



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**

*ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ*

*<ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ>*

---

**«ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ  
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G»**

---

**ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ**

**A.M <6180>**

*ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ*

**ΠΑΤΡΑ 2018**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

---

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ.....	I
ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ .....	I
<i>ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ</i> .....	I
ΠΑΤΡΑ 2018.....	I
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: 5G .....	7
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ-Η ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ 5G.....	7
1.3 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΟΥ 5G .....	9
1.4 ΕΠΟΜΕΝΗ ΓΕΝΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ 5G .....	10
1.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ 5G.....	12
1.6 ΥΠΟΨΗΦΙΕΣ 5G ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ .....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ 5G ΔΙΚΤΥΩΝ .....	15

<b>2.1 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ: FRONTHAUL ΚΑΙ BACKHAUL .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ: SDN-NFV.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1. SDN .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2 NFV (NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION).....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ SDN ΚΑΙ NFV .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ: MMWAVE .....</b>	<b>27</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>32</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>34</b>

# ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

---

3GPPP: Third Generation Partnership Project

5GPPP: Fifth Generation Partnership Project

BBU: Backup Battery Unit

DNS: Domain Name System

CPRI: Common Public Radio Interface

D2D: Device to Device

EU: European Union

GPRS: General Packet Radio Service

GSM: Global System for Mobile

HSPA+: High Speed Packet Access

IDC: International Data Corporation

IMT: Intergrated Media Technologies

IoT: Internet of Things

KPI: Key Perfomance Indicators

LTE: Long Term Evolution

MIMO: Multiple Input Multiple Output

NFV: Network Function Virtualization

OFDM: Orthonogonal Frequency Division Multiplexing

ONF: Open Networking Foundation

RAN: Radio Access Network

SND: Software Defined Networks

VM: Virtual Machine

VLAN: Virtual Lan

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

---





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: 5G

---

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το 5G είναι μία επαναστατική εξέλιξη στο χώρο της κινητής τηλεφωνίας και γενικότερα στο χώρο της τεχνολογίας. Αυτό πηγάζει από το γεγονός ότι τα σημάδια βελτίωσης σε σχέση με τη 4<sup>η</sup> γενιά (4G) είναι τεράστια. Ένα απλό παράδειγμα είναι ότι οι ταχυτήτες μετάδοσης δεδομένων μπορεί να φτάσουν έως και τα 10 Gbps. Η παρούσα εργασία διερευνά το επιστημονικό πεδίο της 5G ασύρματης δικτύωσης και ειδικότερα τις Προτεινόμενες Τεχνικές των Δικτύων 5G που είναι και ο τίτλος της.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα γίνει μια Ιστορική Αναδρομή και θα αναλυθεί το πως οδηγηθήκαμε στο 5G και στη συνέχεια θα αναφερθεί η κατάσταση που επικρατούσε πριν την εμφάνιση του καθώς και τα χαρακτηριστικά της επόμενης γενιάς 5G. Τέλος, σε αυτό το κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες για τις τεχνικές απαιτήσεις στο 5G, ενώ παρατίθενται και κάποιες βασικές υποψήφιες 5G τεχνολογίες. Στο επόμενο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής ανάλυση των τριών Προτεινόμενων Αρχιτεκτονικών για Δίκτυα 5G, που αποτελεί και το κυρίως θέμα της εργασίας. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα συνοπτικά συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτήν την ερευνητική εργασία.

## 1.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ-Η ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ 5G

Η εφεύρεση των κυβελωτών δικτύων είναι αποτέλεσμα της ανάγκης των ανθρώπων για επικοινωνία, η οποία πρωτοεμφανίστηκε εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Η βασική ιδέα πίσω από τα κυβελωτά δίκτυα είναι η διαίρεση της γεωγραφικής περιοχής κάλυψης του δικτύου σε μικρότερες περιοχές, οι οποίες ονομάζονται

κυψέλες ή κύτταρα (cells). Η μορφή τους εξαρτάται κυρίως από τη μορφολογία του εδάφους, αλλά για καθαρά υπολογιστικούς λόγους έχει υιοθετηθεί η αναπαράσταση μιας κυψέλης με εξάγωνο. Κάθε κυψέλη εξυπηρετείται από τον δικό της σταθμό βάσης, που αποτελείται από κεραία, πομπό,δέκτη και έχει τα δικά της κανάλια. Οι κυψέλες έχουν δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε οι κεραίες να ισαπέχουν περίπου μεταξύ τους (εξάγωνα).

Υπάρχουν πέντε διαφορετικές γενιές συστημάτων, γνωστές ως 1G, 2G, 2.5G, 3G και 4G και το τελευταίο διάστημα έχει ξεκινήσει η ανάπτυξη δικτύων 5G. Για περισσότερες από 3 δεκαετίες από την εισαγωγή των κινητών τηλεπικοινωνιών στη ζωή μας, οι τεχνολογικές εξελίξεις που έχουν σημειωθεί είναι ραγδαίες. Η τυπική διάρκεια ανάπτυξης (από την εκκίνηση της προτυποποίησης έως την πιλοτική εμπορική λειτουργία) μιας τεχνολογίας στον κλάδο των ασύρματων τηλεπικοινωνιών είναι μία δεκαετία.Κάθε νέο σύστημα εισάγεται παράλληλα με την ωρίμανση των προηγούμενων. Παράλληλη είναι και η εξέλιξη των συσκευών, οι οποίες καλούνται να ακολουθήσουν τις συνεχείς και ταχείες εξελίξεις των δικτύων. Τα <<έξυπνα>> κινητά τηλέφωνα (smart-phones) είναι συμβατά με όλες τις τεχνολογίες 2G,3G,4G και παρέχουν πλήθος υπηρεσιών. [1]

Γενιά	Υπηρεσίες	Τεχνολογίες/Καινοτομίες/Δυνατότητες	Δίκτυα
1G	Φωνή	Αναλογική Μετάδοση, Πολλαπλή Πρόσβαση FDMA	AMPS, TACS
2G	Φωνή	Ψηφιακές Επικοινωνίες, Πολλαπλή Πρόσβαση FDMA, TDMA, CDMA	GSM, CDMA
2.5G	Δεδομένα	Μεταγωγή Πακέτων, Ταχύτητες έως και 384 kbps.	GPRS, EDGE
3G	Φωνή, Πολυμέσα	Πολλαπλή πρόσβαση CDMA, Αύξηση Χωρητικότητας και Βελτίωση Ποιότητας μετάδοσης φωνής/βίντεο	WCDMA-Umts, CDMA2000
3.5G	Δεδομένα	Μεταγωγή Πακέτων, ταχύτητες 1-10 Mbps	HSPA, WiMAX
4G, 4G+	Δεδομένα	Πλήρης αρχιτεκτονική IP, Πολλαπλή πρόσβαση OFDMA. Τεχνολογίες MIMO. Ταχύτητες δεκάδων έως και εκατοντάδων Mbps. Υπηρεσίες φωνής μέσω του δικτύου δεδομένων (VoIP)	LTE, LTE-A

Εικόνα 1. Η Εξέλιξη από τα Δίκτυα 1G στα Σύγχρονα Δίκτυα 4G+

Γενιά		Τεχνολογία	Μέγιστος Ρυθμός Download	Τυπικός Ρυθμός Download
2G	G	GPRS	0,1 Mbps	<0,1 Mbps
	E	EDGE	0,3 Mbps	0,1 Mbps
3G	3G	3G (Basic)	0,3 Mbps	0,1 Mbps
	H	HSPA	7,2 Mbps	1,5 Mbps
	H+	HSPA+	21 Mbps	4 Mbps
	H+	DC-HSPA+	42 Mbps	8 Mbps
4G	4G	LTE	100 Mbps	15 Mbps
	4G+	LTE-A	300 Mbps	45 Mbps

Εικόνα 2. Ταχύτητες Δικτύων Δεδομένων 2G/3G/4G.

### 1.3 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΟΥ 5G

Τα κυψελωτά δίκτυα 4ης γενιάς είναι ουσιαστικά μια βελτίωση της 3ης γενιάς και όπως είναι λογικό έχουν κάποιες παραπάνω δυνατότητες, τόσο όσον αφορά την ποιότητα αλλά και την ποσότητα. Ειδικότερα, οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων είναι περίπου 100 Mbps (μπορεί και λίγο μεγαλύτεροι) με αποτέλεσμα την παροχή υπηρεσιών πολυμέσων με οικονομικότερο τρόπο. Η βελτιωμένη συνδεσιμότητα επίσης (Improved Connectivity) είναι κάτι που επιτευχθηκε μέσω του 4G και δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να είναι συνέχεια συνδεδεμένος σε δίκτυα πρόσβασης που του εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη χρήση πόρων. Επιπροσθέτως, η φανερή μείωση της καθυστέρησης είναι αποτέλεσμα χρήσης του 4G, το οποίο σε αντίθεση με το 3G υποστηρίζει έναν μεγάλο αριθμό χρηστών. Τέλος, επίτευγμα του 4G είναι και η κάλυψη υπηρεσιών σε μεγάλες εκτάσεις με το χρήστη να έχει την ικανότητα πλέον να χρησιμοποιεί υπηρεσίες χωρίς τους χρονικούς αλλά και χωρικούς περιορισμούς που υπήρχαν στα δίκτυα 3ης γενιάς. Το δίκτυο 4ης γενιάς προσφέρει τη δυνατότητα

πρόσβασης σε ειδικές υπηρεσίες και ο πάροχος προσαρμόζει τις δυνατότητες του δικτύου, χωρίς θέτει σε κίνδυνο την κάλυψη μιας υπηρεσίας.

Εκτός από όλα τα παραπάνω, χρήσιμο θα ήταν ακόμη να αναφερθεί ότι η έλευση των δικτύων 4ης γενιάς είχε τεράστια συνεισφορά στην ανάπτυξη και στη βελτίωση παρεχόμενων υπηρεσιών σε τομής όπως η Τηλεϊατρική, η διαδραστική ψυχαγωγία(παρακλάδι της οποίας αποτελεί και η εκπαίδευση εξ' αποστάσεως) και η βελτίωση της ασφάλειας στη μετάδοση δεδομένων που είχε ως αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση των τραπεζικών συναλλαγών. Τομέας επίσης που έχει επωφεληθεί στο μέγιστο βαθμό από την χρήση υπηρεσιών δικτύων 4ης γενιάς είναι το ηλεκτρονικό εμπόριο, καθότι οι πωλήσεις των ηλεκτρονικών καταστημάτων έχουν σημειώσει ραγδαία αύξηση τα τελευταία χρόνια.

Σε επίπεδο τεχνολογίας, βασικές συνιστώσες της ασύρματης τεχνολογίας έχουν χρησιμοποιηθεί για την μετατροπή ορισμένων στόχων σε επιχειρησιακές απαιτήσεις. Είναι ευρέως γνωστό ότι το METIS λειτουργεί πάνω σε ένα μεγάλο αριθμό καινοτόμων τεχνολογικών συνιστωσών, όπως δομή πλαισίων, πρωτοκόλλων αναμετάδοσης, εκτίμηση καναλιών, που έχουν βελτιστοποιηθεί για να ικανοποιούν διαφορετικές προδιαγραφές, όπως ο μέσος ρυθμός, η καθυστέρηση, η αξιοπιστία για ένα σταθερό ρυθμό κ.λ.π. [2]

## **1.4 ΕΠΟΜΕΝΗ ΓΕΝΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ 5G**

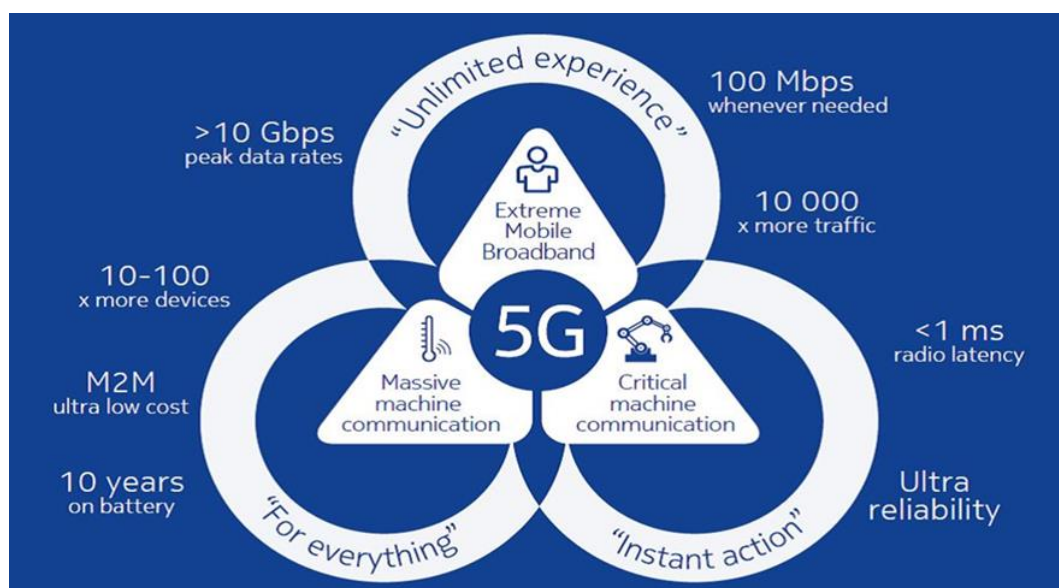
Το όραμα της EU είναι σε δέκα χρόνια οι τομείς telecom και IT να ενοποιηθούν σε μια κοινή υποδομή πολύ υψηλής χωρητικότητας. Η διαδικασία της οικοδόμησης της νέας ασύρματης γενιάς 5G, απαιτεί το συνδυασμό μεταξύ δύο βασικών κριτηρίων. Συγκεκριμένα, οι απαιτήσεις και οι στόχοι πρέπει να θέτουν τα ασύρματα συστήματα τόσο μεσοπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα σε συνδυασμό με τις λεπτομερείς τεχνολογικές συνιστώσες του νέου ασύρματου συστήματος καθώς και τις καινοτομίες πάνω σε αυτό.

Το ερευνητικό project METIS προσδιορίζει τη συμπεριφορά του 5G στο μέλλον και προβλέπεται άψογη εξυπηρέτηση σε ένα πλήθος ατόμων, διάχυτη επικοινωνία αντικειμένων, καλύτερη εμπειρία και αξιόπιστες συνδέσεις σε

πραγματικό χρόνο. Βέβαια, χαρακτηριστικά όπως η εξασφάλιση ευελιξίας και επεκτασιμότητας απαιτούν εικονικές λειτουργίες δικτύου υλοποιούμενες σε γενικού σκοπού, προγραμματιζόμενου και υψηλής επίδοσης υλικό (hardware), που θα παρέχει τους πόρους για μεταφορά, δρομολόγηση, αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων.

Συνεπώς, τα 5G δίκτυα θα ολοκληρώσουν τηλεπικοινωνιακούς και υπολογιστικούς-αποθηκευτικούς πόρους σε μια προγραμματιζόμενη ενοποιημένη υποδομή, που θα επιτρέπει τη βέλτιστη χρήση των κατανεμημένων πόρων. Ο παραπάνω ισχυρισμός διαβεβαιώνεται από τα ακόλουθα στοιχεία-αποτελέσματα του 5G:

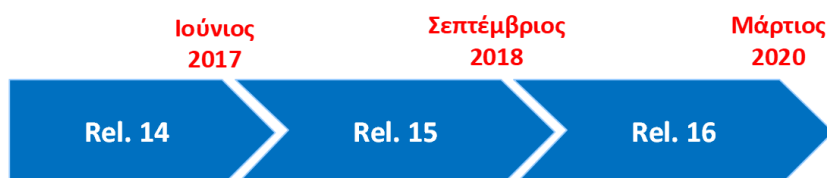
- 5 περίπου φορές μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.
- 40-60 φορές υψηλότερος ρυθμός δεδομένων για τον μέσο χρήστη.
- 10 έως 100 φορές μεγαλύτερος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών.



Source: Nokia

Εικόνα 3. 5G vision

Η επόμενη γενιά (5G) κάνει ήδη τα πρώτα βήματά της. Ήδη από τον Μάρτιο του 2017, εκδόθηκαν από τον 3GPP οι πρώτες μελέτες της Έκδοσης 14, η οποία αποτελεί την πρώτη έκδοση που ασχολείται συστηματικά με την 5G. Η 1η ευρεία πιλοτική λειτουργία τοποθετείται για το 2020. [1,2]



Εικόνα 4. Πορεία της προτυποποίησης του 5G

## 1.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ 5G

Προκειμένου να κατανοήσουμε πιο συγκεκριμένα τις τεχνικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει 5G, καθώς και προγραμματίζει να συναντήσει, είναι απαραίτητο πρώτα να προσδιορίσουμε τις απαιτήσεις για ένα σύστημα 5G. Τα ακόλουθα στοιχεία είναι απαιτήσεις σε κάθε βασική διάσταση, αλλά πρέπει να τονίσουμε ότι δεν είναι απαραίτητο να ικανοποιηθούν όλα αυτά ταυτόχρονα. Διαφορετικές εφαρμογές θα θέσουν διαφορετικές απαιτήσεις στην απόδοση και στις απαιτήσεις κορυφής που θα χρειαστεί να ικανοποιηθούν σε ορισμένες διαμορφώσεις που αναφέρονται παρακάτω. Για παράδειγμα, εφαρμογές πολύ υψηλής ευκρίνειας, όπως streaming βίντεο υψηλής ευκρίνειας μπορεί να έχει χαλαρή καθυστέρηση και χαλαρές απαιτήσεις αξιοπιστίας σε σύγκριση με τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό ή τη δημόσια ασφάλεια εφαρμογών, όπου η λανθάνουσα κατάσταση και η αξιοπιστία είναι πρωταρχικής σημασίας, αλλά χαμηλότεροι ρυθμοί δεδομένων μπορούν να γίνουν ανεκτοί.

Ποσοστό δεδομένων: Η ανάγκη υποστήριξης της κίνησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας είναι αναμφισβήτητα ο κύριος οδηγός πίσω από 5G. Το ποσοστό δεδομένων μπορεί να μετρηθεί με διάφορους τρόπους και θα υπάρξει ένας 5G στόχος για κάθε τέτοια μέτρηση:

α) Ο συνολικός ρυθμός δεδομένων αναφέρεται στη συνολική ποσότητα δεδομένων που το δίκτυο μπορεί να εξυπηρετήσει και χαρακτηρίζεται σε μονάδες bit / s / περιοχή. Η κοινή λογική είναι ότι αυτή η ποσότητα θα πρέπει να αυξηθεί περίπου 1000 φορές το 4G έως το 5G.

β) Το edge rate, ή ποσοστό 5%, είναι ο χειρότερος ρυθμός δεδομένων που ένας χρήστης μπορεί ευλόγως να αναμένει να λάβει όταν βρίσκεται εντός της εμβέλειας του δικτύου, και έτσι είναι μια σημαντική μετρική και έχει μια συγκεκριμένη από μηχανικής άποψης σημασία. Οι στόχοι για την περιοχή τιμών 5G κυμαίνονται από 100 Mbps (αρκετά εύκολα για υποστήριξη ροής υψηλής ευκρίνειας) έως και 1 Gbps. Για το 95% των χρηστών θα να είναι εξαιρετικά δύσκολο να φτάσουν 100 Mbps, ακόμη και με σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις. Αυτό απαιτεί περίπου 100 φορές πρόοδο αφού τα τωρινά συστήματα 4G έχουν ένα τυπικό 5% από περίπου 1 Mbps, αν και ο ακριβής αριθμός ποικίλει αρκετά ευρέως ανάλογα με το φορτίο, το μέγεθος των κυψελών και διάφορους άλλους εξωγενείς παράγοντες.

γ) Το peak rate είναι ο καλύτερος ρυθμός δεδομένων που ο χρήστης μπορεί να ελπίζει ότι θα επιτευχθεί με οποιαδήποτε διαμόρφωση δικτύου. Επίσης, είναι ένας αριθμός μάρκετινγκ, αλλά σε κάθε περίπτωση θα είναι πιθανό να είναι στην τάξη των δεκάδων των Gbps. [3]

## 1.6 ΥΠΟΨΗΦΙΕΣ 5G ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Οι βασικότερες τεχνολογίες εκ των υποψηφίων για να ενσωματωθούν στα δίκτυα 5G είναι οι εξής:

- Network MIMO (Δικτυακό MIMO) : Μία από τις υποψήφιες 5G τεχνολογίες είναι η Network MIMO (γνωστή και ως Cooperative MIMO). Είναι μία MIMO τεχνική η οποία αποτελεί συνδυασμό της D2D επικοινωνίας, της επικοινωνίας τύπου μηχανής, του cloud computing σε συνδυασμό με MIMO υπάρχουσες ήδη τεχνικές. Με χρήση της τεχνικής αυτής, ο χρήστης είναι εφικτό να χρησιμοποιεί την συσκευή ενός άλλου (D2D) ή και με οποιαδήποτε συσκευή

είναι συνδεδεμένη στο ίδιο δίκτυο, κατανέμοντας σε αρκετές κεραίες αποστολής τον όγκο των δεδομένων που είναι προς μετάδοση, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Έτσι, βελτιώνεται η απόδοση του ασύρματου δικτύου, όσον αφορά το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης, την χρήση του διαθέσιμου φάσματος αλλά και της ποιότητας επικοινωνίας.

- Εξελιγμένες τεχνικές διαμόρφωσης κυματομορφής: Μία εξέλιξη της OFDM, η f-OFDM (filtered OFDM), η οποία είναι παρόμοια με την OFDM, με την διαφορά ότι το διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων διασπάται σε μικρότερα κομμάτια, κάθε ένα από τα οποία χρησιμοποιείται από διαφορετική εφαρμογή, έχοντας παράλληλα την δυνατότητα να γίνει η επιλογή των επιμέρους παραμέτρων της διαμόρφωσης που θα χρησιμοποιηθούν από την συγκεκριμένη εφαρμογή. Μία άλλη τέτοια τεχνική είναι η Filter Bank-based Multi-Carrier (FBMC), η οποία έχει μικρότερη ευαισθησία στην διασπορά συχνοτήτων. Η Generalized frequency division multiplex (GFDM) είναι άλλη μία υποψήφια τεχνική διαμόρφωσης η οποία, όπως και η FBMC, χρησιμοποιεί υπό-φέροντα για την αποστολή των δεδομένων και προσφέρει βέλτιστη διαχείριση του διαθέσιμου συχνοτικού φάσματος, καθιστώντας την κατάλληλη για τα 5G δίκτυα. Τέλος, μία ακόμα τεχνική διαμόρφωσης είναι η Universal filtered multicarrier (UFMC), η οποία χρησιμοποιεί διάσπαση της διαθέσιμης ζώνης συχνοτήτων σε μικρότερα κομμάτια, όπως και η f-OFDM.



# *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :*

## *ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ*

### *ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ 5G ΔΙΚΤΥΩΝ*

---

---

#### **2.1 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ: FRONTHAUL ΚΑΙ BACKHAUL**

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η βιομηχανία κινητής τηλεφωνίας είναι η προσαρμογή της στις εξαιρετικές αυξήσεις στον όγκο δεδομένων και στις προσδοκίες απόδοσης κατά τις επόμενες δύο δεκαετίες. Είναι ξεκάθαρο ότι καμία πτυχή της τεχνολογίας δεν χρειάζεται να επαναπροσδιοριστεί για να ανταποκριθούν οι 5G προσδοκίες. Πράγματι, θα πρέπει να εξετάσουμε ολόκληρο το σύστημα από το αρχή έως το τέλος και να μην πάρουμε τίποτα δεδομένο. Είναι αναμφισβήτητο η πιο ριζική εξέλιξη της ασύρματης τεχνολογίας μετά την εξέλιξη από 1G σε 2G.

Η κίνηση των κινητών δεδομένων προβλέπεται να αυξηθεί 11 φορές μεταξύ του 2013 και του 2018. Τα δίκτυα 5G που εξυπηρετούν αυτό το τσουνάμι δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα απαιτήσουν λύσεις fronthaul και backhaul μεταξύ του RAN και του πυρήνα πακέτων ικανών να αντιμετωπίσουν αυτό το αυξημένο φορτίο κίνησης ενώ πληρούν τις νέες αυστηρές απαιτήσεις υπηρεσίας 5G με οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Το υποκείμενο δίκτυο μεταφορών παρέχει την πολύ σημαντική σύνδεση από το δίκτυο ραδιοπρόσβασης (RAN) στον πυρήνα των πακέτων, ο οποίος στη συνέχεια καθιστά τη σύνδεση στο δημόσιο διαδίκτυο. Οι αλλαγές στην αρχιτεκτονική του δικτύου μεταφορών τείνουν να έχουν λιγότερη προσοχή από τις εξελίξεις στην τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης, αλλά δεν είναι λιγότερο σημαντικές. Τα διανεμημένα συστήματα κεραίας (DAS), οι απομακρυσμένες ραδιοφωνικές κεφαλές

(RRH) και οι σταθμοί βάσης μικρών κελιών, με λειτουργικές διαχωρισμούς μεταξύ του ραδιοφώνου και των κέντρων δεδομένων που βρίσκονται σε συνεχή συζήτηση σε οργανισμούς τυποποίησης, θα εντάσσονται σε όλες τις εφαρμογές 5G και όλες θέτουν διαφορετικές απαιτήσεις το δίκτυο μεταφορών.

Ο όρος fronthaul χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σύνδεση μεταξύ του ίδιου του ραδιοφωνικού πύργου (Radio Head ή RH) και της ραχοκοκαλιάς ελέγχου κινητού δικτύου (η μονάδα βάσης ή BBU) και το CPRI είναι ένα πολύ γνωστό πρότυπο για αυτή τη διασύνδεση. Το Backhaul είναι ο σύνδεσμος μεταξύ ενός σταθμού βάσης και του πυρήνα ενσύρματου δικτύου, και είναι συχνά ίνα και σε ορισμένες περιπτώσεις ευρυζωνικές, ιδιόκτητες ασύρματες συνδέσεις. Το Fronthaul, backhaul και διάφορες υβριδικές αρχιτεκτονικές θα χρειαστούν για την αποδοτική και συμβατή, πυκνή ανάπτυξη της δικτυακής υποδομής που είναι απαραίτητη για την παροχή ευρυζωνικών απαιτήσεων χαμηλής καθυστέρησης για συστήματα 5G.

Το έργο 5G-Crosshaul στοχεύει στην ανάπτυξη ενός ενοποιημένου κατά κάποιο τρόπο δικτύου μεταφοράς 5G και fronthaul, το οποίο επιτρέπει μια ευέλικτη και αναδιαμορφωμένη μορφή όλων των στοιχείων δικτύωσης σε ένα ενοποιημένο περιβάλλον διαχείρισης πολλαπλών μισθωτών και υπηρεσιών. Το προβλεπόμενο δίκτυο μεταφοράς 5G-Crosshaul θα αποτελείται από διακόπτες υψηλής χωρητικότητας και ετερογενείς συνδέσμους μετάδοσης (π.χ. οπτικές ίνες ή χαλκό υψηλής χωρητικότητας, mmWave) που διασυνδέουν απομακρυσμένες ραδιοφωνικές κεφαλές, 5G PoAs (π.χ. μακροσκοπικά και μικρά κελιά) και σημεία παρουσίας των βασικών δικτύων ενός ή πολλαπλών παρόχων υπηρεσιών. Αυτό το δίκτυο μεταφορών θα συνδέει με ευελιξία καταναμημένες λειτουργίες δικτύου ραδιοεπικοινωνίας 5G και κεντρικού δικτύου, που φιλοξενούνται σε κόμβους cloud σε δίκτυο, μέσω της υλοποίησης: (i) μιας υποδομής ελέγχου που χρησιμοποιεί ένα ενοποιημένο μοντέλο αφηρημένου δικτύου για την ενοποίηση του επιπέδου ελέγχου. (ii) ενός ενοποιημένου επιπέδου δεδομένων που περιλαμβάνει καινοτόμες τεχνολογίες μετάδοσης μεγάλης χωρητικότητας και νέες αρχιτεκτονικές μεταγωγών προκαθορισμένης καθυστέρησης.

Η επίδειξη και η επικύρωση των συστατικών στοιχείων της τεχνολογίας 5G-Crosshaul που αναπτύσσονται θα ενσωματωθούν σε ένα ευέλικτο και επαναπροσδιορίσιμο σετ δοκιμών 5G στη Γερμανία. Τα πειράματα 5G-Crosshaul που σχετίζονται με την κινητικότητα θα πραγματοποιηθούν χρησιμοποιώντας τρένα

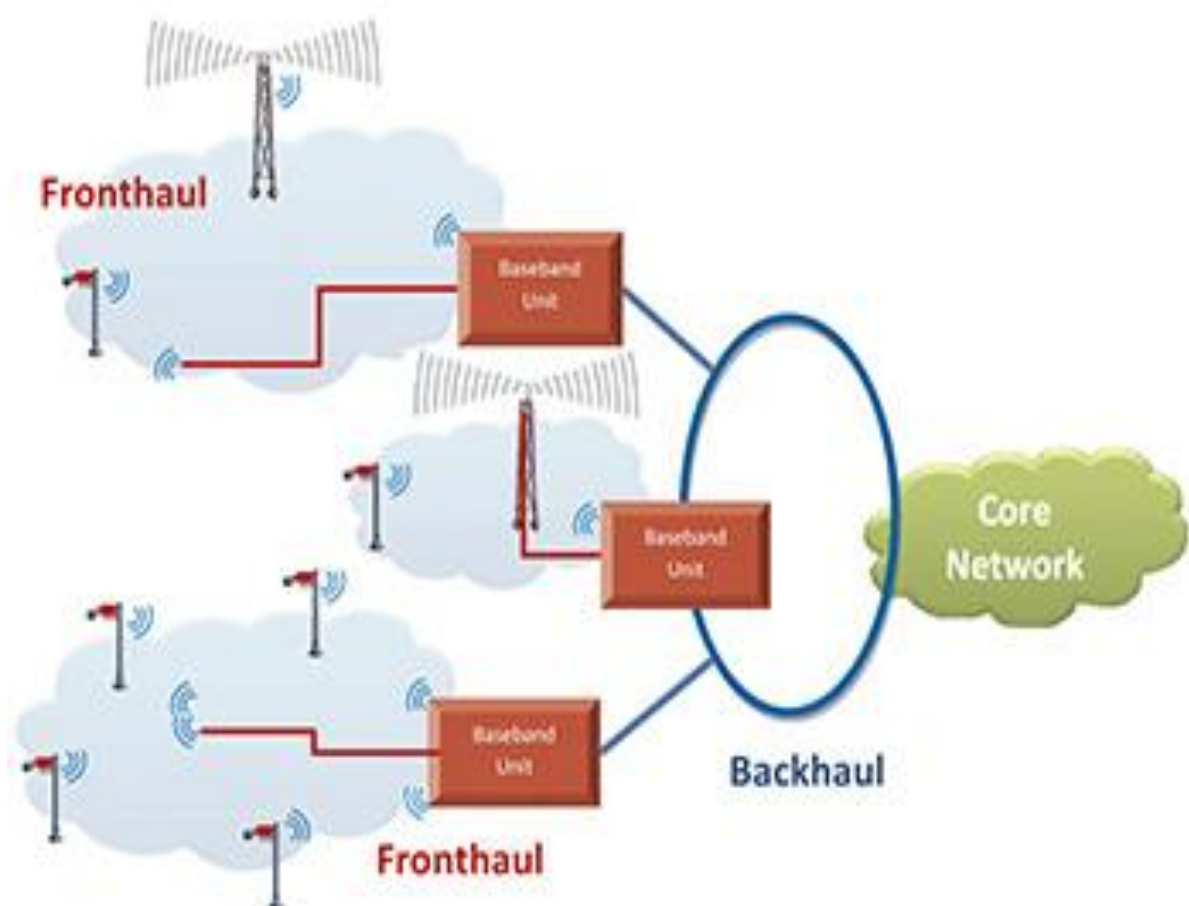
υψηλής ταχύτητας της Ταϊβάν. Οι στόχοι 5G-Crosshaul KPI που θα αξιολογηθούν θα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων αύξηση της χωρητικότητας δικτύου κατά 20%, καθυστέρηση <1 ms και μείωση του TCO κατά τουλάχιστον 30%.

Η σύντηξη του fronthaul και του backhaul σε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο μεταφορών 5G είναι μια έννοια που στοχεύει προς τα εμπρός και στοχεύει σε μια ευέλικτη, αναμορφώσιμη αρχιτεκτονική μεταφορών που ορίζει λογισμικό. Προβλέπει ένα ενιαίο δίκτυο που μπορεί να υποστηρίξει μια ποικιλία λειτουργικών χωρισμάτων μεταξύ της κεραίας και του πυρήνα του πακέτου. Αυτή η προβολή ευθυγραμμίζεται με την εξέλιξη της Virtualization Function Function (NFV) και του Cloud RAN (CRAN) που δείχνει σε ένα κέντρο δεδομένων που μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να υποστηρίζει όποια λειτουργική διασπορά αναπτύσσεται στο δίκτυο. Στο ένα άκρο, μπορεί να φιλοξενηθεί μια κληρονομιά βάσης και η επιστροφή. Στο άλλο άκρο, ένα δίκτυο πυκνοκατοικημένων ραδιοφωνικών κεφαλών διαμορφωμένων για μαζικό MIMO μπορεί να ανταλλάξει συμπιεσμένα ψηφιοποιημένα ραδιολογικά δείγματα για επεξεργασία με βάση το σύννεφο.

Το 5G-Crosshaul, το οποίο συγκεντρώνει πολλούς εταίρους (συμπεριλαμβανομένης της InterDigital), είναι ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα 5GPPP που εργάζεται για την αντιμετώπιση αυτής της εξέλιξης. Σύμφωνα με μια δημοσίευση που δημοσιεύθηκε πρόσφατα από το έργο, η 5G-Crosshaul θα λειτουργεί ως δίκτυο λεωφορείων / μεταφορών που θα συνδέει τους ραδιοφωνικούς σταθμούς (RH) με BBU που θα πάρουν εικονική μορφή και θα φιλοξενηθούν στα Data Centers. Μόλις εικονικοποιηθεί, οι λειτουργίες των σταθμών βάσης μπορούν να διανεμηθούν και να μετακινηθούν με ευελιξία σε κέντρα δεδομένων, παρέχοντας έναν άλλο βαθμό ελευθερίας για εξισορρόπηση φορτίου. "

Η πρόκληση είναι να αναπτυχθεί ένα σύνολο τυποποιημένων διεπαφών και ένα ύφασμα διακοπών υψηλής χωρητικότητας που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις εύρους ζώνης, λανθάνουσας κατάστασης και jitter που απαιτούνται για όλες τις εφαρμογές 5G. Η διασύνδεση μεταξύ των στοιχείων πρέπει να υποστηρίξει τις ίνες, το χαλκό υψηλής χωρητικότητας, την ασύρματη οπτική ή τους ασύρματους συνδέσμους χιλιοστομετρικών κυμάτων. Και, βεβαίως, το νέο δίκτυο πρέπει να είναι συμβατό με τα παλαιότερα συστήματα μεταφορών, ώστε να καταστεί δυνατή η οικονομική μετάβαση.

Τελικά η ανάγκη είναι να παρέχονται επίπεδα απόδοσης 5G με οικονομικά αποδοτικό τρόπο και να περιορίζεται η συνεχώς αυξανόμενη ανάπτυξη του OPEX και του CAPEX. Ένα σύστημα τύπου Crosshaul θα μπορούσε να προσφέρει σημαντικά κέρδη μέσω της επανασυγκρότησης του λογισμικού, τόσο για το δίκτυο μεταφοράς όσο και με την εξοικονόμηση κόστους του κέντρου δεδομένων που υποσχέθηκαν οι έννοιες NFV και CRAN. Άλλα πλεονεκτήματα θα είναι η ενεργειακή απόδοση, επιτρέποντας τη δυναμική ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση των στοιχείων του δικτύου και επιτρέποντας τη μίσθωση πολλαπλών θέσεων και την κοινή χρήση δικτύου. Ο συνδυασμός όλων αυτών των ωφελειών μπορεί να είναι ένα κλειδί για τα οικονομικά του 5G και πέρα από αυτό και η συνεχιζόμενη ανάπτυξη της ασύρματης τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών. [5]



Εικόνα 5. Fronthaul and Backhaul Network.

Στο επίπεδο της έρευνας και της καινοτομίας κοντά μας και πάνω στο θέμα μας η COSMOTE συμμετέχει στο ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο 5G-XHaul (<http://www.5g-xhaul-project.eu/index.html>), στόχος του οποίου είναι η ανάπτυξη μιας πρωτόγνωρης συγκεκλιμένης δικτυακής υποδομής (fronthaul /backhaul), ικανής να διασυνδέσει με ευελιξία μικρές κυψέλες με το δίκτυο κορμού, μέσω οπτικών και ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης και αντίστοιχων υπηρεσιών, μέσω δυναμικής ανάθεσης δικτυακών πόρων. Σε μία ευρεία πλατφόρμα δοκιμών στην πόλη του Bristol (Ηνωμένο Βασίλειο) θα ενσωματωθούν όλες οι τεχνολογίες και οι υποδομές που θα αναπτυχθούν.

Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιώντας την κινητικότητα των χρηστών, η υποδομή θα επιτρέπει τη δυναμική κατανομή των πόρων του δικτύου σε περιοχές με αυξημένη κινητικότητα (hotspots). Για την υποστήριξη αυτής της νέας αρχιτεκτονικής είναι απαραίτητα:

- 1) Point-to-multipoint πομποδέκτες οι οποίοι θα είναι δυναμικά προγραμματιζόμενοι, μεγάλης χωρητικότητας, με χαμηλή καθυστέρηση (low latency) και οι οποίοι θα συνεργάζονται στενά με συστήματα που λειτουργούν σε χαμηλότερες συχνότητες από αυτές των 6-GHz.
- 2) Δίκτυο οπτικών ινών ικανό να προσφέρει ελαστική κατανομή του εύρους ζώνης σε συνεργασία με προηγμένα παθητικά οπτικά δίκτυα.
- 3) Επίπεδο ελέγχου με δυνατότητα να προβλέπει τη ζήτηση της κίνησης στο χρόνο και στο χώρο, καθώς επίσης και να αναδιαμορφώνει τα στοιχεία του τρέχοντος δικτύου.

Στο πλαίσιο του έργου 5G-XHaul, η COSMOTE συμμετέχει στον καθορισμό των τεχνικών απαιτήσεων, των περιπτώσεων χρήσης και της αρχιτεκτονικής του συστήματος καθώς και στη συνολική αξιολόγησή του. Επιπρόσθετα, η εταιρεία θα συμβάλλει στις ενέργειες διάδοσης και αξιοποίησης των αποτελεσμάτων του έργου καθώς και στη διαμόρφωση του επιχειρηματικού μοντέλου. [6]

## 2.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ: SDN-NFV

### 2.2.1. SDN

Το SDN - το οποίο είναι μια αρχιτεκτονική προσέγγιση, και όχι ένα συγκεκριμένο προϊόν - έχει παραδοσιακά θεωρηθεί ως δίκτυα virtualization δικτύων δεδομένων. Αυτό συνήθως σημαίνει διαχωρισμό της διαχείρισης του επιπέδου ελέγχου των συσκευών δικτύου από το υποκείμενο επίπεδο δεδομένων που προωθεί την κίνηση δικτύου. Η χρήση ενός συστήματος που καθορίζεται από λογισμικό για τον έλεγχο αυτού του διαχωρισμού φέρνει πολλά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης ευελιξίας διαχείρισης του δικτύου και της ικανότητας να εφαρμόζει ευκολότερα πολύπλοκες πολιτικές ασφάλειας.

Φανερή επίσης είναι η εξέλιξη στην αγορά SDN τα τελευταία χρόνια, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων στο δίκτυο. Για να αντιμετωπίσει αυτές τις νέες προκλήσεις, η βασική τεχνολογία που εξουσιοδοτεί την SDN έχει εφαρμοστεί σε άλλους τομείς δικτύωσης. Το δίκτυο στο κέντρο δεδομένων δεν είναι ένας απομονωμένος τομέας και το πώς αλληλεπιδρά με το δημόσιο σύννεφο, πώς συνδέονται τα υποκαταστήματα, τι σημαίνει ο κόσμος του IoT για το δίκτυο είναι όλα μέρος αυτού του νέου σύγχρονου δικτύου.

Το SDN εμφανίστηκε στις αρχές του 2010 κατ'ανάγκη. Πολλά δίκτυα σήμερα σχεδιάστηκαν για εφαρμογές διακομιστή-πελάτη που εκτελούνται σε μη εικονική υποδομή. Η εικονικοποίηση, η κινητικότητα και τώρα το Ίντερνετ των πραγμάτων (IoT) έχουν εκθέσει τους περιορισμούς των παραδοσιακών αρχιτεκτονικών δικτύων και των λειτουργικών μοντέλων.

Μέχρι τώρα, η SDN έχει προχωρήσει πέρα από την εφηβεία και την έγκαιρη ευφορία, και έχει εγκατασταθεί στην πρώιμη ενηλικίωση ως κάτι γνωστό και απαραίτητο αγαθό. Δεν είναι τόσο το επόμενο μεγάλο πράγμα στον τομέα της δικτύωσης όσο είναι πραγματικότητα και αναγκάσιο για επιχειρήσεις και παρόχους υπηρεσιών παγκοσμίως, ακόμη και για όσους δεν το έχουν αγκαλιάσει.

Η αγορά της Neura από το VMware για το 2013 θεωρήθηκε σημαντική περίοδος για τη βιομηχανία SDN και ώθησε τον γίγαντα του virtualization για να

γίνει προμηθευτής δικτύων. Σήμερα, το προϊόν NSX SDN της VMware είναι βασισμένο πάνω στην τεχνολογία αυτή. Η εφαρμογή Centric Infrastructure της Cisco αποτελεί υψίστης σημασίας κομμάτι για την προσφορά της SDN. Πολλές άλλες εταιρείες, όπως οι Juniper και Arista, έχουν και τις δικές τους προσφορές SDN.

Η IDC εκτιμά ότι η αγορά SDN έχει αυξηθεί από μια βιομηχανία αξίας 406 εκατομμυρίων δολαρίων σε μια αγορά άνω του 6,6 δισεκατομμυρίων δολαρίων μέσα σε τέσσερα χρόνια (2013-2017). Η IDC προβλέπει ότι η αγορά SDN θα συνεχίσει να αυξάνεται με ετήσιο ρυθμό αύξησης περίπου 25,4% στα 13,8 δισεκατομμύρια μέχρι το 2021.

Το δίκτυο εμποδίζει τους οργανισμούς να «κατανοήσουν» τη μέγιστη αξία μιας προηγμένης ανάπτυξης virtualization server ή ιδιωτικού cloud. Εάν ένας οργανισμός μπορεί αυτόματα να φτιάξει, να παρέχει και να τερματίσει την λειτουργία των VM, ένα χειροκίνητο δίκτυο που χρειάζεται να ρυθμίσει τα εικονικά τοπικά δίκτυα (VLANs) ή άλλες ρυθμίσεις δικτύου θα οδηγηθεί σε κέρδος.

Όσον αφορά την προγραμματισιμότητα του δικτύου, ορισμένοι οργανισμοί προσανατολισμού εμπλουτίζουν την ευκαιρία να ελέγχουν μέσω διαφόρων προγραμμάτων τους πόρους δικτύου, τους οποίους οι πωλητές δίνουν όλο και περισσότερες δυνατότητες στα προϊόντα τους. Η χρήση πλατφόρμας διαχείρισης μέσω διασύνδεσης γραμμής εντολών (CLI) ή διεπαφών προγράμματος εφαρμογών (APIs) επιτρέπει την αύξηση της αυτοματοποίησης των εργασιών διαχείρισης δικτύου, όπως η δημιουργία δικτύων και ο συντονισμός πολιτικών ασφάλειας και χρήσης. Η κατοχή κεντρικού λογισμικού ελέγχου SDN διαχειρίζεται το δίκτυο, ενώ μπορεί επίσης να βοηθήσει μέσω της προβολής του δικτύου και στην ανάλυση καθώς έχει μια άποψη σε ολόκληρο το περιβάλλον του δικτύου.

Σαφές πλεονέκτημα μιας εφαρμογής SDN αποτελεί το γεγονός ότι επιτρέπει την εγκατάσταση και διαχείριση των εργαλείων ασφαλείας που βασίζονται σε λογισμικό ευκολότερα στην κυκλοφορία server-to-server "ανατολής-δύσης" μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων. Σε ένα περιβάλλον SDN, οι διαχειριστές δικτύου μπορούν να εγκαταστήσουν ευκολότερα κάποια εικονικά τείχη προστασίας, εργαλεία κρυπτογράφησης και υπηρεσίες παρακολούθησης δικτύου για να προστατεύσουν αυτήν την μετακίνηση στο κέντρο δεδομένων. Ενώ μέχρι στιγμής πολλές εφαρμογές SDN έχουν επικεντρωθεί σε δίκτυα δεδομένων, έχει αναφερθεί ότι το μέλλον του

SDN θα καθοριστεί από τον τρόπο με τον οποίο αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται εκτός του κέντρου δεδομένων. Η SDN θα διαδραματίσει ρόλο στη διαμόρφωση της επόμενης γενιάς δικτύων οσον αφορά τους παράγοντες που θα συνεχίσουν να ασκούν πίεση στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων την επίθεση της κίνησης δικτύου που δημιουργείται από το Διαδίκτυο των πραγμάτων, τον συνεχιζόμενο πολλαπλασιασμό ενός εργατικού δυναμικού και ενός διαρκώς αυξανόμενου αριθμού καταναλωμένων θέσεων υποκαταστημάτων. Ο αυξανόμενος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών σημαίνει κατακλυσμό της κυκλοφορίας δικτύου. Οι υποστηρικτές της SDN υποστηρίζουν ότι μια επικάλυψη διαχείρισης δικτύου που βασίζεται σε λογισμικό μπορεί να βοηθήσει στην ιεράρχηση της κυκλοφορίας και στην διεξαγωγή αναλύσεων σχετικά με τον τύπο της κυκλοφορίας στο δίκτυο. [7]

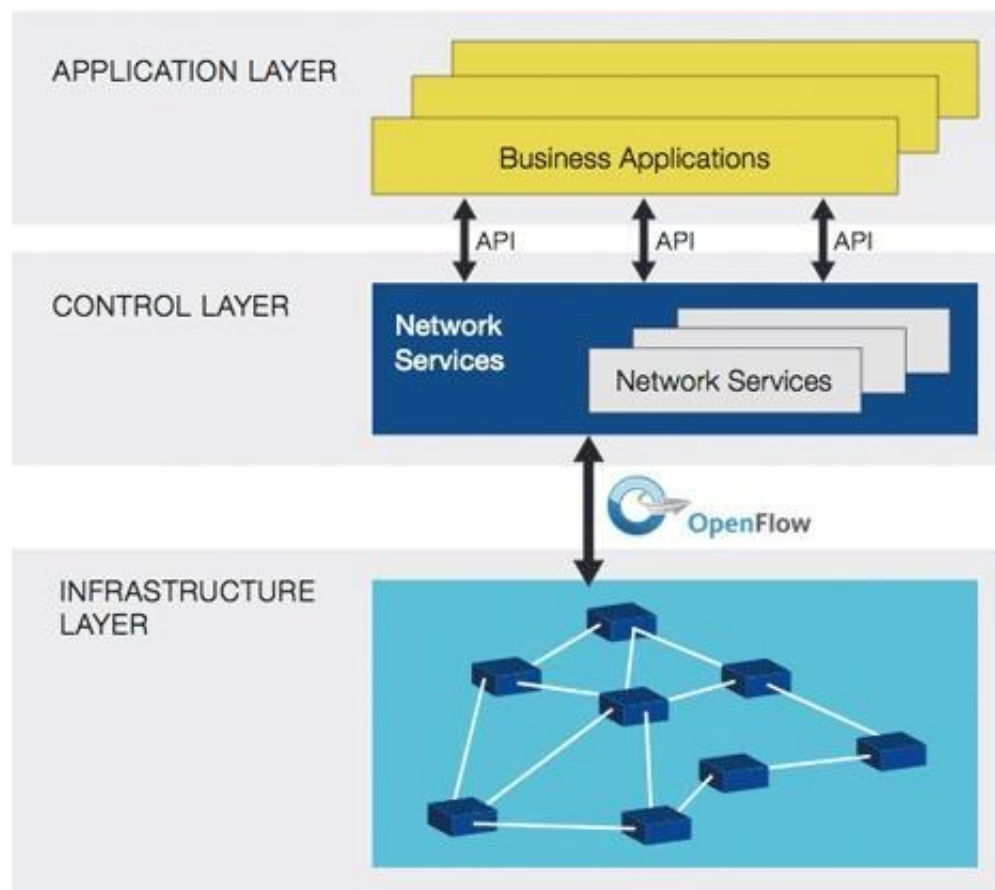
### **Πως δουλεύει το SDN;**

Στο βασικό επίπεδο ένας διακόπτης Ethernet αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία, το υλικό μεταγωγής και κάποιο λογισμικό ή το υλικολογισμικό, όπως ονομάζεται. Όταν ένα πακέτο φτάσει σε μία από τις θύρες, το υλικό ζητά από το υλικολογισμικό τι πρέπει να κάνει με το πακέτο αυτό. Στη συνέχεια, το υλικολογισμικό αναζητά τη διεύθυνση προορισμού σε μια λίστα (που ονομάζεται πίνακας MAC), η οποία περιέχει όλες τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες με τον διακόπτη και στη συνέχεια γίνεται ενημερώνει του υλικού για ποια θύρα θα αποστείλει το πακέτο. Προφανώς, αυτή είναι μια πολύ απλοποιημένη περιγραφή για το τι κάνει ένας διακλαδωτής Ethernet, αλλά από ένα σημείο στάσης SDN αυτό είναι ό,τι μας ενδιαφέρει πραγματικά στην ανάλυση μας. Τώρα το πρόβλημα βρισκόταν στο γεγονός ότι ο τρόπος με τον οποίο αυτή η διαδικασία λειτουργεί ήταν τετραγωνισμένος, έκανε ό,τι έκανε και όχι πολλά άλλα. Ήταν στην προσωπική κρίση του κατασκευαστή να αποφασίσει ποια χαρακτηριστικά θα ήθελε να συμπεριλάβει στο firmware επειδή ήταν οι μόνοι που είχαν πρόσβαση στον κώδικα. Έτσι η ομάδα των ερευνητών στο πανεπιστήμιο του Στάνφορντ έλεγξε την ιδέα ενός επεκτάσιμου διακόπτη. Πρότειναν την έννοια του διαχωρισμού των εγκεφάλων του διακόπτη, που ονομάζεται Επίπεδο Ελέγχου από το υλικό μεταγωγής ή το Επίπεδο Δεδομένων. Τοποθετώντας αυτό το Πλαίσιο Ελέγχου σε έναν εντελώς ξεχωριστό εξυπηρετητή, αντί του εσωτερικού του διακόπτη, γινόταν πλέον να τροποποιηθεί αυτό το λογισμικό για να προστεθούν επιπλέον λειτουργίες. Αυτό το νέο λογισμικό του Control Plane



έγινε αυτό που πλέον είναι γνωστό ως ελεγκτής SDN και η πρόσθετη λειτουργικότητα υλοποιείται ως εφαρμογή SDN που "συνδέεται" στον ελεγκτή.

Για να καταστεί δυνατός αυτός ο διαχωρισμός απαιτείται ένα νέο πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο θα επέτρεπε στον διαχειριστή να μιλήσει με τον ελεγκτή SDN, το πρώτο και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο από αυτά τα πρωτόκολλα ονομάζεται OpenFlow. Αρχικά αναπτύχθηκε ως μέρος της έρευνας του Stanford SDN και τώρα τηρείται από το Ίδρυμα Open Networking (ONF) ενώ σήμερα υποστηρίζεται από έναν ικανοποιητικό αριθμό προμηθευτές υλικού και λογισμικού. Το παρακάτω διάγραμμα από τον ιστότοπο ONF δείχνει τον διαχωρισμό μεταξύ των διαφόρων επιπέδων μιας ανάπτυξης SDN. [8]



Εικόνα 6. How does SDN work?

### **2.2.2 NFV (Network Functions Virtualization)**

Η λειτουργία εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου (NFV) προσφέρει έναν καινούριο και διαφορετικό τρόπο σχεδιασμού, ανάπτυξης και διαχείρισης των υπηρεσιών δικτύωσης. Το NFV προέρχεται από τους παρόχους υπηρεσιών οι οποίοι ήθελαν να επισπένσουν την εφαρμογή των νέων υπηρεσιών δικτύου για να υποστηρίξουν τους στόχους και τα κέρδη τους. Επίσης, αποσυνδέει τις λειτουργίες του δικτύου, όπως η μετάφραση διεύθυνσης δικτύου (NAT), το firewall, η ανίχνευση εισβολών, η υπηρεσία ονόματος τομέα (DNS) και η προσωρινή αποθήκευση, για να αναφέρουμε μερικά από τις ιδιόκτητες συσκευές υλικού ώστε να μπορούν να τρέχουν σε λογισμικό.

Σχεδιάστηκε για να ενοποιήσει και να παραδώσει τα απαραίτητα στοιχεία δικτύωσης για την υποστήριξη μιας εικονικοποιημένης υποδομής - συμπεριλαμβανομένων των εικονικών διακομιστών, των χώρων αποθήκευσης και άλλων δικτύων. Χρησιμοποιεί τις τυπικές τεχνολογίες εικονικοποίησης τεχνολογιών πληροφορικής (IT), οι οποίες εκτελούνται σε υψηλής κλίμακας υπηρεσίες, διακόπτες και αποθηκευτικό υλικό για τη δημιουργία εικονικών λειτουργιών δικτύου. Ισχύει για κάθε λειτουργία επεξεργασίας επιπέδου δεδομένων ή επίπεδο ελέγχου, τόσο σε ενσύρματες όσο και ασύρματες υποδομές δικτύου. Εάν επιτύχει το NFV θα μειώσει το μέγεθος του ιδιόκτητου υλικού που απαιτείται για να λειτουργήσουν οι υπηρεσίες δικτύου.

#### **Πλεονεκτήματα του NFV**

Μέσω του NFV οι χρήστες έχουν την ικανότητα να:

- Μειώσουν τα Capital Expenses: μειώνοντας της ανάγκη αγοράς υλικού που βασίζεται σε αντικείμενα και υποστηρίζει τα μοντέλα πληρωμής που αυξάνονται, για να εξαλείψει τη σπατάλη των υπερπληθυσμών.
- Μειώσουν το Operational Expenses: μειώνοντας τις απαιτήσεις για χώρο, ισχύ και ψύξη του εξοπλισμού και απλουστεύοντας την ανάπτυξη και τη διαχείριση των υπηρεσιών δικτύου.

- Επιταχύνουν το χρόνο προς την αγορά: μειώνοντας το χρόνο ανάπτυξης νέων υπηρεσιών δικτύωσης για την υποστήριξη των μεταβαλλόμενων επιχειρησιακών απαιτήσεων, αξιοποίηση νέων ευκαιριών στην αγορά και βελτιστοποίηση της απόδοσης των επενδύσεων νέων υπηρεσιών. Μειώνει επίσης τους κινδύνους που συνδέονται με την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών, δίνοντας τη δυνατότητα στους παρόχους να δοκιμάζουν εύκολα και να εξελίσσουν υπηρεσίες για να καθορίσουν ποια είναι η καλύτερη δυνατή κάλυψη των αναγκών των πελατών.
- Παρέχουν ευελιξία: γρήγορη κλιμάκωση υπηρεσιών προς τα πάνω ή προς τα κάτω για την αντιμετώπιση των μεταβαλλόμενων αιτημάτων. Επίσης, υποστήριξη της καινοτομίας, επιτρέποντας την παροχή υπηρεσιών μέσω λογισμικού σε οποιοδήποτε βιομηχανικό εξοπλισμό διακομιστή.

### **2.2.3 Συνδυασμός SDN και NFV**

#### **SDN ή NFV ή και τα δύο?**

Η δικτύωση που ορίζεται από το λογισμικό (SDN) και η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV) είναι συμπληρωματικές προσεγγίσεις. Καθένας προσφέρει έναν νέο τρόπο σχεδιασμού ανάπτυξης και διαχείρισης του δικτύου και των υπηρεσιών του:

**SDN:** Διαχωρίζει τα δίκτυα ελέγχου (εγκεφάλου) και προώθησης (μυών) του δικτύου και παρέχει μια κεντρική άποψη του καταμεμημένου δικτύου για αποτελεσματικότερη ενορχήστρωση και αυτοματοποίηση των υπηρεσιών δικτύου.

**NFV:** Εστίαση στη βελτιστοποίηση των ίδιων των υπηρεσιών δικτύου. Το NFV αποσυνδέει τις λειτουργίες δικτύου, όπως το DNS, την προσωρινή αποθήκευση κ.λπ., από ιδιόκτητους εξοπλισμούς υλικού, ώστε να μπορούν να τρέχουν σε λογισμικό για να επιταχύνουν την καινοτομία και την παροχή υπηρεσιών, ιδίως στο περιβάλλον των παρόχων υπηρεσιών.

NV: Διασφαλίζει ότι το δίκτυο μπορεί να ενσωματωθεί και να υποστηρίξει τις απαιτήσεις των εικονικοποιημένων αρχιτεκτονικών, ιδιαίτερα εκείνων με απαιτήσεις πολλαπλών μισθώσεων.

White Box: Χρησιμοποιεί συσκευές δικτύου, όπως διακόπτες και δρομολογητές, που βασίζονται σε "γενικό" chipset δικτύωσης δικτύων πυριτίου που είναι διαθέσιμες για οποιονδήποτε να αγοράσει, σε αντίθεση με ιδιόκτητα τσιπ πυριτίου σχεδιασμένα από και για έναν μόνο πωλητή δικτύωσης.

### **Ομοιότητες SDN και NFV**

Το SDN και το NFV έχουν ως στόχο να προωθήσουν μια προσέγγιση βασισμένη σε λογισμικό για τη δικτύωση για πιο κλιμακωτά, ευέλικτα και καινοτόμα δίκτυα που ευθυγραμμίζουν και υποστηρίζουν καλύτερα τους γενικούς στόχους της επιχείρησης. Δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι μερικά κοινά δόγματα καθοδηγούν την ανάπτυξη του καθενός. Για παράδειγμα, έχουν ως στόχο:

- Την χρήση διακομιστών βασικών προϊόντων και μετάβαση σε ιδιόκτητες συσκευές.
- Την μείωση των διεπαφών του προγράμματος εφαρμογής (APIs).
- Την υποστήριξη αποδοτικότερης ενοποίησης, εικονικοποίησης και αυτοματοποίησης υπηρεσιών δικτύου.

### **SDN και NFV καλύτερα σε συνδυασμό?**

Αυτές οι προσεγγίσεις είναι αμοιβαία επωφελείς αλλά δεν εξαρτώνται από το ένα το άλλο δηλαδή είναι λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν και μόνες τους. Ωστόσο, η πραγματικότητα είναι η SDN καθιστά το NFV πιο συναρπαστικά και αντίστροφα. Το SDN συμβάλλει στην αυτοματοποίηση δικτύων που επιτρέπει αποφάσεις βασισμένες σε πολιτικές να ενορχηστρώνουν ποια κίνηση δικτύου πηγαίνει εκεί όπου η NFV επικεντρώνεται στις υπηρεσίες και η NV εξασφαλίζει ότι οι δυνατότητες του δικτύου ευθυγραμμίζονται με τα εικονικά περιβάλλοντα που υποστηρίζουν. Επιπλέον, η τεχνολογία NFV στοιχίζεται με τους αντικειμενικούς σκοπούς του SDN για χρήση εμπορικών server και switches. Ενώ SDN αποτελεί την

μόνη πραγματική βιώσιμη απάντηση στις απαιτήσεις που θέτει το cloud computing , το virtualization των server καθώς και η αποθήκευση στα datacenters.

Η πρόοδος όλων αυτών των τεχνολογιών είναι το κλειδί για την εξέλιξη του δικτύου ώστε να συμβαδίζει με τις καινοτομίες όλων των ειδικών που ασχολούνται με τετοια ζητήματα. Αυτό παρουσιάζεται μέσω ομάδων όπως το Open Networking Foundation (ONF), το OpenDaylight Project, το ETSI NFV και τα διάφορα έργα ανοιχτού κώδικα στα οποία συνεργάζονται. Πρόσφατα, το OPNFV, επικεφαλής του Linux Foundation άσκησε πίεση για την προώθηση ανοικτών προτύπων. Όλες αυτές οι ομάδες σε συνεργασία καταφέρνουν να βρουν συνεχώς νέους τρόπους για να μοιραστούν ανοικτά πρότυπα και να συνεχίσουν να δίνουν τη δυνατότητα στους άλλους να φέρνουν το άνοιγμα στις επιχειρήσεις τους, γεγονός το οποίο αποτελεί και λόγος ύπαρξης της συνεργασίας αυτής.

Συμπερασματικά, παρά το γεγονός ότι οι αρχιτεκτονικές NFV και SDN έχουν προκύψει από διαφορετικές οπτικές γωνίες τυποποίησης, αποτελούν τεχνολογίες που η μια ολοκληρώνει την άλλη και για το λόγο αυτό αναφέρονται πολλές φορές ως NFV/SDN. Παρά το γεγονός ότι υφίσταται σαφής διαχωρισμός ο συνδυασμός τους δημιουργεί επιπλέον αξία. Παρόλα αυτά, καθώς οι αρχιτεκτονικές NFV και SDN προέρχονται από διαφορετικές τυπικές αναπτύξεις (SDOs - Standard Developing Organizations), δεν έχουν συνδυαστεί και οι δύο αρχιτεκτονικές σε μια ενιαία. [9]

## **2.3 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ: mmWave**

‘Εξαιρετικά υψηλή συχνότητα’ σημαίνει εξαιρετικά γρήγορες ταχύτητες 5G’

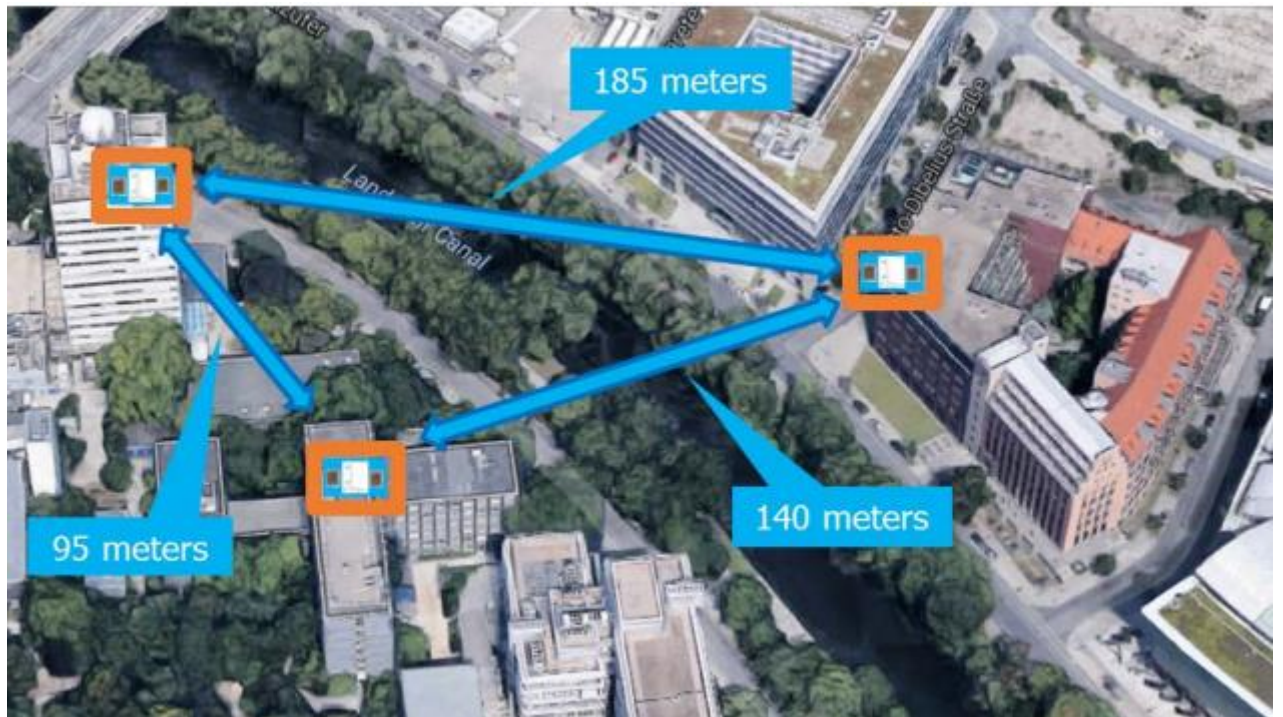
Το φάσμα χιλιοστομετρικών κυμάτων είναι η ζώνη φάσματος μεταξύ 30 GHz και 300 GHz. Υπάρχει σύνδεση μεταξύ των κυμάτων μικροκυμάτων και υπέρυθρων ακτίνων και το φάσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ασύρματες επικοινωνίες υψηλής ταχύτητας όπως φαίνεται με το τελευταίο πρότυπο Wi-Fi 802.11ad (που λειτουργεί στα 60 GHz περίπου). Θεωρείται από τους εξειδικευμένους ερευνητές ως ο τρόπος για να φέρουμε στο μέλλον το 5G διαθέτοντας μεγαλύτερο εύρος ζώνης για

την παροχή πιο γρήγορου και υψηλής ποιότητας βίντεο και περιεχομένου και υπηρεσιών πολυμέσων.

Στις μέρες μας, οι συχνότητες της mmWave ζώνης χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπως η ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας σε εσωτερικούς χώρους. Παραδοσιακά, αυτές οι υψηλότερες συχνότητες δεν ήταν αρκετά ισχυρές για υπαίθριες ευρυζωνικές εφαρμογές εξαιτίας της μεγάλης απώλειας διάδοσης και της ευαισθησίας σε μπλοκάρισμα από τοίχους-εμπόδια καθώς και απορρόφησης από τις σταγόνες βροχής. Αυτά τα προβλήματα καθιστούν το κύμα mm δύσκολο για κινητές ευρυζωνικές συνδέσεις.

Τα χιλιοστομετρικά κύματα έχουν μικρά μήκη κύματος που κυμαίνονται από 10 χιλιοστά έως 1 χιλιοστό. Έχουν υψηλή ατμοσφαιρική εξασθένηση και απορροφώνται από αέρια στην ατμόσφαιρα, πράγμα που μειώνει την εμβέλεια και τη δύναμη των κυμάτων. Η βροχή και η υγρασία μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση και να μειώσουν την ισχύ του σήματος, μια κατάσταση γνωστή ως εξασθένηση της βροχής. Λόγω της μικρής εμβέλειας περίπου ενός χιλιομέτρου, η μικροκυματική ζώνη ταξιδεύει κατά την οπτική επαφή, επομένως τα μήκη κύματος υψηλής συχνότητας μπορούν να μπλοκαριστούν από φυσικά αντικείμενα όπως κτίρια και δέντρα

Μόλις πριν από μερικά χρόνια η ζώνη mmWave δεν χρησιμοποιήθηκε επειδή λίγα ηλεκτρονικά εξαρτήματα μπορούσαν να λάβουν χιλιοστομετρικά κύματα. Τώρα, χάρη στις νέες τεχνολογίες, βρίσκεται στα πρόθυρα να αποτελέσει αναπόσπαστο μέρος του δικτύου επόμενης γενιάς.



Εικόνα 7. Παράδειγμα δοκιμής που εκτείνεται σε τρία κτήρια στην Πανεπιστημιούπολη του Βερολίνου συνδεδεμένα μέσω EdgeLink mmWave μεταφορικών συνδέσεων.

## Λύσεις

Ευτυχώς, τα ίδια χαρακτηριστικά που καθιστούν τόσο δύσκολο να υλοποιηθεί το mmWave μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταπολέμηση των μειονεκτημάτων του. Ειδικότερα, οι σύντομες διαδρομές μετάδοσης και οι υψηλές απώλειες διάδοσης επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίηση του φάσματος περιορίζοντας τη ποσότητα της παρεμβολής μεταξύ των γειτονικών κυττάρων. Επιπλέον, χρειαζόμαστε μεγαλύτερα μονοπάτια, τα εξαιρετικά σύντομα μήκη κύματος των σημάτων κύματος mm καθιστούν εφικτό από τις πολύ μικρές κεραιές να συγκεντρώνουν τα σήματα σε πολύ εστιασμένες δέσμες με αρκετό κέρδος για να ξεπεραστούν οι απώλειες διάδοσης. Τα μικρά μήκη κύματος των σημάτων κύματος mm καθιστούν ακόμη ιδανική την κατασκευή κεραιάς πολλαπλών στοιχείων και δυναμικών σχηματισμών δέσμης, που θα είναι αρκετά μικρές ώστε να ταιριάζουν σε φορητές συσκευές.

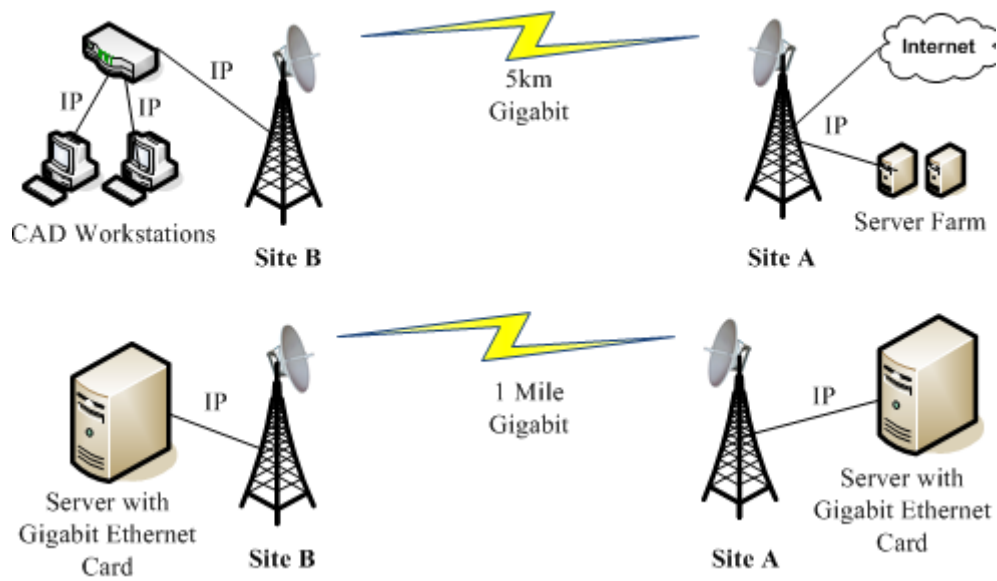
## Πληροφορίες

Τον Οκτώβριο του 2015 , η FCC πρότεινε νέους κανόνες για την ασύρματη ευρυζωνική σύνδεση σε ασύρματες συχνότητες άνω των 24 GHz. Σύμφωνα με τον κυβερνητικό οργανισμό, αυτοί οι προτεινόμενοι κανόνες είναι μια ευκαιρία να προχωρήσουμε στη δημιουργία ενός ρυθμιστικού περιβάλλοντος στο οποίο οι αναδυόμενες κινητές τεχνολογίες νέας γενιάς - όπως η αποκαλούμενη κινητή υπηρεσία 5G - μπορούν ενδεχομένως να αποφέρουν οφέλη στους καταναλωτές, τις επιχειρήσεις και την αμερικανική οικονομία.

Σύμφωνα με την FCC, ο οργανισμός επιχειρεί να <<ξεκλειδώσει>> την κινητή ευρυζωνική και μη αδειοδοτημένη δυνατότητα του φάσματος στα σύνορα άνω των 24 GHz.

Οι φορείς εκμετάλλευσης υπηρεσιών έχουν αρχίσει να εξετάζουν την τεχνολογία mmWave για την αξιολόγηση των καλύτερων υποψηφίων συχνοτήτων για χρήση σε κινητές εφαρμογές. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών και το 3GPP έχουν ευθυγραμμιστεί με ένα σχέδιο για δύο φάσεις έρευνας για πρότυπα 5G. Η πρώτη φάση, που θα ολοκληρωθεί τον Σεπτέμβριο του 2018, καθορίζει μια περίοδο έρευνας για συχνότητες κάτω των 40 GHz για την αντιμετώπιση του πιο επείγοντος υποσυνόλου των εμπορικών αναγκών. Η δεύτερη φάση θα αρχίσει μετά την πρώτη δηλαδή περίπου στο Φθινόπωρο του 2018 και θα ολοκληρωθεί τον Δεκέμβριο του 2019, για να αντιμετωπίσει τους KPIs που περιγράφονται από το IMT 2020. Αυτή η δεύτερη φάση θα εστιάσει σε συχνότητες μέχρι 100 GHz, σύμφωνα με τα National Instruments.[10]





Εικόνα 8. MmWave ασύρματα προϊόντα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Η Ευρώπη βρίσκεται αντιμέτωπη με οικονομικές και κοινωνικές προκλήσεις, όπως η κοινωνική συνοχή, η βιώσιμη ανάπτυξη αλλά και η κρίση των ηθικών αξιών. Η εισαγωγή των ψηφιακών τεχνολογιών και των τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών στην οικονομική και κοινωνική ζωή αποτελεί τη βάση για την αντιμετώπιση όλων αυτών των προκλήσεων. Οι υποδομές δικτύων 5G θα είναι ένα βασικό εργαλείο για την υποστήριξη αυτού του κοινωνικού μετασχηματισμού, που θα βρεθούμε αντιμέτωποι τα επόμενα χρόνια.

Η πλήρης εγκατάσταση της 5G τεχνολογίας αναμένεται να μετατρέψει τον τρόπο λειτουργίας των σύγχρονων δικτύων, τα οποία θα βελτιωθούν στο έπακρον, λόγω των πλεονεκτημάτων αυτής της επαναστατικής τεχνολογίας, που ονομάστηκε 5G. Οι βελτιώσεις θα είναι φανερές σε όλων των ειδών τις περιοχές ειδικότερα όμως στις πυκνοκατοικημένες, οι οποίες έχουν περιορισμένη χωρητικότητα, λόγω των πολλών χρηστών.

Στόχος του 5G είναι να δώσει τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει πρόσβαση στο Web και στις διασυνδεδεμένες συσκευές του από οποιοδήποτε τερματικό. Βέβαια, οι ενσύρματες συνδέσεις θα συνεχίσουν να παίζουν κι αυτές σημαντικό ρόλο στη δικτύωση, απλά είναι λογικό να αρχίζει να περιορίζεται ο ρόλος τους αισθητά τα επόμενα χρόνια. Το βασικότερο όλων όμως είναι η συμβολή της 5G δικτύωσης στο θέμα της ασφάλειας στην ασύρματη επικοινωνία με διάφορους καινοτόμους τρόπους.

Όσον αφορά τις αρχιτεκτονικές της 5G δικτύωσης, οι τρεις πιο βασικές είναι αυτές που αναφέρθηκαν πιο πάνω δηλαδή η fronthaul και η backhaul δικτύωση, ο συνδυασμός SDN και NFV και τέλος η μικροκυματική ζώνη (mmWave). Δεν υπάρχει κάποια που να ξεχωρίζει σε κρισιμότητα, καθώς καθεμία έχει τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα της και σίγουρα και οι τρεις αποτελούν αρχιτεκτονικές με τις οποίες θα ασχολούνται οι ερευνητές για πολλά χρόνια ακόμα.



# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

Βιβλία:

- Α. Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών, Δέκατη Έκδοση, Άρης Αλεξόπουλος-Γιώργος Λαγογιάννης

Δημοσιεύσεις και URLs:

1. <http://www.eekt.gr/LinkClick.aspx?fileticket=U9zLktAN7uE%3D&tabid=36>
2. Μελέτη και αξιολόγηση των προτεινόμενων τεχνολογιών στα δίκτυα 5G, Ζαχαριά Αθανασία
3. What will 5G be?
4. Κινητές Τηλεπικοινωνίες 5G, Αδαμόπουλος Παναγιώτης
5. The Fusion of Fronthaul and Backhaul: What it Means for 5G
6. <https://www.cosmote.gr/hub/>
7. What SDN is and where it's going?
8. <https://northboundnetworks.com/blogs/sdn/how-does-sdn-work>
9. What is NFV – Network Functions Virtualization – Definition?
10. What is mm wave and how does it fit into 5G?

Εικόνες:

1,2,4.

<http://www.eekt.gr/LinkClick.aspx?fileticket=U9zLktAN7uE%3D&tabid=36>

3. <https://www.strategyanalytics.com/strategy-analytics/blogs/advanced-semiconductors/2017/01/27/what-if-they-build-5g-and-no-one-comes#.WxatJkjRDIU>
5. <https://seekingalpha.com/article/2286803-alcatel-lucent-making-all-the-right-decisions>
6. <https://northboundnetworks.com/blogs/sdn/how-does-sdn-work>
7. <http://5g-crosshaul.eu/wp-content/uploads/2016/10/Keynote-Alain-Mourad-COST-IRACON-DURHAM-OCT-2016-r1.pdf>
8. <https://www.pulsesupply.com/products-menu/hardware/wireless/mm-wave>