



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**

*ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ*

*ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ*

---

*ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΕ  
ΔΙΚΤΥΑ 5G*

---

**ΜΙΧΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ**

**A.M 5837**

*ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ*

**ΠΑΤΡΑ 2018**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

---

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	II
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	IV
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	1
1.1.1 ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (1G NETWORKS).....	2
1.1.2 ΔΙΚΤΥΑ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (2G NETWORKS) .....	4
1.1.3 ΔΙΚΤΥΑ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (3G NETWORKS).....	5
1.1.4 ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G NETWORKS) .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ .....	10
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (5G NETWORKS) .....	10
2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ .....	11
2.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ .....	12
2.3.1 ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (SERVICE LAYER) .....	14
2.3.2 ΕΠΙΠΕΔΟ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ (MANAGEMENT AND ORCHESTRATION LAYER) .....	14
2.3.3 ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΛΕΓΧΟΥ (CONTROL LAYER).....	15
2.3.4 ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATA LAYER).....	15
2.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ .....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 5G .....	19

<b>3.1 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ SMALL CELLS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΜΕ ΚΥΜΑΤΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΩΝ .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΜΕ MASSIVE MIMO .....</b>	<b>24</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>27</b>

# ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

---

---

<i>1G</i>	<i>First Generation</i>
<i>2G</i>	<i>Second Generation</i>
<i>2.5G</i>	<i>Two and a half Generation</i>
<i>3G</i>	<i>Third Generation</i>
<i>3GPP</i>	<i>Third Generation Partnership Project</i>
<i>5G</i>	<i>Fifth Generation</i>
<i>5G-PPP</i>	<i>5G Infrastructure Public Private Partnership</i>
<i>8 PSK</i>	<i>Eight-phase shift keying</i>
<i>BSS</i>	<i>Business Support System</i>
<i>BTS</i>	<i>Base Station</i>
<i>C-RAN</i>	<i>Cloud Radio Access Network</i>
<i>CoMP</i>	<i>Coordinated MultiPoint</i>
<i>DAS</i>	<i>Distributed Antenna Systems</i>
<i>EDGE</i>	<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>
<i>EHF</i>	<i>Extremely High Frequency</i>
<i>FDM</i>	<i>Frequency Division Multiplexing</i>
<i>FDMA</i>	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
<i>GSM</i>	<i>Global Systems for mobile communications</i>
<i>GPRS</i>	<i>General Packet Radio Services</i>

<i>GMSK</i>	<i>Gaussian Minimum Shift Keying</i>
<i>HetNet</i>	<i>Heterogeneous Network</i>
<i>HSDPA</i>	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
<i>HSPA</i>	<i>High Speed Download Packet Access</i>
<i>HSPA+</i>	<i>Evolved High Speed Packet Access</i>
<i>HSUPA</i>	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
<i>IMT-Advanced</i>	<i>International Mobile Telecommunications Advanced</i>
<i>IPTV</i>	<i>Internet Protocol Television</i>
<i>ITU-2000</i>	<i>International Telecommunication Union-2000</i>
<i>ITU-R</i>	<i>International Telecommunications Union-Radio communications sector</i>
<i>LTE</i>	<i>Long Term Evolution</i>
<i>LTE-A</i>	<i>Long Term Evolution Advanced</i>
<i>MBS</i>	<i>Macrocell Base Station</i>
<i>MIMO</i>	<i>Massive Multiple-Input and Multiple-Output</i>
<i>mm-wave</i>	<i>millimeter wave</i>
<i>MU-MIMO</i>	<i>Multi-User Multiple-Input and Multiple-Output</i>
<i>NFV</i>	<i>Network Function Virtualization</i>
<i>OFDM</i>	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
<i>PNF</i>	<i>Physical Network Functions</i>
<i>QoS</i>	<i>Quality of Service</i>
<i>RAN</i>	<i>Radio Access Network</i>
<i>RAT</i>	<i>Radio Access Technologies</i>

<i>SBS</i>	<i>Small cell Base Station</i>
<i>SDM-C</i>	<i>Software Defined Mobile Network Controller</i>
<i>SDM-X</i>	<i>Software Defined Mobile Network Coordinator</i>
<i>SDN</i>	<i>Software Defined Network</i>
<i>SMS</i>	<i>Short Message Service</i>
<i>SU-MIMO</i>	<i>Single-User Multiple-Input and Multiple-Output</i>
<i>TDMA</i>	<i>Time Division Multiple Access</i>
<i>UMTS</i>	<i>Universal Mobile Telecommunications Service</i>
<i>VoIP</i>	<i>Voice over Internet Protocol</i>
<i>VNF</i>	<i>Virtual Network Functions</i>
<i>W-CDMA</i>	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
<i>WLAN</i>	<i>Wireless Local Area Network</i>
<i>WiMAX</i>	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1 Ιστορική Αναδρομή

Αδιαμφισβήτητα, η ικανότητα να επικοινωνήσουμε τηλεφωνικά με έναν απομακρυσμένο δέκτη αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογικές ανακαλύψεις στην ιστορία του ανθρώπου. Τα συστήματα τηλεπικοινωνίας άλλαξαν ριζικά τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι επικοινωνούσαν μεταξύ τους, δίνοντάς τους την δυνατότητα να εκμεταλλευτούν τις ικανότητες των τηλεπικοινωνιακών δικτύων για την βελτίωση της ποιότητας της ζωής τους.

Οι άνθρωποι αγάλιασαν αυτή τη τεχνολογική καινοτομία, η οποία με εκθετικούς ρυθμούς έβρισκε συνεχώς περισσότερους συμμάχους στο δρόμο της. Ακόμα και σήμερα, ο αριθμός των εγγεγραμμένων χρηστών αυξάνεται καθημερινά με ραγδαίους ρυθμούς και σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών για υπηρεσίες όπως η ασφάλεια, η ταχύτητα και η ευρύτερη κάλυψη και υποστήριξη, οδηγούν στην ανάπτυξη νέας γενιάς δικτύων με σταθερό ρυθμό ανά μια δεκαετία. Αρκεί να κοιτάξει κανείς τα στατιστικά των τελευταίων ετών για να πειστεί, καθώς ενώ το 2012 ο καταγεγραμμένος αριθμός των χρηστών δικτύου βρισκόταν στα 4.5 δισεκατομμύρια και κάθε χρήστης κατά ΜΟ κατανάλωνε 10 GB δεδομένων το χρόνο, υπολογίζεται ότι το 2020 ο αριθμός των χρηστών θα έχει εκτοξευτεί περίπου στα 7.6 δισεκατομμύρια με ετήσια κατανάλωση δεδομένων 82 GB ανά χρήστη [1].

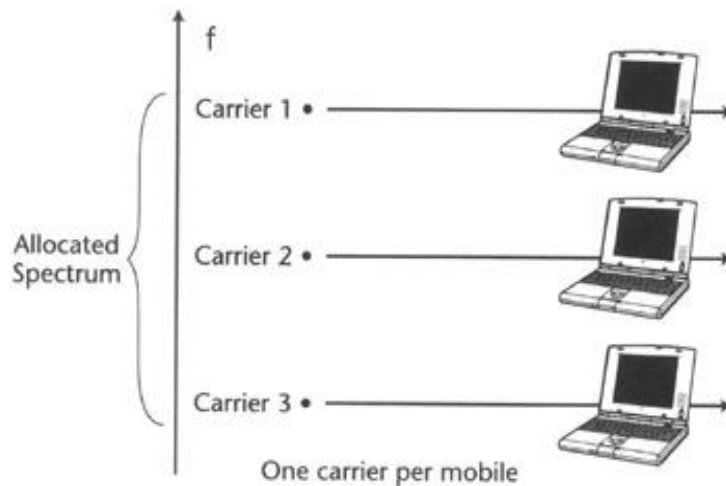
Ως αποτέλεσμα, είναι πλέον φανερό η ανάγκη εύρεσης, ανάπτυξης και συντήρησης ενός νέου δικτύου τηλεπικοινωνιών, το οποίο θα είναι σε θέση να προσφέρει βελτιωμένες και καινοτόμες υπηρεσίες στους χρήστες. Το δίκτυο αυτό θα φέρει το όνομα Δίκτυο 5<sup>ης</sup> γενιάς (*Fifth Generation Network, 5G Network*) και αναμένεται να λειτουργεί σε πολύ υψηλές συχνότητες λειτουργίας – για πρώτη φορά άνω των 3 GHz – καθώς και να αποτελείται από αρκετά συμπυκνωμένους Σταθμούς Βάσεων (*Base Station, BTS*) πολλαπλών κεραιών. Πριν όμως μπούμε σε λεπτομέρειες για τα δίκτυα του μέλλοντος, οφείλουμε να κάνουμε μια αναδρομή στο παρελθόν, ξεκινώντας από τα πρώτα αναλογικά δίκτυα που εμφανίστηκαν πριν περίπου 40 χρόνια [1].

### **1.1.1 Δίκτυα Πρώτης Γενιάς (1G Networks)**

Η πρώτη προσπάθεια υλοποίησης ενός Δικτύου που θα προσέφερε τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά έκανε την εμφάνισή του το 1980. Σε αντίθεση με τα δίκτυα των επόμενων γενεών, το Δίκτυο 1<sup>ης</sup> Γενιάς (*First Generation Network, 1G Network*) όπως ονομάστηκε, αποτέλεσε το πρώτο και μοναδικό αναλογικό δίκτυο τηλεπικοινωνιών, εκπέμποντας δηλαδή μονάχα αναλογικά ραδιοκύματα. Το δίκτυο αυτό ήταν παραμετροποιημένο με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να υποστηρίζει μονάχα τηλεφωνική επικοινωνία (υπηρεσίες ομιλίας & μεταφοράς δεδομένων) με πολύ χαμηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων της τάξεως των 2.4 kbps μονάχα, αλλά και εύρος ζώνης που άγγιζε τα 30 kHz. Το δίκτυο αυτό θεωρούνταν κυψελοειδές δίκτυο, δηλαδή αποτελούταν από γεωγραφικές περιοχές που θεωρούνταν ως ‘κελιά’ και κάθε κελί αποτελούταν από μερικά BTS. Κάθε κελί λοιπόν είχε την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε συχνότητα βρισκόταν διαθέσιμη εντός της γεωγραφικής περιοχής που κάλυπτε, με απώτερο σκοπό την αντιμετώπιση παρεμβολών από γειτονικά κελιά και την απρόσκοπτη και ασφαλή παροχή υπηρεσιών εντός του κελιού. Το μοντέλο κατασκευής ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου πάνω σε κελιά ξεκίνησε από τα Δίκτυα 1G και βρίσκει εφαρμογή ακόμα και στα Δίκτυα του σήμερα [1][2][3][4].

Το πρωτόκολλο στο οποίο στηρίχθηκε το τηλεπικοινωνιακό σύστημα των 1G Δικτύων ήταν το *Frequency Division Multiple Access (FDMA)*. Σύμφωνα με το παραπάνω πρωτόκολλο, σε κάθε χρήστη ανατίθεται μια πεπερασμένη και διακριτή συχνότητα με σκοπό να γίνει διαχώριση των καναλιών που θα ανατεθούν στους χρήστες εντός του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων του δικτύου. Η συχνότητα που είχε στη διάθεσή του ένας χρήστης για να κάνει μια τηλεφωνική κλήση ήταν διαθέσιμη μόνο για τη διάρκεια της εκάστοτε κλήσης ή μεταφοράς δεδομένων, οπότε το μοντέλο αναπόφευκτα ανάγκαζε το χρήστη σε αναζήτηση νέας συχνότητας για κάθε νέα ενέργεια που έκανε εντός του δικτύου. Μια διαγραμματική αναπαράσταση του πρωτοκόλλου FDMA παρουσιάζεται στην Εικόνα 1 [3].





**Εικόνα 1: Πρωτόκολλο FDMA [3]**

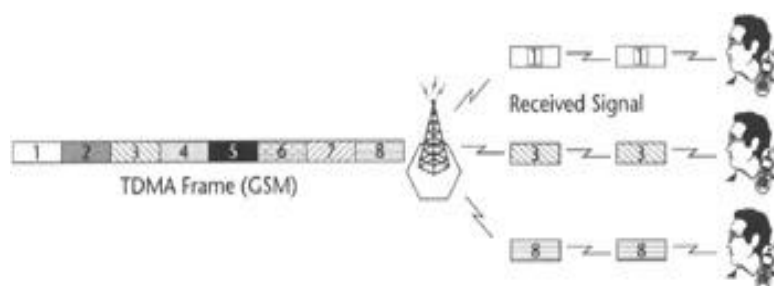
Τα Δίκτυα 1G γρήγορα αντικαταστάθηκαν από τα δίκτυα της επόμενης γενιάς, καθώς παρουσίασαν αρκετά μειονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, οι τηλεφωνικές κλήσεις δεν παρείχαν ακόμα την απαιτούμενη ασφάλεια δεδομένων, καθώς δεν υπήρχαν μέθοδοι κρυπτογράφησης των δεδομένων για αναλογικά δίκτυα. Τα αναλογικά ραδιοκύματα που μετέδιδαν τα δίκτυα αυτά ήταν αρκετά αργά και αντιμετώπιζαν πολλαπλά προβλήματα παρεμβολών. Η ποιότητα των κλήσεων ήταν αρκετά κακή και αναπόφευκτα οδηγούσε στην κατάρρευση πολλαπλών εν' εξέλιξη κλήσεων, το πλήθος των επιτρεπόμενων χρηστών ήταν αρκετά περιορισμένο λόγω του αλγορίθμου ανάθεσης μιας διακριτής συχνότητας σε ένα και μόνο χρήστη ανά κλήση και παρείχε ελάχιστες υπηρεσίες. Επιπρόσθετα, δεν δινόταν η δυνατότητα σε χρήστες εντός του δικτύου να μεταφερθούν σε διπλανά BTS (handover) σε προβληματικές περιπτώσεις, οι μπαταρίες που επικρατούσαν την περιοχή εκείνη ήταν μικρής διάρκειας, ενώ ίσως το σημαντικότερο πρόβλημα που μετέπειτα αντιμετωπίστηκε αποτελεσματικά ήταν η έλλειψη ενός καθολικού διεθνούς standard, κάτω από το οποίο όλα τα συστήματα θα ήταν απολύτως συμβατά μεταξύ τους [1].

Δυστυχώς για τα Δίκτυα 1G, οποιεσδήποτε συγκρίσεις με τους μελλοντικούς διαδόχους τους φέρνουν τα δίκτυα αυτά σε δυσμενή θέση, καθώς τα πολλαπλά μειονεκτήματα τους σε συνδυασμό με την αναλογική λειτουργικότητά τους συνέβαλλαν στην άμεση αντικατάστασή τους λίγα χρόνια μετά.

### 1.1.2 Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς (2G Networks)

Η βελτίωση των 1G Δικτύων ήταν ένα μείζον ζήτημα της εποχής. Το 1991, 10 περίπου χρόνια μετά την ανάπτυξη των 1G Δικτύων, κάνουν την εμφάνισή τους τα Δίκτυα 2<sup>ης</sup> Γενιάς (*Second Generation Networks, 2G Networks*). Σε αντίθεση με τα Δίκτυα 1G, επέτρεπαν την εκπομπή ψηφιακών (αντί αναλογικών) ραδιοκυμάτων, γεγονός που επέτρεπε την ψηφιακή κρυπτογράφηση των μεταφερόμενων δεδομένων. Μπορεί να τα συναντήσουμε και με την ονομασία *Global Systems for mobile communications (GSM)* [5].

Τα ασύρματα Δίκτυα 2G βασίστηκαν στο πρωτόκολλο *Time Division Multiple Access (TDMA)*, σύμφωνα με το οποίο οι διαθέσιμοι πόροι μοιράζονται στο χρόνο και συνδυάζονται με πολυπλεξία συχνότητας (*frequency-division multiplexing, FDM*) στην περίπτωση που υπάρχει ανάγκη χρησιμοποίησης πολλαπλών συχνοτήτων. Αποτέλεσμα της παραπάνω επεξεργασίας είναι η ευρεία διάθεση πολλαπλών ψηφιακών καναλιών, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικά χρονικά τμήματα στο διαθέσιμο πεδίο συχνοτήτων. Μια διαγραμματική αναπαράσταση του πρωτοκόλλου TDMA παρουσιάζεται στην Εικόνα 2 [6].



**Εικόνα 2: Πρωτόκολλο TDMA [6]**

Στο τεχνικό κομμάτι, τα δίκτυα αυτά έδιναν τη δυνατότητα για τηλεφωνικές επικοινωνίες και μεταφορά δεδομένων με βελτιωμένους ρυθμούς που άγγιζαν τα 9.6 kbps και εύρος ζώνης 200 kHz. Παράλληλα με την βελτίωση των ρυθμών αποστολής και λήψης δεδομένων και την εισαγωγή ψηφιακής κρυπτογράφησης, προσέφεραν αυξημένη χωρητικότητα δικτύου και επέτρεπαν στις μπαταρίες των συσκευών κινητής τηλεφωνίας να διαρκούν περισσότερο, αφού τα μεταδιδόμενα ραδιοκύματα απαιτούσαν σαφώς μικρότερη ισχύ. Επίσης, θα ήταν παράλειψη αν δεν αναφέραμε το γεγονός ότι τα Δίκτυα 1G ήταν τα πρώτα Δίκτυα που υποστήριζαν την αποστολή και

λήψη μηνυμάτων κειμένου, τα γνωστά σε όλους μας *Short Message Service (SMS)* [1].

Το βασικό μειονέκτημα τους ήταν οι ακόμα και για την εποχή εκείνη χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων, γεγονός που οδήγησε στην κατασκευή των Δικτύων Δεύτερης και Μισής Γενιάς (*Two and a half Generation Networks, 2.5G*). Σε αντίθεση με τα Δίκτυα 2G τα οποία χρησιμοποιούσαν μονάχα μεταγωγή κυκλώματος (*circuit switching*), τα Δίκτυα 2.5G υιοθέτησαν ένα καινοτόμο συνδυασμό μεταγωγής πακέτων (*packet switching*) και μεταγωγής κυκλώματος και υιοθετώντας χωρίς παραλλαγές τις υπόλοιπες τεχνικές των Δικτύων 2G. Ο συνδυασμός αυτός είχε ως αποτέλεσμα να παρατηρηθεί μια σαφή αύξηση της ταχύτητας δεδομένων μεταφοράς στα 50 kbps. Ο μηχανισμός αυτός ονομάστηκε *General Packet Radio Services (GPRS)* και αποτελούσε φυσική εξέλιξη και όχι ανεξαρτησία από τα Δίκτυα 2G [1][5].

Λίγα χρόνια μετά, θα έρθουν στο φώς και τα Δίκτυα 2.75G. Τα Δίκτυα 2.75G υιοθέτησαν την τεχνολογία *Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)*, η οποία βασιζόταν στα υπάρχοντα πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων και διαθέσιμου εύρους ζώνης με τα GSM Δίκτυα, αλλά διαφοροποιήθηκαν ως προς την χρησιμοποιούμενη τεχνική διαμόρφωσης. Η τεχνολογία EDGE υιοθέτησε την *Eight-phase shift keying (8 PSK)* σε συνδυασμό με το *Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK)* της GSM τεχνολογίας και απέφερε βελτιώσεις, όπως για παράδειγμα η περαιτέρω αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων περίπου στα 200 kbps, προσφέροντας όμως μικρότερη γεωγραφική κάλυψη σε σχέση με τα προγενέστερα δίκτυα 2G [1][5].

### **1.1.3 Δίκτυα Τρίτης Γενιάς (3G Networks)**

Τα ασύρματα Δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς (*Third Generation Networks, 3G Networks*) αποτελέσαν την φυσική μετεξέλιξη των 2G Δικτύων και των αναβαθμίσεών τους (βλέπε 2G Δίκτυα με τεχνολογίες GPRS/EDGE). Εμφανίστηκαν το 1998, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, με τεχνικές που όφειλαν να συνάδουν με τα πρότυπα και τις προδιαγραφές της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών-2000 (*International Telecommunication Union-2000, ITU-2000*) [7].

Όσον αφορά τις υποστηριζόμενες τεχνολογίες, τα Δίκτυα 3G προσέφεραν υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και καινοτόμες δυνατότητες ροής βίντεο και ήχου (*video & audio capabilities streaming*), ενώ παράλληλα ήταν τα πρώτα δίκτυα που υποστήριζαν τη παγκόσμια περιαγωγή δεδομένων (*global roaming*) σε τηλεφωνικά δίκτυα. Οι αρχικές παρεχόμενες ταχύτητες ήταν της τάξεως των 0.2 Mbit/s. Τα δίκτυα αυτά παρείχαν επίσης υποστήριξη για ψηφιακές τηλεδιασκέψεις και τηλεόραση μέσω internet (*Internet Protocol Television, IPTV*). Το ευρέως χρησιμοποιούμενο standard για τα Δίκτυα 3G ήταν το *Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS)*, ένα standard βασισμένο στο GSM μοντέλο του οποίου την ανάπτυξη ανέλαβε το *Third Generation Partnership Project (3GPP)* που επιδίωκε να προσφέρει βελτιωμένες υπηρεσίες εντός του δικτύου [7][8][9].

Για να επιτύχει ο 3GPP οργανισμός τους στόχους του, χρησιμοποιήθηκαν νέες τεχνικές, όπως το *Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA)* και μετά από λίγο καιρό, το *High Speed Packet Access (HSPA)*. Η τεχνολογία W-CDMA αποσκοπούσε στη βελτίωση της απόδοσης δικτύου και την αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Η τεχνολογία HSPA ήταν ουσιαστικά μια συνένωση τεχνικών, του *High Speed Download Packet Access (HSDPA)* και του *High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)* και στόχευε στην βελτίωση των επιδόσεων των υπαρχόντων Δικτύων 3G. Αλλά ακόμη και αυτή η τεχνολογία δεν άργησε να αντικατασταθεί, καθώς το 2008 έρχεται στο φώς το *Evolved High Speed Packet Access (HSPA+)* που προσέφερε ρυθμούς 337 Mbit/s στο κατέβασμα (downlink) και 34Mbit/s στο ανέβασμα (uplink) [1][7][10].

#### **1.1.4 Δίκτυα Τέταρτης Γενιάς (4G Networks)**

Τα ασύρματα Δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς (*Fourth Generation Networks, 4G Networks*) έκαναν την εμφάνισή τους το 2009, φέρνοντας ταχύτητες x10 γρηγορότερες από τα Δίκτυα 3G, καθιστώντας τα Δίκτυα αυτά ως τα ευρέως χρησιμοποιούμενα δίκτυα ακόμη και σήμερα, με εξαίρεση συγκεκριμένες αγροτικές περιοχές οι οποίες για διάφορους λόγους επέλεξαν να μην συμβαδίσουν και να μείνουν με τα Δίκτυα 3G. Όσον αφορά στο standard το οποίο ακολούθησαν, το standard αυτό ιδρύθηκε από τον *International Telecommunications Union-Radio communications sector (ITU-R)* υπό

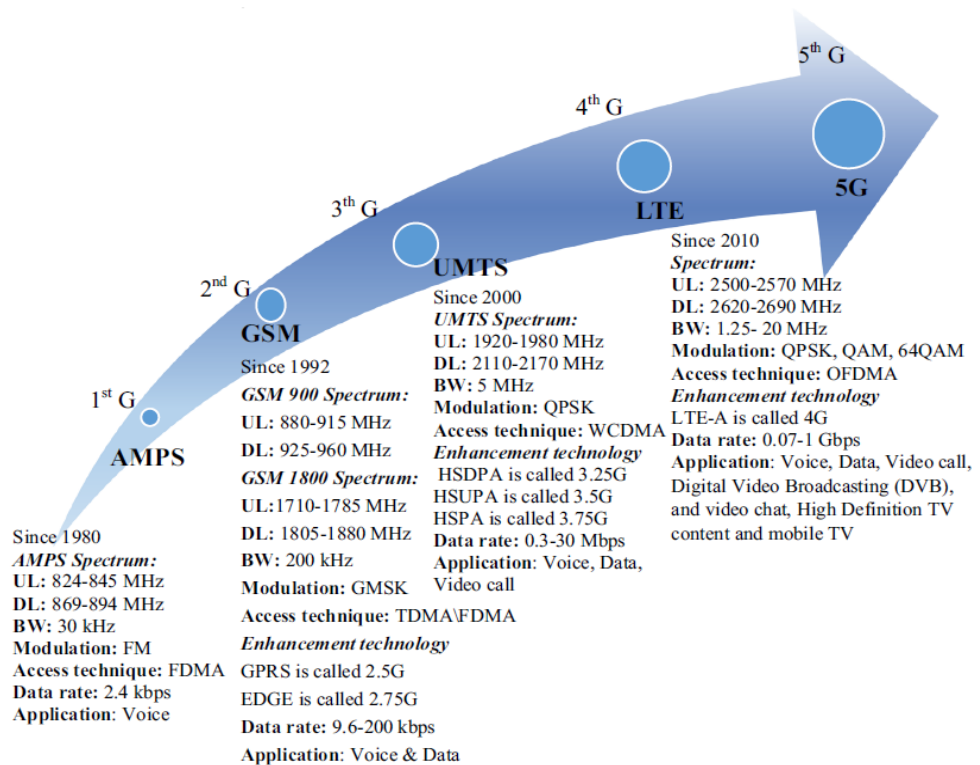
το όνομα *International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced)*, με απώτερο σκοπό για άλλη μια φορά την αύξηση του ρυθμού μεταφοράς δεδομένων στα 100 Mbit/s για εν κινήσει χρήστη και στα 1 Gbit/s για σταθερό χρήστη. Επίσης, τα Δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς προσέφεραν υπηρεσίες, όπως τηλεφωνία μέσω *Internet Protocol (IP telephony)*, διαδικτυακά παιχνίδια και βίντεο υψηλής ευκρίνειας [11][12].

Δύο είναι τα πρωτόκολλα εφαρμογής που έγιναν παγκοσμίως αποδεκτά και χρησιμοποιήθηκαν κατά κόρων. Το πρώτο από τα δύο πρωτόκολλα εμφανίστηκε το 2009 και ονομάστηκε *Long Term Evolution (LTE)*. Το LTE, του οποίου την ευθύνη ανάπτυξης ανέλαβε ο 3GPP οργανισμός, βασίστηκε στις προγενέστερες τεχνολογίες GSM/EDGE και UMTS/HSPA και κατάφερε να προσφέρει αρκετά υψηλότερες ταχύτητες τηλεπικοινωνίας μεταξύ χρηστών εντός του τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Για να επιτύχει τα παραπάνω, χρησιμοποιούσε μια τεχνική πολυπλεξίας με την ονομασία *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)*, η οποία επέτρεπε στο τηλεπικοινωνιακό σύστημα να επιτύχει εύρος ζώνης έως και 20 MHz και ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 100 Mbps, σε συνδυασμό με καλύτερες ποιότητες κλήσεων, μειωμένες παρεμβολές εντός του δικτύου και αυξημένη απόδοση του φάσματος συχνοτήτων [1][11][13]

Το δεύτερο πρωτόκολλο που αναφέραμε παραπάνω, εμφανίστηκε το 2010 και έφερε την ονομασία *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*, πρωτόκολλο το οποίο επέτρεπε την ευρυζωνική σύνδεση πολλαπλών φορητών συσκευών μεταξύ χωρών μέσω συγκεκριμένων συσκευών, καθώς και τον συνδυασμό υπηρεσιών, όπως η ταυτόχρονη παροχή δεδομένων, τηλεπικοινωνιών μέσω Διαδικτυακού Πρωτοκόλλου (*Voice over Internet Protocol, VoIP*) και IPTV [11][14].

Εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι παρόλο που τα 2 παραπάνω πρωτόκολλα εφαρμογής θεωρούνται από πολλούς ως πρωτόκολλα για Δίκτυα 4G, σύμφωνα με το ITU-R, τα πρωτόκολλα αυτά δεν ακολουθούν πλήρως το IMT-Advanced standard, αφού ποτέ δεν κατάφεραν να φτάσουν τις ταχύτητες δικτύου που απαιτούνταν. Κατά συνέπεια, για να καλυφθούν οι απαιτήσεις του IMT-Advanced, αναπτύχθηκαν μελλοντικά δύο επιπλέον τεχνολογίες, το *WiMAX Release 2* και το *LTE Advanced (LTE-A)*. Και τα δυο αυτά νέα πρωτόκολλα προσέφεραν βελτιωμένες επιδόσεις στους τομείς που τα προηγούμενα πρωτόκολλα αδυνατούσαν να προσφέρουν, γεγονός συνέβαλε καθοριστικά στο να καθιερωθούν και επίσημα πια από το ITU-R ως πρωτόκολλα Δικτύων 4G, πλήρως συμβατά με το IMT-Advanced standard [11].

Σε θεωρητικό επίπεδο, το πρωτόκολλο LTE-A ήταν ικανό να προσφέρει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων που για πρώτη φορά θα ξεπερνούσαν τα 1 Gbps. Όμως, η διαρκώς αυξανόμενη επιθυμία και ζήτηση του ανθρώπου για περισσότερες και ταχύτερες υπηρεσίες ώθησε στην ανάπτυξη των Δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς. Πριν μπούμε στο επόμενο κεφάλαιο το οποίο θα αφιερώσουμε στην ανάλυση των Δικτύων 5ης γενιάς, αξίζει να παραθέσουμε μια συνοπτική εικόνα για την εξέλιξη των ασύρματων κυψελοειδών δικτύων στο χρόνο και τα σημαντικά ορόσημα που κάθε δίκτυο ξεχωριστά κατάφερε να επιτύχει (βλέπε Εικόνα 3) [1].



**Εικόνα 3: Ορόσημα των Δικτύων ανά δεκαετία [1]**



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΜΠΤΗΣ

## ΓΕΝΙΑΣ

---

---

### 2.1 Εισαγωγή στα Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς (5G Networks)

Τα Δίκτυα 4G κατάφεραν να καθιερωθούν στη καθημερινότητά μας, αφού για τις τότε τεχνολογικές ανάγκες του ανθρώπου, αποτελούσαν μια επαρκή λύση. Όμως, σε ένα κόσμο που εξελίσσεται ραγδαία μέρα με τη μέρα, η τεχνολογία οφείλει να ακολουθεί τις εξελίξεις και να μην επαναπαύεται στα υπάρχοντα μοντέλα. Συνεπώς, αναμενόμενο ήταν να γίνουν προσπάθειες εξέλιξης των Δικτύων 4G, προσπάθειες τις οποίες θα αναφέρουμε συνοπτικά στην παρακάτω παράγραφο.

Οι πρώτες προσπάθειες ξεκίνησαν με τεχνικές για υπέρ-πύκνωση του δικτύου (*network densification*). Η βασική ιδέα είναι η εξής : για γεωγραφικές περιοχές με πολλαπλούς εγγεγραμμένους χρήστες δικτύου όπως πχ σε μια συναυλία ή σε ένα σταθμό τρένου, η εγκατάσταση πολλών 'κελιών' μικρής κατανάλωσης και ισχύος σε σχετικά μικρή απόσταση μεταξύ τους θα έχει θετικές συνέπειες για το δίκτυο, καθώς θα αυξηθεί κατά πολύ η κάλυψη χρηστών και η χωρητικότητα του δικτύου, αλλά και η επαναχρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων. Άλλες μέθοδοι αναφέρονταν σε εφαρμογή προχωρημένων και περίπλοκων τεχνικών αύξησης της αποτελεσματικότητας του ήδη υπάρχοντος φάσματος συχνοτήτων του δικτύου σε συνδυασμό με τη μείωση των παρεμβολών μεταξύ γειτονικών κελιών του δικτύου. Επιπρόσθετα, προτάθηκαν και λύσεις σχετικές με επέκταση του διαθέσιμου εύρους ζώνης του δικτύου μέσω συγκέντρωσης διαφορετικών φορέων (*carrier aggregation*), ικανών να συνδυαστούν υπό ένα μη-συνεχές φάσμα. Η λύση αυτή ναί μεν θα μπορούσε να προσφέρει αυξημένους ρυθμούς αποστολής και λήψης δεδομένων εντός του δικτύου, αλλά το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων ήταν αρκετά περιορισμένο. Συνέπεια των παραπάνω ήταν η απόφαση να αποφευχθούν λύσεις περαιτέρω επέκτασης των Δικτύων 4G και να κατασκευαστεί εκ' νέου μια νέα γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, τα Δίκτυα 5G [1].

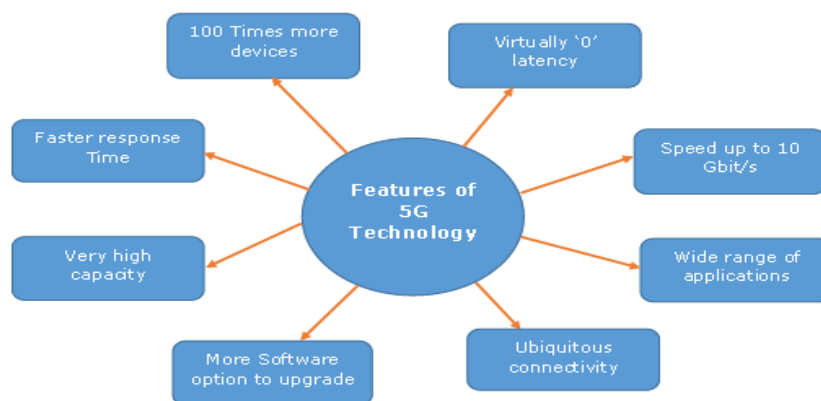


## 2.2 Χαρακτηριστικά Δικτύων Πέμπτης Γενιάς

Το ακαδημαϊκό ενδιαφέρον για τα δίκτυα του μέλλοντος ξεκίνησε το 2014. Στόχος (ακόμη και σήμερα) είναι η ανάπτυξη ενός δικτύου νέας γενιάς, ικανό να :

- διαχειρίζεται με σχετική άνεση το σύνολο των οντοτήτων που είναι συνδεδεμένες σε αυτό.
- παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και λήψης δεδομένων, ταχύτερες αποκρίσεις αλλά και ισχυρή ασφάλεια δεδομένων.
- προσφέρει περισσότερη κάλυψη εντός του δικτύου και να βελτιώσει το *Quality of Service (QoS)* για τους χρήστες του δικτύου αυτού.
- διαχειριστεί ένα πολύ μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων (για πρώτη φορά άνω των 3 GHz) και εύρος ζώνης.
- διαχειριστεί υπέρ-πυκνωμένα δίκτυα, αποτελούμενα από πολλαπλούς BTS κελιών.
- αποδέχεται την απεριόριστη εγκατάσταση κεραιών εντός του δικτύου.
- επιτρέπει την ενσωμάτωση πολλαπλών διαφορετικών συσκευών που λειτουργούν υπό διαφορετικά πρωτόκολλα και επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες μεταξύ τους, δημιουργώντας για πρώτη φορά ένα ετερογενές δίκτυο (Heterogeneous Network, HetNet) σε αντίθεση με τα ομογενή ασύρματα δίκτυα των προγενέστερων γενεών [1][15][16].

Οι παρεχόμενες υπηρεσίες που αναμένεται να προσφέρουν τα Δίκτυα 5G συνοψίζονται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4: Χαρακτηριστικά των μελλοντικών Δικτύων 5G [16]

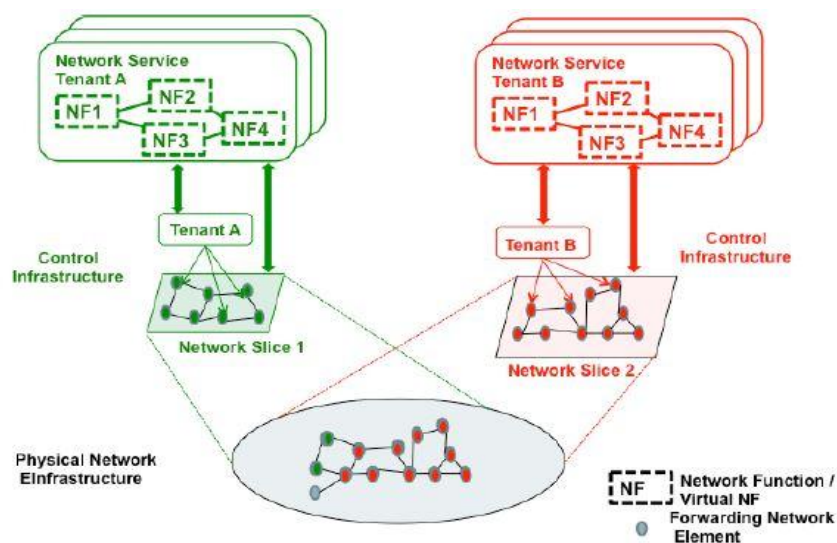
Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Βιομηχανία Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών, έχουν τεθεί υπεύθυνες για την ανάπτυξη των Δικτύων 5G, η οποία το μόνο σίγουρο είναι ότι από το 2014 και έπειτα προχωρά με ραγδαίους ρυθμούς. Η παραπάνω κοινοπραξία φέρει το όνομα *5G Infrastructure Public Private Partnership (5G-PPP)*, χρηματοδοτείται οικονομικά από τους παραπάνω οργανισμούς και θεωρείται από πολλούς το μεγαλύτερο ερευνητικό πρόγραμμα σε ολόκληρο τον κόσμο στον τομέα των 5G ασύρματων Δικτύων. Οι στόχοι του οργανισμού 5G-PPP είναι να προσφέρει όσο το δυνατόν καλύτερες, φθηνότερες και αποτελεσματικότερες λύσεις σε θέματα που αφορούν τις αρχιτεκτονικές, τις τεχνολογίες και τα standards πάνω στα οποία θα βασιστούν τα Δίκτυα του μέλλοντος [17].

### 2.3 Αρχιτεκτονική Δικτύων Πέμπτης Γενιάς

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενα εδάφια, τα Δίκτυα 5G θα χαρακτηρίζονται από ετερογένεια, δηλαδή την ικανότητα ενσωμάτωσης και διαχείρισης πολλαπλών δικτύων από διάφορους τομείς σε μια ενιαία πλατφόρμα. Για να καταφέρουν λοιπόν τα δίκτυα αυτά να επιτελέσουν όλα τα παραπάνω, θα χρειαστεί να γίνει μια διακριτή τμηματοποίηση του δικτύου (*network slicing*). Ο διαχωρισμός του δικτύου σε διαφορετικά και ανεξάρτητα τμήματα θα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλαπλών ανεξάρτητων εικονικών δικτύων (*virtual networks*), όπου κάθε εικονικό δίκτυο θα είναι καθαρά κεντρικοποιημένο ως προς τον χρήστη του δικτύου, ώστε να καλύπτει τις διαφορετικές ανάγκες και επιθυμίες μεταξύ διαφορετικών χρηστών. Δηλαδή, κάθε τμήμα δικτύου (*network slice*) θα έχει δική του αρχιτεκτονική διάταξη, τρόπο λειτουργίας και τεχνικές εξυπηρέτησης αιτημάτων, ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις των χρηστών. Ως αποτέλεσμα, η τμηματοποίηση αυτή θα επιτρέπει την άμεση και δίχως παρενέργειες ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων σε συγκεκριμένα τμήματα δικτύου, αλλά και θα προστατεύει το υπόλοιπο δίκτυο από κακόβουλες επιθέσεις σε μεμονωμένο τμήμα (δικτύου) [18][19].

Κάθε τμήμα δικτύου θα αποτελείται από ένα σύνολο τεχνικών και εφαρμογών δικτύου, αλλά και από υποδομές είτε φυσικές, είτε εικονικές. Ο εκάστοτε φορέας/πάροχος δικτύου θα είναι εξ' ολοκλήρου υπεύθυνος για την ανάθεση πόρων στα τμήματα του δικτύου. Οι πάροχοι του δικτύου θα έχουν τη δυνατότητα να

επιτελέσουν διαφορετικές λειτουργίες εντός του δικτύου, αλλά και να κατανέμουν ή ακόμα και να αποδεσμεύσουν πόρους δικτύου, ανάλογα με τις απαιτούμενες ανάγκες, κίνηση που θα απέφερε σημαντικές μειώσεις στις συνολικές δαπάνες. Επίσης, θα είναι πιο εύκολος ο προγραμματισμός του δικτύου μέσω κώδικα (*Software Defined Network*<sup>1</sup>, *SDN*), αλλά και η συντήρησή του. Στην Εικόνα 5, μπορούμε να δούμε μια διαγραμματική αναπαράσταση για το πώς αναμένεται να επιτευχθεί η τμηματοποίηση του δικτύου [18][20].



**Εικόνα 5: Αναπαράσταση Τμηματοποίησης Δικτύου [18]**

Η αρχιτεκτονική λοιπόν των 5G Δικτύων, βασισόμενη στην τεχνική της τμηματοποίησης δικτύου, αναλύεται στα παρακάτω υποκεφάλαια:

---

<sup>1</sup> Το SDN ορίζεται ως μια τεχνολογία δυναμικής και ευκόλως προσαρμοζόμενης διαχείρισης του δικτύου με προγραμματιστικές μεθόδους, αυξάνοντας την αποδοτικότητά και αποτελεσματικότητά του. Η βασική ιδέα πάνω στην οποία κατασκευάστηκε ανεξαρτητοποιείται αρκετά από την υπάρχουσα κατάσταση των στατικών αποκεντρωμένων δικτύων και προτείνει την συγκέντρωση όλης της γνώσης δικτύου μόνο σε ένα κομμάτι δικτύου.

### **2.3.1 Επίπεδο Υπηρεσίας (Service Layer)**

Το ανώτερο επίπεδο αρχιτεκτονικής σχεδίασης ονομάζεται Επίπεδο Υπηρεσίας (*Service Layer*). Αποτελείται από το ευρύ σύνολο συστημάτων υποστήριξης επιχειρήσεων (*Business Support Systems, BSSs*), αλλά και από μεθόδους πολιτικής και αποφάσεων σε επίπεδο επιχειρήσεων. Υπεύθυνος για την διαχείριση των παραπάνω θα είναι ο εκάστοτε πάροχος του τμήματος δικτύου [18].

### **2.3.2 Επίπεδο Οργάνωσης και Διαχείρισης (Management and Orchestration Layer)**

Το αμέσως κατώτερο επίπεδο ιεραρχίας στην αρχιτεκτονική είναι το Επίπεδο Οργάνωσης και Διαχείρισης (*Management and Orchestration Layer*). Σε αυτό το επίπεδο, οι παρεχόμενες υπηρεσίες διαχείρισης δικτύου συμπεριλαμβάνουν τεχνικές εικονικοποίησης δικτύου (*Network Function Virtualization<sup>2</sup>, NFV*). Το ρόλο της παροχής των απαιτούμενων πόρων στα τμήματα δικτύου θα αναλάβει ένας ενδιάμεσος μεσολαβητής που θα βρίσκεται ανάμεσα στα τμήματα αυτά (*Inter-slice Broker*). Ο μεσολαβητής αυτός θα χρειάζεται να επικοινωνεί με την Υπηρεσία Διαχείρισης (*Service Management*), η οποία βρίσκεται ανάμεσα στο Επίπεδο Υπηρεσίας και στον μεσολαβητή. Η Υπηρεσία Διαχείρισης είναι υπεύθυνη για την μετατροπή των περιγραφών των υπηρεσιακών αναγκών που έχουν οι καταναλωτές σε περιγραφές για υπηρεσιακές ανάγκες σε πόρους και αντίστροφα. Μια τελευταία λειτουργία που μπορεί να εκτελεστεί στο Επίπεδο Οργάνωσης και Διαχείρισης είναι η ενσωμάτωση διαφόρων υπηρεσιών και πρωτοκόλλων από διαφορετικούς οργανισμούς [18][21].

---

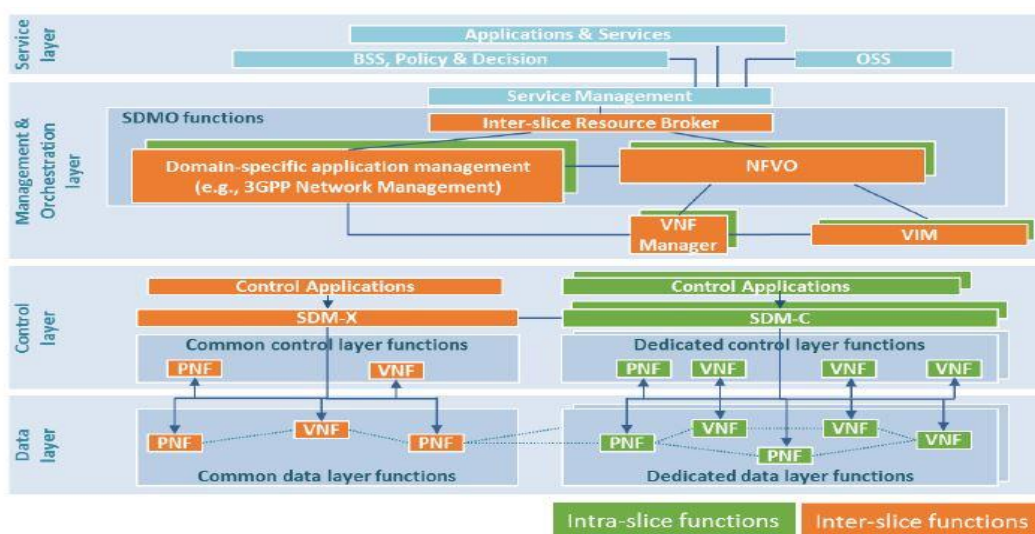
<sup>2</sup> Το NFV αποτελεί μια τεχνολογία με δυνατότητα εικονικοποίησης στοιχείων του δικτύου σε εικονικές μονάδες, με σκοπό την συνένωσή μεταξύ τους ή τον συνδυασμό με άλλα τεχνολογικά στοιχεία του δικτύου.

### 2.3.3 Επίπεδο Ελέγχου (Control Layer)

Το 3<sup>ο</sup> κατά σειρά επίπεδο αρχιτεκτονικής είναι το Επίπεδο Ελέγχου (*Control Layer*). Σε αυτό το επίπεδο – όπως προδίδει και ο τίτλος – εμπεριέχεται το σύνολο των υπηρεσιών ελέγχου του δικτύου. Υπάρχουν δυο διαφορετικοί ελεγκτές δικτύου, ο *Software Defined Mobile Network Controller (SDM-C)* και ο *Software Defined Mobile Network Coordinator (SDM-X)*. Οι δυο αυτοί ελεγκτές είναι υπεύθυνοι για την μετάφραση εντολών ελέγχου σε εντολές αναγνωρίσιμες από μεθόδους εικονικοποίησης δικτύου ή μεθόδους φυσικού δικτύου. Ο ελεγκτής SDM-C είναι υπεύθυνος για μεθόδους δικτύου και μόνο, ενώ ο SDM-X είναι υπεύθυνος για τις κοινά διαθέσιμες μεθόδους δικτύου. Και οι δυο εφαρμογές ακολουθούν την τεχνολογία SDN που αναφέραμε παραπάνω [18].

### 2.3.4 Επίπεδο Δεδομένων (Data Layer)

Το κατώτερο επίπεδο αρχιτεκτονικής ονομάζεται Επίπεδο Δεδομένων (*Data Layer*). Σε αυτό το επίπεδο συναντάμε εφαρμογές, όπως μεθόδους εικονικοποίησης δικτύου (*Virtual Network Functions, VNF*) και μεθόδους φυσικού δικτύου (*Physical Network Functions, PNF*). Οι εφαρμογές VNF και PNF είναι υπεύθυνες για την ασφαλή και χωρίς απώλειες μεταφορά και επεξεργασία των δεδομένων των χρηστών του εκάστοτε δικτύου. Συγκεντρωτικά, η αρχιτεκτονική ιεραρχία των Δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς παρουσιάζεται στην Εικόνα 6 [18].



Εικόνα 6: Αναπαράσταση Τμηματοποίησης Δικτύου [18]

## 2.4 Προστασία Δικτύων Πέμπτης Γενιάς

Η οργάνωση 5G-PPP, υπεύθυνη για την σχεδίαση, ανάπτυξη και συντήρηση των Δικτύων 5G, έχει καταφέρει να χρηματοδοτήσει και να διανέμει ένα σύνολο από ευρωπαϊκά έργα που ανήκουν στην Πρώτη Φάση της οργάνωσης αυτής (*5G-PPP Phase 1 Projects*). Με τα πρώτα έργα να κάνουν την εμφάνισή τους κατά το 2015, σήμερα έχουν 19 έργα, τα οποία αναμένεται να ολοκληρωθούν κατά το 2020. Απώτερος σκοπός των έργων αυτών είναι να τεθούν τα θεμέλια και οι προδιαγραφές για τα δίκτυα του μέλλοντος, τα οποία όπως γνωρίζουμε θα χρειαστεί να ανταπεξέλθουν σε μια πλήρως τεχνολογικά συνδεδεμένη κοινωνία. Ανάμεσα σε αυτά τα projects, το έργο *5G-Ensure* επιλέχθηκε να είναι υπεύθυνο για την ασφάλεια των Δικτύων έναντι σε οποιεσδήποτε επιθέσεις και την γρήγορη αντιμετώπιση κενών ασφαλείας [18][22].

Σε αντίθεση με την βασική ιδέα περί πλήρους ανεξαρτητοποίησης των δικτύων νέας γενιάς από τις προγενέστερες για την αντιμετώπιση της επερχόμενης ετερογένειας εντός του δικτύου και των σύνθετων τεχνικών λειτουργίας, όσον αφορά την ασφάλεια των Δικτύων 5G, το τοπίο είναι διαμορφωμένο κάπως διαφορετικά. Αντί να αναπτυχθούν καινοτόμες τεχνικές καταπολέμησης επιθέσεων στο δίκτυο και σύνθετες μέθοδοι άμεσης ανάκαμψης από λάθη δικτύου, αποφασίστηκε ότι οι τεχνικές ασφαλείας των δικτύων αυτών θα πρέπει να βασιστούν κατά κόρων στις τεχνικές των Δικτύων 3G και 4G και η μελλοντική ανάπτυξη για να καλυφτούν οι εξελιγμένοι τομείς και τα ζητήματα ασφαλείας να προχωρήσει έχοντας θέσει ως βάση προγενέστερες γενιές δικτύων [18].

Όσον αφορά στο τι θα πρέπει να περιμένει κανείς από τα Δίκτυα 5G σε θέματα ασφαλείας, θα πρέπει να προσφέρουν τα παρακάτω :

- προσεκτική διαχείριση με ασφαλή μέσα πολλαπλών διαφορετικών ετερογενών τμημάτων δικτύου.
- απρόσκοπτη και συνεχής λειτουργία δικτύου χωρίς παρενέργειες.
- άμεση ανάκαμψη από σφάλματα εντός του δικτύου (σε φυσικό ή εικονικό επίπεδο).
- έγκαιρη αντιμετώπιση εισερχόμενων διαδικτυακών απειλών και κάλυψη υπαρχόντων κενών ασφαλείας που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα του δικτύου.

- παροχή σημείων ελέγχου σε τμήματα δικτύου ύψιστης σημασίας για τη προστασία του δικτύου για συνεχή παρακολούθηση και ενημέρωση.
- αδιάκοπο ερευνητικό ενδιαφέρον για τον εντοπισμό των κατάλληλων καινοτόμων και αποδοτικότερων μεθόδων και τεχνικών παροχής ασφάλειας για τους χρήστες εντός του δικτύου [18].

Εφόσον τα Δίκτυα 5G καταφέρουν να κάνουν ότι δεν έκαναν οι προηγούμενες γενιές δικτύων, δηλαδή να προσφέρουν την απαραίτητη ασφάλεια δεδομένων χρηστών και προστασία από κακόβουλες επιθέσεις, τότε μπορούμε να πούμε με σιγουρία ότι οδεύουμε σε μια πλήρως τεχνολογικά ανεπτυγμένη και ασφαλή κοινωνία, την οποία θα μπορούν πια με ασφάλεια να εμπιστευτούν οι εγγεγραμμένοι χρήστες του δικτύου.





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 5G

---

---

## 3.1 Αντιμετώπιση παρεμβολών με εισαγωγή small cells

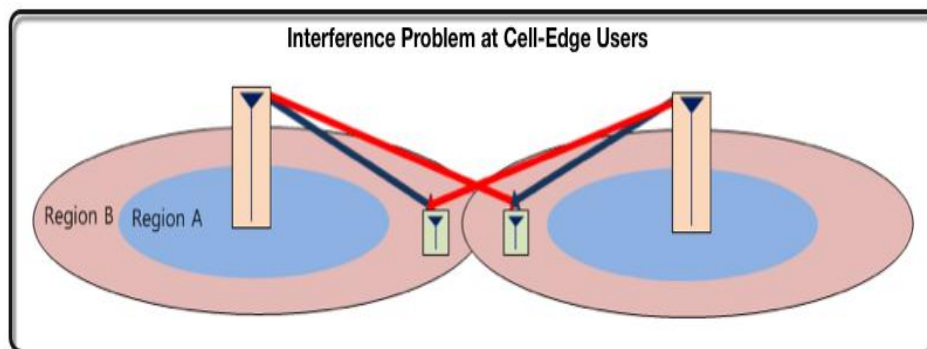
Η νέα μορφή ετερογενών Δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς θα αποτελείται από υπέρ-πυκνωμένα δίκτυα, αποτελούμενα από πολλές διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (*Radio Access Technologies, RAT*). Η πυκνωση του δικτύου με την χρήση των small cells αναμένεται να συνεισφέρει θετικά στους αναμενόμενους στόχους των δικτύων του μέλλοντος. Τα κελιά αυτά προσφέρουν μια οικονομική λύση για αυξημένη κάλυψη και ταχύτητες, καταναλώνοντας μικρή ισχύ και αποτελούν μέχρι στιγμής την καλύτερη και ταυτόχρονα πιθανότερη λύση στην οποία θα στηριχτούν τα δίκτυα αυτά [23].

Σε θεωρητικό επίπεδο, κάθε small cell υπόσχεται την πλήρη κάλυψη μιας φυσικής απόστασης που μπορεί να ξεκινάει από τα 10 μέτρα και να αγγίζει μέχρι και μερικά χιλιόμετρα, χρησιμοποιώντας επαναληπτικά τις ίδιες ραδιοσυχνότητες λειτουργίας. Η κύρια και βασικότερη χρήση των small cells θα είναι η παροχή ασύρματων υπηρεσιών στους χρήστες του δικτύου, υπηρεσίες τις οποίες θα εκμεταλλεύονται οι πάροχοι και οι φορείς της κινητής τηλεφωνίας, με απώτερο σκοπό να αυξήσουν την απόδοση του δικτύου και να επεκτείνουν όσο το δυνατόν περισσότερο τις διαδικτυακές εφαρμογές. Τα small cells μπορεί να αποτελούνται από τέσσερις διαφορετικούς τύπους κυψελών, τα *femtocells*, τα *picocells*, τα *microcells* και τα *macrocells*. Ο κάθε τύπος small cell διαφέρει όσον αφορά στη παρεχόμενη ισχύ, στη περιοχή κάλυψης και στο πλήθος χρηστών των οποίων τις απαιτήσεις μπορεί να καλύψει, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7 [24].

Cell Type	Output Power (W)	Cell Radius (km)	Users	Locations
Femtocell	0.001 to 0.25	0.010 to 0.1	1 to 30	Indoor
Pico Cell	0.25 to 1	0.1 to 0.2	30 to 100	Indoor/Outdoor
Micro Cell	1 to 10	0.2 to 2.0	100 to 2000	Indoor/Outdoor
Macro Cell	10 to >50	8 to 30	>2000	Outdoor

**Εικόνα 7: Δυνατότητες Τύπων Small Cell [24]**

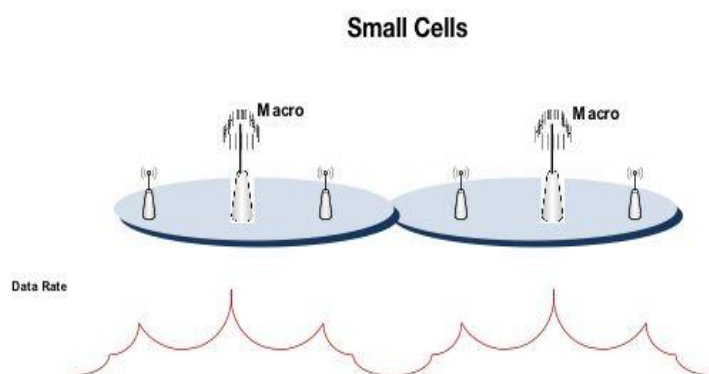
Η ανάπτυξη δικτύων τέτοιου τύπου θα ήταν αδύνατον να υλοποιηθεί χωρίς να χρειαστεί να αντιμετωπισθούν τυχόν παρενέργειες μέσα στο δίκτυο. Η σημαντικότερη από αυτές είναι αναμφισβήτητα το πρόβλημα των παρεμβολών μεταξύ γειτονικών κελιών ενός δικτύου. Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 8, οι χρήστες ενός ασύρματου δικτύου που βρίσκονται αρκετά κοντά στα όρια της γεωγραφικής περιοχής που καλύπτει ένα κελί, σε αντίθεση με χρήστες που βρίσκονται στο κέντρο του, λαμβάνουν δυο εισερχόμενα σήματα, το επιθυμητό οδηγούμενο σήμα (μπλε βέλος στην Εικόνα 8) και το σήμα κακόβουλης παρεμβολής (κόκκινο βέλος στην Εικόνα 8). Απόρροια του παραπάνω σήματος παρεμβολής είναι οι χρήστες που βρίσκονται αρκετά μακριά από το κέντρο του κελιού να επιδέχονται την θετική επίδραση των αυξημένων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, καθώς στην οι περιοχές κάλυψης στην άκρη ενός κελιού είναι μεγαλύτερες από τις περιοχές κάλυψης στο κέντρο του [25].



**Εικόνα 8: Το πρόβλημα των παρεμβολών σε ασύρματα δίκτυα [25]**

Η εισαγωγή πολλαπλών small cells μικρής κατανάλωσης εντός του δικτύου με σκοπό την ομοιόμορφη απόδοση δικτύου σε όλες τις περιοχές του δεν έλυσε ποτέ το πρόβλημα των παρεμβολών, αλλά μάλλον το μετέτρεψε. Με την εισαγωγή των small cells εντός ενός δικτύου στο οποίο υπήρχαν ήδη υποδομές με σταθμούς βάσης για macrocells (*Macrocell Base Stations, MSS*), το πρόβλημα μετατράπηκε σε πρόβλημα

αντιμετώπισης συγκρούσεων μεταξύ MBS και σταθμών βάσης για small cells (*Small Cell Base Stations, SBS*). Το πρόβλημα αυτό αναπαρίσταται στην Εικόνα 9 και για την αντιμετώπιση αυτών των παρεμβολών εντός δικτύου, προτάθηκαν δυο τελείως διαφορετικές (ως προς τη προσέγγιση) λύσεις [25].

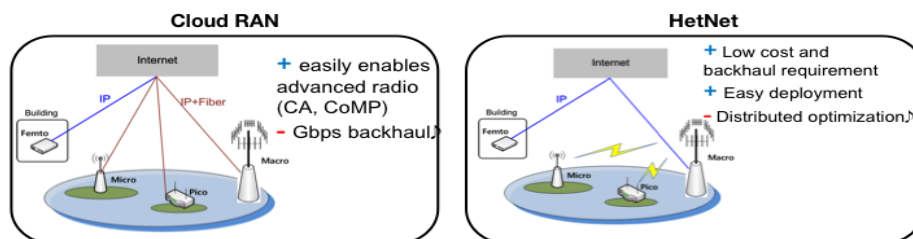


**Εικόνα 9: Το πρόβλημα των παρεμβολών μεταξύ MBS και SBS [25]**

Η πρώτη προσέγγιση ήταν η εισαγωγή του *Cloud Radio Access Network* (*Cloud-RAN* ή ακόμη και *C-RAN*). Η τεχνολογία C-RAN είναι βασισμένη στις αρχές του *Cloud Computing* και η οργανωτική δομή της ιεραρχίας της υποστηρίζει πρόσβαση από Δίκτυα 2G και μετέπειτα. Καταφέρνει και ξεχωρίζει ανάμεσα στο τεράστιο σύνολο διαθέσιμων τεχνικών και μεθόδων διαχείρισης δικτύου, καθώς για πρώτη φορά βλέπουμε δυνατότητες υποστήριξης ζωντανής εικονικοποίησης του δικτύου (*Real-time virtualization*), αλλά και διασύνδεσης οπτικών ινών. Για παράδειγμα, οι οπτικές ίνες θα χρησιμεύουν στην ενσύρματη σύνδεση macrocells και σταθμών βάσεων, την οποία σύνδεση θα μπορούν να εκμεταλλευτούν νέα πρωτόκολλα όπως το *Coordinated MultiPoint (CoMP)*, το οποίο αυξάνει τους χρόνους μεταφοράς δεδομένων μεταξύ σταθμών του δικτύου χρησιμοποιώντας την τεχνολογία LTE-A [25][26].

Η δεύτερη προσέγγιση ήταν η υλοποίηση ενός πλήρους Ετερογενούς Δικτύου, την οποία έχουμε αναφέρει πολλές φορές σε προηγούμενα εδάφια. Ένα ετερογενές δίκτυο θα επιτρέπει την ενσωμάτωση πολλαπλών διαφορετικών συσκευών που λειτουργούν υπό διαφορετικά πρωτόκολλα και επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες μεταξύ τους. Υπολογίζεται ότι το κόστος υλοποίησης θα είναι σχετικά μικρό και ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής δικτύου λιγότερο περίπλοκος ενώ σημαντικό είναι και το γεγονός της πολύ εύκολης ενσωμάτωσής του. Προσφέρει καλύτερη συνολική απόδοση στο σύστημα και περισσότερα πλεονεκτήματα από την λύση C-RAN, όμως

δεν απαλείφει πλήρως τις υπάρχουσες παρεμβολές του δικτύου. Η σύγκριση των δυο αυτών προτάσεων για την αντιμετώπιση των παρεμβολών παρουσιάζεται συγκεντρωτικά στην Εικόνα 10 [25].

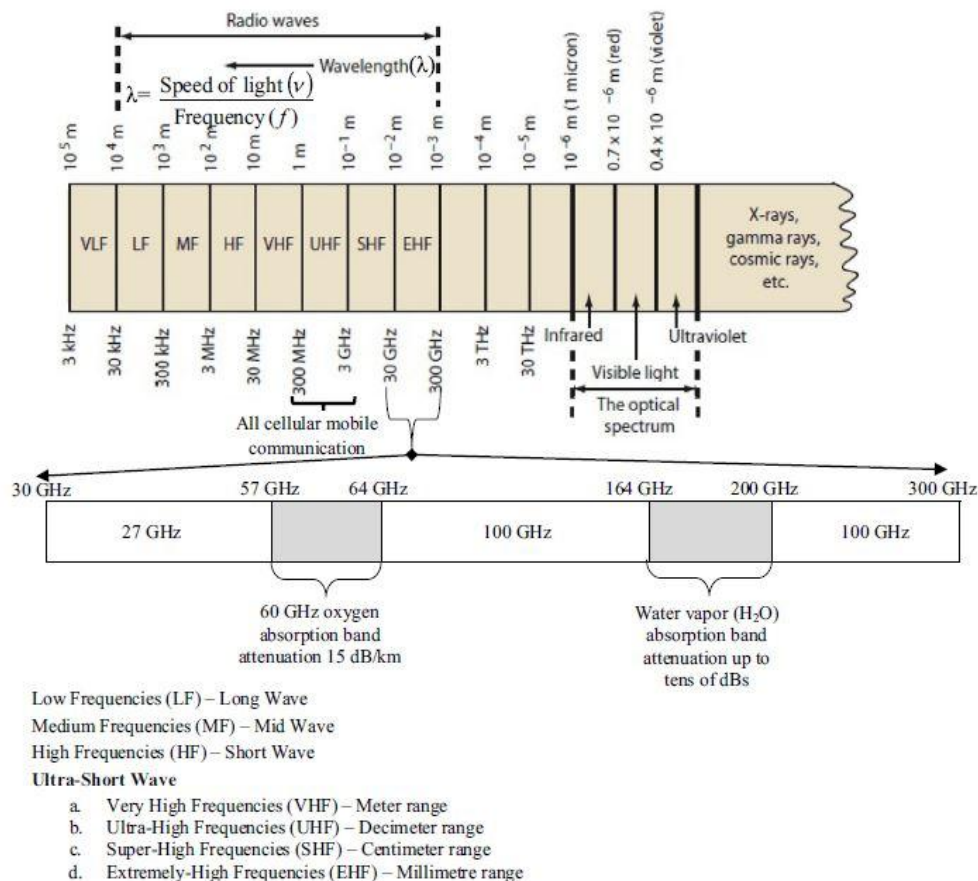


**Εικόνα 10: Σύγκριση C-RAN και Ετερογενούς Δικτύου [25]**

### 3.2 Αντιμετώπιση Παρεμβολών με κύματα χιλιομέτρων

Είναι ευρύτερα αποδεκτό ότι οι τεχνολογικές απαιτήσεις των χρηστών κινητής τηλεφωνίας αυξάνονται συνεχώς με ραγδαίους ρυθμούς. Κατά συνέπεια, μια δεύτερη πιθανή λύση για το πρόβλημα των παρεμβολών αποτελεί η χρησιμοποίηση συχνοτήτων κατά πολύ παραπάνω από τα 3 GHz, συχνότητες οι οποίες μάλιστα δεν είχε χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν ποτέ στο παρελθόν, καθώς τα εκάστοτε δίκτυα δεν είχαν αναπτυχθεί τεχνολογικά σε βαθμό που να υποστηρίζουν τέτοιες υψηλές συχνότητες [1].

Η τεχνολογία κυμάτων χιλιομέτρων (*millimeter-wave, mm-wave*) – τη συναντάμε και ως *Extremely High Frequency (EHF)* – αποτελεί μια σχετικά νεότερη λύση και θα χρησιμοποιηθεί για να επιτρέψει ευρυζωνική ραδιοφωνική πρόσβαση στους χρήστες του δικτύου και μετάδοση δεδομένων σε αρκετά απομακρυσμένες περιοχές – πχ ταχύτατοι ρυθμοί μετάδοσης εντός ενός Wireless Local Area Network (*WLAN*) – με ρυθμούς της τάξεως των Gbps. Τα διαθέσιμα μήκη κύματος ξεκινούν από τα 10 χιλιοστά και μπορούν να φτάσουν μέχρι και το 1 χιλιοστό. Θεωρείται ως μια αρκετά καλή λύση για τα δίκτυα του μέλλοντος, καθώς όπως θα δούμε και στην Εικόνα 11, σε αντίθεση με τα προγενέστερα δίκτυα που χρησιμοποιούσαν το εύρος ζώνης συχνοτήτων μεταξύ 300 MHz έως 3 GHz, το εύρος ζώνης μεταξύ 30 – 300 GHz που θα χρησιμοποιεί η τεχνολογία mm-wave είναι κατά πολύ μεγαλύτερο και αχρησιμοποίητο μέχρι και σήμερα [1][27].



**Εικόνα 11: Εύρος Συχνοτήτων των mm-waves (30 GHz – 300 GHz) [1]**

Εκτός από τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν, παρουσιάζουν ταυτόχρονα και αρκετά προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, το κύμα μπορεί χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία να εξασθενήσει όταν μεταδίδεται στον αέρα και κατά συνέπεια να απορροφηθεί από ατμοσφαιρικά αέρια. Τα μήκη κύματος υψηλής συχνότητας μπορούν επίσης να μπλοκαριστούν από φυσικά αντικείμενα όπως ένα σπίτι ή ένα δέντρο, ενώ η ισχύς του σήματος μπορεί να εξασθενήσει σημαντικά λόγω κακών καιρικών συνθηκών. Τα παραπάνω μειονεκτήματα της mm-wave τεχνολογίας έχουν συγκεντρώσει το επιστημονικό ενδιαφέρον στην αντιμετώπιση της εξασθένησης του οδηγούμενου σήματος και την αντιμετώπιση των παρεμβολών από φυσικά αντικείμενα [27].

### 3.3 Αντιμετώπιση Παρεμβολών με Massive MIMO

Η 3<sup>η</sup> κατά σειρά τεχνολογία αντιμετώπισης παρεμβολών φέρει το όνομα *Massive Multiple-Input and Multiple-Output (MIMO)*, τεχνολογία που βασίζεται στα υπάρχοντα Διανεμημένα Συστήματα Κεραίας (*Distributed Antenna Systems, DAS*) εντός του δικτύου. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί ταυτόχρονα και τις κεραίες των χρηστών αλλά και των σταθμών βάσης του δικτύου, μεταδίδοντας κατ' επανάληψη ένα πεπερασμένο σύνολο από ροές δεδομένων (*data streams*) πάνω στις ίδιες συχνότητες. Ο πολλαπλασιασμός της χωρητικότητας του δικτύου προέρχεται μέσω των πολλαπλών κεραιών αποστολής και λήψης δεδομένων που εκμεταλλεύονται την πολλαπλή διάδοση του σήματος. Το πλήθος των διαθέσιμων κεραιών προς επεξεργασία είναι περιορισμένο από 8 μέχρι και 128, αλλά μπορεί να αυξηθεί μελλοντικά, στην περίπτωση που γίνει συνένωση με την τεχνολογία των mm-waves [28][29].

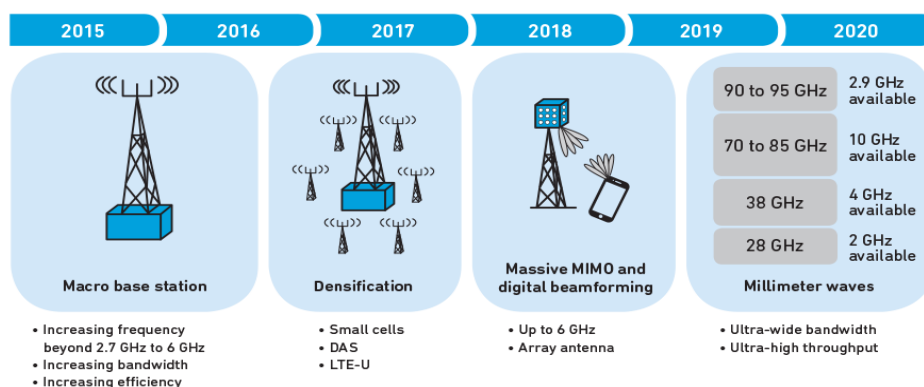
Η βελτίωση της συνολικής χωρητικότητας και της αξιοπιστίας του δικτύου θα επέλθει, καθώς η τεχνική της χώρο-χρονικής πολυπλεξίας θα βελτιώσει αισθητά τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων εντός του δικτύου. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως το *beamforming*<sup>3</sup>, θα είμαστε σε θέση να συγκεντρώσουμε ένα διακριτό ποσοστό ενέργειας στην εκάστοτε συσκευή του δικτύου, με αποτέλεσμα την βελτίωση της ποιότητας και απόδοσης της σύνδεσης για τον χρήστη της συσκευής [30].

Οι αρχικές εκδόσεις της τεχνολογίας MIMO αναφέροντας σε μονάχα ένα χρήστη του δικτύου και ονομάζονταν *Single User Multiple-Input and Multiple-Output (SU-MIMO)*. Χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε δίκτυα όπως τα 3G και τα 4G, όμως πολύ γρήγορα ήρθε στο προσκήνιο η ανάγκη περαιτέρω επέκτασης του μοντέλου SU-MIMO, επειδή το πλήθος των διαθέσιμων κεραιών δεν μπορούσε να καλύψει σε ικανοποιητικό βαθμό το σύνολο των εγγεγραμμένων χρηστών των δικτύων της

---

<sup>3</sup> Το *beamforming* ορίζεται ως μια τεχνική επεξεργασίας για μεταδιδόμενα ραδιοσήματα ή ηχητικά σήματα. Προσφέρει τη δυνατότητα συγκέντρωσης της ισχύς του σήματος σε μια πολύ συγκεκριμένη περιοχή, τόσο στην εκπομπή, όσο και στην λήψη ενός σήματος, με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης της συσκευής.

εποχής. Επέκταση λοιπόν του μοντέλου SU-MIMO αποτέλεσε το μοντέλο *Multi-User Multiple-Input and Multiple-Output (MU-MIMO)*, το οποίο θα επέτρεπε σε κάθε BTS να επικοινωνεί με πολλαπλούς χρήστες. Η προσφερόμενη αύξηση στη χωρητικότητα του δικτύου μέχρι και 10 φορές μεγαλύτερη, σε συνδυασμό με την αξιοπιστία του δικτύου και την αύξηση κατά 20 φορές περισσότερο της φασματικής απόδοσης (χρησιμοποίηση 256 κεραιών αντί μόνο 4 κεραιών των απλών MIMO, είχαν ως αναμενόμενο αποτέλεσμα να συμπεριληφθεί το MU-MIMO ως υπηρεσία σε standards όπως το IEEE 802.11 (WiFi), το WiMAX και το LTE [1].



**Εικόνα 12: Μελλοντική Εξέλιξη Τεχνολογιών των Δικτύων 5G [24]**

Στην Εικόνα 12 φαίνεται η αναμενόμενη εξέλιξη των Δικτύων 5G, μαζί με το σύνολο των τεχνολογιών που θα συνοδεύουν τα δίκτυα αυτά. Με τα δεδομένα που έχουμε στα χέρια μας μέχρι στιγμής, τα Δίκτυα 5G φαντάζουν να είναι μια πλήρως επιτυχημένη ανάπτυξη δικτύων επόμενη γενιάς, αν αναλογιστούμε το σύνολο των παρεχόμενων υπηρεσιών, όπως οι υψηλές ταχύτητες, οι μειωμένοι χρόνοι απόκρισης, η αυξημένη και ομοιόμορφη κάλυψη και η υποστήριξη νέων τεχνολογιών πχ 4K streaming. Όμως, τα προτερήματά τους μπορούν εύκολα να μετατραπούν σε προβλήματα αν δεν γίνει μια προσεκτική και ενδελεχής ανάλυση, σχεδίαση και εισαγωγή των δικτύων αυτών στην καθημερινότητά μας. Εμείς, το μόνο που μπορούμε να κάνουμε είναι να παραμείνουμε αισιόδοξοι πως ο οργανισμός 5G-PPP, ο οποίος όπως είπαμε είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξή τους, θα σταθεί στο ύψος των περιστάσεων και θα προσφέρει τα αναμενόμενα χαρακτηριστικά των Δικτύων 5G που ήδη μελετώνται. Μένει να φτάσει το 2020 για να μάθουμε αν τα Δίκτυα 5G θα θεωρηθούν και επίσημα ως επιτυχημένη γενιά ασύρματων δικτύων...





# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] M. H. Alsharif, R. Nordin, "*Evolution Towards Fifth Generation (5G) wireless networks: Current trends and challenges in the deployment of millimeter wave, massive MIMO and small cells*", July 2016.
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/1G>
- [3] <http://etutorials.org/Mobile+devices/mobile+vpn/Part+I+Wireless+Data+Fundamentals/Chapter+3+Wireless+Systems+Overview+A+Radio+Interface+Perspective/1G+Cellular+Systems/>
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_network)
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/2G>
- [6] <http://etutorials.org/Mobile+devices/mobile+vpn/Part+I+Wireless+Data+Fundamentals/Chapter+3+Wireless+Systems+Overview+A+Radio+Interface+Perspective/2G+Cellular+Systems/>
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/3G>
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/UMTS>
- [9] <https://www.lifewire.com/what-is-3g-3426465>
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/High\\_Speed\\_Packet\\_Access](https://en.wikipedia.org/wiki/High_Speed_Packet_Access)
- [11] <https://en.wikipedia.org/wiki/4G>
- [12] <https://www.lifewire.com/what-is-4g-wireless-577577>
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_\(telecommunication\)](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication))
- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- [15] [https://en.wikipedia.org/wiki/Heterogeneous\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Heterogeneous_network)
- [16] [https://www.tutorialspoint.com/5g/5g\\_introduction.htm](https://www.tutorialspoint.com/5g/5g_introduction.htm)
- [17] <https://5g-ppp.eu/>

- [18] 5G-PPP, "*5G-PPP Revised Architecture Paper for Public Consultation*", July 2017.
- [19] S. Kavanagh, "*What is Network Slicing*", January 2018.
- [20] [https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined\\_networking](https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_networking)
- [21] [https://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_function\\_virtualization](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_function_virtualization)
- [22] <https://5g-ppp.eu/5g-ppp-phase-1-projects/>
- [23] C. Bouras, G. Diles, "*Resource Management in 5G femtocell networks*", 2015
- [24] T. Nguyen, "*Small Cell Networks and the Evolution of 5G (Part 1)*", May 2017.
- [25] [http://ais.unist.ac.kr/?page\\_id=800](http://ais.unist.ac.kr/?page_id=800)
- [26] <https://en.wikipedia.org/wiki/C-RAN>
- [27] M. Rouse, "*millimeter wave (MM wave)*", April 2015
- [28] T. Nguyen, "*Small Cells Help Keep 5G Connected*", May 2016
- [29] <https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>
- [30] <https://en.wikipedia.org/wiki/Beamforming>