σε 5G. Αυτό επέτρεψε στις 5G HW/SW πλατφόρμες να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις που επιβάλλει η εκθετική αύξηση της κίνησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας (1000 φορές αύξηση) μαζί με τη μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. [30]

Το 2016, το πρώτο δοκιμαστικό 5G δίκτυο κατασκευάστηκε στο Oulu της Φινλανδίας. Πρόκειται για μια εγκατάσταση έρευνας, ανάπτυξης και δοκιμών σε ένα ρεαλιστικό περιβάλλον 5G δικτύου και βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου του Oulu. Πλήρες λειτουργικό, αποτέλεσε μια δυναμική και ετερογενή πλατφόρμα για την ανάπτυξη και δοκιμή νέων εφαρμογών, υπηρεσιών, αλγορίθμων, τεχνολογιών και συστημάτων. Τον Σεπτέμβριο του 2016, το Υπουργείο Βιομηχανίας και Πληροφορικής της Κίνας ανακοίνωσε ότι ολοκληρώθηκαν με ικανοποιητικά αποτελέσματα οι κυβερνητικές δοκιμές των 5G βασικών ασύρματων τεχνολογιών για μελλοντικά 5G δίκτυα. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε 100 πόλεις και περιελάμβαναν επτά εταιρείες: Datang Telecom, Ericsson, Huawei, Intel, Nokia Shanghai Bell, Samsung και ZTE. Το επόμενο βήμα για την ανάπτυξη της 5G τεχνολογίας μέσω δοκιμών βρίσκεται σε εξέλιξη, με προγραμματισμένη εμπορική ανάπτυξη το 2022 ή το 2023. [30]

Τον Απρίλιο του 2017, η Huawei ανακοίνωσε ότι από κοινού με την Telenor διεξήγαγαν επιτυχείς 5G δοκιμές με ταχύτητες έως και 70 Gbit/s σε ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον στη Νορβηγία. Τον Ιούνιο του 2017, η SLT (Sri Lanka Telecom), μαζί με την Huawei

Technologies, πραγματοποίησαν με επιτυχία την πρώτη ολοκληρωμένη δοκιμή της τεχνολογίας Pre-5G LTE Advanced Pro της Νότιας Ασίας, θέτοντας τις βάσεις για την επόμενη γενιά ευρυζωνικών τεχνολογιών. Χρησιμοποίησαν μια τεχνολογία που ονομάζεται Advanced Carrier Aggregation Technology, όπου πολλαπλοί μεταφορείς LTE μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα, αυξάνοντας έτσι τη συνολική απόδοση δεδομένων. Επιπλέον, τον Ιούλιο του 2017, η Samsung και η Arqiva πραγματοποίησαν την πρώτη δοκιμή της 5G τεχνολογίας σταθερής ασύρματης πρόσβασης στο κεντρικό Λονδίνο. Παρά την απόσταση σύνδεσης αρκετών εκατοντάδων μέτρων, το σύστημα είχε δημιουργήσει μια σταθερή αμφίδρομη σύνδεση mmWave με ταχύτητες downlink περίπου 1Gb ανά δευτερόλεπτο. [30]

Το 2018, η Ινδία ανακοίνωσε ότι πρόκειται να επενδύσει τον προϋπολογισμό της σε 5G δοκιμές. Η χρηματοδότηση επέτρεψε στη χώρα να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα στη ανάπτυξη της 5G τεχνολογίας, αφού είχε ως στοχο να είναι ηγέτης της 5G τεχνολογίας στην Ασία. Στα μέσα του 2018, η Orange δοκίμασε το 5G σύστημα στη Lille και στο Douai στη Γαλλία. Τον Μάρτιο του 2018, ανακοινώθηκαν έξι 5G δοκιμές στο Ηνωμένο Βασίλειο και η καθεμία είχε λάβει κρατικές επιχορηγήσεις μεταξύ 2-5 εκατομμυρίων λιρών. Τον Απρίλιο του 2018, η Κίνα εξουσιοδότησε 5G δοκιμές σε 16 πόλεις. Το Μάιο του 2018, στην Ιαπωνία η NTT Docomo πέτυχε μια 5G δοκιμή στα 28GHz, που περιλάμβανε έναν 5G BS και ένα αυτοκίνητο που ταξίδευε με ταχύτητα περίπου 293 km/h. [30], [103]

Τον Ιούνιο του 2018, η φινλανδική εταιρεία τηλεπικοινωνιών Elisa εγκαινίασε τα πρώτα εμπορικά 5G δίκτυα στον κόσμο και ξεκίνησε να πωλεί συνδρομές στο Τάμπερε και το Ταλίν. Τον ίδιο μήνα, η Vodafone Spain ξεκίνησε 5G δοκιμές στη Μαδρίτη, τη Βαλένθια, τη Σεβίλλη και τη Βαρκελώνη και ο φιλιππινέζος πάροχος ασύρματων επικοινωνιών Smart Communications ανακοίνωσε την έναρξη του 5G TehnoLab, του 5G εργαστηρίου καινοτομίας του. Τον Σεπτέμβριο του 2018, η ιαπωνική NTT Docomo κατόρθωσε να επιτύχει 25-27 Gbps ταχύτητες λήψης σε μια 5G δοκιμή με τη Mitsubishi Electric. Τον Νοέμβριο του 2018, η τουρκική εταιρεία κινητής τηλεφωνίας Turkcell δοκίμασε λύσεις

σταθερής 5G ασύρματης πρόσβασης με τη Samsung στην Κωνσταντινούπολη. [103]

Τον ίδιο μήνα, ο πάροχος τηλεπικοινωνιών της Σιγκαπούρης StarHub ανακοίνωσε, σε συνεργασία με τη Nokia, την ολοκλήρωση του πρώτου εξωτερικού 5G πιλότου στη ζώνη συχνοτήτων 3.5 GHz στη χώρα της Σιγκαπούρης. Τον Δεκέμβριο του 2018, η TeliaSonera, η Ericsson και το KTH Royal Institute of Technology ξεκίνησαν τις 5G δοκιμές στη Στοκχόλμη και οι KT Corporation, SK Telecom και LG Uplus ξεκίνησαν περιορισμένες 5G εμπορικές υπηρεσίες στη Σεούλ και σε έξι μητροπολιτικές πόλεις σε ζώνη 3.5 GHz. Τον ίδιο μήνα, η AT&T έγινε ο πρώτος φορέας των Ηνωμένων Πολιτειών που ξεκίνησε ένα 5G δίκτυο κινητής τηλεφωνίας βασισμένο σε πρότυπα που εξυπηρέτησε δώδεκα πόλεις, εν τούτοις χωρίς συσκευές με δυνατότητα 5G και η Telia Company άνοιξε το πρώτο της 5G δίκτυο δοκιμών στη Νορβηγία. [103]

Τον Ιανουάριο του 2019, οι Sprint Corporation, Nokia και Qualcomm ολοκλήρωσαν την πρώτη μετάδοση δεδομένων 5G στον κόσμο χρησιμοποιώντας 2.5 GHz. Τον Φεβρουάριο του 2019, μια ομάδα γιατρών στο Hospital Clinic της Βαρκελώνης πραγματοποίησαν την πρώτη 5G τηλεπικοινωνιακή εγχείριση στον κόσμο (απομάκρυνση ενός καρκινικού όγκου από το παχύ έντερο ενός ασθενούς), με τον χειρουργό να επιβλέπει τη διαδικασία σε απόσταση άνω των 3 μιλίων. Στις 3 Απριλίου 2019, η Νότια Κορέα έγινε η πρώτη χώρα που υιοθέτησε την 5G, όταν τρεις εταιρείες (SK Telecom, KT και LG Uplus) λάνσαραν το πρώτο παγκόσμιο 5G κινητό. Οι τρεις κύριες εταιρείες τηλεπικοινωνιών προσέθεσαν περισσότερους από 40.000 χρήστες στο 5G δίκτυό τους την ημέρα της κυκλοφορίας. Λίγες ώρες αργότερα από λανσάρισμα στη Νότια Κορέα, η Verizon εγκαινίασε τις 5G υπηρεσίες της στις Ηνωμένες Πολιτείες. [103]

Στις 17 Απριλίου του 2019, η Ericsson και η Swisscom εγκαινίασαν το 5G δίκτυο σε 54 πόλεις και κοινότητες στην Ελβετία, παρέχοντας το πρώτο εμπορικό 5G δίκτυο στην Ευρώπη. Τον Μάιο του 2019, η Verizon ξεκίνησε να πουλά το Samsung Galaxy S10 5G στις Ηνωμένες Πολιτείες και η αυστραλιανή εταιρεία δικτύου Telstra εγκαινίασε περιορισμένες 5G υπηρεσίες στη χώρα με μια συσκευή που οι πελάτες μπορούν να

χρησιμοποιήσουν για τη σύνδεση άλλων συσκευών. Τον Ιούνιο του 2019, η Vodafone εγκαινίασε την 5G τεχνολογία στην Ιταλία σε πέντε πόλεις, στις Νάπολη, Μπολόνια, Μιλάνο, Τορίνο και Ρώμη και η Huawei με την Vodafone ανέπτυξαν σε συνεργασία τις πρώτες εμπορικές 5G υπηρεσίες στην Ισπανία. [103]

Τον Αύγουστο του 2019, η ZTE κυκλοφόρησε το πρώτο 5G τηλέφωνο στην Κίνα με την κυκλοφορία του Axon 10 Pro 5G και η Ericsson με την Vodafone εγκαινίασαν στη Γερμανία ένα εμπορικό 5G δίκτυο, χρησιμοποιώντας τα προϊόντα και τις λύσεις της Ericsson, με στόχο να φέρουν την 5G σε 20 εκατομμύρια ανθρώπους στη χώρα μέχρι το τέλος του 2021. Τον ίδιο μήνα, η Ericsson και η Tele2 εγκαινίασαν την πρώτη 5G ζώνη της Ρωσίας στο κέντρο της Μόσχας, με την Ericsson να παρέχει τον εξοπλισμό για το δίκτυο, το οποίο διαχειρίζεται η Tele2. Τον Σεπτέμβριο του 2019, η Deutsche Telekom κυκλοφόρησε την 5G τεχνολογία στη Γερμανία και συγκεκριμένα στο Βερολίνο, το Ντάρμστατ, το Μόναχο, τη Βόννη και την Κολωνία. Τον Οκτώβριο του 2019, η γαλλική Arcep ανακοίνωσε τα πρώτα έντεκα έργα για 5G δοκιμές σε ζώνη 26 GHz και η BT Mobile εγκαινίασε 5G υπηρεσίες στο Ηνωμένο Βασίλειο, σε 20 πόλεις. [103]

Τον ίδιο μήνα, η ιρλανδική ευρυζωνική εταιρεία τηλεπικοινωνιών Eir εγκαινίασε την 5G στην Ιρλανδία, με τη βοήθεια του 5G πυρήνα της Ericsson. Το δίκτυο είχε σκοπό να καλύψει έως και 110 πόλεις σε ολόκληρη τη χώρα σε μερικές εβδομάδες. Μέχρι το Νοέμβριο του 2019, η Κίνα διέθετε 113.000 5G BSs και η Γερμανία προσέφερε σε ιδιωτικές εταιρείες εταιρικές άδειες για κλάσματα ασύρματου φάσματος 3.7-3.8 GHz για 5G υπηρεσίες. Τον Δεκέμβριο του 2019, η T-Mobile εγκαινίασε 600MHz 5G στις Ηνωμένες Πολιτείες, καθιστώντας την τον πρώτο αμερικανικό φορέα που προσέφερε 5G πρόσβαση σε ολόκληρη τη χώρα. Το δίκτυο είχε στόχο να καλύψει περισσότερα από 200 εκατομμύρια άτομα και περισσότερα από 1 εκατομμύριο τετραγωνικά μίλια. Τον ίδιο μήνα, η εταιρεία τηλεπικοινωνιών της Αυστραλίας Optus ισχυρίστηκε ότι πραγματοποίησε την πρώτη 5G κλήση δεδομένων στον κόσμο, χρησιμοποιώντας φάσμα συχνότητας 2.3 GHz σε μια δοκιμή που ολοκληρώθηκε στο Σίδνεϊ και η Deutsche Telekom εκκίνησε 5G εμπο-

ρικές υπηρεσίες στο Αμβούργο της Γερμανίας. Τον Φεβρουάριο του 2020, η Ericsson πέτυχε την ταχύτερη ταχύτητα των 4.3 Gbps στο φάσμα της mmWave , σπάζοντας το προηγούμενο ρεκόρ της Huawei. [103]

#### 4.5 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ - ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ 5G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Στις πρώτες γενιές κινητής τηλεφωνίας, οι μόνες συσκευές που έπρεπε να υποστηριχθούν από τα κινητά δίκτυα ήταν τα κινητά τηλέφωνα. Με την ραγδαία εξάπλωση του Internet και των πολυ-άριθμων εφαρμογών του, δημιουργήθηκε το πρόβλημα του χειρισμού της κίνησης για την κάλυψη των απαιτήσεων διάφορων εφαρμογών, όπως το video streaming, οι κλήσεις VoIP, τα δεδομένα, κ.α. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και με την ανάγκη υποστήριξης διάφορων τύπων συσκευών και εφαρμογών με ποικίλες απαιτήσεις, έτσι ώστε ο χρήστης να έχει την ευκαιρία να απολαύσει την καλύτερη δυνατή επικοινωνία. [38]

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές κυψελοειδών δικτύων, το 5G κυψελοειδές δίκτυο προβλέπεται να υποστηρίξει μια πληθώρα συσκευών και εφαρμογών, όπως smartwatches, αυτόνομα οχήματα και το IoT. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU), υπάρχουν τρεις τύποι σεναρίων εξυπηρέτησης που πρέπει να υποστηριχθούν σε 5G, οι οποίοι είναι κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες, μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής και επικοινωνίες εξαιρετικά αξιόπιστες και χαμηλής καθυστέρησης αντίστοιχα. Έτσι, οι διάφοροι τύποι συσκευών και εφαρμογών χρειάζονται πιο εξελιγμένα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα οποία πρέπει να πληρούν ορισμένες απαιτήσεις-δυνατότητες για να καλυφθούν οι επιθυμητές και αναμενόμενες ανάγκες των χρηστών. [38]

Αυτές οι απαιτήσεις είναι :

- Υψηλοί ρυθμοί δεδομένων

Σε όλες τις γενιές κινητής τηλεφωνίας, η μετρική του ρυθμού δεδομένων ήταν ο σημαντικότερος παράγοντας. Με την έλευση του κινητού Internet, των υπηρεσιών του, όπως high definition video streaming και η δυνατότητα εικονικής πραγματικότητας στα κινητά τηλέφωνα, αλλά και την πληθώρα των tablets και laptops που μπορούν να συνδέονται ασύρματα στο Internet, η ανάγκη αύξησης του ρυθμού δεδομένων γίνεται αναπόφευκτη κινητήρια δύναμη της αγοράς. Παρόλο που οι τρέχουσες μέγιστες ταχύτητες δεδομένων υποστηρίζουν τη ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας που απαιτεί ταχύτητα 8-15 Mbps, υπάρχουν εφαρμογές όπως ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας 4K, παιχνίδια υψηλής ευκρίνειας και περιεχόμενο 3D, οι οποίες απαιτούν ακόμα υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων στα περίπου 25 Mbps, έτσι ώστε να μπορούν να προσφέρουν μια ικανοποιητική εμπειρία στους χρήστες. Με αυτές τις αναδυόμενες εφαρμογές, που απαιτούν υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, τα 5G δίκτυα αναμένεται να έχουν το μέγιστο ρυθμό δεδομένων περίπου 10 Gbps, το οποίο είναι 100 φορές βελτιωμένο έναντι των σημερινών 4G δικτύων. [38]

- Χαμηλή καθυστέρηση

Η καθυστέρηση των δεδομένων στο LTE δίκτυο είναι περίπου 15 milliseconds (ms). Ωστόσο, για τις πρόσφατα αναδυόμενες εφαρμογές όπως το Internet, την εικονική πραγματικότητα και το παιχνίδι για πολλαπλούς παίκτες, που τα 5G δίκτυα αναμένεται να υποστηρίξουν, η καθυστέρηση θα πρέπει να αναβαθμιστεί σε τάξη μεγέθους ταχύτερα από το τρέχον δίκτυο, σε περίπου 1 ms. Αν και τα τρέχοντα smartphones έχουν οθόνες αφής ως κύρια διασύνδεση, οι μελλοντικές συσκευές θα ενσωματώσουν διάφορες άλλες διεπαφές όπως απτική, οπτική και ακουστική είσοδο και ανατροφοδότηση, οι οποίες θα προσφέρουν έναν νέο τρόπο αλληλεπίδρασης με το online περιβάλλον για εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας, υγειονομικής περίθαλψης, αθλητισμού κλπ. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο με τον χρήστη και κάθε καθυστέρηση στο



σύστημα θα προκαλέσει υποβάθμιση στην εμπειρία του χρήστη, οπότε η καθυστέρηση είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στο 5G. Μια άλλη εφαρμογή που αναμένεται να υποστηρίξουν τα δίκτυα 5G είναι οι επικοινωνίες τύπου μηχανής (MTC), όπου οι συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους αυτόματα. Αυτός ο τύπος επικοινωνίας απαιτεί επίσης εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση για εφαρμογές, όπως η επικοινωνία οχήματος με όχημα. Η απαίτηση για τη μείωση της καθυστέρησης απαιτεί τεχνολογική καινοτομία στον σχεδιασμό κυματομορφών, καθώς και μια ευέλικτη αρχιτεκτονική στα υψηλότερα επίπεδα του δικτύου, η οποία μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσω ασύρματης δικτύωσης καθορισμένης από λογισμικό. [38]

- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

Τα 5G δίκτυα αναμένεται να υποστηρίξουν τις συσκευές IoT που είναι βασικά μερικοί αισθητήρες που συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με ένα περιβάλλον και τις μεταδίδουν σε κεντρικό server. Αυτές οι συσκευές είναι ως επί το πλείστον χαμηλής ισχύος, χαμηλού κόστους συσκευές με διάρκεια ζωής για αρκετά χρόνια. Δεδομένου ότι οι συσκευές αυτές δεν συνδέονται πάντοτε με τον BS και ενεργοποιούνται μόνο περιστασιακά, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας τους δεν μπορεί να επιτρέψει τη συγχρονική διαδικασία με τον BS κάθε φορά, καθώς το βήμα συγχρονισμού κοστίζει περισσότερη ενέργεια από αυτή της πραγματικής μετάδοσης δεδομένων. Αυτή η συγκεκριμένη περίπτωση στο IoT απαιτεί ότι η τεχνική ασύρματης πρόσβασης για το 5G να είναι χαλαρή ή μη συγχρονισμένη. Επιπλέον, αυτός ο τύπος υπηρεσίας θέτει επίσης περιορισμούς στην υπολογιστική ισχύ για αποκωδικοποίηση, το μήκος της κεφαλίδας, το σχήμα προώθησης πακέτων κ.λπ.

Με τον αυξανόμενο αριθμό συνδεδεμένων έξυπνων συσκευών, ο αριθμός των σταθμών βάσης που απαιτούνται για την υποστήριξη αυτών των συσκευών θα κλιμακωθεί επίσης. Λόγω της ανάπτυξης μικρών κυψελών, ο σταθμός βάσης θα πυκνώσει. Αυτή η τάση απαιτεί οι σταθμοί βάσης να είναι ενεργειακώς

αποδοτικοί, δεδομένου ότι ακόμη και μια μικρή βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης θα μεταφραστεί σε τεράστια εξοικονόμηση ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. [38]

- Υψηλή επεκτασιμότητα

Για την υποστήριξη της αύξησης του αριθμού των κινητών συσκευών που συνδέονται με το ασύρματο δίκτυο και επικοινωνούν μεταξύ τους, η επεκτασιμότητα του δικτύου γίνεται ένας σημαντικός παράγοντας για το σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου ασύρματης επικοινωνίας επόμενης γενιάς. Η αύξηση του αριθμού των συσκευών επιδεινώνεται περαιτέρω από τις μυριάδες συσκευών IoT και τις τεχνολογίες επικοινωνίας οχημάτων προς οχήματα που αναμένεται να αυξηθούν στο κυψελοειδές 5G δίκτυο. Με βάση αυτόν τον έξυπνο εξοπλισμό, αναμένεται ότι ο αριθμός των συσκευών που συνδέονται με το κυψελοειδές δίκτυο θα αυξηθεί στα 50 δισεκατομμύρια μέχρι το 2020. Συνεπώς, απαιτείται ένα εξαιρετικά κλιμακωτό δίκτυο που μπορεί να προσαρμόσει αποτελεσματικά αυτήν την έξαρση των ολοένα αυξανόμενων συσκευών. Η υψηλή επεκτασιμότητα είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την απόδοση των σημερινών και αναδυόμενων εφαρμογών, όπως οι υπηρεσίες IoT, τα αυτόνομα οχήματα κλπ. Στην περίπτωση των αυτόνομων οχημάτων, η άμεση επικοινωνία μεταξύ τους σε μεγάλες πυκνότητες κυκλοφορίας απαιτούν την επεκτασιμότητα του κυψελοειδούς δικτύου. [38]

- Βελτιωμένη συνδεσιμότητα και αξιοπιστία

Με την αύξηση της πυκνότητας των σταθμών βάσης και τον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών, ο αριθμός των handover που θα χειρίζεται ο σταθμός βάσης θα αυξηθεί τουλάχιστον κατά δύο τάξεις μεγέθους. Για να υποστηριχθεί αυτή η απαίτηση, απαιτούνται νέοι αλγόριθμοι και τεχνικές που παρέχουν βελτιωμένη κάλυψη στις περιοχές αιχμής κυψελών. Ένα άλλο σχετικό ζήτημα είναι οι ανησυχίες της γνησιότητας και αυθεντικότητας σχετικά με το handover. Η καθυστέρηση

επικοινωνίας με τον διακομιστή ελέγχου ταυτότητας για κάθε handover θα είναι εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου, τα οποία θα ήταν απαράδεκτα για τις 5G εφαρμογές. Επίσης, δεδομένης της χρήσης ζωνών υψηλότερης συχνότητας, η περιοχή μετάδοσης σημάτων μειώνεται σημαντικά. Ως εκ τούτου, η διατήρηση της σύνδεσης καθίσταται μια μεγάλη πρόκληση για το 5G. Για τις υπηρεσίες κρίσιμης σημασίας, οι απαιτήσεις σχετικά με την υψηλή αξιοπιστία καθώς και τη συνδεσιμότητα πρέπει να είναι πάντα εγγυημένες. [38]

- Βελτιωμένη ασφάλεια

Η ασφάλεια του ασύρματου δικτύου έχει τραβήξει μεγάλη προσοχή, ιδιαίτερα μετά το 2015, όταν έγιναν δημοφιλείς οι εφαρμογές των κινητών πληρωμών και του ψηφιακού πορτοφολιού. Από την οπτική γωνία των προηγούμενων γενεών συστημάτων, ο γενικός σκοπός της ασφάλειας είναι η προστασία της βασικής σύνδεσης και η διατήρηση της ιδιωτικότητας των χρηστών. Ωστόσο, δεδομένου ότι το 5G σύστημα θα αντιμετωπίσει τελικά τη δραματικά αυξανόμενη κυκλοφορία δεδομένων σε ολόκληρο το δίκτυο, η απαίτηση ασφάλειας του 5G δεν πρέπει να περιορίζεται μόνο στην παροχή αξιόπιστης σύνδεσης στους χρήστες, αλλά επίσης στην βελτίωση της ασφάλειας σε ολόκληρο το δίκτυο, με ιδιαίτερη προσοχή στην πιστοποίηση και εξουσιοδότηση ταυτότητας, αναπτύσσοντας νέα πρωτόκολλα κρυπτογράφησης. Τα 4G δίκτυα δεν ήταν σε θέση να αναπτύξουν ένα ενιαίο πρότυπο για την προστασία των προσωπικών δεδομένων των χρηστών, κάτι το οποίο θα αντιμετωπιστεί πλήρως στα 5G ασύρματα δίκτυα. [38]

#### 4.6 ΑΝΑΓΚΕΣ 5G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές κυψελοειδών δικτύων, αναμένεται ότι η πέμπτη γενιά της ασύρματης τεχνολογίας θα

βελτιώσει σημαντικά τις επιδόσεις του δικτύου, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις και σε άλλους τομείς να αξιοποιήσουν ένα ευρύ φάσμα νέων εφαρμογών, υπηρεσιών και δυνατοτήτων, όπως έξυπνα ρολόγια, φορητές συσκευές, αυτόνομα οχήματα και IoT. Αυτές οι υπηρεσίες θα επηρεάσουν την καθημερινή ζωή των ανθρώπων τα επόμενα χρόνια και θα ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους. Οι κύριες ανάγκες και υπηρεσίες που μπορεί να καλύψει η 5G τεχνολογία είναι οι εξής:

- **Διασκέδαση** : Υπάρχουν ήδη πολλές εφαρμογές, που προσφέρουν στους χρήστες τη δυνατότητα να διασκεδάσουν και θα υπάρξουν πολλές περισσότερες στο μέλλον με την εμφάνιση της 5G τεχνολογίας. Μερικές από τις βασικές υπηρεσίες που προσφέρονται σε αυτόν τον τομέα είναι :

- παιχνίδια με πολλαπλούς παίκτες,
- συνεχής ροή (streaming) σε πραγματικό χρόνο,
- online αλληλεπιδραστικές συνομιλίες,
- mobile μέσα κοινωνικής δικτύωσης,
- φορητές συσκευές,
- cloud gaming,
- ψυχαγωγία μέσα στο αυτοκίνητο (μέσα μαζικής ενημέρωσης και υπηρεσίες ψυχαγωγίας σε υποβοηθούμενα ή αυτοκινούμενα οχήματα),
- παρακολούθηση ταινίας με ακουστικά εικονικής πραγματικότητας, κ.λπ. [76]

- **Εικονική πραγματικότητα και Επαυξημένη πραγματικότητα** : Σε αυτήν την περίπτωση, ένα άτομο αλληλεπιδρά με το περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας φορητές συσκευές, όπως γυαλιά ή ακουστικά. Με αυτή την υπηρεσία, οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να απολαμβάνουν μια νέα, υψηλής ποιότητας εμπειρία σε υψηλότερο επίπεδο. Ως εκ τούτου, νέες υπηρεσίες θα είναι διαθέσιμες στο κοινό, όπως :

- ταινίες και show,
  - ζωντανές συναυλίες, αθλητικές και άλλες εκδηλώσεις,
  - διαδραστικό παιχνίδι και διασκέδαση,
  - μόρφωση,
  - εκπαίδευση και demos,
  - 3D σχεδίαση και τέχνη,
  - κοινωνικές συναναστροφές,
  - παιδιά που παίζουν με εικονικούς χαρακτήρες,
  - εξερεύνηση αξιοθέατων και περιοχών σε όλο τον κόσμο,
  - επικοινωνία οικογένειας εικονικά ,
  - επαγγελματικός κλάδος κ.λπ. [73],[74]
- **Αυτοκινούμενα οχήματα** : Το 5G φέρνει μαζί του νέες υπηρεσίες και προσφέρει ευκαιρίες στους χρήστες να απολαμβάνουν τη δυνατότητα αυτοκινούμενων οχημάτων. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της αυτόνομης οδήγησης είναι :
    - ασφαλέστερους δρόμους,
    - μια πιο αποτελεσματική δρομολόγηση της κυκλοφορίας,
    - άνεση τόσο για τον οδηγό όσο και για τους επιβάτες, καθώς θα μπορούν να ασκούν και άλλες δραστηριότητες κατά την μετακίνηση τους μέσα στο αυτοκίνητο,
    - εξοικονόμηση καυσίμων και βελτίωση της κινητικότητας.

Έτσι, τα αυτοκινούμενα οχήματα θα είναι πραγματικά σημαντικά στο μέλλον, δίνοντας στους χρήστες μια καλύτερη εμπειρία οδήγησης. [73]
  - **"Έξυπνες" πόλεις** : Ένα άλλο νέο βήμα που τονίζει τη σημασία της 5G τεχνολογίας θα είναι η ανάπτυξη μιας "έξυπνης" πόλης. Η δημιουργία ενός νέου ψηφιακού οικοσυστήματος θα ωφελήσει τους πολίτες, καθώς οι πόλεις θα λειτουργήσουν πιο αποτελεσ-

ματικά και με πιο βιώσιμο τρόπο. Θα υπάρχουν πολλαπλές ψηφιακές συσκευές χαμηλού κόστους που θα συνδέονται μεταξύ τους για να επικοινωνούν, έτσι ώστε να βελτιώσουν και να ενισχύσουν τα σπίτια, τα γραφεία και άλλους χώρους και να προσφέρουν εξοικονόμηση κόστους και χρόνου και νέες παροχές στους κατοίκους της πόλης. Τα βασικά πλεονεκτήματα που θα απολαμβάνουν οι άνθρωποι από την εφαρμογή "έξυπνων" πόλεων είναι :

- οικονομική ανάπτυξη,
- βελτίωση της ποιότητας ζωής,
- καλύτερο περιβάλλον,
- υπερβολική αγορά εργασίας,
- ασφαλές περιβάλλον,
- καλύτερη επικοινωνία. [73], [75]

#### 4.7 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ 4G-5G ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Το 5G είναι το νεότερο κινητό δίκτυο, το οποίο δεν έχει κυκλοφορήσει ακόμα, που θα αντικαταστήσει το παρόν 4G δίκτυο, παρέχοντας πολλές βελτιώσεις στην ταχύτητα, στην κάλυψη και στην αξιοπιστία. Ο πρωταρχικός λόγος ανάγκης ενός αναβαθμισμένου δικτύου είναι η υποστήριξη του αυξανόμενου αριθμού κινητών συσκευών που, συνδέονται στο Internet, τα οποία για να λειτουργήσουν σωστά απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης, κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί πια από το 4G ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας. [41]

Το 5G θα χρησιμοποιεί διαφορετικά είδη κεραιών, θα λειτουργεί σε διαφορετικές συχνότητες ραδιοσυχνοτήτων, θα συνδέει ακόμα περισσότερες συσκευές στο Internet, θα ελαχιστοποιεί τις καθυστερήσεις και θα παρέχει εξαιρετικά γρήγορες ταχύτητες. [41]

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι διαφορές μεταξύ των δύο αυτών τεχνολογιών είναι αρκετές. Αρχικά, η 5G τεχνολογία δεν έχει ακόμα

αναπτυχθεί σε μεγάλη κλίμακα για εμπορικούς σκοπούς. Αλλά τα δεδομένα που δημοσιεύονται σε διάφορες ιστοσελίδες απεικονίζουν ότι η 5G τεχνολογία θα έχει πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα από την 4G. Μερικές μελέτες δείχνουν ακόμη ότι το 5G θα είναι περίπου 1000 φορές πιο γρήγορο από το 4G. Επίσης, αναμένεται να αυξηθούν οι ταχύτητες λήψης μέχρι 10 gigabits ανά δευτερόλεπτο. [42]

Μία ακόμη διαφορά είναι ότι ενώ τα 4G-LTE δίκτυα χρησιμοποιούνται και βρίσκονται εδώ και χρόνια σε ταχεία ανάπτυξη, τα 5G δίκτυα αποτελούνται κυρίως από έρευνες και πιλοτικά έργα. Οι υλοποιήσεις για την 5G τεχνολογία είναι σε πρώιμο στάδιο, αφού τα μόνα επίσημα αποτελέσματα για τα 5G δίκτυα αφορούν μόνο πειράματα, δοκιμές και συζητήσεις σε συνέδρια. Ο κλάδος της ασύρματης επικοινωνίας στοχεύει ευρέως στο 2020 για την ευρεία εμπορική ανάπτυξη των 5G δικτύων. [41]

Άλλη μια διαφορά αφορά την καθυστέρηση, καθώς η 5G ασύρματη τεχνολογία θα έχει χαμηλότερη καθυστέρηση από την 4G. Η καθυστέρηση ενός ms θα δώσει την δυνατότητα στους χρήστες για την ταχύτερη λήψη και ταχύτητα φόρτωσης δεδομένων. Επίσης, η 5G τεχνολογία θα μειώσει δραστικά το χρόνο απόκρισης για τη μεταφορά δεδομένων. Ως εκ τούτου, η λήψη και μετάδοση των βίντεο μεταξύ των χρηστών θα είναι σχεδόν στιγμιαία. [42]

Τα 4G και 5G δίκτυα επικοινωνίας θα διαφοροποιούνται επίσης στο εύρος ζώνης. Ο στόχος σχεδιασμού της 4G τεχνολογίας ήταν να παρέχει ροή εύρους ζώνης στους χρήστες. Η ποιότητα των 4G δικτύων επηρεάζεται από την έλλειψη επαρκούς εύρους ζώνης. Κανονικά, ένα 4G δίκτυο λειτουργεί με εύρος ζώνης 200 mbps. Αλλά η ασύρματη 5G τεχνολογία θα έρθει με περισσότερο από 1 gbps bandwidth και θα έχει σχεδιαστεί με δυνατότητες για γρήγορη και ανθεκτική πρόσβαση στο διαδίκτυο σε κάθε χρήστη οποιαδήποτε στιγμή και οπουδήποτε. Έτσι, τα 5G δίκτυα δεν θα αντιμετωπίσουν προβλήματα λόγω έλλειψης εύρους ζώνης και ένας χρήστης θα μπορεί να έχει πρόσβαση στο 5G δίκτυο αμέσως, ανεξάρτητα από την τρέχουσα τοποθεσία του. [42]

Επιπροσθέτως, το 5G έχει σχεδιαστεί για να καλύπτει την επικοινωνία τύπου μηχανής (MTC) που απαιτείται από εφαρμογές IoT και άλλες συνδεδεμένες συσκευές. Σε σύγκριση με το 4G, το 5G είναι καλύτερα εξοπλισμένο για να χειρίζεται διαφορετικούς τύπους κυκλοφορίας και συνδεδεμένες συσκευές. [42]

Τέλος, σε αντίθεση με τα 4G δίκτυα, τα 5G δίκτυα θα πρωτοπορούν σε νέες αρχιτεκτονικές, όπως το cloud RAN και το virtual RAN. Οι τεχνολογίες RAN θα δώσουν τη δυνατότητα σε επιχειρήσεις και παρόχους υπηρεσιών να δημιουργήσουν κεντρικά δίκτυα. Οι πάροχοι μπορούν να επωφεληθούν από τα τοπικά κέντρα δεδομένων για να παρέχουν ταχύτερη και συνεπέστερη σύνδεση στο διαδίκτυο για τους χρήστες. [41]

#### 4.8 ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ 5G ΔΙΚΤΥΩΝ

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η 5G τεχνολογία κινητής επικοινωνίας θα ανοίξει μια νέα διάσταση στην καθημερινότητά μας και θα αλλάξει ουσιαστικά τον τρόπο ζωής μας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο πολλές σημαντικές εταιρείες έχουν κάνει πολλές δοκιμές και demos για την ασύρματη τεχνολογία πέμπτης γενιάς, καθώς η 5G καθοδηγείται από εταιρείες όπως η Huawei, η Intel και η Qualcomm για την modem τεχνολογία και η Lenovo, η Nokia, η Ericsson, η ZTE, η Cisco και η Samsung για την υποδομή. Επιπλέον, ένας μεγάλος αριθμός επιχειρηματιών έχουν κάνει επιδείξεις πάνω στην 5G τεχνολογία, όπως η Korea Telecom για τους χειμερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες του 2018 και η Telstra στους Commonwealth Games του 2018. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι τέσσερις μεγάλες εταιρείες κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή οι AT&T, Verizon, T-Mobile και Sprint, ανακοίνωσαν όλες τις υλοποιήσεις τους. [77]

Οι ευρείας κλίμακας επιδείξεις των πρώιμων 5G δικτύων πραγματοποιήθηκαν στο Super Bowl της Minneapolis το 2018 και στους χειμερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες της Νότιας Κορέας. Ένα άλλο



σημαντικό βήμα προήλθε από το demo του Super Bowl LII της Verizon, το οποίο περιελάμβανε streaming live 4K πάνω στο 5G σε ακουστικά εικονικής πραγματικότητας στη Νέα Υόρκη, ενώ η συνεργασία μεταξύ της Intel, της Samsung και της Korean Telecom (KT) στους Ολυμπιακούς Αγώνες παρουσίασε αυτοκινούμενα οχήματα, καθώς επίσης και 100 κάμερες τοποθετημένες 360 μοίρες γύρω από ένα παγοδρόμιο οι οποίες διαβίβαζαν βίντεο από τους σκέιτερ στους κοντινούς servers και έπειτα πάνω από το Ολυμπιακό 5G δίκτυο της KT. [78]

Τον Μάρτιο του 2019, ο παγκόσμιος σύνδεσμος προμηθευτών κινητών κυκλοφόρησε την πρώτη βάση δεδομένων της βιομηχανίας για την ανίχνευση της παγκόσμιας κυκλοφορίας των 5G συσκευών. Εντοπίστηκαν 23 προμηθευτές που έχουν επιβεβαιώσει τη διαθεσιμότητα των επικείμενων 5G συσκευών. Μέχρι τον Οκτώβριο του 2019, ο αριθμός των ανακοινωθέντων 5G συσκευών είχε αυξηθεί σε 129 από 56 προμηθευτές. Στις 6 Μαρτίου 2020 κυκλοφόρησε το πρώτο all-5G smartphone Samsung Galaxy S20. Στις 19 Μαρτίου, η HMD Global, η σημερινή εταιρεία κατασκευής κινητών τηλεφώνων με επωνυμία Nokia, ανακοίνωσε το Nokia 8.3, το οποίο φέρεται ότι είχε το ευρύτερο φάσμα 5G συμβατότητας από οποιοδήποτε άλλο τηλέφωνο εκείνη τη στιγμή.

#### 4.9 ΜΕΛΕΤΗ 5G ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

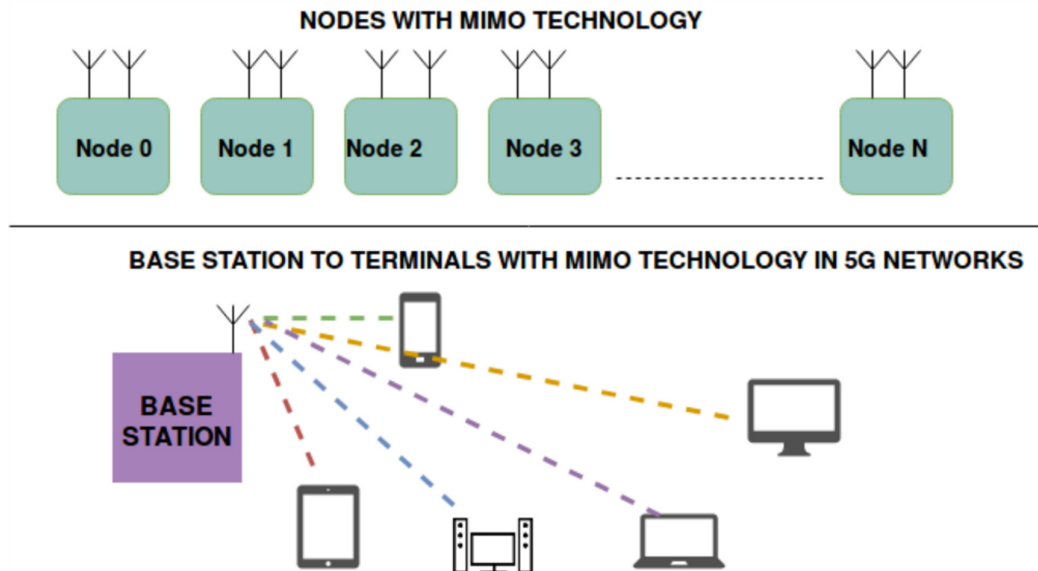
Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται αναφορά και εκτενής ανάλυση στις 5G τεχνολογίες και στις 5G υπηρεσίες. Περιγράφονται και συζητούνται τα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας, καθώς επίσης τι θα προσφέρει η καθεμιά από αυτές μελλοντικά στους χρήστες των 5G κινητών δικτύων επικοινωνίας. Ακόμα, αναφέρονται οι 5G υπηρεσίες και οι περιπτώσεις χρήσης που υπάρχουν για τη χρήση των 5G δικτύων, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στο μέλλον.

### 4.9.1 Κύριες Τεχνολογίες 5G

Οι κύριες τεχνολογίες των 5G κινητών δικτύων επικοινωνίας είναι οι εξής : Massive MIMO, Millimeter Wave, Device-to-Device (D2D) Communication, Energy Efficient Communications (Ενεργειακά Αποδοτικές Επικοινωνίες), Ετερογενή Πυκνά Δίκτυα, Internet of Things (IoT), Software Defined Networking (SDN), Network Function Virtualization (NFV), Big Data and Mobile Cloud Computing και Cognitive Radio, οι οποίες αναλύονται στην συνέχεια.

#### 4.9.1.1 Massive MIMO

Η τεχνολογία Massive MIMO περιλαμβάνει εκατοντάδες κεραιές στους σταθμούς βάσης για την περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας, αλλά και της διακίνησης του συστήματος. Η Massive MIMO χρησιμοποιεί χωρική πολυπλεξία και αμφίδρομη διαίρεση χρόνου (TDD) για την εξυπηρέτηση πολλαπλών χρηστών στους πόρους συχνότητας χρόνου. Υπάρχουν τρεις πιθανές μορφές διάταξης συστοιχιών κεραιάς MIMO στον BS, συγκεκριμένα γραμμικές, ορθογώνιες και κυλινδρικές συστοιχίες, αντίστοιχα. Οι διαφορετικές διατάξεις των σταθμών βάσης MIMO έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικά σενάρια ανάπτυξης. Για παράδειγμα, οι γραμμικές και ορθογώνιες συστοιχίες κεραιάς μπορούν να εγκατασταθούν στην εξωτερική επιφάνεια των πολυώροφων κτιρίων για να εξυπηρετούν εσωτερικούς χρήστες σε διάφορα ύψη αλλά και εξωτερικούς πεζούς χρήστες. Η ορθογώνια συστοιχία κεραιάς μπορεί επίσης να εξυπηρετήσει πολλούς χρήστες χρησιμοποιώντας τεχνική χωρικής πολυπλεξίας. Για τους μετακινούμενους χρήστες, οι κυλινδρικές συστοιχίες μπορούν να αναπτυχθούν για να παρακολουθήσουν τις διαδρομές των χρηστών. [38]



**Σχήμα 4.9.1.1 : Η MIMO Τεχνολογία.**

Αυτή η ασύρματη τεχνολογία περιλαμβάνει έναν αριθμό αποστολέων και αποδεκτών του κύριου σήματος. Αυτή η δυνατότητα προσφέρει τη βελτίωση του ρυθμού μετάδοσης που μεταδίδεται ταυτόχρονα. Επιπλέον, είναι συμβατό με την τεχνολογία 802.11 και στην πραγματικότητα οδηγεί στη βελτίωση της. Επιπροσθέτως, είναι συμβατή με άλλες τεχνολογίες ασύρματου και κινητού δικτύου. Οι υπάρχουσες κεραιές στη βασική δομή αυτής της λύσης μεταδίδουν το σήμα σε μικρές αποστάσεις. Ανάλογα με τον αριθμό των υπάρχουσών κεραιών, αυτή η τεχνολογία ονομάζεται MIMO ή Massive MIMO και θα μπορούσε να περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό κεραιών.

Τα σημαντικά πλεονεκτήματα, που προσφέρει η τεχνολογία MIMO είναι τα ακόλουθα :

- **Υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων** : Περισσότερες κεραιές μπορούν να ανταλλάξουν μηνύματα με περισσότερους χρήστες.
- **Αυξημένη απόδοση φάσματος** : Πολλά σήματα στέλνονται ταυτόχρονα και έτσι το διαθέσιμο φάσμα χρησιμοποιείται με καλύτερο και πιο αποδοτικό τρόπο.

- **Τεράστιος αριθμός χρηστών** : Εξυπηρετούνται από τον τεράστιο αριθμό κεραιών.
- **Βελτιωμένη κάλυψη**
- **Μείωση παρεμβολών**
- **Καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας (QoS)** : Επιτυγχάνεται από τους χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων των error bits.
- **Πιο οικολογική τεχνολογία** : Χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας από την μεριά του αποστολέα. [83]

Παρόλο που τα οφέλη της τεχνολογίας αυτής είναι εμφανώς σημαντικά και απαραίτητα, έτσι ώστε οι χρήστες να απολαμβάνουν την καλύτερη δυνατή εμπειρία, υπάρχουν, επίσης, κάποια μειονεκτήματα, τα οποία είναι :

- **Απαιτήσεις μεγάλης ποικιλίας υλικού** : Κάθε κεραία χρειάζεται μια μονάδα ραδιοσυχνότητας, καθώς και μια μονάδα ψηφιακής επεξεργασίας του σήματος.
- **Απαιτήσεις πολύπλοκου λογισμικού** : οι περισσότεροι αλγόριθμοι επεξεργασίας σήματος αυτών των σημάτων είναι υπολογιστικά μη αποτελεσματικοί.
- **Μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας** : Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι πολύ χαμηλή σε κινητές συσκευές, καθώς επίσης συμβαίνουν θερμικά προβλήματα.
- **Κεραίες** : Υπάρχουν πολλά προβλήματα που προκύπτουν από την προσθήκη των κεραιών στο χώρο. [83]

#### 4.9.1.2 Millimeter Wave

Όπως πρότεινε η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) και πολλές ερευνητικές ομάδες από ακαδημαϊκούς και βιομηχανικούς κλάδους, η millimeter Wave παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες στην ενεργοποίηση της διακίνησης των Gigabit ανά δευτερόλεπτο. Το millimeter Wave αναφέρεται συνήθως στις ζώνες συχνοτήτων στα 30-300 GHz, αλλά οι ερευνητές προτιμούν επίσης να προσθέσουν τις κοντινές ζώνες συχνοτήτων εκατοστού από 24 GHz έως 28 GHz υπό

συζήτηση. Οι ζώνες συχνότητας που δεν έχουν άδεια χρήσης και έχουν περιορισμένη συχνότητα παρέχουν μεγάλο αριθμό διαθέσιμων πόρων φάσματος που μπορούν να υποστηρίξουν τις απαιτήσεις για υψηλό ρυθμό δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και ευέλικτη συνδεσιμότητα για ένα ευρύ φάσμα χρηστών. [38]

Συστήματα επικοινωνίας millimeter Wave που μπορούν να επιτύχουν πολλαπλά μεγέθη δεδομένων σε απόσταση έως μερικά χιλιόμετρα υπάρχουν ήδη για επικοινωνία από σημείο σε σημείο. Εντούτοις, τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα συστήματα (π.χ. ενισχυτές ισχύος, ενισχυτές χαμηλού θορύβου, κεραίες κ.λπ.) είναι ογκώδη και καταναλώνουν υπερβολική ενέργεια ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν στην κινητή επικοινωνία. Η διαθεσιμότητα της ζώνης των 60 GHz ως μη αδειοδοτημένου φάσματος έχει προκαλέσει ενδιαφέρον για την επικοινωνία στα ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής (WPANs) και ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLANs). [43]

Μετά από βαθιά ανάλυση των χαρακτηριστικών διάδοσης, εξήχθη το συμπέρασμα ότι η τεχνολογία millimeter Wave μπορεί να παρέχει το εύρος ζώνης που απαιτείται για τις κινητές ευρυζωνικές εφαρμογές για τις επόμενες δεκαετίες και μετά. Οι millimeter Wave συχνότητες των 28 GHz και 38 GHz μελετώνται εκτεταμένα για να γίνουν κατανοητά τα χαρακτηριστικά διάδοσης σε διαφορετικά περιβάλλοντα, ανοίγοντας το δρόμο για τη χρήση τους σε 5G συστήματα. [43]

Έτσι, τα οφέλη από τη χρήση της millimeter Wave τεχνολογίας είναι τα εξής :

- **Πιο αποτελεσματικοί αλγόριθμοι** : Οι αποτελεσματικές τεχνικές κατανομής μνήμης θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αποτελεσματικότερη συντήρηση των ροών βίντεο, να βελτιώσουν την ποιότητα της επικοινωνίας ακόμη και όταν ο χρήστης κινητής τηλεφωνίας και οι BS είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους για πολύ μικρό χρονικό διάστημα.
- **Η καινοτόμος αδειοδότηση της millimeter Wave** : Εξασφαλίζει τα οφέλη από την πλήρη προστασία από παρεμβολές και μπορεί να

εφαρμοστεί μέσα σε λίγα λεπτά μέσω του Διαδικτύου με μικρό κόστος ετησίως.

- **Επικοινωνίες με ρυθμούς δεδομένων Gigabit / second**
- **Ψηφιακή χρήση Beamforming** : Οδηγεί στην αύξηση της απόδοσης.
- **Εύρος ζώνης 30-300 GHz**
- **E-band** : Περιλαμβάνει τα 71-76 GHz και τα 81-86 GHz και είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον σήμερα, αφού υπάρχουν εμπορικά συστήματα αυτών των ζωνών. Διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως τα υψηλά κέρδη κεραίας και την επιτρεπόμενη ισχύ εξόδου, εγγυημένα υψηλά ποσοστά δεδομένων, μεταδόσεις μεγάλων αποστάσεων, χαμηλού κόστους και ταχείας αδειοδότησης πολιτική, οικονομικά αποδοτικές λύσεις.
- **Καινοτομία** : Καθώς το μήκος κύματος είναι τόσο μικρό, οι κεραίες πρέπει να χρησιμοποιούνται με νέους τρόπους. [84],[85],[86],[87]

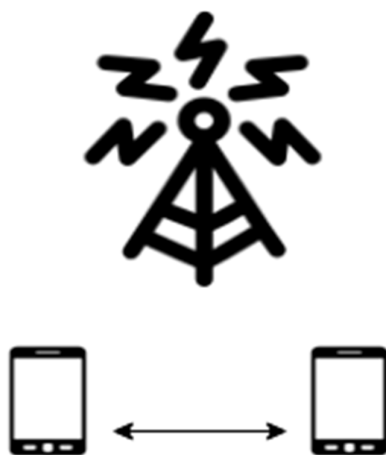
Από την άλλη πλευρά, οι κύριες προκλήσεις για τις millimeter Wave επικοινωνίες περιλαμβάνουν τα εξής :

- **Απώλειες διάδοσης** : Οι επικοινωνίες millimeter Wave αντιμετωπίζουν σοβαρές απώλειες διάδοσης λόγω των ζωνών υψηλής συχνότητας.
- **Απαιτείται πρότυπο Beamforming** : Ο δέκτης κινητού σταθμού χρειάζεται να χρησιμοποιεί μια συστοιχία πολλαπλών κεραίων για να σχηματίσει ένα πρότυπο Beamforming προς το BS.
- **Τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης** : π.χ. Μείωση σήματος εξαιτίας της διάδοσης στο χώρο, του αέρα και της βροχής.
- **Αύξηση κόστους** : Λόγω των υφιστάμενων χρηστών που πρέπει να αφαιρεθούν από το φάσμα όταν είναι αδειοδοτημένο.
- **Καθυστερήσεις**
- **Αύξηση εξοπλισμού**
- **Δυσκολία στην εκτίμηση της ακρίβειας**
- **E-band προκλήσεις** : Αυξημένος θόρυβος φάσης, περιορισμένος κέρδος ενισχυτή, κ.α.

- **Αντανακλάσεις** : Προκαλούν πρόσθετη απώλεια ισχύος και έχουν επιπτώσεις στην απόδοση. [84], [85], [86], [87]

#### 4.9.1.3 Device To Device Communication

Αυτή η 5G τεχνολογία αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, όπου κάθε τερματικό του χρήστη είναι σε θέση να επικοινωνεί απευθείας με άλλους τερματικούς σταθμούς, με σκοπό να μοιραστούν την σύνδεση ασύρματης πρόσβασης ή να ανταλλάξουν πληροφορίες, χωρίς να επικοινωνήσουν με το BS ή το κεντρικό δίκτυο. Σε συνδυασμό με τον έλεγχο ισχύος, οι D2D επικοινωνίες μπορούν να μειώσουν τις παρεμβολές, ειδικά στις ζώνες μη εξουσιοδοτημένων συχνοτήτων. Η επικοινωνία D2D θα αποτελέσει ένα νέο υπόβαθρο χαμηλού κόστους αρχιτεκτονικής, με στόχο την αύξηση της κάλυψης και της χωρητικότητας, την αποφόρτιση των μεταδόσεων, καθώς και την παροχή εναλλασσόμενης συνδεσιμότητας για να αποφευχθεί η πλήρης αποτυχία του συστήματος. [43]



#### D2D Communications

Σχήμα 4.9.1.3 : Η D2D Τεχνολογία.

Οι D2D επικοινωνίες θα βελτιώσουν την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) του κυψελοειδούς δικτύου, καθώς η αναμετάδοση μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση των ρυθμών μετάδοσης των χρηστών στην άκρη των κυψελών. Το άλλο σενάριο, όπου οι συσκευές επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, θα μετριάσει την κίνηση δεδομένων μεταξύ κοντινών συσκευών και BS. Αυτό μπορεί να αποφορτίσει την χωρητικότητα του BS και ταυτόχρονα να προσφέρει καλύτερη εμπειρία στον χρήστη. [38]

Επιπροσθέτως, οι D2D επικοινωνίες παρέχουν αρκετά πλεονεκτήματα στους χρήστες, λόγω της μειωμένης απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη, που επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Ακόμα, οι επικοινωνίες μεταξύ των συσκευών εκμεταλλεύονται την επαναχρησιμοποίηση φασματικών πόρων σε άλλες τοποθεσίες, δεδομένου ότι η εμβέλεια επικοινωνίας μειώνεται. Τέλος, η επικοινωνία από συσκευή σε συσκευή επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός μοναδικού συνδέσμου στο D2D, ενώ η συμβατική επικοινωνία μέσω BS απαιτεί αμφότερες τις uplink και downlink επικοινωνίες. [38]

Στο επίπεδο εφαρμογής, οι D2D επικοινωνίες θα ξεκλειδώσουν διάφορες καινοτόμες εφαρμογές και υπηρεσίες. Μια σημαντική εφαρμογή είναι στον τομέα της δημόσιας ασφάλειας και προστασίας. Σε περιπτώσεις όπως ατυχήματα σε μεγάλες σήραγγες, κατολισθήσεις και σεισμούς, όπου τα κυψελοειδή δίκτυα δεν είναι διαθέσιμα ή καταρρέουν, οι επικοινωνίες μεταξύ των συσκευών μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν για επιχειρήσεις διάσωσης. Επίσης, οι D2D επικοινωνίες θα βοηθήσουν σε μεγάλο βαθμό στις επικοινωνίες τύπου μηχανής, ειδικά στις επικοινωνίες οχημάτων με οχήματα, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση των ατυχημάτων και άλλων συναγερμών σχετικά με τις διαδρομές, όπως η εύρεση διαδρομών σε αυτοκινούμενα αυτοκίνητα. [38]

Μια άλλη χρήση της επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών αποτελεί το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση πολλών συσκευών, όπως smartwatches με smartphones. Αν και άλλες τεχνολογίες, όπως το bluetooth, συνδέουν επίσης συσκευές σε κινητά



τηλέφωνα, ένα ενιαίο πρωτόκολλο θα επέτρεπε χαμηλότερο κόστος και κατανάλωση ενέργειας των συσκευών. Από την άποψη της κινητικότητας των χρηστών, οι D2D επικοινωνίες προσφέρουν ένα πιο αξιόπιστο περιβάλλον, όπου το bluetooth δεν έχει σχεδιαστεί για περιβάλλον με υψηλή κινητικότητα. Τέλος, οι D2D επικοινωνίες θα ξεκλειδώσουν επίσης νέους τύπους εφαρμογών κοινωνικής δικτύωσης, όπου οι κοντινές συσκευές μπορούν να δημιουργήσουν απευθείας συνδέσεις. [38]

Συνοψίζοντας, τα κύρια πλεονεκτήματα της D2D τεχνολογίας είναι :

- **Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης**
- **Επαναχρησιμοποίηση φάσματος**
- **Βελτίωση της κατανάλωσης ενέργειας**
- **Βελτίωση της συνολικής απόδοσης**
- **Συνδυασμός με απευθείας Wi-Fi:** Μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και τις καθυστερήσεις.
- **Επικοινωνίες μικρής απόστασης:** Υψηλή επαναχρησιμοποίηση χώρου.
- **Καινοτόμες εφαρμογές και υπηρεσίες** [88], [89], [90]

Μερικά από τα κύρια μειονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση της D2D τεχνολογίας είναι τα εξής :

- **Κατανάλωση ενέργειας :** Η συσκευή καταναλώνει ενέργεια, έτσι ώστε να μπορεί να συνδεθεί με άλλες συσκευές.
- **Διαχείριση παρεμβολών**
- **Συνύπαρξη με δίκτυα καθυστέρησης**
- **Ασφάλεια**
- **Περιορισμένη ικανότητα διαπεραστικότητας**
- **Δραστηριότητα χρήστη:** Είναι πολύ δύσκολο ή και αδύνατο να ελεγχθεί. [88], [91]

#### 4.9.1.4 Energy Efficient Communications

Οι ενεργειακά αποδοτικές επικοινωνίες αναφέρονται στην μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας και τη μετάβαση προς τις εναλλακτικές λύσεις επικοινωνίες (green communications) είναι σημαντικές όχι μόνο από περιβαλλοντική άποψη, αλλά και από οικονομική. Η ενεργειακή απόδοση του κυψελοειδούς δικτύου μπορεί να βελτιωθεί υιοθετώντας αρκετές στρατηγικές ανάπτυξης δικτύων. Αυτές οι στρατηγικές μπορούν να είναι η συνεργασία του σταθμού βάσης, οι διαφορετικές τοπολογίες κυψελών και τα συστήματα κατανομημένης κεραίας. [43]

Σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση μπορούν επίσης να επιτευχθούν σε ετερογενή κυψελοειδή δίκτυα με τη χρήση μικρών κυττάρων. Επί του παρόντος, οι σταθμοί βάσης μικρών κυψελών τοποθετούνται σε θέσεις για να βελτιωθεί η χωρητικότητα του δικτύου, καθώς και να μειωθεί το κόστος της υποδομής και της ανάπτυξης. Αυτές οι βελτιστοποιήσεις είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές σε περιοχές όπου χρειάζεται εξαιρετικά υψηλή χωρητικότητα και υψηλοί ρυθμοί δεδομένων, όπως γραφεία, εμπορικά κέντρα, σταθμοί μετρό κ.α., όπου η πυκνότητα των χρηστών είναι μεγάλη. Δεδομένου ότι τα περισσότερα από αυτά τα σημεία είναι εσωτερικά, τα εσωτερικά σημεία πρόσβασης πρέπει να αναπτυχθούν έτσι ώστε να αποφευχθεί η σπατάλη ενέργειας λόγω της διείσδυσης τοίχου. [43]

Μια άλλη επιπλοκή στα κυψελοειδή δίκτυα είναι η υψηλή μεταβλητότητα της κυκλοφορίας του δικτύου με το χρόνο, λόγω του τρόπου που χρησιμοποιεί ο καθένας για να έχει πρόσβαση στο δίκτυο την ίδια χρονική στιγμή. Αυτό προκαλεί τεράστια διαφορά στην κίνηση του κυττάρου μεταξύ της ώρας αιχμής και μη. Οι αναφορές δείχνουν ότι η διαφορά μεταξύ μέγιστης και μέσης κυκλοφορίας αυξάνεται και το μέγιστο ποσοστό κυκλοφορίας αναμένεται να αυξηθεί πολύ πιο γρήγορα από το ρυθμό αύξησης της μέσης κυκλοφορίας. Αυτό καθιστά τους φορείς παροχής των δικτύων να αναπτύξουν περισσότερους σταθμούς βάσης για να υποστηρίξουν την κυκλοφορία του δικτύου

κατά την ώρα αιχμής. Αυτό προκαλεί περιττή κατανάλωση ενέργειας και σπατάλη, ενώ δεν είναι απαραίτητο. [43]

Αυτό θα μπορούσε να μειωθεί με τη συστηματική απενεργοποίηση ορισμένων σταθμών βάσης που δεν απαιτείται να λειτουργούν. Με βάση το πρότυπο κυκλοφορίας, μπορούν να αναπτυχθούν αναλυτικά μοντέλα για τον προσδιορισμό των βέλτιστων χρόνων απενεργοποίησης των BS. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η διακύμανση των απαιτήσεων κυκλοφορίας, μεταξύ διαφόρων φορέων δικτύου που εξυπηρετούν την ίδια γεωγραφική περιοχή, διαφέρει σημαντικά. Ως εκ τούτου, η υποδομή δικτύου διαφόρων φορέων δικτύων θα μπορούσε να μοιραστεί μεταξύ τους για να μειωθεί δραματικά η κατανάλωση ενέργειας, παρέχοντας παράλληλα καλύτερη κάλυψη και χωρητικότητα. [43]

Μια άλλη προσέγγιση για την επίτευξη πράσινων δικτύων επικοινωνίας είναι η συγκομιδή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ηλιακή, αιολική, δονήσεις στο BS και η χρήση τους για τη λειτουργία του, τη μείωση ή ακόμη και την εξάλειψη της χρήσης της συμβατικής κατανάλωσης ενέργειας. Εκτός των φυσικών πηγών ενέργειας, προτείνεται επίσης η συγκομιδή συνθετικών πηγών ενέργειας, όπως η μεταφορά ενέργειας σε μικροκύματα. Παρέχεται μια ολοκληρωμένη μελέτη της ηλιακής ενέργειας που μπορεί να συλλεγεί και εάν ένα BS που λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια μπορεί να γίνει σταθερά λειτουργικό. [43]

Έτσι, συνάγεται το συμπέρασμα ότι, αποθηκεύοντας την πλεονάζουσα ηλιακή ενέργεια, η οποία λαμβάνεται και αποθηκεύεται μέχρι το απόγευμα και χρησιμοποιείται το βράδυ, μπορεί να επιτευχθεί η συνεχής αυτοσυντήρηση κατά τη διάρκεια περιόδων άφθονου ηλιακού φωτός ακόμη και το χειμώνα, αποφεύγοντας την άντληση ισχύος από το δίκτυο για τρεις έως έξι ώρες την ημέρα. Εκτός από τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα επιτρέψει επίσης τη δημιουργία αυτοσυντηρούμενου BS σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει ισχύς, βελτιώνοντας έτσι την κάλυψη. [43]

#### 4.9.1.5 Ετερογενή Πυκνά Δίκτυα

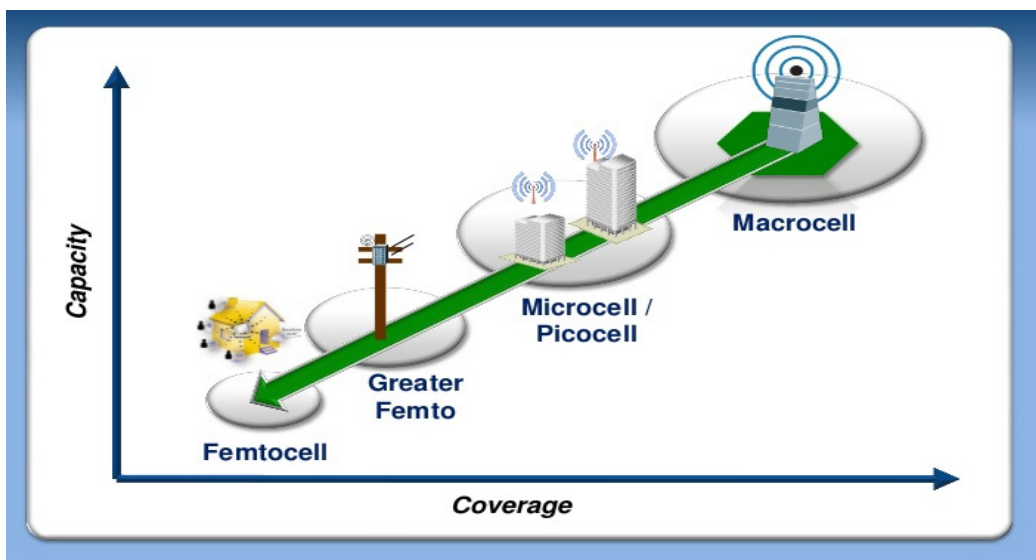
Η παραδοσιακή macrocell αρχιτεκτονική δικτύου χρησίμευσε ως βασική αρχιτεκτονική δικτύου στα 4G συστήματα. Οι εκτιμήσεις έχουν δείξει ότι η μηνιαία κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας σε όλο τον κόσμο θα αυξηθεί ακόμα πιο ραγδαία στα επόμενα χρόνια. Τέτοια τεράστια αύξηση στη ζήτηση εύρους ζώνης προέρχεται από την επιταχυνόμενη ανάπτυξη νέων συσκευών smartphone, tablet, φορητών συσκευών και άλλων τύπων νέων συσκευών που απαιτούν πρόσβαση στο δίκτυο με αξιοπρεπή συνδεσιμότητα για περιαγωγή δεδομένων και ροή βίντεο. Με την πρωτοφανή ποικιλία των κινητών συσκευών, εφαρμογών και υπηρεσιών, το κυψελοειδές 5G δίκτυο απαιτεί υψηλή ευελιξία σε όλα τα επίπεδα δικτύου. [38]

Ωστόσο, οι παραδοσιακοί τωρινοί σταθμοί βάσης δεν μπορούν να συμβαδίσουν με αυτήν την αύξηση. Προκειμένου να εξυπηρετηθούν τα συνεχώς αυξανόμενα τερματικά χρήστη και να εκφορτωθεί η συμφόρηση στη ροή δεδομένων στους 4G σταθμούς βάσης, δύο σημαντικές λύσεις ευνοϊκές για πολλούς είναι η χωρική συμπύκνωση και η φασματική συσσώρευση, η οποία μπορεί να δημιουργήσει περισσότερα στρώματα κυψελών και να διαχειριστεί σοφά τους κοινούς πόρους του φάσματος, έτσι ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα. [38]

Η μείωση του μεγέθους των κυψελών είναι μία από τις λύσεις που διαθέτουν οι φορείς παροχής δικτύων για την αύξηση των απαιτήσεων ρυθμών μετάδοσης. Με τη μείωση του μεγέθους της κυψέλης, η φασματική απόδοση της περιοχής συσσωρεύεται μέσω της επαναχρησιμοποίησης υψηλότερης συχνότητας, ενώ η ισχύς μετάδοσης μπορεί να μειωθεί έτσι ώστε η απώλεια ισχύος μέσω της διάδοσης να είναι χαμηλότερη. Επιπλέον, η κάλυψη μπορεί να βελτιωθεί με την ανάπτυξη μικρών κυψελών σε εσωτερικούς χώρους, όπου η λήψη ενδέχεται να μην είναι καλή, και με την εκφόρτωση της κυκλοφορίας όταν απαιτείται. Τέτοιες αλλαγές στη λειτουργική αρχιτεκτονική των δικτύων πρόσβασης επιτρέπουν στα σήματα δεδομένων και ελέγχου να

περάσουν μέσω του Διαδικτύου, επιτρέποντας την ανάπτυξη μικρών κυψελών οπουδήποτε υπάρχει σύνδεση στο Internet. [43]

Η ταυτόχρονη λειτουργία διαφορετικών τεχνολογιών καθώς και διάφορων κατηγοριών BS (δηλ. macro, pico και femto) είναι γνωστή ως ετερογενή δίκτυα (HetNets). Η ομάδα των μικρότερων στοιχείων για τα HetNets, συμπεριλαμβανομένων των picocells, femtocells και των διανεμημένων στοιχείων κεραίας, θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση της απόδοσης του συστήματος. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να προσφέρει ευέλικτη κάλυψη και βελτιωμένη φασματική και ενεργειακή απόδοση. Η επικάλυψη διαφορετικών κατηγοριών BS μπορεί επίσης να προσφέρει μια λύση για την αυξανόμενη κυκλοφορία δεδομένων, ειδικά όταν η μετάδοση είναι βελτιστοποιημένη για να επωφεληθεί από τα χαρακτηριστικά των HetNets. [38], [43]



**Σχήμα 4.1.1 : Η πυκνότητα των δικτύων ως συνδυασμός femtocell, picocell, microcell και macrocell. [44]**

Τα 5G δίκτυα αναμένεται να υποστηρίξουν πολλαπλές ασύρματες τεχνολογίες με επικαλυπτόμενη κάλυψη που αναπτύσσεται ως μέρος

ενός HetNet, δημιουργώντας πλούσιες ευκαιρίες για τον συνδυασμό και την αύξηση της χωρητικότητας. Για να επιτευχθεί αυτό, τα 5G συστήματα θα πρέπει να υποστηρίξουν αρχιτεκτονικές δικτύου και πρωτόκολλα από άκρο σε άκρο, που συνδυάζουν άψογα πολλαπλές ασύρματες ραδιοτεχνολογίες (λειτουργώντας με αδειοδοτημένες, χωρίς άδεια και υψηλότερης συχνότητας ζώνες) μαζί σε ένα ενιαίο δίκτυο εικονικής πρόσβασης και να το κάνουν αυτό κατά τρόπο διαφανή για τους τελικούς χρήστες. Ένα ολοκληρωμένο δίκτυο εικονικής πρόσβασης θα επιτρέψει την από κοινού διαχείριση και την ταυτόχρονη χρήση ραδιοφωνικών πηγών σε διάφορες ραδιοτεχνολογίες για να βελτιώσει σημαντικά την χωρητικότητα και την κάλυψη, καθώς επίσης και την αξιοπιστία των συνδέσμων (link). [43]

Προκειμένου να υποστηριχθεί η υψηλή κινητικότητα, δηλαδή η κινητικότητα των χρηστών σε οχήματα υψηλής ταχύτητας, προτάθηκε η έννοια της κινητής Femtocell (MFemtocell). Τα MFemtocells βρίσκονται μέσα σε οχήματα για να επικοινωνούν με τους χρήστες εντός του οχήματος, ενώ μεγάλοι πίνακες κεραιών βρίσκονται εκτός του οχήματος για να επικοινωνούν με εξωτερικούς υπαίθριους BS. Ένα MFemtocell και οι συνδεδεμένοι χρήστες του θεωρούνται όλοι ως μια ενιαία μονάδα στο BS. Από την άποψη του χρήστη, ένα MFemtocell θεωρείται ως κανονικό BS. Αυτό είναι πολύ παρόμοιο με την έννοια του διαχωρισμού εσωτερικών και εξωτερικών σεναρίων. [43]

Γενικά, τα ετερογενή πυκνά δίκτυα αποτελούνται από μικρές διαφορετικές κυψέλες, οι οποίες επαναχρησιμοποιούν το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Έτσι, τα πλεονεκτήματα που απολαμβάνουν οι χρήστες είναι :

- **Υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερο round-trip time**
- **Βελτιωμένη εσωτερική κάλυψη**
- **Κλειστή πρόσβαση ομάδας χρηστών**

#### 4.9.1.6 Internet Of Things (IoT)

Το Internet of Things (IoT) είναι η βασική ιδέα που αλλάζει πολλές προοπτικές στο τοπίο των 5G κυψελοειδών δικτύων. Το IoT είναι το δίκτυο των καθημερινών φυσικών αντικειμένων, όπως οχημάτων, συσκευών κλπ. Ορισμένα παραδείγματα των συσκευών που θα ήταν μέρος του IoT είναι οι φούρνοι μικροκυμάτων, τα πλυντήρια, τα φορητά έξυπνα ρολόγια και οι οθόνες παρακολούθησης της υγείας. [38]

Αυτές οι συσκευές και τα αντικείμενα με ενσωματωμένους αισθητήρες συνδέονται με μια πλατφόρμα, η οποία περιλαμβάνει δεδομένα από τις διάφορες συσκευές και εφαρμόζει αναλυτικά στοιχεία για να μοιράζονται τις πιο πολύτιμες πληροφορίες με εφαρμογές που έχουν δημιουργηθεί για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων αναγκών. Οι συσκευές IoT μπορούν να εντοπίσουν ακριβώς ποιες πληροφορίες είναι χρήσιμες και να τις εκμεταλλευτούν κατάλληλα. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να αυτοματοποιήσει επαναλαμβανόμενες, χρονοβόρες ή ακόμα και επικίνδυνες εργασίες. Μία πρόκληση για τους παραγωγούς τεχνολογικών συστημάτων IoT είναι η διαχείριση και η ερμηνεία του τεράστιου όγκου πληροφοριών που παράγουν οι συσκευές λόγω της συνεχούς επικοινωνίας με το δίκτυο (streaming data). [49]

Μία άλλη πρόκληση είναι η αποθήκευση των τεράστιων παραγόμενων δεδομένων. Σε αρκετές περιπτώσεις τα συστήματα απαιτούν μεγάλο όγκο πληροφοριών με αποτέλεσμα υψηλές απαιτήσεις για αποθηκευτικό χώρο. Στην σημερινή εποχή, το Internet είναι υπεύθυνο για την παραγωγή του 5% της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ υπάρχει κίνδυνος να αυξηθεί εάν αρχίσει η καθολική εφαρμογή του IoT ανά τον κόσμο. [49]

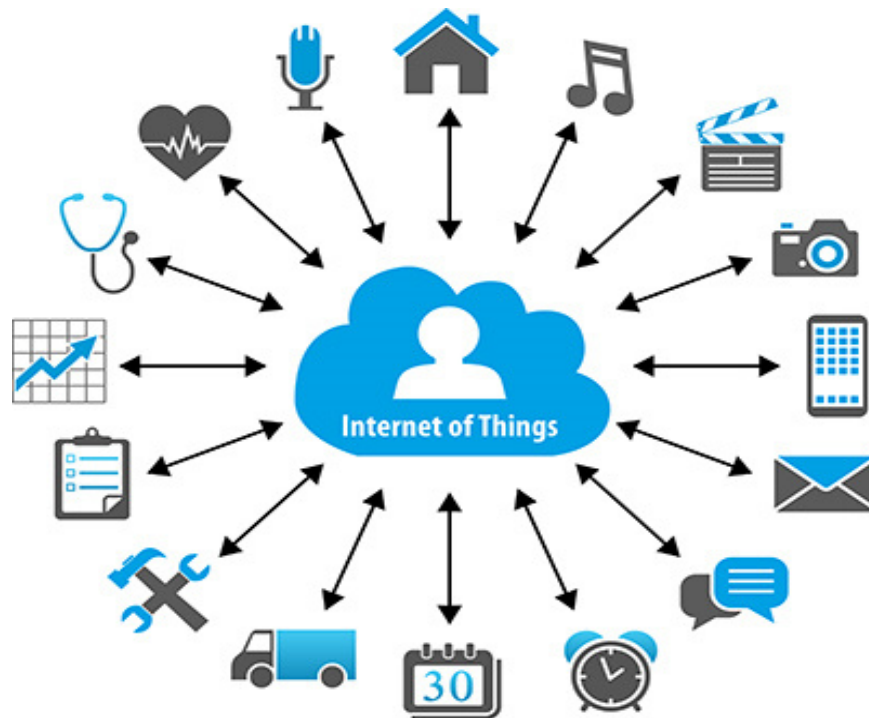
Με εφαρμογές σε διάφορους τομείς, η εμφάνιση του IoT θα επιτρέψει τη σύνδεση πολλών συσκευών στο Internet. Αυτή η αλλαγή, από την ιδέα των συνδεδεμένων ανθρώπων σε συνδεδεμένα πράγματα, προβλέπει ότι ο αριθμός των συσκευών στο δίκτυο θα αυξηθεί στα 50 δισεκατομμύρια μέχρι το 2020. Λόγω του μεγάλου όγκου των συσκευών IoT που αναμένεται να συνδεθούν και της πληθώρας των εφαρμογών

που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, οι συσκευές IoT διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό των 5G συστημάτων και τα διάφορα μέρη του 5G δικτύου σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις του IoT. [38]

Ανακεφαλαιώνοντας, η τεχνολογία IoT αποτελεί το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας συσκευών, οικιακών συσκευών, αυτοκινήτων καθώς και κάθε αντικείμενου που ενσωματώνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο, ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων. Απλούστερα, η φιλοσοφία του IoT είναι η σύνδεση όλων των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους (τοπικό δίκτυο) ή με δυνατότητα σύνδεσης στο Internet. Με την έννοια "Things" δεν γίνεται αναφορά αποκλειστικά και μόνο σε προϊόντα. Αναφέρεται σε μία ευρεία ποικιλία συσκευών, εντελώς διαφορετικά μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα αυτοκίνητα με ενσωματωμένους αισθητήρες, κάμερες, κλιματιστικά, φώτα, συστήματα ασφαλείας, smartwatches ακόμα και αυτοκίνητα των οποίων οι περίπλοκοι αισθητήρες εντοπίζουν αντικείμενα στην πορεία τους. Βασικό χαρακτηριστικό όλων των προϊόντων τεχνολογίας είναι η σύνδεση μεταξύ τους, με απώτερο σκοπό την δυνατότητα του χρήστη να τα ελέγχει από έναν υπολογιστή ή ένα κινητό. [49]

Όπως γίνεται αντιληπτό, η χρησιμότητα του IoT είναι μεγάλη και η ζήτηση από τους υποψήφιους αγοραστές ακόμα μεγαλύτερη. Ως επί το πλείστον, οι άνθρωποι αποζητούν την αυτονομία σε πολλά πράγματα γύρω τους. Από ένα αυτόματο ξυπνητήρι μέχρι το έξυπνο ψυγείο που ενημερώνει το χρήστη για βασικές ελλείψεις, ή ακόμα και την δυνατότητα ενεργοποίησης κλιματισμού πριν ακόμα ο χρήστης εισέλθει στο σπίτι, είναι μερικές από τις δυνατότητες που προσφέρει το IoT. Η χρήση του δεν παραμένει μόνο εκεί, αλλά επεκτείνεται και στις επιχειρήσεις, οι οποίες εκμεταλλεύονται την δυνατότητα αποθήκευσης και επεξεργασίας των δεδομένων από cloud συστήματα. [49]





**Σχήμα 4.1.2 : Η διασύνδεση των συσκευών και προϊόντων στην 5G τεχνολογία Internet of Things. [50]**

Συνοψίζοντας, οι κύριες υπηρεσίες που θα είναι σε θέση να προσφέρει η IoT τεχνολογία είναι οι εξής :

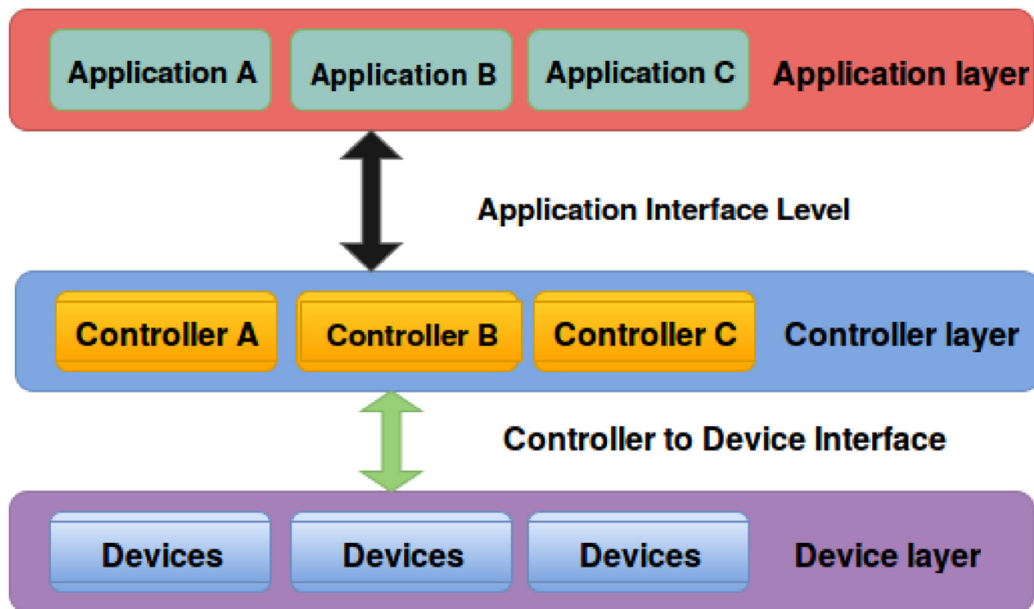
- **Εφαρμογές για την υγεία :** Οι πιθανές εφαρμογές του IoT μπορούν να ενισχύσουν την κατάσταση των νοσηλευόμενων ασθενών. Αρκετοί αισθητήρες σώματος που μπορούν να φορεθούν θα μπορούσαν να ανταποκριθούν σε αυτή την κατεύθυνση. Το επίπεδο γλυκόζης, το ηλεκτροκαρδιογράφημα, η αρτηριακή πίεση, η θερμοκρασία του σώματος και η παρακολούθηση της αναπηρικής πολυθρόνας αποτελούν τις βασικές προσφορές της τεχνολογίας IoT στον τομέα της υγείας. Ακόμα και έξω από τα νοσοκομεία, η ανίχνευση και παρακολούθηση της στάθμης της γλυκόζης μπορεί να είναι ζωτικής σημασίας για τους ασθενείς που πάσχουν από διαβήτη. [92], [93]

- **Βασικές Τεχνολογίες** : Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και χρειάζονται για να οικοδομηθεί το περιβάλλον IoT συνίστανται στην ταυτοποίηση στοιχείων, αισθητήρων, ενσωματωμένων συστημάτων και νανοτεχνολογίας. Βασικά ζητήματα που συνδέονται με το IoT είναι η ασφάλεια τροφίμων, οι φυσικές καταστροφές και οι εφαρμογές νερού. [94]
- **"Έξυπνες" οικιακές εφαρμογές** : Όπως ο έλεγχος της θερμοκρασίας του νερού στον ηλιακό θερμοσίφωνα, η ένταση του φωτισμού στον εξωτερικό χώρο ενός σπιτιού, κ.α. [95]
- **"Έξυπνες" πόλεις** : Υπάρχουν καινοτόμοι τρόποι εκμετάλλευσης των δεδομένων που οδηγούν σε νέες υπηρεσίες και λειτουργίες, που αφορούν την ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων. [96]

#### 4.9.1.7 Software Defined Networking (SDN)

Η SDN είναι μια τεχνολογία που λειτουργεί σε διαχειριστικές συσκευές δικτύωσης. Η αρχιτεκτονική του αποτελείται από τρία μέρη, το πρώτο είναι το επίπεδο δεδομένων (Data Plane), το δεύτερο είναι το επίπεδο ελέγχου (Control Plane) και το τρίτο είναι το επίπεδο εφαρμογών (Application Plane). Στο επίπεδο δεδομένων γίνεται η προώθηση των δεδομένων μέσω του δικτύου, ενώ στο επίπεδο ελέγχου υπάρχει ένας ελεγκτής, ο οποίος παίρνει αποφάσεις και ελέγχει τη ροή των δεδομένων. [53]

Η SDN είναι μια έξυπνη αρχιτεκτονική δικτύου, που αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των περιορισμών υλικού και έχει σαν βασική αρχή τον διαχωρισμό του Data Plane από το Control Plane. Ο σκοπός της εισαγωγής της SDN είναι η αφαίρεση των λειτουργιών χαμηλότερου επιπέδου και η μετακίνησή τους σε ένα κανονικοποιημένο επίπεδο ελέγχου, το οποίο διαχειρίζεται τη συμπεριφορά του δικτύου, μέσω των διεπαφών του προγράμματος εφαρμογών (APIs). Από ένα κεντρικό, βασισμένο σε λογισμικό επίπεδο ελέγχου, οι διαχειριστές δικτύου μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες μέσω του δικτύου, παρά τα συνδεδεμένα στοιχεία υλικού. [51]



**Σχήμα 4.1.3 : Η αρχιτεκτονική της SDN τεχνολογίας.**

Με το διαθέσιμο φάσμα, η 5G πρόκειται να ωθήσει τα όρια του τι είναι εφικτό και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια της SDN. Η SDN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει ένα γενικό πλαίσιο, που θα επιτρέπει στη 5G τεχνολογία να λειτουργεί μέσω ενός επιπέδου ελέγχου. Μπορεί να παρέχει καλύτερες ροές δεδομένων, καθώς τα δεδομένα μετακινούνται μέσω του 5G δικτύου. Επιπλέον, η αρχιτεκτονική SDN μπορεί να ελαχιστοποιήσει το εύρος ζώνης δικτύου και να βελτιώσει την καθυστέρηση. Τέλος, εφόσον η SDN μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε 5G δίκτυα, παρέχει έναν τρόπο διαχείρισης και αυτοματοποίησης του πλεονασμού του δικτύου από ένα κεντρικό επίπεδο ελέγχου, παρακάμπτοντας μεγάλες διακοπές λειτουργίας, καθορίζοντας τις βέλτιστες ροές δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. [51]

#### 4.9.1.8 Network Function Virtualization (NFV)

Η NFV, μια συμπληρωματική έννοια για την SDN, επιτρέπει την εικονικοποίηση ολόκληρων λειτουργιών δικτύου που ήταν συνδεδεμένες με το υλικό (hardware), πριν από την εκτέλεση της υποδομής του cloud. Συγκεκριμένα, σε συμβατικές αρχιτεκτονικές, οι φορείς εκμετάλλευσης αγοράζουν και εγκαθιστούν ιδιόκτητες συσκευές για την ανάπτυξη κάθε λειτουργίας δικτύου, ενώ το εξειδικευμένο υλικό είναι συνήθως πολύ ακριβό αλλά ελάχιστα διαμορφώσιμο. Λόγω αυτών των περιορισμών, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων αντιμετωπίζουν προβλήματα σε χαμηλή ευελιξία, γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερους κύκλους προϊόντων. Η NFV τεχνολογία, που αναδύεται ως καινοτομία στα κυψελοειδή 5G συστήματα, αποσυνδέει το φυσικό υλικό και τις υποκείμενες λειτουργίες δικτύου και επιτρέπει στις λειτουργίες του δικτύου να λειτουργούν κεντρικά σε γενικούς cloud servers, παρέχοντας έτσι πλεονεκτήματα όσον αφορά την επεκτασιμότητα και την ευελιξία. [38]

Η NFV τεχνολογία μειώνει σημαντικά τα κεφαλαιουχικά έξοδα (CAPEX) που απαιτούνται για την αγορά συσκευών υλικού και την εξοικονόμηση λειτουργικών εξόδων (OPEX), συγκεντρώνοντας τους πόρους για λειτουργίες εικονικού δικτύου που λειτουργούν σε μια συγκεντρωτική ομάδα εξυπηρετητών. Ο όρος CAPEX αναφέρεται στα χρήματα που μια επιχείρηση δαπανά για να αγοράσει, να διατηρήσει ή να βελτιώσει τα πάγια περιουσιακά της στοιχεία, όπως κτίρια, οχήματα, εξοπλισμό ή γη. Ο όρος OPEX αναφέρεται σε ένα συνεχές κόστος για τη λειτουργία ενός προϊόντος, μιας επιχείρησης ή ενός συστήματος. Για μεγαλύτερα συστήματα όπως οι επιχειρήσεις, το OPEX μπορεί επίσης να περιλαμβάνει το κόστος των εργαζομένων και τα έξοδα εγκαταστάσεων, όπως το ενοίκιο. [38], [70], [71]

Μία περίπτωση χρήσης NFV είναι το IoT. Συγκεκριμένα, καθώς το πρότυπο IoT και οι εκτεταμένες εφαρμογές του δημιουργούν έναν εκρηκτικό αριθμό συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο, η NFV θα προχωρήσει πολύ για να μειώσει το κόστος των συσκευών IoT, μειώνοντας τις λειτουργίες των συσκευών και κάνοντας εικονικοποίηση

στις λειτουργίες αυτές. Ως άλλη περίπτωση χρήσης της NFV, η χρήση ιδιόκτητων εξοπλισμών σε δίκτυα κινητών πυρήνων προκαλεί άκαμπτες και χρονοβόρες αναπτύξεις καθώς επίσης δαπανηρό επανασχεδιασμό του δικτύου. Αντίθετα, με τη NFV τα δίκτυα πυρήνα γίνονται πιο ευφυή, κλιμακωτά, ανθεκτικά και ευέλικτα, με την εικονικοποίηση διάφορων οντοτήτων και με την εξάλειψη των γεωγραφικών περιορισμών των αντίστοιχων υπηρεσιών. Επίσης, με το NFV απομακρύνονται τα σημεία συμφόρησης στα δίκτυα πυρήνα με τη συγκέντρωση πόρων πληροφορικής. [38]

Με την NFV τεχνολογία, οι υπηρεσίες περιγράφονται ως γράφημα προώθησης των συνδεδεμένων λειτουργιών δικτύου. Ένα γράφημα προώθησης ορίζει την ακολουθία των λειτουργιών δικτύου που επεξεργάζονται διαφορετικές ροές του δικτύου. Αντίθετα με τα τρέχοντα κυψελοειδή δίκτυα όπου ενεργοποιείται ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, τα γραφήματα προώθησης επιτρέπουν στους χειριστές των 5G να ενεργοποιούν τις λειτουργίες ανά υπηρεσία. Οι λειτουργίες δικτύου εικονικοποιούνται, χρησιμοποιώντας ένα ξεχωριστό στρώμα εικονικοποίησης το οποίο αποσυνδέει τον σχεδιασμό υπηρεσιών από την υλοποίηση υπηρεσιών, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την αποδοτικότητα και την ευελιξία. [45]

Η ευελιξία της NFV συνδέεται επίσης με κάποιες επιβαρύνσεις. Εάν τοποθετήσουμε πολλαπλά VNF στον ίδιο φυσικό διακομιστή (server), ο διακομιστής δεν θα έχει μια ενιαία διεύθυνση αλλά πολλές. Το δίκτυο μεταγωγής θα πρέπει να μάθει τις διευθύνσεις των μεμονωμένων VM και παρατηρείται μια ανεξέλεγκτη αύξηση των μεγεθών στους πίνακες της προώθησης. Επιπλέον, εάν μια υποδομή μοιράζεται μεταξύ πολλών παρόχων υπηρεσιών, ο διαχωρισμός διευθύνσεων VNF γίνεται απαραίτητος, καθώς πρέπει να γίνει αντιληπτή η ευχρηστία της διεύθυνσης ενός μόνο συγκεκριμένου παρόχου, ενώ ο χώρος διεύθυνσης μπορεί να επικαλύπτεται μεταξύ των παρόχων. [45]

Συγκεκριμένα, καθώς η κίνηση από διαφορετικούς παρόχους μοιράζεται τους ίδιους πόρους δικτύωσης, όχι μόνο η ασφάλεια καθίσταται πρόκληση, αλλά και η ευελιξία και η βέλτιστη προώθηση της

κυκλοφορίας από ένα εικονικό δίκτυο (δίκτυο VNFs) σε ένα άλλο, χωρίς να διακυβεύεται η ασφάλεια και ο διαχωρισμός διεύθυνσης. Επιπλέον, η NFV θα πρέπει να διατηρήσει τα χαρακτηριστικά επεκτασιμότητας των σημερινών υψηλά κατανεμημένων κυψελοειδών δικτύων, αξιοποιώντας ταυτόχρονα τα πλεονεκτήματα της NFV, έτσι ώστε τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπως η εξισορρόπηση φορτίου και η τοποθέτηση VM στο cloud περιβάλλον, θα γίνουν σε πραγματικό χρόνο και θα υποστηρίξουν χιλιάδες εικονικές λειτουργίες. [45]

Συνοψίζοντας, οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η NFV τεχνολογία είναι :

- **Ομαλός έλεγχος και τροφοδοσία**
- **Δυναμική και πραγματικού χρόνου τροφοδοσία**
- **Δημιουργία πολιτικών λεπτομερούς δικτύου**
- **Διατήρηση πληροφοριών εικονικοποίησης - ανάπτυξη μεγάλων δεδομένων**
- **Υψηλή πολυπλοκότητα 5G (τεχνολογίες, συσκευές, IoT)**
- **Ομαλή και υψηλής ποιότητας συνδεσιμότητα**
- **Εικονικοποίηση τερματικών σημείων**
- **Θέματα ασφάλειας**
- **Επεκτασιμότητα και ευελιξία**
- **Επιτάχυνση υλοποίησης**
- **Διαφάνεια, διαλειτουργικότητα και παγκόσμια εμβέλεια [52]**

#### 4.9.1.9 Big Data and Mobile Cloud Computing

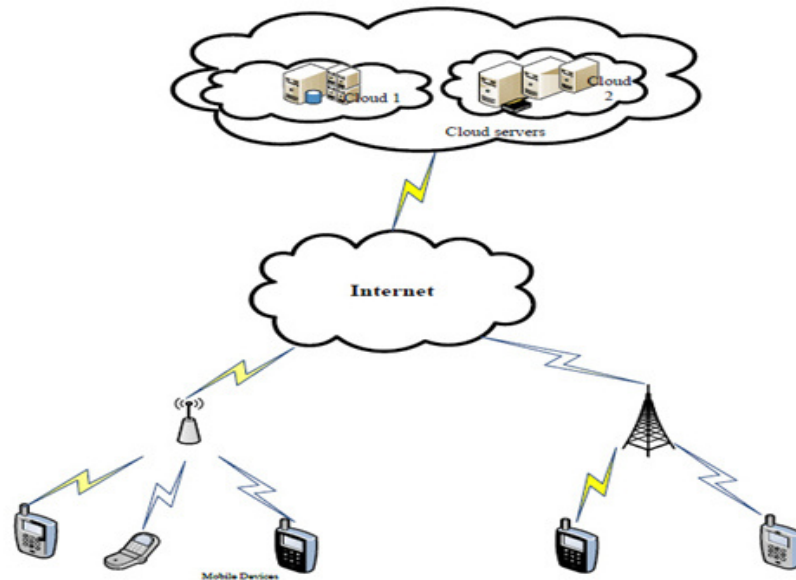
Ο όρος "Big Data" αναφέρεται σε σύνολα δεδομένων, που είναι τόσο μεγάλα και περίπλοκα, που τα παραδοσιακά λογισμικά εφαρμογών επεξεργασίας δεδομένων είναι ανεπαρκή για την αντιμετώπισή τους. Οι μεγάλες προκλήσεις στον τομέα των δεδομένων περιλαμβάνουν τη συλλογή, την αποθήκευση, την ανάλυση, την αναζήτηση, την κοινή χρήση, τη μεταφορά, την οπτικοποίηση, την ενημέρωση δεδομένων, την προστασία προσωπικών δεδομένων και την προέλευση δεδομένων. Τον τελευταίο καιρό, ο όρος "Big Data" τείνει να αναφέ-

ρεται στη χρήση αναλυτικών στοιχείων πρόβλεψης, αναλύσεων συμπεριφοράς χρηστών ή ορισμένων άλλων προηγμένων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων, που εξάγουν αξία από δεδομένα και σπανίως σε ένα συγκεκριμένο μέγεθος συνόλου δεδομένων. [54]

Τα σύνολα δεδομένων αυξάνονται ραγδαία, εν μέρει επειδή συλλέγονται ολοένα και περισσότερο από πολυάριθμες IoT συσκευές, όπως συσκευές κινητής τηλεφωνίας, τηλεκατευθυνόμενα προγράμματα, αρχεία καταγραφής λογισμικού, κάμερες, μικρόφωνα, ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) και ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Το RFID λειτουργεί ως γενικός όρος των τεχνολογιών, που χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για να προσδιορίσουν αυτόματα ανθρώπους ή αντικείμενα. Η τεχνολογία RFID είναι γνωστή εδώ και 50 χρόνια και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από την πολεμική αεροπορία της Αγγλίας κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου, για την αναγνώριση και τη διάκριση των εχθρικών από τα φιλικά αεροπλάνα. Κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών, άρχισε να εδραιώνεται η χρήση και η εκμετάλλευσή της. [54], [72]

Η τεχνολογική ικανότητα ανά τον κόσμο για την αποθήκευση πληροφοριών έχει σχεδόν διπλασιαστεί κάθε 40 μήνες από τη δεκαετία του 1980. Με βάση μια πρόβλεψη της εταιρίας IDC, ο παγκόσμιος όγκος δεδομένων θα αυξηθεί εκθετικά από 4,4 zettabytes σε 44 zettabytes μεταξύ 2013 και 2020. Από το 2025, η IDC προβλέπει ότι θα υπάρξουν 163 zettabytes δεδομένων. [54]

Επομένως, λόγω της ραγδαίας αύξησης των δεδομένων, η παραδοσιακή αποθήκευση δεδομένων στις τοπικές συσκευές δεν θα είναι πλέον σε θέση να χειριστεί την εκθετικά αυξανόμενη μνήμη cache, ειδικά όταν ο χρήστης θέλει να κάνει λήψη τεράστιων αρχείων ή προγραμμάτων ή ακόμα και να μεταδίδει HD βίντεο. Τα τελευταία χρόνια, η cloud αποθήκευση έγινε δημοφιλής λόγω της βολικής υπηρεσίας, που προσφέρει στους χρήστες, οι οποίοι μπορούν να μεταφορτώσουν δεδομένα σε cloud servers μέσω του Διαδικτύου και συνεπώς να χειριστούν διαφορετικά τον τοπικό αποθηκευτικό χώρο στις συσκευές τους. [38]



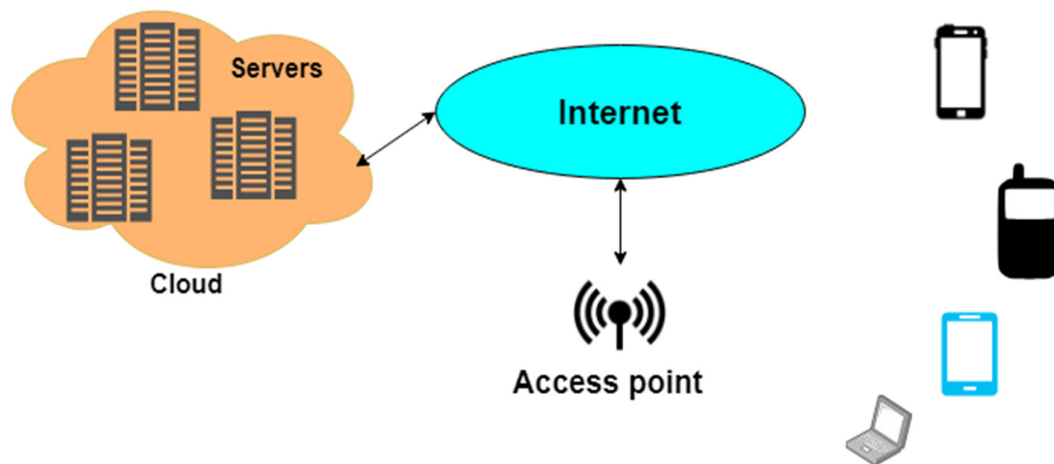
**Σχήμα 4.1.4 : Η διασύνδεση των κινητών συσκευών με τους cloud servers μέσω του Internet. [56]**

Επιπλέον, η πλειονότητα των δεδομένων, που παράγονται από κινητές συσκευές και δίκτυα, εντείνουν επίσης τη σημασία της ανάλυσης των Big Data. Συνεπώς, η περισσότερη διαδικασία της ανάλυσης δεδομένων εκτελείται σε ομάδες φυσικών μηχανών, χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα, που ονομάζεται Apache Hadoop. Η πλατφόρμα αυτή απαιτεί πάντοτε την εγκατάσταση και συντήρηση της υποδομής χειρωνακτικά και επίσης δε διαθέτει δυνατότητα κλιμάκωσης εάν η ήδη εγκατεστημένη πλατφόρμα δεν μπορεί να χειριστεί υψηλότερες απαιτήσεις, γεγονός, που καθιστά τη διαδικασία αναδιαμόρφωσης δαπανηρή και αναποτελεσματική. Σε αντίθεση με τον Hadoop, η αποθήκευση των "μεγάλων δεδομένων" στο cloud προσφέρει πλεονεκτήματα σχετικά με το κόστος, την αποδοτικότητα και την επεκτασιμότητα. [38]

Οι βελτιώσεις που επιφέρονται από τα μεγάλα δεδομένα και το mobile cloud computing σε 5G είναι η ευελιξία και η υψηλή απόδοση



στη διαχείριση δεδομένων. Δεδομένου ότι όλο και περισσότεροι χρήστες επιλέγουν να μοιράζονται τα αρχεία σε cloud servers αποθήκευσης, το mobile cloud computing προσφέρει διαχείριση δεδομένων στους cloud servers. Σε αντίθεση με το κυψελοειδές σύστημα, όπου η κατερχόμενη ζεύξη (downlink) παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάλυση απόδοσης του συστήματος, το mobile cloud computing θεωρεί σημαντικά την ποιότητα ανερχόμενης ζεύξης (uplink) και το δίκτυο backhaul. Το ασύρματο backhaul είναι η υποδομή ασύρματης επικοινωνίας και δικτύου, που είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά δεδομένων επικοινωνίας από τους τελικούς χρήστες ή κόμβους προς το κεντρικό δίκτυο ή την υποδομή και αντίστροφα. Το mobile cloud computing αποτελεί μια υποδομή, που τόσο η αποθήκευση όσο και η επεξεργασία των δεδομένων γίνονται εκτός της κινητής συσκευής. Επιπροσθέτως, απαιτεί μια σταθερή σύνδεση με τον cloud server, το οποίο με τη σειρά του θέτει υψηλές απαιτήσεις για την backhaul πύλη δεδομένων, έτσι ώστε να παρέχει τις καλύτερες δυνατές διαδρομές σε σχέση με την κυκλοφορία δεδομένων του δικτύου. [38], [55]



**Σχήμα 4.9.2 : Η βασική αρχιτεκτονική του mobile cloud.**

Συνοψίζοντας, τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση του mobile cloud είναι τα εξής:

- **Αποθήκευση δεδομένων**
- **Μείωση του χρόνου ανάπτυξης**

Ενώ, πέρα από τα οφέλη, υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα που αφορούν το mobile cloud. Κάποια από τα κυριότερα είναι τα εξής :

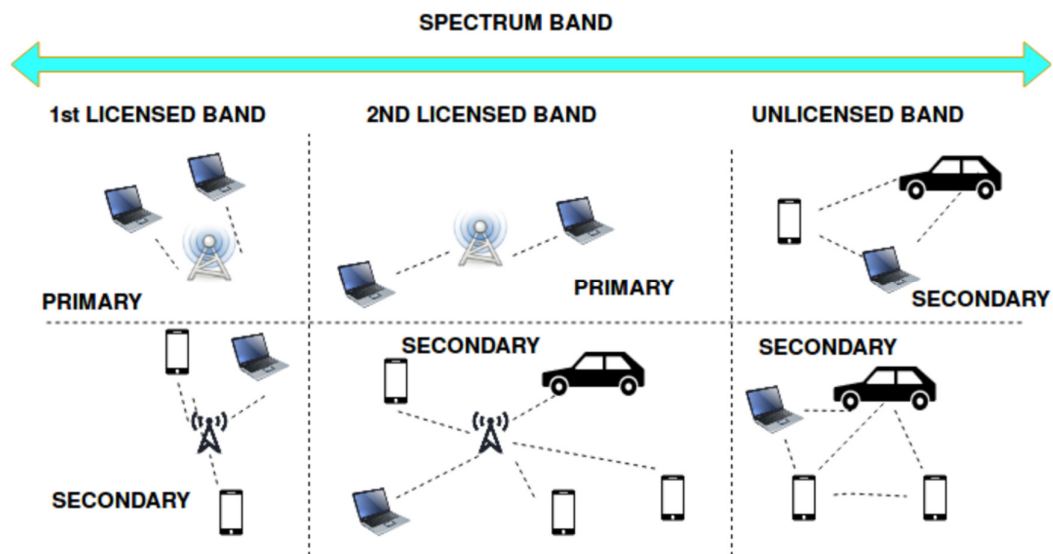
- **Ασφάλεια δεδομένων**
- **Προβλήματα** : Περιορισμένη χωρητικότητα, ανεπαρκής χρήση
- **Υιοθέτηση από τους φορείς τηλεπικοινωνιών**

#### 4.9.1.10 Cognitive Radio

Αυτή η 5G τεχνολογία είναι μια μορφή ασύρματης επικοινωνίας στην οποία ένας πομποδέκτης μπορεί να ανιχνεύσει "έξυπνα" ποια κανάλια επικοινωνίας είναι σε χρήση και ποια δεν είναι, έτσι ώστε αμέσως να απευθυνθεί σε κενά κανάλια, αποφεύγοντας τα κατειλημμένα. Αυτό βελτιστοποιεί τη χρήση του διαθέσιμου φάσματος ραδιοσυχνοτήτων, ενώ παράλληλα ελαχιστοποιεί την παρεμβολή σε άλλους χρήστες. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία Cognitive Radio (CR) μπορεί να προγραμματιστεί και να διαμορφωθεί δυναμικά για να χρησιμοποιήσει τα καλύτερα ασύρματα κανάλια στην περιοχή της, για να αποφευχθεί η παρεμβολή του χρήστη και η συμφόρηση του δικτύου. Έτσι, ανιχνεύει αυτόματα διαθέσιμα κανάλια στο ασύρματο φάσμα και μετά αλλάζει ανάλογα τις παραμέτρους μετάδοσης ή λήψης, ώστε να επιτρέπει περισσότερες ταυτόχρονες ασύρματες επικοινωνίες σε μια συγκεκριμένη ζώνη φάσματος σε μία θέση-περιοχή. [57], [58]

Στα δίκτυα της CR τεχνολογίας, υπάρχουν κάποιοι χρήστες, οι οποίοι έχουν προτεραιότητα σε σχέση με άλλους χρήστες και είναι αυτοί που έχουν πρόσβαση στο αδειοδοτημένο φάσμα. Υπάρχουν, επίσης, και άλλοι χρήστες, οι οποίοι λέγονται Secondary Users (SUs) και πρέπει να πραγματοποιούν ελέγχους κατάστασης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο και να ελέγχουν εάν χρησιμοποιείται ή όχι το

αδειοδοτημένο φάσμα. Σε οποιαδήποτε στιγμή, αυτοί οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το μη εξουσιοδοτημένο φάσμα ή αν το αδειοδοτημένο φάσμα είναι ελεύθερο να χρησιμοποιήσουν αυτό το μέρος του εύρους ζώνης. Εν πάση περιπτώσει, ωστόσο, πρέπει να διασφαλίζουν ότι δεν υπάρχουν Primary Users (PUs), δηλαδή χρήστες προτεραιότητας που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν το σύστημα. [97]



Σχήμα 4.9.1.1 : Η αρχιτεκτονική της CR τεχνολογίας.

Ο στόχος της τεχνολογίας CR είναι να αυξηθεί αποδοτικά η χρήση του ραδιοφάσματος. Το σύστημα CR έχει οριστεί ως "έξυπνο" σύστημα επικοινωνίας που έχει επίγνωση του δικού του περιβάλλοντος και μπορεί να προσαρμόσει δυναμικά τη λειτουργία του στις στατιστικές παραλλαγές των λαμβανόμενων συχνοτήτων, με στόχο την παροχή ενός αξιόπιστου δικτύου επικοινωνίας και την αποτελεσματική αξιοποίηση του φάσματος. Η τεχνολογία CR, η οποία μπορεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της ανεπάρκειας φάσματος, μέσω της δυναμικής πρόσβασης στο φάσμα και του διαμοιρασμού του ραδιοφάσματος, έχει παρακινηθεί από το γεγονός ότι ένα σημαντικό ποσοστό του ασύρματου

φάσματος παραμένει αχρησιμοποίητο σε ένα ευρύ φάσμα ραδιοσυχνοτήτων στην χρονική και χωρική περιοχή. Επιπλέον, δεν απαιτεί την απόκτηση πρόσθετου ακριβού πόρου ραδιοσυχνοτήτων, μειώνοντας έτσι τη συνολική δαπάνη κεφαλαίου και λειτουργίας για έναν ασύρματο χειριστή. [59], [60]

Η ιδέα για την CR τεχνολογία αναπτύχθηκε από τον Joseph Mitola στο Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) στις Ηνωμένες Πολιτείες, γι' αυτό η τεχνολογία αυτή είναι γνωστή και ως "Mitola Radio". Στην πιο βασική της μορφή, η CR τεχνολογία είναι μια υβριδική τεχνολογία που περιλαμβάνει την τεχνολογία SDR, όπως εφαρμόζεται σε επικοινωνίες εξάπλωσης φάσματος. Οι πιθανές λειτουργίες του CR περιλαμβάνουν την ικανότητα ενός πομποδέκτη να προσδιορίζει τη γεωγραφική του θέση, να αναγνωρίζει και να εξουσιοδοτεί το χρήστη του, να κρυπτογραφεί ή να αποκρυπτογραφεί σήματα, να αντιλαμβάνεται τις γειτονικές ασύρματες συσκευές που είναι σε λειτουργία και να προσαρμόζει την ισχύ εξόδου και τα χαρακτηριστικά διαμόρφωσης. [58]

Υπάρχουν δύο κύριοι CR τύποι, το Full Cognitive Radio και Spectrum-sensing Cognitive Radio. Το Full Cognitive Radio λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμέτρους που μπορεί να γνωρίζει ένας ασύρματος κόμβος ή δίκτυο. Το Spectrum-sensing Cognitive Radio χρησιμοποιείται για την ανίχνευση καναλιών στο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων. Η Federal Communications Commission (FCC) αποφάσισε τον Νοέμβριο του 2008 ότι αχρησιμοποίητα τμήματα του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων (γνωστά ως white spaces) θα διατίθενται για δημόσια χρήση. Οι white spaces συσκευές πρέπει να περιλαμβάνουν τεχνολογίες για την αποτροπή παρεμβολών, όπως η ανίχνευση του ραδιοφάσματος και οι δυνατότητες γεωγραφικής τοποθέτησης. [58]



Σχήμα 4.1.5 : Η χρήση οποιοδήποτε διαθέσιμου καναλιού μέσω της τεχνολογίας Cognitive Radio. [61]

#### 4.9.2 Υπηρεσίες 5G Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας

Η επίτευξη της έλευσης της 5G γενιάς τηλεπικοινωνιών είναι τόσο πιο κοντά όσο ποτέ. Ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών ελπίζει ότι η ασύρματη τεχνολογία πέμπτης γενιάς θα αποτελέσει ένα ακόμη μεγαλύτερο άλμα στην απόδοση του δικτύου, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις, και όχι μόνο, να αξιοποιήσουν ένα ευρύ φάσμα νέων εφαρμογών και υπηρεσιών. Νέες υπηρεσίες και περιπτώσεις χρήσης προβλέπονται για τα 5G κινητά δίκτυα και θα αποτελέσουν πιθανόν τον οδηγό για την τεχνολογία, αφού θα έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην καθημερινή μας ζωή στο μέλλον. [62]

##### 4.9.2.1 Νέες Υπηρεσίες – Περιπτώσεις Χρήσης 5G Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας

Οι κυριότερες υπηρεσίες – περιπτώσεις χρήσης των 5G δικτύων επικοινωνίας αναλύονται στη συνέχεια και είναι οι εξής :

- Ευρυζωνικότητα Κινητών Δικτύων (Mobile Broadband)
- Αυτοκινητοβιομηχανία
- Smart Society
- Smart Grids
- Υγεία
- Βιομηχανία
- Εφοδιαστική Αλυσίδα [64]

**Ευρυζωνικότητα Κινητών Δικτύων (Mobile Broadband)** : Αυτή η υπηρεσία καλύπτει εκτεταμένες διαδραστικές εργασίες, εφαρμογές πολυμέσων και ψυχαγωγίας στο cloud, καθώς επίσης εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας. Η αποθήκευση και οι εφαρμογές Cloud αυξάνονται ραγδαία για τις πλατφόρμες κινητής επικοινωνίας. Αυτό ισχύει τόσο για την εργασία όσο και για την ψυχαγωγία. Η αποθήκευση Cloud είναι μία συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης, που οδηγεί στην αύξηση των ρυθμών δεδομένων ανερχόμενης ζεύξης (uplink), ενώ στο παρελθόν το περιεχόμενο ήταν download ως επί το πλείστον. Το 5G θα χρησιμοποιηθεί επίσης για απομακρυσμένη εργασία στο Cloud, η οποία, όταν γίνεται με απτικές διεπαφές, απαιτεί πολύ χαμηλότερες καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο, προκειμένου να διατηρηθεί μια καλή εμπειρία χρήστη. [64]

Οι ψυχαγωγικές δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα τα παιχνίδια στο Cloud και η ροή βίντεο, είναι ένας ακόμη βασικός μοχλός για την αυξανόμενη ανάγκη για κινητή ευρυζωνική χωρητικότητα. Η διασκέδαση θα είναι πολύ σημαντική για τα smartphones και τα tablets παντού, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλόντων υψηλής κινητικότητας όπως τα τρένα, τα αυτοκίνητα και τα αεροπλάνα. [64]

Μια άλλη πολύ ενδιαφέρουσα, αλλά και πολύ απαιτητική περίπτωση χρήσης είναι η αυξημένη πραγματικότητα τόσο για ψυχαγωγία όσο και για ανάκτηση πληροφοριών, η οποία απαιτεί πολύ χαμηλές καθυστερήσεις και σημαντικούς όγκους άμεσων δεδομένων. [64]

Στα 5G συστήματα, η φωνή αναμένεται να αντιμετωπιστεί ως εφαρμογή, χρησιμοποιώντας απλώς τη συνδεσιμότητα δεδομένων που παρέχεται από το σύστημα επικοινωνίας. [64]

Ακόμα μία υπηρεσία που θα προαχθεί μέσω του 5G είναι το 3D video και οι UHD οθόνες, με την πρόσφατη εισαγωγή ανάλυσης οθόνης 4K (η 8K ήδη αναμένεται μετά το 2020). Οι υπηρεσίες ροής (ήχου & βίντεο), η διαδραστική σύνδεση βίντεο και η σύνδεση μέσω Mobile Internet θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται ευρύτερα, καθώς περισσότερες συσκευές συνδέονται στο Internet. Πολλές από αυτές τις εφαρμογές απαιτούν πάντα συνδεσιμότητα για την πραγματικού χρόνου προώθηση πληροφοριών και ειδοποιήσεων στους χρήστες. [64]

**Αυτοκινητοβιομηχανία** : Η εισαγωγή του 5G θα φέρει πολλές και σημαντικές αλλαγές και νέες υπηρεσίες στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, με πολλές περιπτώσεις χρήσης για κινητές επικοινωνίες για οχήματα. Για παράδειγμα, η ψυχαγωγία για τους επιβάτες απαιτεί ταυτόχρονη κινητή ευρυζωνική σύνδεση υψηλής χωρητικότητας και υψηλής κινητικότητας, επειδή οι μελλοντικοί χρήστες αναμένουν να συνεχίσουν την καλής ποιότητας σύνδεση ανεξάρτητα από την τοποθεσία και την ταχύτητά τους. [64]

Επιπροσθέτως, μία νέα υπηρεσία αποτελούν οι πληροφορίες, που προσφέρονται από τους πίνακες επαυξημένης πραγματικότητας. Αυτές οι πληροφορίες θα εμφανίζονται πάνω από το τι βλέπει ο οδηγός μέσα από το μπροστινό παράθυρο, εντοπίζοντας αντικείμενα στο σκοτάδι και λέγοντας στον οδηγό τις αποστάσεις και τις κινήσεις των αντικειμένων. [64]

Άλλες περιπτώσεις χρήσης αφορούν την επικοινωνία και ανταλλαγή μηνυμάτων. Πολλοί κατασκευαστές αυτοκινήτων προσθέτουν ήδη συστήματα υποστήριξης οδηγού, βάσει 3D απεικόνιση και ενσωματωμένων αισθητήρων. Στο μέλλον, οι ασύρματες μονάδες θα επιτρέψουν την μεταξύ επικοινωνία των οχημάτων, την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των οχημάτων και της υποστηρικτικής υποδομής,

καθώς επίσης μεταξύ οχημάτων και άλλων συνδεδεμένων συσκευών, για παράδειγμα εκείνων που μεταφέρονται από πεζούς. [64]

Επιπρόσθετα, οι περιπτώσεις χρήσης για την ασφάλεια της κυκλοφορίας συζητούνται ευρέως στο χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ έργο METIS. Αυτός ο τομέας περιλαμβάνει αυτοκίνητα, που ανιχνεύουν κρίσιμες καταστάσεις ασφάλειας, όπως ο μαύρος πάγος, τα ατυχήματα που συμβαίνουν κοντά στο αυτοκίνητο και άλλες επικίνδυνες οδικές συνθήκες. Τα συστήματα ασφαλείας θα καθοδηγούν τους οδηγούς σε εναλλακτικά στάδια δράσης, ώστε να μπορούν να οδηγούν με μεγαλύτερη ασφάλεια και να μειώνουν τους κινδύνους ατυχημάτων. [64]

Τέλος, μέσω του 5G θα είναι δυνατή η κατασκευή υποβοηθούμενων ή αυτοκινούμενων οχημάτων, τα οποία απαιτούν εξαιρετικά αξιόπιστη και πολύ γρήγορη επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών αυτοκινούμενων αυτοκινήτων και μεταξύ αυτοκινήτων και υποδομής. Στο μέλλον, ένα αυτό-οδηγούμενο αυτοκίνητο θα αναλαμβάνει όλη την οδήγηση, επιτρέποντας στον οδηγό να ξεκουραστεί και να επικεντρωθεί μόνο στις ανωμαλίες της κυκλοφορίας, που το ίδιο το αυτοκίνητο δεν μπορεί να αναγνωρίσει. Στην ιδανική περίπτωση, θα είναι δυνατή η οποιαδήποτε δραστηριότητα του οδηγού κατά τη διάρκεια της μετακίνησης. Οι απαιτήσεις για αυτοκίνητα με αυτό-οδήγηση απαιτούν εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις και εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία, αυξάνοντας την ασφάλεια της κυκλοφορίας σε επίπεδα που ο άνθρωπος δεν μπορεί να επιτύχει. [64]

**Smart Society :** Οι "έξυπνες" πόλεις και τα "έξυπνα" σπίτια, που συχνά αναφέρονται ως "έξυπνη" κοινωνία, θα ενσωματωθούν με πυκνά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Τα κατανομημένα δίκτυα ευφών αισθητήρων θα προσδιορίσουν τις συνθήκες για την οικονομική και ενεργειακή απόδοση της πόλης ή του σπιτιού. Μια παρόμοια ρύθμιση μπορεί να γίνει για κάθε σπίτι, όπου οι αισθητήρες θερμοκρασίας, οι ελεγκτές παραθύρων και θέρμανσης, οι συναγερμοί διαρρήξεων και οι οικιακές συσκευές είναι όλα συνδεδεμένα ασύρματα. Πολλοί από



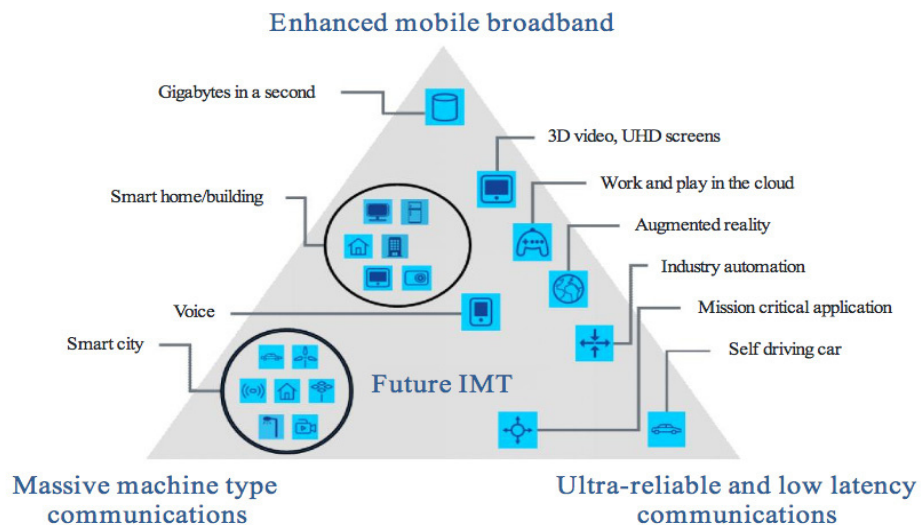
αυτούς τους αισθητήρες είναι χαμηλών ρυθμών δεδομένων, χαμηλής ισχύς και χαμηλού κόστους, αλλά για παράδειγμα, σε ορισμένα είδη συσκευών παρακολούθησης μπορεί να απαιτηθεί HD βίντεο σε πραγματικό χρόνο. Το έργο για το 5G θα είναι να ενσωματώσει τη διαχείριση αυτών των πολύ διαφορετικών συνδεδεμένων συσκευών. [64]

**Smart Grids :** Η κατανάλωση και η διανομή ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της θερμότητας ή του φυσικού αερίου, γίνεται ιδιαίτερα αποκεντρωμένη, δημιουργώντας την ανάγκη για αυτοματοποιημένο έλεγχο ενός πολύ καταναλωμένου δικτύου αισθητήρων. Ένα "έξυπνο" δίκτυο διασυνδέει τέτοιους αισθητήρες, χρησιμοποιώντας ψηφιακή τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών για να συλλέξει και να δράσει με πληροφορίες. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να περιλαμβάνουν τις συμπεριφορές των προμηθευτών και των καταναλωτών, επιτρέποντας στο "έξυπνο" δίκτυο να βελτιώσει την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία, την οικονομία και τη βιωσιμότητα της παραγωγής και της διανομής καυσίμων, όπως η ηλεκτρική ενέργεια με αυτοματοποιημένο τρόπο. Ένα "έξυπνο" δίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα άλλο δίκτυο αισθητήρων με μικρές καθυστερήσεις. [64]

**Υγεία :** Ο τομέας της υγείας έχει πολλές εφαρμογές που μπορούν να επωφεληθούν από τις κινητές επικοινωνίες. Τα συστήματα επικοινωνιών επιτρέπουν την τηλεϊατρική, η οποία παρέχει κλινική υγειονομική περίθαλψη σε απόσταση. Βοηθά στην εξάλειψη των φραγμών από απόσταση και μπορεί να βελτιώσει την πρόσβαση σε ιατρικές υπηρεσίες, που συχνά δεν είναι σταθερά διαθέσιμες σε μακρινές αγροτικές κοινότητες. Χρησιμοποιείται, επίσης, για τη διάσωση ζώων σε καταστάσεις κρίσιμης φροντίδας και έκτακτης ανάγκης. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, που βασίζονται στην κινητή επικοινωνία, μπορούν να παρέχουν απομακρυσμένη παρακολούθηση και αισθητήρες για παραμέτρους όπως ο καρδιακός ρυθμός και η αρτηριακή πίεση. [64]

**Βιομηχανία :** Οι ασύρματες και κινητές επικοινωνίες καθίστανται όλο και πιο σημαντικές για βιομηχανικές εφαρμογές. Τα καλώδια είναι ακριβά για την εγκατάσταση και τη συντήρηση και η δυνατότητα αντικατάστασης καλωδίων με επαναρυθμιζόμενους ασύρματους συνδέσμους είναι μια δελεαστική ευκαιρία για πολλές βιομηχανίες. Ωστόσο, η επίτευξη αυτού του στόχου προϋποθέτει ότι η ασύρματη σύνδεση λειτουργεί με παρόμοια καθυστέρηση, αξιοπιστία και χωρητικότητα, όπως τα καλώδια και ότι η διαχείριση της απλοποιείται. Χαμηλές καθυστερήσεις και πολύ χαμηλές πιθανότητες σφάλματος είναι νέες απαιτήσεις, που πρέπει να αντιμετωπιστούν με το 5G, για την σωστή λειτουργία των αυτών βιομηχανικών εφαρμογών. [64]

**Εφοδιαστική Αλυσίδα:** Μια τελευταία αλλά εξίσου σημαντική υπηρεσία είναι η παρακολούθηση φορτίων, η οποία είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση αποθεμάτων και πακέτων οπουδήποτε κι αν βρίσκονται, μέσω συστημάτων πληροφορίας βάσει τοποθεσίας. Οι περιπτώσεις χρήσης μεταφοράς εμπορευμάτων απαιτούν συνήθως χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων, αλλά χρειάζονται ευρεία κάλυψη και αξιόπιστες πληροφορίες θέσης. [64]



**Σχήμα 4.2.1 : 5G Υπηρεσίες – Περιπτώσεις χρήσης. [63]**

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω, η εξάπλωση και η χρήση των κινητών δικτύων επικοινωνίας ήταν ραγδαία κατά το πέρασμα των τελευταίων δεκαετιών. Από ότι αναμένεται, η τεχνολογική τους εξέλιξη θα είναι ακόμα πιο αισθητή και σημαντική στα επόμενα χρόνια, καθώς η υλοποίηση τους θα παίξει σημαντικό ρόλο σε όλα τα φάσματα της καθημερινής ζωής στο μέλλον. Σε αυτό θα συμβάλλει σε σημαντικό βαθμό η 5<sup>η</sup> γενιά κινητής τηλεφωνίας, με την έλευση της οποίας θα σημειωθούν ουσιώδεις αλλαγές στην εικόνα που επικρατεί σήμερα για τα κινητά δίκτυα επικοινωνίας.

Παράμετροι	SDN	CR	CLOUD	ULTRA-DENSE	MIMO	D2D	IoT	NFV	mmWave
Κόστος	Μειωμένο	Μειωμένο	Μειωμένο	Μειωμένο	Αυξημένο	Μειωμένο	Μειωμένο	Μειωμένο	Μειωμένο
Επεκτασιμότητα	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
Αποτελεσματικότητα	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
Κάλυψη	✓	✓				✓		✓	
Χωρητικότητα	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Ετερογένεια	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Εύρος ζώνης	Ανακατανομή	Ανακατανομή	Ανακατανομή	Ανακατανομή	Ανάγκη	Ανάγκη		Εικονικό	Ανακατανομή
Γνωστικότητα	Στατιστικά	Γνωστικοί SBSs							
Εμφάνιση	2011	1999	1996	2007	1970	2008	2008	2012	2017
Υιοθέτηση	Μικρή	Μελλοντική	Μικρή	Μικρή	Μεγάλη	Μικρή	Μικρή	Μικρή	Μελλοντική
Πρότυπο	OpenFlow	IEEE	Πολλά	3GPP	IEEE	IEEE	Κανένα	Πολλά	IEEE
TRL	8	7	9	9	9	9	9	8	8
Μείωση χρόνου	✓	✓	✓					✓	
Διαχείριση δικτύου	✓	✓						✓	
Παρεμβολή				✓	✓	✓		✓	✓
Ισχύς	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓

**Πίνακας 2 : Αξιολόγηση των τεχνολογιών της 5<sup>ης</sup> γενιάς κινητών δικτύων.**

Στον παραπάνω πίνακα γίνεται μία αξιολόγηση των νέων τεχνολογιών που θα αναπτυχθούν και θα τεθούν σε ισχύ, με την υλοποίηση της 5G τεχνολογίας. Παρόλο που οι τεχνολογίες αυτές έχουν αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα και οφέλη, υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που πρέπει να διευθετηθούν σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας τους, όπως για παράδειγμα η μείωση κατανάλωσης ενέργειας της IoT, D2D και MIMO τεχνολογίας. Ως εκ τούτου, πρέπει να παρουσιαστούν λύσεις και αλγόριθμοι που θα είναι ικανοί να διαχειριστούν τέτοιου είδους πιθανά προβλήματα. [101]

Στον Πίνακα 2, η αξιολόγηση των αναδυόμενων 5G τεχνολογιών γίνεται σύμφωνα με τις ακόλουθες παραμέτρους :

- **Κόστος** : Παρόλο που οι περισσότερες τεχνολογίες μειώνουν τα κόστη, μερικές από αυτές συμπεριλαμβάνουν αυξημένα OPEX κόστη.
- **Επεκτασιμότητα** : Οι περισσότερες τεχνολογίες επιφέρουν αναλώσιμα χαρακτηριστικά, καθώς είναι πολύ εύκολη η προσθήκη περισσότερων στοιχείων δικτύου ή η επέκταση του δικτύου με έναν πολύ εύκολο τρόπο, χρησιμοποιώντας λιγότερες ρυθμίσεις.
- **Αποτελεσματικότητα** : Οι περισσότερες τεχνολογίες είναι πολύ αποδοτικές και βελτιώνουν τη χρήση των πόρων στο δίκτυο.
- **Κάλυψη** : Οι περισσότερες τεχνολογίες καλύπτουν το δίκτυο, προσφέροντας περισσότερους πόρους ή ανακατανέμοντας τους υπάρχοντες.
- **Χωρητικότητα** : Οι περισσότερες τεχνολογίες έχουν αυξημένη χωρητικότητα.
- **Ετερογένεια** : Ορισμένες τεχνολογίες συνεργάζονται καλά με άλλες τεχνολογίες.
- **Εύρος ζώνης** : Κάποια από τα προτεινόμενα μοντέλα χρειάζονται περισσότερο εύρος ζώνης για να λειτουργήσουν, ενώ άλλα μπορούν να ανακατανεύμουν ή καλύτερα να διανεύμουν το υπάρχον εύρος ζώνης. Στον πίνακα, η λέξη ανακατανομή σημαίνει ότι το εύρος ζώνης ανακατανέμεται, η λέξη ανάγκη σημαίνει ότι το δίκτυο χρειάζεται περισσότερο εύρος ζώνης για να λειτουργήσει και το NFV χρειάζεται εικονικό εύρος ζώνης γιατί σε αυτή

την τεχνολογία οι πόροι του δικτύου είναι εικονικοί, φθηνότεροι και πιο αποδοτικοί.

- **Γνωστικότητα** : Ορισμένες από τις τεχνολογίες φαίνεται να είναι γνωστικές, δηλαδή μαθαίνουν από τη συμπεριφορά του δικτύου και εκμεταλλεύονται δεδομένα, προσφέροντας περισσότερους πόρους όπου πρέπει να εισαχθούν στο δίκτυο. Στον πίνακα, η λέξη στατιστικά χρησιμοποιείται για να δείξει ότι γίνεται καλύτερη διανομή των πόρων, μέσω της αξιοποίησης στατιστικών στοιχείων για το δίκτυο. Οι γνωστικοί Secondary BSs έχουν πολλές δυνατότητες και είναι σε θέση να ελέγξουν εάν μπορούν να μεταδώσουν σε εύρους ζώνης ή όχι.
- **Εμφάνιση** : Το χρονικό πλαίσιο στο οποίο μια τεχνολογία εμφανίστηκε ευρέως στην έρευνα.
- **Υιοθέτηση** : Το μέγεθος της υιοθέτησης κάθε τεχνολογίας στις μέρες μας. Το Little σημαίνει ότι δεν υιοθετείται ευρέως, το Future σημαίνει ότι θα εισαχθεί στο μέλλον και το Large σημαίνει ότι έχει ήδη υιοθετηθεί ευρέως σε μεγάλη κλίμακα.
- **Πρότυπο** : Για μερικές τεχνολογίες, οι δραστηριότητες προτυποποίησης εξηγούν τις βασικές λειτουργίες της λύσης, καθώς δεν υπάρχουν πρότυπα για άλλες. Στον πίνακα φαίνονται οι οργανισμοί προτυποποίησης για κάθε τεχνολογία.
- **Technology Readiness Level (TRL)** : Υποδεικνύει πόσο "έτοιμη" είναι η τεχνολογία να αρχίσει να λειτουργεί αυτή τη στιγμή και ακολουθεί μια ευρέως γνωστή τεχνική που ονομάζεται TRL. Η κλίμακα κυμαίνεται από 1 έως 9 και οι μεγαλύτεροι αριθμοί σημαίνουν ότι η τεχνολογία είναι έτοιμη.
- **Μείωση χρόνου** : Ορισμένες από αυτές τις λύσεις μειώνουν το χρόνο που απαιτείται για να εισαχθούν στην αγορά.
- **Διαχείριση δικτύου** : Ορισμένες από τις τεχνολογίες δικτύωσης είναι χρήσιμες για τη διαχείριση του δικτύου.
- **Παρεμβολή** : Η υποβάθμιση του σήματος συμβαίνει σε ορισμένες τεχνολογίες, οι οποίες την αντιμετωπίζουν.
- **Ισχύς** : Η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται για ορισμένες τεχνολογίες και προκαλεί διάφορα λειτουργικά έξοδα. [101]

Στον Πίνακα 3, φαίνεται μία SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) Analysis, η οποία είναι ένα εργαλείο στρατηγικού σχεδιασμού και χρησιμοποιείται για την ανάλυση του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος μιας επιχείρησης, έτσι ώστε η επιχείρηση να πάρει αποφάσεις σχετικά με την επίτευξη των στόχων της. Αυτή η ανάλυση υποδεικνύει πως διάφορα γεγονότα που προέρχονται από εξωτερικούς ή εσωτερικούς παράγοντες θα μπορούσαν να είναι είτε χρήσιμα είτε επιβλαβή για την επίτευξη ενός στόχου ή τη προώθηση ενός προϊόντος. Τα πλεονεκτήματα και οι ευκαιρίες είναι χρήσιμα και προέρχονται τόσο από εσωτερικούς όσο και από εξωτερικούς παράγοντες. Οι αδυναμίες και οι απειλές είναι επιβλαβείς και προέρχονται τόσο από εσωτερικούς όσο και από εξωτερικούς παράγοντες. [101], [102]

INTERNAL FACTORS	
<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
1)Καλύτερη χρήση εύρους ζώνης 2)Διαχείριση και έλεγχος δικτύου 3)Αύξηση χώρου 4)Μείωση κόστους 5)Βελτίωση κινητής τηλεφωνίας 6)Εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών	1)Παρεμβολή 2)Ανάγκη για τυποποίηση (Standard) 3)Επιθέσεις στο δίκτυο 4)Ανάγκη για προώθηση για την καλύτερη υιοθέτηση από τους χρήστες
EXTERNAL FACTORS	
<b>Opportunities</b>	<b>Threats</b>
1)Υλοποίηση της 5G τεχνολογίας 2)Περισσότεροι χρήστες οδηγούν σε περισσότερες ανάγκες 3)Αύξηση των data streams 4)Χρήση κοινωνικών μέσων 5)Καινοτομία	1)Αύξηση δαπανών 2)Δημιουργία αίσθησης ανασφάλειας στους χρήστες 3)Δυσκολία στην ευρεία εξάπλωση

**Πίνακας 3 : SWOT analysis για την 5<sup>η</sup> γενιά κινητών δικτύων.**

Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση των παραγόντων που αναφέρονται στη SWOT Analysis. Αρχικά, αναλύονται τα πλεονεκτήματα (Strengths) και οι ευκαιρίες (Opportunities) του Πίνακα 3.

- **Καλύτερη χρήση εύρους ζώνης :** Είναι σημαντικό να υπάρχει εξοικονόμηση κερδών, η οποία επιτυγχάνεται με την βέλτιστη διαχείριση και επαναχρησιμοποίηση του υπάρχοντος εύρους ζώνης, με σκοπό την καλύτερη λειτουργία και παροχή υπηρεσιών μέσω των 5G κινητών δικτύων. Το εύρος ζώνης πρέπει να διαμοιράζεται σύμφωνα με τις ανάγκες του κάθε δικτύου και να εξυπηρετούνται όσο το δυνατόν καλύτερα οι διάφοροι χρήστες του. Αφορά τις τεχνολογίες Millimeter Wave, Ετερογενή πυκνά δίκτυα και CR.
- **Διαχείριση και έλεγχος δικτύου :** Κάθε δίκτυο, για να είναι σε θέση να λειτουργήσει σωστά, θα πρέπει να μπορεί να επεκτείνεται ή να συστέλλεται, έτσι ώστε να είναι ικανό να εκπληρώσει τις λειτουργικές ανάγκες και τις ανάγκες συντήρησής του. Το δίκτυο μπορεί να μεταβάλλεται και να εξελίσσεται γρήγορα, οπότε η διαχείριση όλων των στοιχείων του και ο έλεγχος σε κάθε βήμα της διαδικασίας είναι απαραίτητη. Αφορά τις τεχνολογίες CR και SDN.
- **Αύξηση χώρου :** Η επέκταση του χώρου αποθήκευσης κρίνεται απαραίτητη, καθώς με τις νέες τεχνολογίες και υπηρεσίες της 5<sup>ης</sup> γενιάς θα αυξηθεί ο όγκος δεδομένων του δικτύου. Αφορά τις τεχνολογίες NFV και mobile Cloud.
- **Μείωση κόστους :** Το κόστος είναι ένας παράγοντας που σχετίζεται με τα CAPEX και OPEX. Η τεχνολογία NFV είναι ικανή να μειώσει αυτά τα έξοδα.
- **Βελτίωση κινητής τηλεφωνίας :** Τα 5G κινητά δίκτυα είναι τα πιο εξελιγμένα τεχνολογικά και τα χαρακτηριστικά και οι υπηρεσίες που θα προσφέρουν με την έλευση τους είναι τα βέλτιστα. Αφορά όλες τις τεχνολογίες.
- **Εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών :** Καθώς ο αριθμός των χρηστών του δικτύου θα αυξάνεται συνεχώς, προκύπτει η ανάγκη για την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτησή τους. Οι νέες τεχνολογίες θα μπορούν να εξυπηρετήσουν αυτόν τον μεγάλο αριθμό. Αφορά τις τεχνολογίες Massive MIMO, Ετερογενή πυκνά δίκτυα και SDN.
- **Υλοποίηση της 5G τεχνολογίας :** Οι νέες τεχνολογίες και υπηρεσίες θα είναι έτοιμες για χρήση μέσω της 5<sup>ης</sup> γενιάς.

- **Περισσότεροι χρήστες οδηγούν σε περισσότερες ανάγκες :** Εφόσον, ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται, αυξάνονται και οι ανάγκες που προκύπτουν, τόσο σε νέες εφαρμογές αλλά και στη βελτίωση των στοιχείων του δικτύου.
- **Αύξηση των data streams :** Με τους υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και την χαμηλή καθυστέρηση που θα παρέχει η 5G τεχνολογία θα αυξηθούν τα data streams.
- **Χρήση κοινωνικών μέσων :** Η χρήση των κοινωνικών μέσων θα επεκταθεί ακόμα περισσότερο.
- **Καινοτομία :** Η έλευση της 5G τεχνολογίας θα επιφέρει μια τεχνολογική επανάσταση και θα αλλάξει την γνώση που υπάρχει για τα τωρινά κινητά δίκτυα.

Έπειτα, αναλύονται οι αδυναμίες (Weaknesses) και οι απειλές (Threats) του Πίνακα 3.

- **Παρεμβολή :** Είναι ένα αδύναμο σημείο, το οποίο επηρεάζει την ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρονται στους χρήστες. Αφορά τις τεχνολογίες Millimeter Wave, Ετερογενή πυκνά δίκτυα και Massive MIMO.
- **Ανάγκη για τυποποίηση (Standard) :** Πρέπει όλοι όσοι χρησιμοποιούν την 5G τεχνολογία να έχουν ένα κοινό standard, έτσι ώστε η χρήση αλλά και οποιαδήποτε βελτιστοποίηση να είναι κοινή σε όλους. Αφορά τις τεχνολογίες NFV, SDN, Massive MIMO, CR και IoT.
- **Επιθέσεις στο δίκτυο :** Ίσως αποτελέσει ένα φαινόμενο το οποίο πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν κατά την σχεδίαση των 5G κινητών δικτύων, καθώς η ασφάλεια τους είναι απόλυτα σημαντική και απαραίτητη για τα προσωπικά δεδομένα και την επικοινωνία των χρηστών. Αφορά τις τεχνολογίες SDN, IoT και D2D.
- **Ανάγκη για προώθηση για την καλύτερη υιοθέτηση από τους χρήστες :** Αφορά τις τεχνολογίες IoT, Ετερογενή πυκνά δίκτυα και D2D.



- **Αύξηση δαπανών** : Οι απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιηθούν, τόσο σε υλικό όσο και σε λογισμικό, έχει ως απόρροια την επέκταση των εξόδων. Αφορά τις τεχνολογίες Massive MIMO και Ετερογενή πυκνά δίκτυα.
- **Δημιουργία αίσθησης ανασφάλειας στους χρήστες** : Αφορά τις τεχνολογίες IoT και D2D.
- **Δυσκολία στην ευρεία εξάπλωση** : Αυτή η δυσκολία συνδέεται με τις δαπάνες που πρέπει να κάνουν οι πάροχοι για την ανάπτυξη της νέας υποδομής. Αφορά τις τεχνολογίες SDN, NFV και D2D.

## 6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ/ΑΝΟΙΧΤΗ ΕΡΕΥΝΑ

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι, τα 5G κινητά δίκτυα επικοινωνίας θα είναι σε θέση να φέρουν ακόμα πιο βελτιωμένες λειτουργίες, σε σύγκριση με τα τωρινά 4G δίκτυα. Τα πρώτα 5G δίκτυα ήδη μπορούν να παρέχουν ταχύτητες download μέχρι και 600 Mbits/sec, με στόχο ακόμα πιο υψηλές ταχύτητες. Επιπλέον, οι 5G BS είναι σχεδιασμένοι να διαχειρίζονται μέχρι και 1 εκατομμύριο συνδέσεις, σε σύγκριση με τις 4.000 των 4G δικτύων. Η σημαντική χρησιμότητα της 5G τεχνολογίας φαίνεται στο γεγονός ότι τα 5G δίκτυα θα έχουν καθυστέρηση 1 millisecond, καθώς επίσης οι δυνατότητες των 5G συστημάτων θα απαιτούν λιγότερη ενέργεια. [98]

Πριν καν εφαρμοστούν όλα τα παραπάνω στην πράξη, μία ομάδα ερευνητών στον τομέα των τηλεπικοινωνιών ήδη εξετάζει την επόμενη τεχνολογία, δηλαδή την 6G τεχνολογία. Μία ομάδα από 287 ερευνητές από 28 διαφορετικές χώρες συγκεντρώθηκαν για το πρώτο παγκόσμιο συνέδριο για συζήτηση πάνω στην 6G τεχνολογία, το οποίο πραγματοποιήθηκε στις 24-26 Μαρτίου 2019 στο Λέβι της Φινλανδίας, κατά την διάρκεια του οποίου έγιναν 99 παρουσιάσεις. Είχε διατεθεί άδεια για συγκεκριμένες ραδιοσυχνότητες από τη Φινλανδική Υπηρεσία Μεταφορών και Επικοινωνιών και η Nokia έφερε ένα 5G BS van, κατά τη

διάρκεια της εκδήλωσης, όπου διεξήχθησαν ορισμένα VR demos στο βορειότερο 5G δίκτυο του κόσμου. [99], [100]

Οι δύο μεγαλύτερες κινητήριες δυνάμεις για την έλευση της 6G τεχνολογίας αποτελούν η ταχύτητα και το φάσμα. Η αρχική σκέψη είναι ότι η 6G θα στοχεύσει σε ταχύτητες του 1 Terabyte/sec. Για να επιτευχθούν τέτοιες ταχύτητες, τα σήματα θα πρέπει να μεταδίδονται με πάνω από 1 terahertz. Όμως, η λειτουργία σε αυτή την περιοχή φάσματος μπορεί να απαιτήσει ανακαλύψεις στην έρευνα υλικών, νέες αρχιτεκτονικές υπολογιστών, σχέδια ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και νέους τρόπους σύζευξης με πηγές ενέργειας. Οπότε, κρίνεται απαραίτητη η μελλοντική έρευνα και προσπάθεια στους παραπάνω τομείς, καθώς απαιτείται ανάπτυξη και ιδιαίτερη προσοχή και μελέτη. Όπως γίνεται κατανοητό, θα προκύψουν νέες περιπτώσεις χρήσης και μελλοντικά σενάρια για την 6G τεχνολογία. [99]

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <https://retailtechanologytrends.files.wordpress.com/2010/11/wireless.jpg> (Σχήμα 2.1 : Τα στοιχεία ενός κινητού δικτύου επικοινωνίας.)
2. <https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/papaioan/dchmnt/2015-16/stmwn/lec1-stmwn.pdf>
3. [https://el.wikipedia.org/wiki/Global\\_System\\_for\\_Mobile\\_Communications#.CE.96.CF.8E.CE.BD.CE.B5.CF.82\\_.CE.A3.CF.85.CF.87.CE.BD.CE.BF.CF.84.CE.AE.CF.84.CF.89.CE.BD](https://el.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications#.CE.96.CF.8E.CE.BD.CE.B5.CF.82_.CE.A3.CF.85.CF.87.CE.BD.CE.BF.CF.84.CE.AE.CF.84.CF.89.CE.BD)
4. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Mobile\\_vs\\_desktop\\_Internet.xlsx-1.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Mobile_vs_desktop_Internet.xlsx-1.jpg) (Σχήμα 2.2 : Σύγκριση Mobile-Desktop internet users.)
5. [http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/bouras\\_site/notes/%CE%94%CE%94%CE%A7%CE%94%CE%94\\_%CE%A0%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CF%83%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82.pdf?language=el](http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/bouras_site/notes/%CE%94%CE%94%CE%A7%CE%94%CE%94_%CE%A0%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CF%83%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82.pdf?language=el)
6. [https://www.ermt.net/docs/papers/Volume\\_5/12\\_December2016/V5N12-118.pdf](https://www.ermt.net/docs/papers/Volume_5/12_December2016/V5N12-118.pdf)
7. [http://www.cs.uoi.gr/~epap/MYE006/downloads/lect1\\_4in1.pdf](http://www.cs.uoi.gr/~epap/MYE006/downloads/lect1_4in1.pdf)
8. <http://techdifferences.com/wp-content/uploads/2017/07/4G-Architecture.jpg> (Σχήμα 2.2.2 : Η αρχιτεκτονική ενός LTE-4G δικτύου.)
9. <http://techdifferences.com/difference-between-3g-and-4g-technology.html>
10. <https://el.wikipedia.org/wiki/LTE>
11. <http://www.sepe.gr/gr/research-studies/article/7534657/to-53-tou-pagosmiou-plithusmou-paramenei-horis-prosvasi-sto-diadiktuo/>
12. <https://en.wikipedia.org/wiki/1G>
13. <https://en.wikipedia.org/wiki/2G>
14. <https://en.wikipedia.org/wiki/3G>

15. <https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>
16. <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-mimo.php>
17. <https://www.researchgate.net/publication/275070022/figure/fig5/AS:304896332058625@1449704358044/Basic-structure-of-MIMO-system.png> (Σχήμα 2.2.3.1 : Η τεχνολογία MIMO.)
18. <https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6>
19. [http://ijarcse.com/Before\\_August\\_2017/docs/papers/Volume\\_4/11\\_November2014/V4I11-0300.pdf](http://ijarcse.com/Before_August_2017/docs/papers/Volume_4/11_November2014/V4I11-0300.pdf)
20. [https://en.wikipedia.org/wiki/Voice\\_over\\_IP](https://en.wikipedia.org/wiki/Voice_over_IP)
21. [https://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal\\_frequency-division\\_multiplexing](https://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing)
22. <https://www.slideshare.net/ggnrandhawa/4g-48241806>  
(Περικοπή εικόνας από 16ο slide της παρουσίασης, Σχήμα 2.2.3.2 : Συμπύεση δεδομένων στην VoIP τεχνολογία.)
23. <https://www.hindawi.com/journals/ijdmb/2009/384507/>
24. <http://www.cablefree.net/wirelesstechnology/software-defined-radio-sdr/>
25. <http://ac.informatik.uni-freiburg.de/publications/publications/cocoon05.pdf>
26. [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CF%8C\\_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF\\_%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CF%8E%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF_%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CF%8E%CE%BD)
27. <https://www.gizbot.com/telecom/features/5g-networks-explained-how-is-it-better-than-4g-037100.html>
28. [https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjbuKbnN\\_YAhVJhSwKHeiVD34QFggrMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.ukessays.com%2Fessays%2Finformation-technology%2Fproblems-and-solutions-of-4g-networks-information-technology-essay.php&usg=AOvVaw1fK2yf0kZljHHlzLjriS1b](https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjbuKbnN_YAhVJhSwKHeiVD34QFggrMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.ukessays.com%2Fessays%2Finformation-technology%2Fproblems-and-solutions-of-4g-networks-information-technology-essay.php&usg=AOvVaw1fK2yf0kZljHHlzLjriS1b)
29. <https://www.techopedia.com/definition/19726/handover-ho>
30. <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
31. <http://www.tovima.gr/society/article/?aid=902884>

32. [https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CEID1063/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%202013-14/12\\_4G\\_and\\_beyond\\_2.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CEID1063/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%202013-14/12_4G_and_beyond_2.pdf)
33. [https://www.tutorialspoint.com/5g/5g\\_architecture.htm](https://www.tutorialspoint.com/5g/5g_architecture.htm)
34. <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/5G-network-architecture.html>
35. <http://www.rfwireless-world.com/images/5G-network-architecture.jpg> (Σχήμα 3.1 : Η αρχιτεκτονική ενός 5G κινητού δικτύου επικοινωνίας.)
36. <https://www.techworld.com/picture-gallery/tech-innovation/timeline-of-5g-development-3654794/>
37. <http://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=9505>
38. <https://pdfs.semanticscholar.org/d1cb/c4d6ce3cc1f06298c099cccd9d92a3bd7bd2.pdf>
39. <https://support.chinavasion.com/index.php?/Knowledgebase/Article/View/284/42/1g-2g-3g-4g--the-evolution-of-wireless-generations>
40. [https://myassignmenthelp.com/mah\\_cms/uploads/pic3-1476955638.png](https://myassignmenthelp.com/mah_cms/uploads/pic3-1476955638.png) (Σχήμα 2.2.3 : Η εξέλιξη των τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας.)
41. <https://www.androidauthority.com/4g-and-5g-wireless-how-they-are-alike-and-how-they-differ-615709/>
42. <http://techinsightsguru.com/difference-5g-wireless-technology-different-4g/>
43. <https://pdfs.semanticscholar.org/b4ae/59e94693aeca5496e1c49e853805951f0e86.pdf>
44. <https://image.slidesharecdn.com/london-btm-pdfs-110408173910-phpapp02/95/evaluating-approaches-to-building-dpi-into-an-lte-network-at-the-pdn-gateway-and-ensuring-scalability-15-728.jpg?cb=1302516734> (Σχήμα 4.1.1 : Η πυκνότητα των δικτύων ως συνδυασμός femtocell, picocell, microcell και macrocell.)
45. <https://pdfs.semanticscholar.org/cbaf/6e673f6d7a78b65598dfdde8802c3bcec8ff.pdf>

46. <http://money.cnn.com/2018/04/16/technology/china-united-states-5g-technology-study/index.html>
47. <http://www.thebest.gr/news/index/viewStory/483566>
48. <http://www.thebest.gr/news/index/viewStory/481926>
49. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD>
50. <https://www.xtendiot.com/wp-content/uploads/2017/06/iot-internet-of-things.jpg> (Σχήμα 4.1.2 : Η διασύνδεση των συσκευών και προϊόντων στην 5G τεχνολογία Internet of Things.)
51. <https://www.rcrwireless.com/20171204/fundamentals/the-role-of-nfv-and-sdn-in-5g-tag27-tag99>
52. <https://pdfs.semanticscholar.org/2e0c/f5bc6793912bdda30a8aa9f9e393360a003d.pdf>
53. <https://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/back-issues/table-contents-59/161-sdn.html>
54. [https://en.wikipedia.org/wiki/Big\\_data](https://en.wikipedia.org/wiki/Big_data)
55. <https://www.techopedia.com/definition/14861/wireless-backhaul>
56. <https://lstsai.files.wordpress.com/2015/09/100.png> (Σχήμα 4.1.4 : Η διασύνδεση των κινητών συσκευών με τους cloud servers μέσω του Internet.)
57. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cognitive\\_radio](https://en.wikipedia.org/wiki/Cognitive_radio)
58. <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/cognitive-radio>
59. <https://blog.eai.eu/how-can-5g-wireless-benefit-from-cognitive-radio-principles/>
60. [https://www.researchgate.net/publication/319702629\\_Cognitive\\_Radio\\_in\\_5G\\_-\\_A\\_Smart\\_City\\_Perspective-](https://www.researchgate.net/publication/319702629_Cognitive_Radio_in_5G_-_A_Smart_City_Perspective-)
61. <https://i.ytimg.com/vi/tsMCafHvNxQ/maxresdefault.jpg> (Σχήμα 4.1.5 : Η χρήση οποιoδήποτε διαθέσιμου καναλιού μέσω της τεχνολογίας Cognitive Radio.)

62. <https://searchnetworking.techtarget.com/feature/Understand-the-basics-of-5G-wireless-networks>
63. <http://apps.cept.org/eccnews/sep-2017/img/diagram-01.jpg>  
(Σχήμα 4.2.1 : 5G Υπηρεσίες – Περιπτώσεις χρήσης.)
64. [https://www.ramonmillan.com/documentos/bibliografia/5GUseCases\\_Nokia.pdf](https://www.ramonmillan.com/documentos/bibliografia/5GUseCases_Nokia.pdf)
65. <https://www.statista.com/topics/779/mobile-internet/>
66. <https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/>
67. <https://www.lifewire.com/definition-of-2-5g-578647>
68. <https://www.kenyaplex.com/resources/13800-evolution-of-cellular-mobile-technologies.aspx>
69. <https://www.patrasevents.gr/article/366751-patra-o-dimos-pagose-to-5g-gia-logous-dimosias-igeias-ke-to-psaxnei>
70. [https://en.wikipedia.org/wiki/Capital\\_expenditure](https://en.wikipedia.org/wiki/Capital_expenditure)
71. [https://en.wikipedia.org/wiki/Operating\\_expense](https://en.wikipedia.org/wiki/Operating_expense)
72. <https://el.wikipedia.org/wiki/RFID>
73. <https://hackernoon.com/everything-you-need-to-know-about-5g-technology-non-technical-99cb095bde7f>
74. <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/vr-and-ar-pushing-connectivity-limits.pdf?fbclid=IwAR0eucCdmhHwZ6BCETKjf7Yo8xjpkIQaub09lHebkBZ2oXCLMUFOJ-bUBE8>
75. [https://www.researchgate.net/publication/315804922\\_5G\\_impact\\_On\\_Smart\\_Cities](https://www.researchgate.net/publication/315804922_5G_impact_On_Smart_Cities)
76. <https://partners.wsj.com/qualcomm/transforming-entertainment/>
77. [https://en.wikipedia.org/wiki/5G\\_-\\_Research](https://en.wikipedia.org/wiki/5G_-_Research)
78. <https://www.techspot.com/article/1582-state-of-5g-wireless/>
79. <http://ijcsit.com/docs/Volume%206/vol6issue03/ijcsit20150603123.pdf>
80. <https://cellphoneboosterstore.com/wp-content/uploads/2017/02/index.jpg> (Σχήμα 2.2.1 : Η εξέλιξη της κινητής τηλεφωνίας.)

81. [https://www.researchgate.net/publication/233790356\\_Mobile\\_Communication\\_Network](https://www.researchgate.net/publication/233790356_Mobile_Communication_Network)
82. <https://netandset.files.wordpress.com/2016/02/cn.jpg>  
(Σχήμα 2 : Κινητό δίκτυο επικοινωνίας.)
83. [http://www.mehrpouyan.info/MIMO\\_presentation\\_Matthaiou.pdf](http://www.mehrpouyan.info/MIMO_presentation_Matthaiou.pdf)
84. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6894456>
85. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7010531>
86. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7010533>
87. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7000981>
88. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6829950>
89. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6807945>
90. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6787081>
91. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6815897>
92. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-application-of-internet-of-things-in-a-review-Ahmadi-Arji/bd580bfcf6558a1450d3804e06d009e3e6f6b0d0>
93. [https://www.researchgate.net/publication/221757397\\_The\\_potential\\_of\\_Internet\\_of\\_m-health\\_Things\\_m-IoT\\_for\\_non-invasive\\_glucose\\_level\\_sensing](https://www.researchgate.net/publication/221757397_The_potential_of_Internet_of_m-health_Things_m-IoT_for_non-invasive_glucose_level_sensing)
94. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.45.8.8816&rep=rep1&type=pdf>
95. <http://pgembeddedsystems.com/securelogin/upload/project/IEEE/33/PGEMB0063/Towards%20the%20Implementation%20of%20IoT%20for%20Environmental%20Condition%20Monitoring%20in%20Homes.pdf>
96. [https://www.researchgate.net/profile/Marc\\_Pallot/publication/230730340\\_Developing\\_a\\_Policy\\_Roadmap\\_for\\_Smart\\_Cities\\_and\\_the\\_Future\\_Internet/links/02e7e52fcdd84c0a5f000000/Developing-a-Policy-Roadmap-for-Smart-Cities-and-the-Future-Internet.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marc_Pallot/publication/230730340_Developing_a_Policy_Roadmap_for_Smart_Cities_and_the_Future_Internet/links/02e7e52fcdd84c0a5f000000/Developing-a-Policy-Roadmap-for-Smart-Cities-and-the-Future-Internet.pdf)
97. <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-14/ftp/cr.pdf>
98. <https://www.naftemporiki.gr/story/1467960/6g-ti-tha-ferai-i-epomeni-genia-diktuon-meta-to-5g>



99. <https://venturebeat.com/2019/03/21/6g-research-starting-before-5g/>
100. <https://www oulu.fi/itee/news/6gsummit>
101. [http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/publications/icwmc\\_2019\\_3\\_20\\_20022.pdf](http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/publications/icwmc_2019_3_20_20022.pdf)
102. [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%AC%CE%BB%CF%85%CF%83%CE%B7\\_SWOT](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%AC%CE%BB%CF%85%CF%83%CE%B7_SWOT)
103. [https://timelines.issarice.com/wiki/Timeline\\_of\\_5G#Full\\_time\\_line](https://timelines.issarice.com/wiki/Timeline_of_5G#Full_time_line)