



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Το επερχόμενο τεχνικό πρότυπο 5G.  
Ιστορική αναδρομή και πορεία προς την 5η γενιά τηλεφωνίας.**

**Αϊφωτίτης Κωνσταντίνος  
Θεοδοσίου Σταυρούλα**

Επιβλέπων : Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ 2021

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πτυχιακή αυτή εργασία θα αναπτύξουμε τη λειτουργία του νέου πρωτοκόλλου 5G Network. Πρόκειται να αναλύσουμε την πορεία και την εξέλιξη απ' το 4G προς το 5G, καθώς επίσης και την επίτευξη αυτής με μια σύντομη περιγραφή της μετάβασης απο την 1η γενιά ασύρματων δικτύων μέχρι και σήμερα. Σκοπός της εργασίας είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής του δικτύου 5G ανάλογα με την ανθρώπινη ανάγκη και εξέλιξη της τεχνολογίας με την πάροδο των χρόνων. Έπειτα θα αναφερθούμε για το πώς μια συσκευή με κριτήρια τα χαρακτηριστικά της θα μπορεί να αναπτύξει ένα διαφορετικό πρότυπο δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Για παράδειγμα το LTE το οποίο υποστηρίζεται απο συγκεκριμένες συσκευές κι ο λόγος δημιουργίας του ήταν να φτάσουμε ένα βήμα πιο κοντά στο απόλυτο 4G. Θα αναλύσουμε τα προβλήματα που δημιουργούνται απο τις παρεμβολές και τους αλγόριθμους διαχείρισης αυτών για το 5G network. Φυσικά δε θα μπορούσαμε να μην αναφερθούμε στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχει το 5G. Τέλος θα μιλήσουμε για την εμβέλεια και τη ταχύτητα με την οποία μεταδίδεται το σήμα, καθώς και τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

## **ABSTRACT**

In this diploma thesis we will develop the operation of the new 5G Network protocol. We are going to analyze the course and evolution from 4G to 5G, as well as its achievements with a brief description of the transition from the 1<sup>st</sup> generation of wireless networks up to today. The purpose of this diploma thesis is to design, develop the 5G network architecture according to human needs and the evolution of technology over the years. Then we will talk about how a device with criteria its features will be able to develop different model of mobile networks. For example LTE is supported by specific devices and the reason it was created was to get one step closer to the absolute 4G. We will analyze also the problems caused by their interference and management algorithms for the 5G network. Of course we could not fail to mention the advantages and disadvantages of 5G. Finally, we will talk about the range and speed at which the signal of it. It's transmitted, as well as the levels of electromagnetic radiation and its affections in the environment and human.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον Αναπληρωτή Καθηγητή Δρ. Μιχάλη Παρασκευά για την δυνατότητα και την εμπιστοσύνη που μας έδωσε να εκπονήσουμε την πτυχιακή μας εργασία.

Το μεγαλύτερο «ευχαριστώ» το εκφράζουμε στα αγαπημένα μας πρόσωπα, στους γονείς μας και φίλους που αποδέχθηκαν και πίστεψαν στις επιλογές μας και μας παρείχαν στήριξη όλο αυτό το διάστημα, η οποία μας ώθησε να πραγματοποιήσουμε τους στόχους μας. Χωρίς αυτούς δε θα είχαμε καταφέρει μέχρι σήμερα να πραγματοποιήσουμε τα όνειρα μας.

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε ακόμα, όλους του καθηγητές του Τμήματος ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

## Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή: Ανάπτυξη ασύρματης επικοινωνίας και οι ανάγκες που οδήγησαν στη δημιουργία κυψελωτών συστημάτων. ....	1
2	Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Περιγραφή και ανάλυση προς την ανάπτυξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας από τη 1 <sup>η</sup> γενιά μέχρι και τη 5 <sup>η</sup> . ....	3
	<b>2.1 1G NETWORK GENERATION</b> .....	3
	<b>2.2 2G NETWORK GENERATION</b> .....	3
	<b>2.3 3G NETWORK GENERATION</b> .....	5
	<b>2.4 4G NETWORK GENERATION</b> .....	5
	<b>2.5 5G NETWORK GENERATION</b> .....	6
3	. Κεφάλαιο 3ο : Αρχιτεκτονική 5G Network & Πλεονεκτήματα/ Μειονέκτημα του. ....	9
	<b>3.1 Η αρχιτεκτονική του δικτύου πέμπτης γενιάς:</b> .....	9
	<b>3.2 Πλεονεκτήματα Δικτύου 5G:</b> .....	11
	3.2.1 Η δυνατότητα αύξησης του εύρους ζώνης για όλους τους χρήστες. ....	12
	3.2.2 Μεγαλύτερη χωρητικότητα από το υπάρχον δίκτυο 4G .....	12
	3.2.3 Πολλαπλή πρόσβαση σε ταυτόχρονες συνδέσεις με υψηλό ρυθμό. ....	12
	<b>3.3 Μειονεκτήματα και κίνδυνοι της τεχνολογίας 5G :</b> .....	14
4	. Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : Ανάλυση κυριάρχων τεχνολογιών. ....	16
	<b>4.1 : Massive MIMO:</b> .....	16
	4.1.1 Ορισμός : .....	16
	4.1.2 Πλεονεκτήματα Massive MIMO : .....	16
	4.1.3 Προκλήσεις Massive MIMO .....	17
	<b>4.2 Λοιπές τεχνολογίες που μελετήθηκαν και δε χρησιμοποιήθηκαν</b> .....	20
	4.2.1 mmWave .....	20
	4.2.2 Network Function Virtualization – NFV.....	21
	4.2.3 Software Defined Networking – SDN .....	23
	4.2.4 Σχέση και διάφορα NVF και SDN :.....	26
5.	Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> : Πρωτόκολλα ασφάλειας δικτύων 5 <sup>ης</sup> γενιάς. ....	27
	<b>5.1 5G-PPP project</b> .....	27
	5.1.1 EURO-5G.....	27
	5.1.2 5G Novel Αρχιτεκτονική προσαρμοστικού δικτύου Radio Multiservice (5G-NORMA) 28	
	5.1.3 5G – XHAUL (Δυναμικά επαναδιαμορφώσιμο οπτικό-ασύρματο Backhaul / Fronhaul με Plane ελέγχου για μικρά κελιά και Cloud-RANs).....	28
	5.1.4 CogNet .....	29
	5.1.5 Coherent (Συντονισμένος έλεγχος και διαχείριση φάσματος για ετερογενή δίκτυα ασύρματης πρόσβασης 5G) .....	30

5. 1. 6	Flex5Gware (Ευέλικτες και αποτελεσματικές πλατφόρμες υλικού / λογισμικού για στοιχεία και συσκευές δικτύου 5G) .....	30
5. 1. 7	Selfnet (Ένα πλαίσιο για αυτό-οργανωμένη διαχείριση δικτύου σε δίκτυα εικονικοποιημένα και καθορισμένα από λογισμικό).....	31
5. 1. 8	Speed - 5G(ποιότητα Παροχής Υπηρεσιών και Επέκταση χωρητικότητας μέσω Extended - DSA για 5G). .....	31
5. 1. 9	Exchange (5GEX).....	34
5. 1. 10	-Fantastic – 5G.....	35
5. 1. 11	-Charisma(Συγκεντρωμένο ετερογενές σύνθετο 5G σύννεφο(cloud) με αρχιτεκτονική RAR για έξυπνη και ασφαλή πρόσβαση στα media. ) .....	35
5. 1. 12	Superfluidity .....	36
5. 1. 13	-Sonata(Προγραμματισμός υπηρεσιών και ενορχήστρωση για λογισμικό εικονικής διαμόρφωσης).....	37
5. 1. 14	-Virtuwind(Εικονικό και προγραμματιζόμενο πρωτότυπο βιομηχανικού δικτύου που αναπτύσσεται σε λειτουργικό αιολικό πάρκο).....	38
5. 1. 15	-Sesame(Μικρός συντονισμός κελιών Cells για πολλαπλές υπηρεσίες μίσθωσης και edge) 39	
5. 1. 16	-mmMagic( Κύμα βασισμένο στο κινητό δίκτυο πρόσβασης για την 5 <sup>η</sup> γενιά ολοκληρωμένων επικοινωνιών παραγωγής).....	40
5. 1. 17	METIS II .....	41
5. 1. 18	Ensure.....	41
5. 1. 19	Crosshaul.....	42
<b>5. 2</b>	<b>5G-PPP project (2η Φάση) .....</b>	<b>43</b>
5. 2. 1	ESSENCE.....	44
5. 2. 2	MEDIA.....	44
5. 2. 3	CAR(Έρευνα και καινοτομία στην αυτοκινητοβιομηχανία της Πέμπτης Γενιάς).....	45
5. 2. 4	CITY(Μια κατανομημένη πλατφόρμα Cloud & Radio για ουδέτερους κεντρικούς υπολογιστές 5G).....	46
5. 2. 5	MoNArch(Αρχιτεκτονική δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G για διάφορες υπηρεσίες, περιπτώσεις χρήσης, και εφαρμογές σε 5G και μετά).....	46
5. 2. 6	PHOS (5G ολοκληρωμένα δίκτυα Fiber-Wireless που εκμεταλλεύονται υπάρχουσες τεχνολογίες φωτονίων για υψηλής πυκνότητας προγραμματιζόμενες αρχιτεκτονικές δικτύου SDN) 47	
5. 2. 7	PICTURE .....	47
5. 2. 8	TANGO (Πλατφόρμα ανάπτυξης και επικύρωσης για την παγκόσμια βιομηχανία. )...48	
5. 2. 9	Transformer .....	48
5. 2. 10	Xcast .....	49
5. 2. 11	Bluespace (Αξιοποιώντας της χρήση των υποδομών και προβολής δικτύων χωρικών πολλαπλών Συστημάτων 5G στις προηγμένες τεχνολογίες και δυνατότητες δικτύωσης) .....	50

5. 2. 12	IoRL .....	50
5. 2. 13	MATILDA(Ένα ολιστικό, καινοτόμο πλαίσιο για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την ενορχήστρωση του 5G-ready εφαρμογές και υπηρεσίες δικτύου μέσω προγραμματιζόμενης υποδομής) .....	51
5. 2. 14	METRO-HAUL .....	53
5. 2. 15	NG-PAAS(Πλατφόρμα επόμενης γενιάς ως υπηρεσία).....	53
5. 2. 16	NRG .....	54
5. 2. 17	ONE .....	54
5. 2. 18	SAT.....	55
5. 2. 19	SLICENET .....	55
5. 2. 20	Global5g. org .....	56
5. 2. 21	TO-EURO-5G .....	57
<b>5. 3</b>	<b>5G-PPP project (3η Φάση) .....</b>	<b>57</b>
5. 3. 1	EVE.....	57
5. 3. 2	Το 5G-VINNI .....	58
5. 3. 3	GENESIS .....	58
<b>6</b>	<b>. Κεφάλαιο 6° : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗΣ.....</b>	<b>60</b>
<b>6. 1</b>	<b>Συμπεράσματα :.....</b>	<b>60</b>
<b>6. 2</b>	<b>Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.....</b>	<b>61</b>

## **1 Εισαγωγή: Ανάπτυξη ασύρματης επικοινωνίας και οι ανάγκες που οδήγησαν στη δημιουργία κυψελωτών συστημάτων.**

Στη ζωή μας οι ασύρματες επικοινωνίες μπήκαν με την ανακάλυψη του Ιταλού φυσικού Γουλιέλμο Μαρκόνι. Ο ίδιος κατάφερε να επικοινωνήσει με ραδιοκύματα με την ανακάλυψη του, τον γνωστό τηλεγράφο χρησιμοποιώντας κώδικα Morse. Αναφέρεται πως η ανάγκη χρήσης ασύρματης επικοινωνίας απο την αρχαιότητα. Οδηγούσε τον πολιτισμό κάθε κοινωνίας στη ανακάλυψη διάφορων τρόπων όπως για παράδειγμα τα σήματα καπνού, ανάκλαση φωτός με κάτοπτρα, χρήση περιστεριών για αποστολή μηνυμάτων κ. α. Όλα αυτά θεωρούνται η αρχή ασύρματης επικοινωνίας.

Όσο υπάρχει εξέλιξη τεχνολογίας όλο ένα και αυξάνεται η ανάγκη για επικοινωνία. Έτσι φτάσαμε στην απαίτηση χρηστών για ανάπτυξη και της ασύρματης τεχνολογίας, οι οποίοι είχαν την ανάγκη όχι μόνο της επικοινωνίας αλλά και μεταφοράς δεδομένων. Έτσι η ανάγκη για χρήση φορητών συσκευών έφερε μια συνεχή εξέλιξη ασυρμάτων τεχνολογιών που μας οδήγησε στη δημιουργία και ανάπτυξη της 5<sup>ης</sup> γενιάς ασυρμάτων δικτύων.

Η χρήση κινητών συσκευών έχει γίνει αναγκαίο αγαθό για τον άνθρωπο, μας προσφέρει τεράστιες δυνατότητες. Μια απο αυτές είναι η φορητότητα πληροφορίας που πολλές φορές αντικαθιστά τη χρήση Η/Υ, έτσι μας δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο απο πολλούς σταθμούς και διαφορετικές θέσεις κάθε φορά όπως για παράδειγμα στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Η ραγδαία αυτή εξέλιξη στη μαζική και απεριόριστη χρήση ασυρμάτων δικτύων φέρει όμως μειονεκτήματα που πρέπει σταδιακά να βρεθούν όσο το δυνατό καλύτερες λύσεις για την υγεία του ανθρώπου έτσι ώστε να μειωθούν οι παρεμβολές εκπομπής απο κεραίες κυψελωτών και μη ασυρμάτων δικτύων.

Απαραίτητο για τη λειτουργία ασυρμάτων κινητών επικοινωνιών είναι η χρήση κυψελοειδές ή κυψελωτού συστήματος. Σ' ένα κυψελωτό σύστημα γίνεται διαχωρισμός μιας γεωγραφικής περιοχής σε μικρότερα τμήματα που ονομάζονται κυψέλες (cells). Για σωστή λειτουργία μιας κυψέλης είναι απαραίτητο να έχει τα δικά της κανάλια (μπάντες συχνοτήτων) και σταθμό βάσης, που αποτελείται απο κεραία, πομπό και δέκτη. Ο σταθμός βάσης εξυπηρετεί τους χρήστες που βρίσκονται εντός μιας κυψέλης και η ομάδα απο γειτονικές κυψέλες ονομάζεται συστάδα. Για αποφυγή προβλημάτων απο παρεμβολές λόγω αύξησης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης και δυνατότητας ταυτόχρονης χρήσης δικτύου απο πολλούς συνδρομητές χρησιμοποιείται η μέθοδος επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Στις ασύρματες επικοινωνίες



έχει γίνει καθιέρωση χρήσης κυψελωτών δικτύων λόγω των θετικών χαρακτηριστικών τους. Χάρη στη δομή που διαθέτουν αυξάνουν τη χωρητικότητα συνδρομών, εκμεταλλεύονται ολόκληρο το φάσμα συχνοτήτων που διαθέτουν και δίνουν τη δυνατότητα κάλυψης μεγάλων γεωγραφικών περιοχών. Αυτό μας προσφέρει ποιοτική επικοινωνία σε απόσταση μεγάλων περιοχών και απαλλαγή από παρεμβολές.

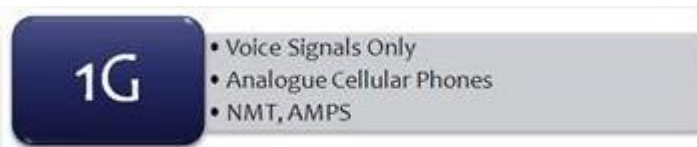
Στη παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναφερθούμε στο κεφάλαιο 2 στην ιστορική αναδρομή εν συντομία των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και στα κύρια χαρακτηριστικά τους όπως και στις τεχνολογίες κάθε γενιάς από τη 1G μέχρι τη 5G.

Στο κεφάλαιο 3 θα αναπτύξουμε την αρχιτεκτονική της 5G γενιάς όπως επίσης τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα της. Στο κεφάλαιο 4 θα αναφερθούμε στις κυρίαρχες τεχνολογίες που μελετήθηκαν για την ανάπτυξη 5G δικτύου. Στο κεφάλαιο 5 θα αναπτύξουμε τα πρωτοκόλλα ασφάλειας δικτύου πέμπτης γενιάς και στο κεφάλαιο 6 θα αναπτύξουμε τα συμπεράσματα μας.

## 2 Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Περιγραφή και ανάλυση προς την ανάπτυξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας από τη 1<sup>η</sup> γενιά μέχρι και τη 5<sup>η</sup>.

### 2.1 1G NETWORK GENERATION

1η γενιά :Τα δίκτυα κυψέλης : Η γενιά αυτή έφερε στον άνθρωπο τη δυνατότητα συνεχής επικοινωνίας κατά τη συνδιάλεξη, όπου κατά την μετακίνηση απο περιοχή σε περιοχή δεν γινόταν διακοπή σύνδεσης. Αυτή η ανάπτυξη της τεχνολογίας ξεκίνησε απο την Ιαπωνία το 1979. Μετέπειτα ακολούθησαν οι Σκανδιναβικές χώρες με το δικό τους δίκτυο 1G το NMT (Nordic Mobile Telephone ) το 1981. Κάθε χώρα δημιούργησε και έθεσε σε εφαρμογή τα δικά της πρότυπα και εκεί χρειάστηκε για να μην έχουμε χρήση κινητής επικοινωνίας σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές να ενοποιηθούν τα πρότυπα όλων των χωρών. Για παράδειγμα στην Βόρεια Αμερική και την Αυστραλία δημιουργήθηκε το πρότυπο (AMPS) Advanced Mobile Phone System και στο Ηνωμένο Βασίλειο το (TACS) Total Access Communication System. Η μέγιστη ταχύτητα με την οποία λειτουργούσε είναι 2, 4kbps. Το σήμα που χρησιμοποιήθηκε στη γενιά 1G σε αντίθεση με τις επόμενες γενιές είναι αναλογικό κυψελωτό δίκτυο για μετάδοση φωνής. Χρησιμοποιούσε όπως και η επόμενη γενιά 2G ψηφιακή σηματοδότηση για να συνδέσουν τους πύργους κεραιών κινητής τηλεφωνίας. Τα συστήματα πρώτης γενιάς δεν ήταν σε θέση να προσφέρουν διαλειτουργικότητα μεταξύ των χωρών κι αυτό είναι ένα απο τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα τους, όμως υποστήριζαν περιαγωγή (roaming) και μεταπομπή (handover). Λειτουργήσαν με δύο κανάλια μετάδοσης. Το forward channel όπου έχει εύρος συχνοτήτων 869-894MHz και το reverse channel με εύρος συχνοτήτων 824-849MHz.



### 2.2 2G NETWORK GENERATION

2η γενιά : Ψηφιακά δίκτυα GSM ( Global System for Mobile Communication ) : Δημιουργήθηκε στη Φιλανδία το 1990 και ξεκίνησε η λειτουργία το 1991. Είχε σκοπό την αντικατάσταση του αναλογικού κυψελωτού δικτύου σε ψηφιακό κυψελωτό δίκτυο. Καθορίστηκαν ενιαία πρότυπα σε όλες τις χώρες. Μπορούσαμε πλέον να κάνουμε διεθνής κλήσεις και ο κόσμος μπορούσε να έχει στη κατοχή του συσκευή κινητής τηλεφωνίας, γιατί η

ψηφιακή λειτουργία σε σχέση με την αναλογική εξυπηρετούσε μεγαλύτερο πλήθος συνδρομητών.

Με το 2G Network για πρώτη φορά είχαμε και τη δυνατότητα χρήσης των SMS ( Short Message Service ) αποστολή σύντομου μηνύματος και των MMS ( υπηρεσία μηνυμάτων πολυμέσων ) η οποία έδωσε τη δυνατότητα αποστολής σύντομου μηνύματος συμπεριλαμβανομένων πολυμέσων, όπως μερικά δευτερόλεπτα βίντεο, μια εικόνα ή ακόμη και ήχο. Τα πρότυπα με τα οποία λειτουργούσε είναι TDMA (Time division multiple access ), CDMA (Code division multiple access ) κ. α.

Θεωρητικά για τη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων σε μέγιστη απόδοση ήταν στα 64 kbit/s.



Αργότερα προς την εξέλιξη στο 3G δημιουργήθηκε το 2, 5G το οποίο επέτρεπε τη δρομολόγηση μεμονωμένων πακέτων δεδομένων από τον πομπό προς τον δέκτη, επιτρέποντας στο ίδιο κύκλωμα να χρησιμοποιείται από διαφορετικούς χρήστες κι έτσι τα κυκλώματα είχαν καλύτερη χρήση. Χρησιμοποιεί GPRS (General Packet Radio Service). Είναι μια κυψελοειδής ασύρματη τεχνολογία για τα GSM δίκτυα. Το GPRS στα δίκτυα GSM προσθέτουν πρωτόκολλα μεταγωγής πακέτων. Αυτή η τεχνική εξυπηρετεί στην αποστολή πληροφορίας διαιρεμένη σε πακέτα, τα οποία αποτελούνται από ελάχιστα Kbytes μεταφέροντας τα από το δίκτυο στον προορισμό γίνεται κατανομή των δεδομένων από των οποίων αποτελούνται. Έτσι ο πόρος απασχολείται μόνο κατά τη διάρκεια χειρισμού του κάθε πακέτου. Παρέχει ταχύτητες δεδομένων από 56 kbit/s έως 115 kbit/s και βοήθησε αρκετά έτσι ώστε να προχωρήσουμε στην εξέλιξη της 3ης γενιάς.



Το 2003 έγινε και η ανάπτυξη του 2, 75G (EDGE ) Enhanced Data για το GSM Evolution. Αύξησε και αναβάθμισε τη χωρητικότητα δικτύων γιατί επιτρέπει τη σαφή και γρήγορη μετάδοση δεδομένων και πληροφοριών μέχρι ταχύτητας 384kbit/s. Τα ψηφιακά κυψελωτά κανάλια 2ης γενιάς εξακολουθούν να κυριαρχούν και να χρησιμοποιούνται στις μέρες μας.

### 2.3 3G NETWORK GENERATION

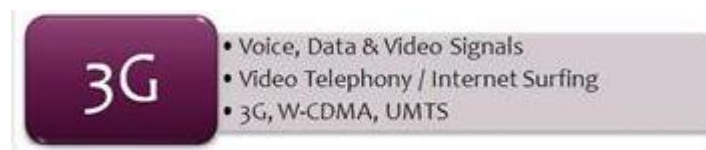
3<sup>η</sup> γενιά : Αυτή η γενιά εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 2001 στην Ιαπωνία καθώς η γενιά 2G δε μπορούσε πλέον να ανταποκριθεί στις ανάγκες του πληθυσμού. Όσο περισσότερο έμπαινε στη ζωή του ανθρώπου το ίντερνετ τόσο μεγαλύτερες ταχύτητες επιζητούσε για καλύτερη χρήση. Έδωσε πρόσβαση στην ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, την πρόσβαση στο κινητό ίντερνετ, τις βιντεοκλήσεις και την κινητή τηλεόραση. Ο κύριος λόγος εφαρμογής αυτής της γενιάς ήταν η ανάπτυξη τεχνολογίας στις συσκευές κινητής τηλεφωνίας. Στα μέσα του 2000 μπήκαν στη ζωή μας τα smartphones όπου οδήγησαν στη μεγάλη ζήτηση για κινητή πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Τρέχει με ταχύτητα περίπου στα 2, 000 Kbit/s και μερικές από τις εφαρμογές που δημιουργήθηκαν μετά την ανάπτυξη του είναι:

- Σύστημα πλοήγησης GPS
- Βιντεοδιασκέψεις
- Τηλεϊατρική

Τα κύρια πρότυπα της 3<sup>ης</sup> γενιάς είναι δυο :

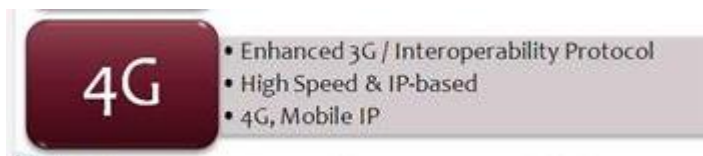
- Το σύστημα UMTS (Universal Terrestrial Mobile System). Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 2001 κυρίως σε χώρες Ευρώπης που επικρατούσε το GSM 2G.
- Το IMT2000 είναι το όνομα ITU-T για το σύστημα τρίτης γενιάς, ενώ το cdma2000 είναι
  - το όνομα της παραλλαγής 3G της Αμερικής.



### 2.4 4G NETWORK GENERATION

4<sup>η</sup> γενιά : LTE(Long term Evolution) και LTE-advanced. Τον Μάρτιο του 2008 ο διεθνής τηλεπικοινωνιακός σύνδεσμος (ITU-R) καθόρισε ένα σύνολο απαιτήσεων για πρότυπα 4G, με την ονομασία International Advanced Mobile Telecommunications Advanced (IMT) που καθορίζει απαιτήσεις αιχμής για υπηρεσίες 4G στα 100 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbit/s) για επικοινωνία υψηλής κινητικότητας (πχ. τρένα και αυτοκίνητα) και 1 gigabit ανά δευτερόλεπτο (Gbit/s) για επικοινωνία χαμηλής κινητικότητας (πεζοί). Το πρότυπο LTE έχει

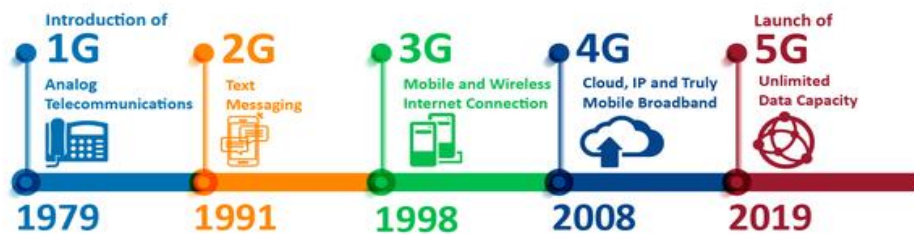
αναπτυχθεί εμπορικά στο Όσλο και τη Στοκχόλμη το 2009. Το 4G είναι η τέταρτη γενιά ευρυζωνικών κυψελοειδών δικτύων. Παρέχει δυνατότητες που ορίζονται από την ITU στο IMT Advanced. Οι τρέχουσες εφαρμογές περιλαμβάνουν την τροποποιημένη πρόσβαση στον κινητό ιστό, τα IP, τις υπηρεσίες κινητών παιχνιδιών, την κινητή τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας, την τηλεδιάσκεψη και την τρισδιάστατη τηλεόραση. Το LTE-A ( Long term Evolution Advanced) είναι ταχύτερο και σταθερότερο από το απλό LTE. Αντί να συνδέεται στο κανάλι με δυνατότερο σήμα, συνδυάζει πολλαπλά κανάλια ταυτόχρονα για να δώσει μεγαλύτερες ταχύτητες. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ της 3<sup>ης</sup> γενιάς με τη 4<sup>η</sup> είναι η κατάργηση τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων, γίνεται χρήση all -ip δικτύων κι έτσι αποδίδει σε υψηλότερες ταχύτητες. Η 4<sup>η</sup> γενιά χειρίζεται τηλεφωνικές κλήσεις και δεδομένα ήχου με μεταγωγή πακέτων μέσω Διαδικτύου.



## 2.5 5G NETWORK GENERATION

5<sup>η</sup> γενιά: Το 5G (Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα πέμπτης γενιάς) μπορεί να είναι μια πλήρης ασύρματη επικοινωνία χωρίς περιορισμό, που μας φέρνουν το τέλειο ασύρματο πραγματικό διαδίκτυο - World Wide Wireless Web (WWWW). Το 5G δηλώνει την επόμενη φάση των προτύπων κινητής τηλεφωνίας πέραν των προτύπων 4G / IMT-Advanced. Στο παρόν, το 5G δεν είναι όρος που χρησιμοποιείται επίσημα για οποιαδήποτε συγκεκριμένη προδιαγραφή ή σε οποιοδήποτε επίσημο έγγραφο που έχει ακόμη δημοσιοποιηθεί από εταιρείες τηλεπικοινωνιών ή φορείς τυποποίησης όπως 3GPP, WiMax Forum ή ITU-R. Κάθε νέα έκδοση θα ενισχύσει περαιτέρω την απόδοση του συστήματος και θα προσθέσει νέες δυνατότητες με νέους τομείς εφαρμογών. Μερικές από τις πρόσθετες εφαρμογές που επωφελούνται από τη συνδεσιμότητα μέσω κινητού τηλεφώνου, είναι ο αυτοματισμός στο σπίτι, οι έξυπνες μεταφορές, η ασφάλεια και τα ηλεκτρονικά βιβλία. Το IEEE 802. 16 είναι μια σειρά από ασύρματα ευρυζωνικά πρότυπα που έχουν εγκριθεί από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE). Έχει κυκλοφορήσει στο εμπόριο με την επωνυμία "WiMAX" από το "Παγκόσμια διαλειτουργικότητα για πρόσβαση μικροκυμάτων" από τη συμμαχία βιομηχανίας του Forum WiMAX. IEEE 802. 16. Προδιαγράφει την διεπαφή αέρα και τις σχετικές λειτουργίες που σχετίζονται με τον

ασύρματο τοπικό βρόχο. Το 5G στη κινητή τεχνολογία έχει αλλάξει τα μέσα για τη χρήση των κινητών τηλεφώνων σε πολύ υψηλό εύρος ζώνης. Ο χρήστης δεν έχει βιώσει ποτέ πριν από το 5G κάποια τέτοια τεχνολογία υψηλής αξίας. Οι τεχνολογίες 5G περιλαμβάνουν όλους τους τύπους προηγμένων λειτουργιών που κάνουν τη 5G κινητή τεχνολογία πιο ισχυρή και σε τεράστια ζήτηση στο άμεσο μέλλον. Οι χρήστες μπορούν επίσης να συνδέσουν τα κινητά τηλέφωνα τεχνολογίας 5G με το φορητό υπολογιστή τους για να έχουν ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο (broadband internet access). Η τεχνολογία 5G στα κινητά τηλέφωνα αποτελείται από κάμερα, εγγραφή MP3, βίντεο player, μεγάλη μνήμη τηλεφώνου, ταχύτητα κλήσης, συσκευή αναπαραγωγής ήχου και πολλά άλλα που κανείς δεν μπορεί ποτέ να φανταστεί. Στη πέμπτη γενιά η Αρχιτεκτονική Δικτύων εμπεριέχεται από ένα τερματικό χρήστη το οποίο έχει καθοριστικό ρόλο και μια σειρά από ανεξάρτητες, αυτόνομες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (RAT). Το 5G κινητό σύστημα είναι all-IP με βάση το μοντέλο για τη διαλειτουργικότητα ασύρματων και κινητών δικτύων. Σε κάθε τερματικό σταθμό, κάθε ραδιόφωνο οι τεχνολογίες πρόσβασης θεωρούνται ως το IP link με τον έξω κόσμο του Διαδικτύου. Η ταχύτητα λειτουργίας αυτής της γενιάς είναι μεγαλύτερη από 1Gbps.



Πίνακας χρονολογικής σύγκρισης κάθε γενιάς και η μέγιστη απόδοση τους σε ταχύτητα

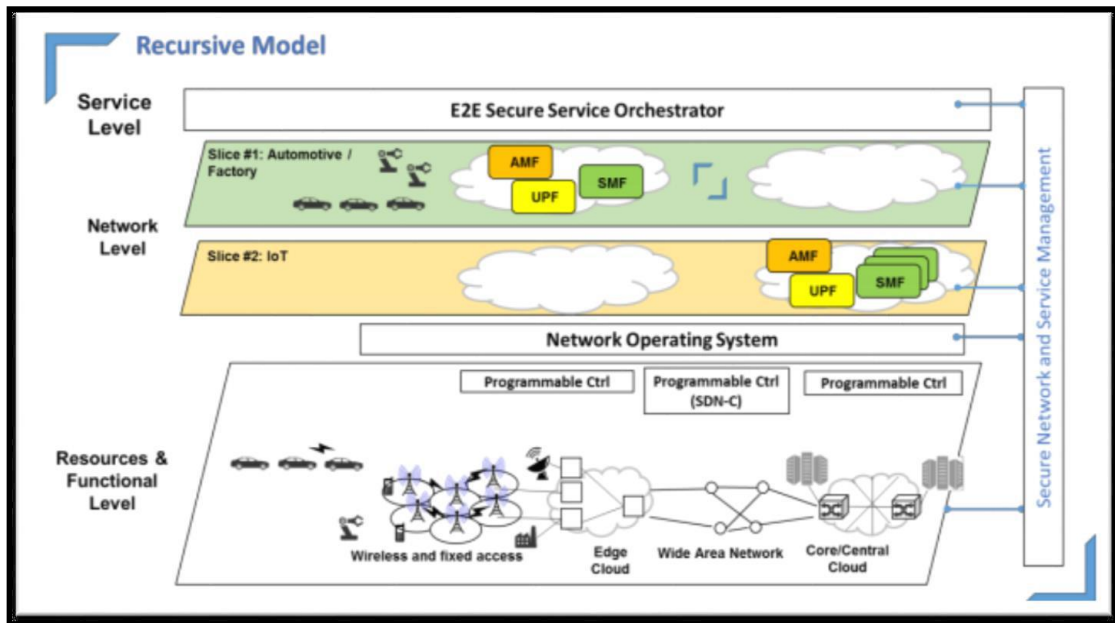
**Table 1: COMPARISON OF ALL GENERATIONS OF MOBILE TECHNOLOGIES**

Technology ⇒	1G	2G	3G	4G	5G
Feature ↓					
<b>Start/Deployment</b>	1970 – 1980	1990 – 2004	2004-2010	Now	Soon (probably 2020)
<b>Data Bandwidth</b>	2kbps	64kbps	2Mbps	1 Gbps	Higher than 1Gbps
<b>Technology</b>	Analog Cellular Technology	Digital Cellular Technology	CDMA 2000 (1xRTT, EVDO) UMTS, EDGE	Wi-Max LTE Wi-Fi	WWW(coming soon)
<b>Service</b>	Mobile Telephony (Voice )	Digital voice, SMS, Higher capacity packetized data	Integrated high quality audio, video and data	Dynamic Information access, Wearable devices	Dynamic Information access, Wearable devices with AI Capabilities
<b>Multiplexing</b>	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
<b>Switching</b>	Circuit	Circuit, Packet	Packet	All Packet	All Packet
<b>Core Network</b>	PSTN	PSTN	Packet N/W	Internet	Internet

### 3 Κεφάλαιο 3ο : Αρχιτεκτονική 5G Network & Πλεονεκτήματα/ Μειονέκτημα του

#### 3.1 Η αρχιτεκτονική του δικτύου πέμπτης γενιάς

Το δίκτυο πέμπτης γενιάς ξεκίνησε να αναπτύσσεται το 2016 από τη 3GPP και χωρίζεται σε τρία επίπεδα όπως απεικονίζεται και στη παρακάτω εικόνα.



#### i. Επίπεδο Πόρων και Λειτουργιών (Resource & Functional Level)

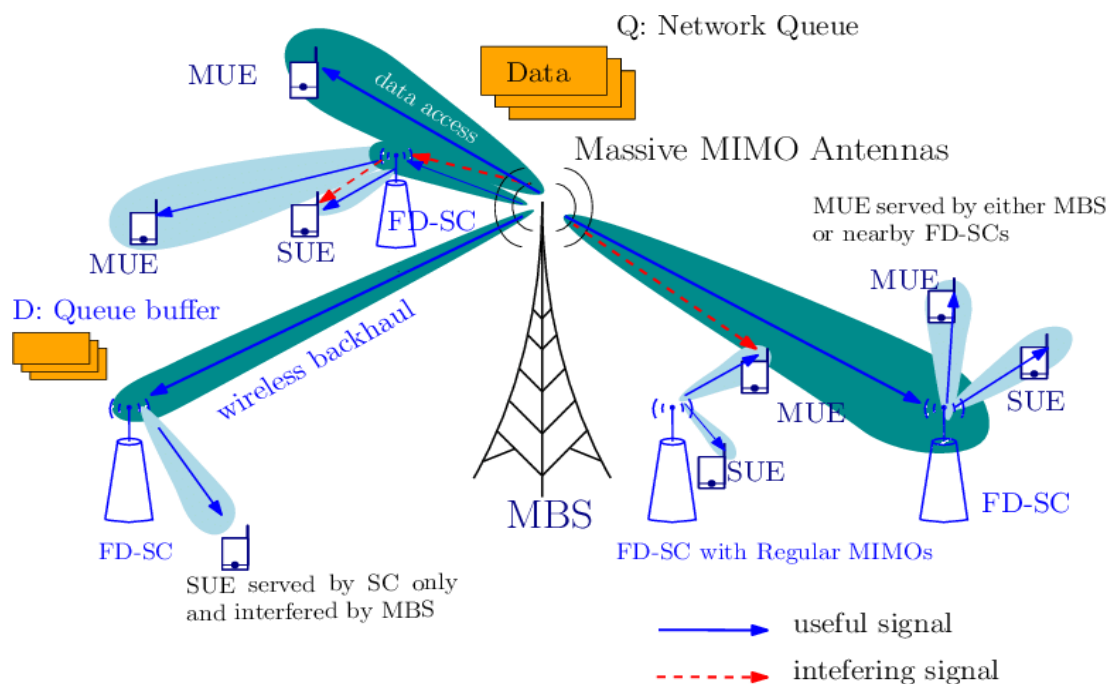
Το πρώτο επίπεδο περιέχει φυσικούς πόρους που χρησιμεύουν για την επικοινωνία, την ανάπτυξη υλικού και λογισμικού, του αποθηκευτικού χώρου των Core Network κτλ.

Αναλυτικότερα έχουμε :

- Wireless and fixedAccess – FWA :Αυτή η τεχνολογία παρέχει πρόσβαση στο Internet, χρησιμοποιεί ασύρματο όπως και σταθερό δίκτυο. Ενώ η τεχνολογία FWA είναι πιο απλή και γρήγορη μειονεκτεί σε απόδοση στο ασύρματο δίκτυο. Αυτό όμως αντιμετωπίζεται με τη χρήση τεχνολογίας beamforming και των mmWaves.
- Edge Cloud :Μ' αυτή τη τεχνολογία ένα μεγάλο μέρος των εργασιών επεξεργασίας μετατοπίζεται στη πλευρά πελάτη. Το όποιο δημιουργεί πολλές ευκαιρίες σε επιχειρήσεις ειδικότερα στη παροχή υπηρεσιών χαμηλής καθυστέρησης απόκρισης καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης εφαρμογών.



- Wide Area Network (WAN) : Αποτελείται από το σύνολο υπολογιστών όπου δημιουργούν μεταξύ τους ένα δίκτυο επικοινωνίας. Τυπικά ένα WAN διασύνδεει τοπικά δίκτυα υπολογιστών, για τη διασύνδεση αυτή χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα μισθωμένες δημοσιές τηλεπικοινωνιακές γραμμές ή και δορυφορικές επικοινωνίες.
  - Core Cloud : Είναι η διαθεσιμότητα πόρων συστήματος υπολογιστών, ιδιαίτερα η αποθήκευση δεδομένων και η υπολογιστική ισχύς, χωρίς όμως αμεση ενεργή διαχείριση από τον χρήστη.
- ii. Λειτουργικό σύστημα δικτύου και επίπεδο δικτύου (Network Operating System & Network level)
- Το Λειτουργικό σύστημα δικτύου μαζί με τις Προγραμματιζόμενες Μονάδες Ελέγχου Δικτύου (Programmable Network Control Units) συμβάλουν στην κωνιοποίηση του Φυσικού Δικτύου (virtualization of physical network). Με την εικονικοποίηση του Δικτύου δημιουργούνται τα διάφορα network slices που το καθένα εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία και εξυπηρετεί κάποιο σκοπό. Το network level φιλοξενεί όλα αυτά τα slices που το καθένα χρησιμοποιεί διαφορετικούς πόρους (υπολογιστικούς, δικτυακούς κτλ. ) για να παρέχει υπηρεσίες στους πελάτες.
- iii. Service Level
- Είναι ένα από τα πιο σημαντικά επίπεδα στην αρχιτεκτονική του 5G. Μια από τις πιο σημαντικές δυνατότητες που μας παρέχει είναι η υποστήριξη μεγάλου ποσοστού υπηρεσιών ταυτόχρονα με δυναμικό τρόπο και είναι αυτό το στοιχείο που διαφοροποιεί το δίκτυο 5ης γενιάς από τα προηγούμενα ασύρματα δίκτυα. Τα slices στο επίπεδο αυτό είναι οργανωμένα και ακολουθούν έναν προκαθορισμένο μοτίβο συντονισμού μέσω της λειτουργίας διαχείρισης υπηρεσιών (service management function).



Όπως απεικονίζεται και στη παραπάνω εικόνα η αρχιτεκτονική του 5G περιλαμβάνει μακρό ή μικροκύτταρα, αυτή η αρχιτεκτονική μελετήθηκε και αναπτύχθηκε λόγω χαμηλού κόστους. Επιτρέπει τη κάλυψη και την αύξηση της παραγωγικότητας όπως επίσης την παροχή ομοιόμορφης συνδεσιμότητας του τελικού χρήστη. Οι κεραιές κατανομημένες με μεγάλες συστοιχίες αναλαμβάνουν το ρόλο των σημείων πρόσβασης μικρών κελιών υποστηρίζοντας πολλαπλά πρωτοκόλλα (RAN) για ένα ευρύ φάσμα. Στο εξωτερικό περιβάλλον οι χρηστές συνεργάζονται για τη δημιουργία εικονικών μεγάλων συστοιχιών κεραιάς. Όλα αυτά μαζί καθόρισαν τη κατασκευή εικονικών massive MIMO συνδέσεων στα μικρά κελιά. Τα σημεία πρόσβασης μικρών κελιών βασίζονται σε αξιόπιστη συνδεσιμότητα blackhaul πάνω από τις οπτικές ίνες και τα κτίρια σε περιοχή 5G macrocell είναι εξοπλισμένα με μεγάλες συστοιχίες κεραιών εκτός κτιρίου. Κάθε κτίριο επικοινωνεί με το BS της κυψέλης με χρήση μακροεντολών είτε απευθείας είτε με κατανομημένη μεγάλη κεραιά συστοιχιών των BS. Οι εξωτερικές εγκατεστημένες μεγάλες συστοιχίες κεραιάς συνδέονται μέσω καλωδίου με τα ασύρματα σημεία πρόσβασης με το κτίριο που επικοινωνούν οι εσωτερικοί χρηστές.

### 3.2 Πλεονεκτήματα Δικτύου 5G

Όπως έχει προαναφερθεί στην παρούσα πτυχιακή εργασία, η τεχνολογία 5G υποστηρίζει υπηρεσίες με δυνατότητες συνδεσιμότητας σε όλο το κόσμο, οι οποίες εξυπηρετούν πολλαπλές ανθρώπινες ανάγκες σε προσωπικό και επαγγελματικό επίπεδο. Θα αναφερθούμε σε αξιόλογους λόγους όπου η χρήση αυτού του δικτύου είναι σημαντική.

Δυνατότητα παρακολούθησης σε οποιοδήποτε μέρος στον κόσμο.

Μ' αυτό τον τρόπο μειώνεται σε σημαντικό βαθμό η εγκληματικότητα. Συμβάλλει στην αναζήτηση ή ακόμη και στον εντοπισμό ενός αγνοούμενου οπουδήποτε κι αν αυτός βρίσκεται.

### **3.2.1 Η δυνατότητα αύξησης του εύρους ζώνης για όλους τους χρήστες.**

Έχουμε την ευχέρεια λόγω αύξησης ποσότητας δεδομένων που είναι διαθέσιμη σ' όλους εμάς τους χρήστες να κατεβάσουμε αρχεία, να προβάλλουμε ιστοσελίδες και να παρακολουθήσουμε βίντεο και ότι άλλο επιθυμούμε. Οι έξυπνες συσκευές σ' ένα δίκτυο 5<sup>ης</sup> γενιάς δίνουν δυνατότητες χρήσης με ταχύτητες που είναι χιλιάδες φορές πιο γρήγορες σε σχέση με το 4G. Εργασίες που μέχρι τώρα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν μόνο σε επιτραπέζιους ή φορητούς υπολογιστές πλέον μπορούν να πραγματοποιηθούν και σε έξυπνες συσκευές (αμεση devices).

### **3.2.2 Μεγαλύτερη χωρητικότητα από το υπάρχον δίκτυο 4G**

Η αύξηση ποσοστού δεδομένων που αναμένεται να είναι πέρα του 1GB ανά δευτερόλεπτο, όπου θα προσφέρει υψηλότερη ευζωνική πυκνότητα στους χρήστες. Επίσης υπάρχει χαμηλότερη κατανάλωση μπαταρίας και λανθάνουσας κατάστασης, έτσι αυξάνεται και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας στις έξυπνες συσκευές και μειώνει τη χρήση ενέργειας δικτύου.

### **3.2.3 Πολλαπλή πρόσβαση σε ταυτόχρονες συνδέσεις με υψηλό ρυθμό.**

Η αύξηση φασματικής απόδοσης στο δίκτυο 5G προσφέρει καλύτερη χρήση με αυξανόμενη ταχύτητα σε smartphone. Έχει τη μεγαλύτερη αλλαγή λόγω εικονικής πραγματικότητας στον τομέα smart devices από την έναρξη τους.

Χρήση της τεχνολογίας δικτύου 5G στον τομέα της υγείας:

- Τηλεϊατρική
- Παρακολούθηση ασθενών από απόσταση
- Αυξημένη και εικονική πραγματικότητα
- Ανάλυση δεδομένων
- Αποκέντρωση μοντέλου υγειονομικής περίθαλψης

- Μεγάλες μεταφορές αρχείων
- **Τηλεϊατρική** : Οι γιατροί θα έχουν τη δυνατότητα με την υποστήριξη δικτύου 5G να προβούν σε τηλεδιάσκεψη με ασθενή απομακρυσμένα, επεκτείνοντας έτσι την εμβέλεια του ιατρικού οργανισμού πέραν των εγκαταστάσεων του νοσοκομείου. Επίσης μας παρέχει δυνατότητες με τη κάλυψη βίντεο υψηλής ποιότητας σε πραγματικό χρόνο και χωρίς επιβάρυνση δικτύου να δεχόμαστε ιατρικές συμβουλές.
- **Παρακολούθηση ασθενών από απόσταση** : Όπως και στην τηλεϊατρική θα έχουμε τη δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης ασθενών συμπεριλαμβανομένου χορήγησης και ρύθμισης της φαρμακευτικής αγωγής με ανάλυση δεδομένων υγείας ασθενή σχεδόν σε πραγματικό χρόνο. Σήμερα η απομακρυσμένη παρακολούθηση περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό λόγω μη ικανότητας δικτύου για τη διαχείριση δεδομένων. Θα επιτρέπονται αξιόπιστες συνδέσεις με την υποστήριξη δικτύου 5G που θα διευκολύνουν μεταφορά δεδομένων ώστε οι εργαζόμενοι ιατρικού οργανισμού να λαμβάνουν άμεσα αποφάσεις υγειονομικής περίθαλψης στους ασθενείς τους. Αυτό θα εξυπηρετεί κυρίως άτομα με χρόνιες παθήσεις.
- **Αυξημένη και εικονική πραγματικότητα** : Η τεχνολογία 5G θα προσφέρει τη χρήση επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και της εικονικής πραγματικότητας (VR) για να φροντίζουν τους ασθενείς και να εκπαιδεύουν τους κλινικούς ιατρούς. Ο στόχος μελέτης είναι η μείωση πόνου και άγχους σε ασθενείς αποσπώντας την προσοχή μέσω περιεχομένου με υποστήριξη δικτύου 5G. Προσφέρει μέσω AR/VR και με την υποστήριξη 5G τις δυνατότητες απεικόνισης διαδικασιών και εκπαίδευσης, ακόμη και σε πρακτικό επίπεδο νοσοκόμων, ιατρών, ασκούμενων ιατρών και προσωπικού νοσοκομείων.
- **Ανάλυση δεδομένων** : Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων παίζει σημαντικό ρόλο για τη καλύτερη δυνατή ανταλλαγή πληροφορίας με ασφάλεια και βελτιωμένη ανάλυση. Τα δεδομένα υγειονομικής περίθαλψης θα αξιοποιούνται με χαμηλότερο κόστος και θα έχουμε βελτίωση αποτελεσματικότητας, με τη χρήση έξυπνων συσκευών και των εφαρμογών τους. Ένα μέρος έξυπνων συσκευών είναι τα κινητά, οι συσκευές, οι αισθητήρες, οι μηχανές και τα συστήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη τροφοδοσία δεδομένων υψηλής ανάλυσης που χρειάζεται απαραίτητα για την ενεργοποίηση καινοτόμων απομακρυσμένων διαγνώσεων, απομακρυσμένων χειρουργικών επεμβάσεων και έξυπνης νοσηλείας.

- **Αποκέντρωση του μοντέλου υγειονομικής περίθαλψης :** Θα επιταχυνθεί η τάση βιομηχανίας για φροντίδα ασθενή έξω από το νοσοκομείο ορίζοντας με αυτό το τρόπο τα κέντρα φροντίδας, τις κλινικές, τα κέντρα χειρουργικής και το σπίτι υγειονομικής περίθαλψης. Η διάδοση δικτύου 5G έχει καταστεί απαραίτητη για τη πρόοδο ιατρικής, την τεχνολογία, το αυξανόμενο κόστος υγειονομικής περίθαλψης και ο καταναλωτισμός. Αυτό θα επιτρέψει τη συνεργασία εργαζομένων ιατρικού οργανισμού απομακρυσμένα πιο αποτελεσματικά και με δυνατότητες ζωντανής ροής βίντεο με χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση καθώς επίσης ρομποτικές χειρουργικές επεμβάσεις.
- **Μεγάλες μεταφορές αρχείων :** Σ'ένα δίκτυο της υπάρχουσας τεχνολογίας υπάρχει χαμηλό εύρος ζώνης, με αποτέλεσμα το μεγάλο χρόνο αποστολής δεδομένων/αρχείων. Αυτό φέρει μειονεκτήματα όπως: Παύση λειτουργίας δικτύου, αναμονή ασθενή για λύσεις θεραπείας και οι πάροχοι υγείας μπορούν να δουν ταυτόχρονα λίγους ασθενείς. Το δίκτυο 5G έχει την ικανότητα σε αντίθεση με τις υπάρχον τεχνολογίες δικτύων να επιτρέπει ταχύτερες μεταφορές ιατρικών εικόνων, δεδομένων και αποτελεσμάτων θεραπείας με εξαιρετικά απόδοση.

### **3.3 Μειονεκτήματα και κίνδυνοι της τεχνολογίας 5G**

Η τεχνολογία δικτύου 5G εκτός από τα πλεονεκτήματα της καλείται να αντιμετωπίσει τα μειονεκτήματα και τους κινδύνους. Ένα από τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι η ασφάλεια και η έλλειψη της τεχνολογικής προόδου στις περισσότερες γεωγραφικές περιοχές, παράλληλα θα πρέπει να αντιμετωπίσουμε την μη υποστήριξη του από παλιές έξυπνες συσκευές και το εύρος κόστους ανθρώπων για την αντικατάστασή τους. Αυτό έχει την απαίτηση μεγάλης δαπάνης χρημάτων. Σε διάφορες χώρες γίνεται ήδη μελέτη αντιμετώπισης λόγω μη αύξησης υψηλών ταχυτήτων οι οποίες θα παρεμβάλουν τα ραδιοκύματα. Χρειάζεται επενδύσεις υπέρρογκου κόστους για τις υποδομές και της ανάπτυξης του, το δίκτυο 5G έχει θέματα ασφαλείας και προστασίας ιδιωτικής ζωής. Αυτό απαιτεί εξειδικευμένους μηχανικούς για εγκατάσταση και διατήρηση υποδομών. Η κάλυψη είναι σε εσωτερικούς χώρους 2 μέτρα και σε υπαίθριους 300 μέτρα. Με τις πρώτες δοκιμές το δίκτυο 5G προαπαιτεί συχνότητες για μετάδοση δεδομένων περίπου στα 6GHz. Δυστυχώς οι περιοχές αυτών των ραδιοσυχνοτήτων είναι ήδη κατειλημμένες από άλλα σήματα που σημαίνει ότι με τους πύργους δικτύου 3G καλύπτουν τεράστιες εκτάσεις με δέσμευση ελάχιστων κελιών στις κυψέλες επειδή δεν απαιτεί μεγάλο εύρος ζώνης. Έπειτα μπήκε στη ζωή μας το 4G. Δίκτυο το οποίο ναι μεν

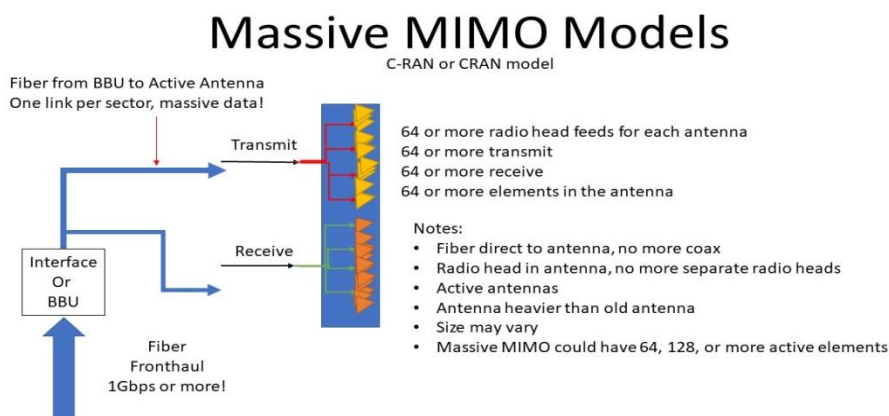
παράγει μεγαλύτερο εύρος ζώνης αλλά παρατηρήθηκε η μείωση κάλυψης. Όσο εξελίσσεται η τεχνολογία και για τη πιο σωστή χρήση χρειάζεται η κατασκευή περισσότερων πύργων για κάλυψη αυτού του μεγάλου εύρους ζώνης και θα πρέπει να αναπτυχθούν περισσότερα κελιά.

## 4 Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Ανάλυση κυριάρχων τεχνολογιών.

### 4.1 Massive MIMO

#### 4.1.1 Ορισμός

Τα massive MIMO συστήματα κάνουν χρήση πολλαπλών στοιχείων κεραίας τόσο στον πομπό όσο και στον έκτατα περισσότερα σημερινά συστήματα MIMO χρησιμοποιούν δύο με τέσσερις κεραίες κι ο στόχος των massive MIMO συστημάτων είναι η εκμετάλλευση των δυναμικών κερδών σε χωρητικότητα όπου προκύπτουν χρησιμοποιώντας μεγαλύτερες συστοιχίες κεραιών. Στο single-user MIMO (SU-MIMO), το πλήθος κεραιών που συμπεριλαμβάνει σε μια φορητή συσκευή χρηστή είναι περιορισμένος. Εν τούτης οι σταθμοί βάσεις επιβάλλεται να έχουν επικοινωνία με πολλούς χρήστες ταυτόχρονα, και για να επιτευχθεί η δυνατότητα να ανταπεξέλθουν αποτελεσματικά την multiuser έκδοσης του MIMO (MU-MIMO). Από την έναρξη ανάπτυξης του LTE, η MIMO τεχνολογία στοιχειοθετεί βασικό συστατικό του έχοντας δύο έως τέσσερις κεραίες που περιλαμβάνονται σε κάθε κινητή συσκευή και οκτώ σε κάθε σταθμό βάσης. Για την επίτευξη των συστημάτων πέμπτης γενιάς δικτύων στην επιτυχή ανταπόκριση απαιτήσεων χρηστών τους, έπρεπε η MIMO τεχνολογία να πάει ένα βήμα παραπέρα. Ήταν απαραίτητη η διερεύνηση εκδοχής πλαισίου στο να εξοπλίζεται κάθε BS(βάση) με μια σειρά από κεραίες, όπου είναι περισσότερες από τον αριθμό των ενεργών χρηστών, τοποθετώντας τον αριθμό των κεραιών ανά σταθμό βάσης σε εκατοντάδες. Αυτό ώθησε στη κατάληξη χρήσης συστημάτων κεραιών ευρείας κλίμακας πιο γνωστά πλέον ως massive MIMO.



#### 4.1.2 Πλεονεκτήματα Massive MIMO

Με τη προσθήκη πολλαπλών κεραιών εξυπηρετούνται μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων, στα πλαίσια του χρόνου/φάσματος και στα ασύρματα κανάλια, διότι επιφέρουν ένα

μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας. Χρήζει όμως σημαντικής βελτίωσης ώστε να επιτύχουμε την αξιοπιστία, φασματική απόδοση, και την ενεργειακή απόδοση των δικτύων.

Χρησιμοποιώντας την massive MIMO τεχνολογία μετείχαμε τεράστιες βελτιώσεις στη φασματική και ενεργειακή απόδοση, χωρίς να είναι αναγκαία η αυξημένη πύκνωση των σταθμών βάσης. Φυσικά ο συνδυασμός των δυο αυτών τεχνολογιών έδωσε μεγάλη ευλυγισία στα δίκτυα πέμπτης γενιάς ως προς το εξέλιξη της φασματικής αποδοτικότητας. Με χρήση της massive MIMO τεχνολογίας επιτυγχάνεται η εξαφάνιση επιπτώσεων θορύβου και της γρήγορης εξασθένησης του σήματος, ενώ οι παρεμβολές στα πλαίσια μιας κυψέλης μπορούν να μετριαστούν χρησιμοποιώντας μεθόδους απλής γραμμικής αποκωδικοποίησης και ανίχνευσης. Με τη σωστή χρήση του multiuser MIMO (MU-MIMO) σε massive MIMO συστήματα, το επίπεδο του μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) μπορεί να απλοποιηθεί με την αποφυγή πολύπλοκων αλγορίθμων προγραμματισμού, επίσης ο σταθμός βάσης έχει δυνατότητες αποστολής σε μεμονωμένους χρηστές ξεχωριστών σημάτων οι όποιοι χρησιμοποιούν τον ίδιο χρόνο τις ίδιες συχνότητες.

Από την άλλη γίνεται ομαλοποίηση αποκρίσεων του καναλιού λόγω της τεράστιας χωρικής ποικιλομορφίας. Συγκεκριμένα όλη η μικρής κλίμακας τυχαιότητα καταπίπτει, καθώς μεγαλώνει ο αριθμός παρατηρητών του καναλιού. Τα συστήματα εκπομπής και λήψης των δεδομένων λόγω φύσεως καναλιών μεταξύ σταθμών βάσης και χρήσης ίδιας πηγής σηματοδότησης από ένα πλήθος χρηστών είναι όλο ένα και λιγότερο πολύπλοκα. Για ένα δεδομένο αριθμό ενεργών χρηστών, όσο ο αριθμός των κεραιών μεγαλώνει τόσο η ορθογωνιότητα του σήματος αυξάνεται και τόσο πιο βέλτιστα λειτουργούν οι απλοί γραμμικοί πομποδέκτες και οι διαμορφωτές του σήματος ανά χρήστη.

#### **4.1.3 Προκλήσεις Massive MIMO**

Για να επιτευχθεί σήμερα η χρήση της Massive MIMO τεχνολογίας για τη λειτουργία 5G δικτύου χρειάστηκε να αντιμετωπιστούν πολλές προκλήσεις. Ένα βασικό ζήτημα είναι το λεγόμενο "pilot contamination". Σε χρηστές της ίδιας κυψέλης οι πιλοτικές μεταδώσεις μπορούν να γίνονται με χρήση ορθογωνίας σηματοδότησης και κατόπιν να επαναχρησιμοποιούνται από χρήστες άλλων κυψελών, έτσι εξασφαλίζεται χωρίς να αναλώνονται όλοι οι πόροι σαΐτες να έχουμε καθαρότερα κανάλια. Ανάμεσα στις πιλοτικές μεταδώσεις σε διαφορετικές κυψέλες δημιουργεί αναπόφευκτες παρεμβολές και φέρει ως αποτέλεσμα υποβάθμιση ποιότητας καναλιού, δεν είναι εφικτό όμως να αποφευχθεί με την



αύξηση ποσοστού κεραιών σε ένα σταθμό βάσης. Για τη μείωση του ή και ακόμη την ολοκληρωτική εξάλειψη του εξεταστήκαν διάφοροι μέθοδοι μια από αυτές είναι η μείωση της έντασης συντονισμού μεταξύ των σταθμών βάσης. Ακόμη η προσεκτική σχεδίαση των πιλοτικών δομών ούτως ώστε να αποφευχθεί η ογκώδης αύξηση στο μέγεθος της πιλοτικής κεφαλίδας είναι πολύ σημαντική. Οι ιδέες που εξετάζονται για αποδοτικότερη λειτουργικότητα κάθε μιας κεραιές ώστε να επιτυγχάνει εκπομπή σήματος στον απαραίτητο ρυθμό κι όχι γρηγορότερα περιλαμβάνουν την αξιοποίηση των χωρικών συσχετίσεων διαμοιράζοντας τα πιλοτικά σύμβολα ανάμεσα στις κεραιές, όπως επίσης κάνει διαχώριση πιλότων σε κατηγορίες.

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τη χρήση του massive MIMO έχει να κάνει με αρχιτεκτονική του στην οποία απαιτούνται ριζικά διαφορετικές δομές σταθμών βάσης, όπου θα έχουμε μια μυριάδα αποτελούμενη από μικροσκοπικές κεραιές τροφοδοτούμενες από ενισχυτές χαμηλής ισχύος, αντί των λίγων και υψηλής ισχύος σε τροφοδοσία ενισχυτών για τις κεραιές. Κάθε κεραία χρειάζεται να έχει το δικό της ενισχυτή. Μερικά από τα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η επεκτασιμότητα, οι συσχετίσεις κεραιών και το κόστος, και ταυτόχρονα πρέπει να υπάρξουν καινοτόμες μορφές τοπολογιών.

Οι υφιστάμενοι σταθμοί βάσης διαθέτουν ως επί το πλείστον οριζόντιες γραμμικές συστοιχίες, στις οποίες μπορούν να φιλοξενηθεί ένας περιορισμένος αριθμός κεραιών, αυτό συμβαίνει λόγω μορφολογικών παραγόντων, από τους οποίους γίνεται εκμετάλλευση μόνο στη διάσταση της αζιμουθιακής γωνίας. Υιοθετώντας λοιπόν επίπεδα συστοιχιών 2D υπάρχει δυνατότητα χρήσης στην αξιοποίηση της γωνίας ανύψωσης και έτσι να φιλοξενηθούν πολλές περισσότερες κεραιές με την ίδια μορφή, η λεγόμενη πλήρης διάστασης MIMO (FD-MIMO). Επιπλέον ένα ακόμη όφελος, η χρήση προσαρμοσμένων κάθετων κυματομορφών αυξάνει την ισχύ του σήματος και μειώνει την παρεμβολές ανάμεσα σε χρήστες γειτονικών κυψελών.

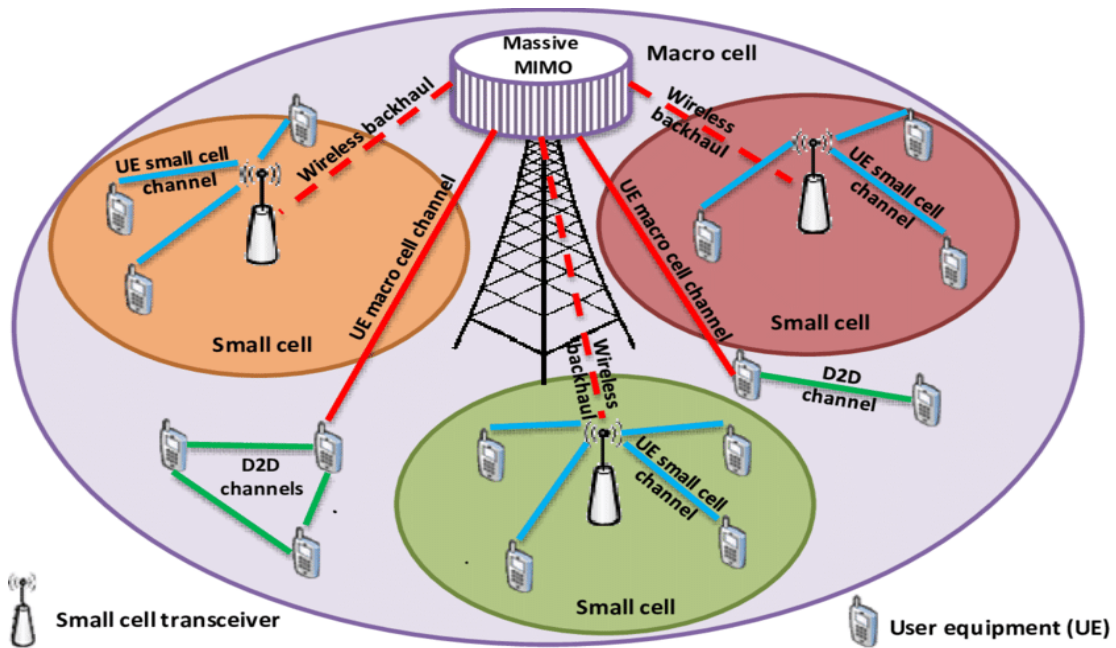
Εκτός από τα αρχιτεκτονικά ζητήματα τρέχουν παράλληλα και εκείνα που σχετίζονται με τα μοντέλα του καναλιού, τα οποία απαιτούν εκτεταμένες μετρήσεις πεδίου. Απαιτείται μια σωστή μοντελοποίηση δράσης καθορισμού συσχετίσεων κεραιών και σύζευξης για μαζικές συστοιχίες με παρόμοιες τοπολογίες. Για το FD-MIMO μέσω μοντελοποίησης πρέπει να ενσωματωθεί και η ανύψωση. Μετά από μελέτη μέσω 3D μοντελοποίησης καναλιού εντός της 3GPP έριξε φως σε αυτά τα μείζονα θέματα.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα οι σταθμοί βάσης που χρησιμοποιούν massive MIMO τεχνολογία οφείλουν να συνυπάρχουν με τις μικρές κυψέλες του δικτύου. Η απλούστερη λύση που δόθηκε είναι η διαχώριση των εκπομπών στην συχνότητα, ο μεγάλος αριθμός των

κεραιών στα massive MIMO BSs με σχετική απλότητα και μικρό κόστος ποιής μας προσφέρουν την ευκαιρία του χωρικού μηδενισμού και αποφυγής παρεμβολών. Αφού λοιπόν οι ανάγκες κάνουν τα δίκτυα να γίνονται πυκνά και η κίνηση σ'αυτά όλο μεγαλύτερη, όπου αυτό δημιουργεί μείωση αριθμού των ενεργών χρηστών ανά κυψέλη και έτσι η ανάγκη για μαζική MIMO μπορεί να ελαχιστοποιηθεί. Πτυχές όπως το κόστος και το backhaul καθόρισαν τελικά την ισορροπία μεταξύ αυτών των συμπληρωματικών ιδεών.

Η επικοινωνία με mmWave απαιτεί την χρήση πολλών κεραιών που μπορούν να στρίβουν και να ορίζουν την κατεύθυνση του κύματος. Σ'αυτές τις συχνότητες υποχρεωτικά οι κεραιές είναι μικρότερες και ως εκ τούτου πολύ μεγάλος αριθμός αυτών μπορεί θεωρητικά να χωρέσει σε φορητές συσκευές. Χρειάζεται ανάμεσα στις εφαρμογές massive MIMO και στις συχνότητες των mmWave να βρεθεί η σωστή ισορροπία μεταξύ του για μείωση στάθμης ισχύος/παρεμβολής και παραλληλισμού.

Το πεδίο που χρειάζεται περαιτέρω προσοχή είναι εκείνο της χωρικής διαμόρφωσης. Η νεότερη τεχνική της MIMO προτείνεται για τους εξής λόγους :α) εφαρμόζει χαμηλή πολυπλοκότητα στα συστήματα και β) δε δημιουργεί υποβάθμιση δικτύου τους. Γίνεται δηλαδή μέρος κωδικοποίησης των δεδομένων, αντί της ταυτόχρονης μετάδοσης από πολλαπλές ροές δεδομένων από τις διαθέσιμες κεραιές, για μετάδοση χωρικής θέσης κάθε κεραιάς της συστοιχίας κεραιών. Η συστοιχία των κεραιών διαδραματίζει το ρόλο ενός δεύτερου διαγράμματος αστερισμών, το λεγόμενο χωρικό διάγραμμα αστερισμών το οποίο έχει ταυτόχρονη ύπαρξη με το κλασσικό διάγραμμα αστερισμού σήματος και έχει τη δυνατότητα χρήσης για την αύξηση του ρυθμού δεδομένων (χωρική πολυπλεξία) σε σχέση με ασύρματα συστήματα μονής κεραιάς. Ενώ όλες οι κεραιές παραμένουν σε αδράνεια μονό μια κεραιά εκπομπής είναι ενεργή ανά πάσα στιγμή. Η τεχνική χωρικής διαμόρφωσης συνδυάζει space shift keying (SSK) με διαμόρφωση πλάτους/φάσης. Το οφείλες με την χρήση αυτής της τεχνικής είναι ο μετριασμός τριών βασικών προβλημάτων των MIMO : α) τις διακαναλικές παρεμβολές, β) τον συγχρονισμό μεταξύ των κεραιών και τις πολλαπλές RF αλυσίδες. Έχουν τη δυνατότητα σχεδιασμού για δέκτες χαμηλής πολυπλοκότητας για οποιοδήποτε αριθμό κεραιών εκπομπής και λήψης, ακόμη και για μη ισορροπημένα συστήματα MIMO. Χρειάζεται να επισημάνουμε ότι αυτό το κέρδος πολυπλεξίας στη χωρική διαμόρφωση αυξάνεται λογαριθμικά με την αύξηση του αριθμού των κεραιών μετάδοσης, ενώ αυξάνεται γραμμικά σε συμβατικά συστήματα MIMO. Η χαμηλή πολυπλοκότητα μας ωθεί στη θυσία κάποιου βαθμού ελευθερίας. Η χωρική διαμόρφωση multi-user είναι ένα από τα πεδία που χρειάστηκε αρκετή έρευνα πριν ενσωματωθεί στα καινούργια συστήματα επικοινωνιών.



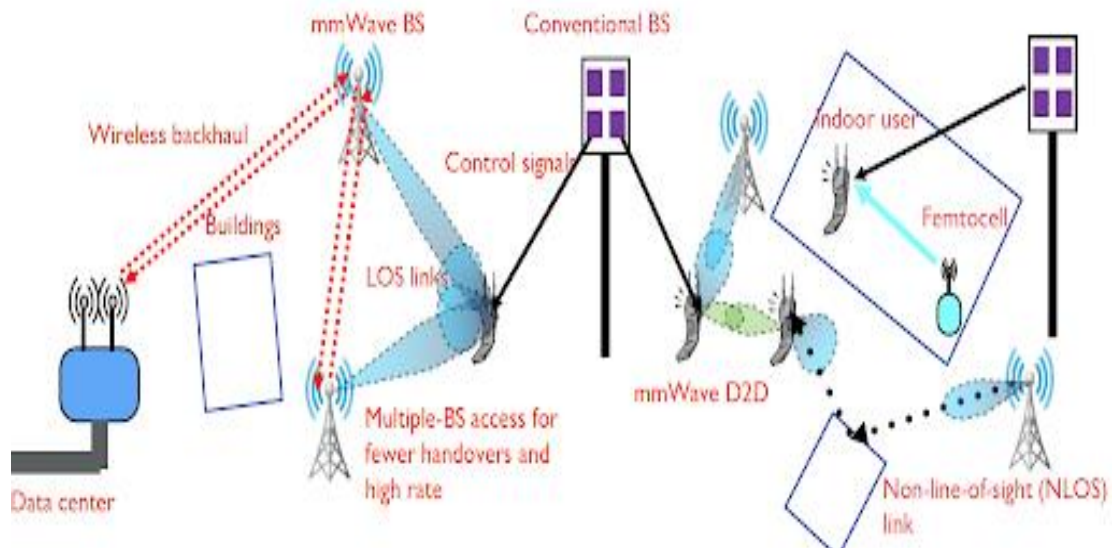
## 4.2 Λοιπές τεχνολογίες που μελετήθηκαν και δε χρησιμοποιήθηκαν

### 4.2.1 mmWave

Τα επίγεια συστήματα ασύρματης επικοινωνίας στο λεπτό εύρος μικροκυματικών συχνοτήτων το οποίο εκτίνεται από αρκετές εκατοντάδες MHz σε ελάχιστα GHz έχουν σε μεγάλο βαθμό περιορίσει τη λειτουργία τους και αντιστοιχεί σε μήκη κύματος μερικών εκατοστών μέχρι περίπου ένα μέτρο. Μέχρι τώρα όμως αυτή η φασματική ζώνη, που συχνά αποκαλείται και "beachfront spectrum», έχει γίνει σχεδόν πλήρως απασχολημένη, ιδίως σε ώρες αιχμής. Γίνεται δηλαδή ολοένα πιο έντονη η αντίφαση ανάγκης για μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου όπου δημιουργείται πιο έντονη έλλειψη φάσματος λόγω όγκου αύξησης κίνησης από την κινητή μετάδοση δεδομένων. Αυτή η έλλειψη καταλήγει να είναι ένα βασικό πρόβλημα για τα δίκτυα της πέμπτης γενιάς (5G) διότι υπάρχει απαίτηση όλο ένα και μεγαλύτερου εύρου ζώνης. Με χρήση όμως καινούργιων ρυθμιστικών διαδικασιών μας δίνεται η δυνατότητα για καλύτερη αξιοποίηση του beachfront εύρους ζώνης, προσθέτοντας νέες ζώνες φάσματος στο ήδη υπάρχον εύρος ζώνης θεωρείται ο αποδοτικότερος τρόπος.

Ο συνδυασμός των τεχνολογιών Massive MIMO και της ζώνη συχνοτήτων από 30 GHz έως 300 GHz, γνωστή και ως millimeter wave (mmWave) έγινε σημαντικό μέρος της πέμπτης γενιάς δικτύων διότι μας αποφέρει υπηρεσίες επικοινωνίας multi-gigabit, για τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV) και για υπέρ-υψηλής ευκρίνειας βίντεο (UHDV). Στη ζώνη λειτουργίας του Wi-Fi με πρότυπο WiGiG στα 60 GHz ) υλοποιείται η βασική εστίαση καθώς

και στη ζώνη 28 GHz, τη ζώνη 38 GHz και το E-band (71-76 GHz και 81-86 GHz). Μας ανοίγει δρόμο για τα ηλεκτρονικά προϊόντα στη ζώνη των mmWave λόγο της ταχείας ανάπτυξης τεχνολογίας σε συμπληρωματικά metal-oxide-semiconductor (CMOS) radio frequency (RF) ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.



#### 4.2.2 Network Function Virtualization – NFV

Το NFV υλοποιεί λειτουργίες του δικτύου μέσω τεχνικών εικονικοποίησης του λογισμικού και τις υλοποιεί με την βοήθεια του hardware. Μέσω εφαρμογής λογισμικού οι όποια βασίζεται/τρέχει σε μια τυποποιημένη υποδομή πληροφορικής, switches, συσκευών αποθήκευσης και υψηλών εντάσεων servers αποσυνδέει τις λειτουργίες δικτύου από τις υλικές συσκευές. Το ενδιαφέρον χαρακτηριστικό γνώρισμα του NFV είναι η διαθεσιμότητα του τόσο στα ενσύρματα όσο και στα ασύρματων δίκτυα χωρίς να χρειάζεται να λάβει χώρα κάποια εγκατάσταση νέου εξοπλισμού.

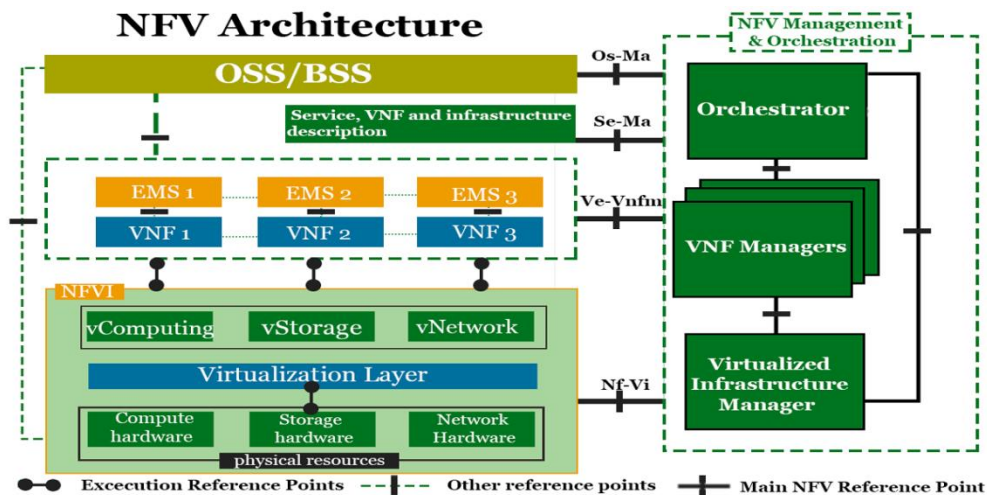
##### 4.2.3.1 Αρχιτεκτονική NFV

Μας δίνεται η ευκαιρία με το NFV για ένα πιο ευπροσάρμοστο σχεδιασμό δικτύου οπού οι υπάρχουσες υπηρεσίες δικτύωσης καθιστώντας αναγκαία υποστήριξη από ποικίλες λειτουργίες που είναι συνδεδεμένες με ένα στατικό τρόπο. Έχουμε τη δυνατότητα λειτουργίας μέσω του NFV μιας προσθετικής δυναμικής για τη δημιουργία και τη διαχείριση των λειτουργιών δικτύου. Ο τρόπος απλοποίησης παροχής υπηρεσιών σε μορφή αλυσίδας

έχοντας γρήγορη και με μικρού κόστους δημιουργία, τροποποιώντας από αυτή τους κρίκους είναι η έννοια κλειδί στο NFV. Ως πρώτη εναλλακτική μπορούμε να συγκροτήσουμε μαζί αρκετά NFVs για μείωση πολυπλοκότητας της διαχείρισης, για παράδειγμα σε ένα μόνο κουτί να γίνει συγχώνευση των serving gateway (SGW) και PGW ενός κεντρικού δικτύου 4G. Από την άλλη υπάρχει μια ακόμη εναλλακτική όπου μπορούμε να αποσυνθέσουμε ένα NFV σε μικρότερα λειτουργικά τμήματα δίνοντας μας τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης με ταχύτερο χρόνο απόκρισης, οφείλουμε όμως να επισημάνουμε ότι η πραγματική carrier-grade υλοποίηση περιπτώσεων NFV πρέπει να είναι διαφανής για τις end-to-end υπηρεσίες.

Σε σύγκριση με τις τωρινές υλοποιήσεις το NFV έχει τρεις βασικές διαφορές:

- **Διαχωρισμός του λογισμικού από το υλικό:** Αυτός ο διαχωρισμός επιτρέπει στο λογισμικό να εξελίσσεται ανεξάρτητα από το hardware, και το αντίστροφο.
- **Ευέλικτη υλοποίηση των λειτουργιών του δικτύου:** Το NFV μπορεί αυτόματα να υλοποιήσει λογισμικό λειτουργιών δικτύου σε μια "πισίνα" από πόρους υλικού, η οποία μπορεί να τρέξει διαφορετικές λειτουργίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σε διαφορετικά κέντρα δεδομένων
- **Προσφορά δυναμικών υπηρεσιών:** οι πάροχοι του δικτύου μπορούν να κλιμακώνουν δυναμικά το NFV με βάση των τρεχόντων συνθηκών του δικτύου.



#### 4.2.3.2 Οφέλη της NFV τεχνολογίας

Ο ορισμός του NFV, επιφέρει τεράστια οφέλη για σχεδιασμό δικτύων. Οι εικονικοποιημένες τροποποιήσεις που προτείνει δεν χρειάζονται νέο εξοπλισμό για να πραγματοποιηθούν. Χωρίς λοιπόν να χρειάζεται οι παροχή υπηρεσιών να αυξήσουν το κόστος εξόδων γίνεται

αναβάθμιση του δικτύου αρά αυτομάτως έχουμε καλύτερη παροχή υπηρεσιών στους χρήστες του. Μέσα από μελέτες οποίες έχουν δείξει την ευελιξία εφαρμογής λειτουργιών δικτύου με χαμηλού κόστους υλικό, όπως για παράδειγμα σε πλατφόρμες βασισμένες σε επεξεργαστές γενικού σκοπού π. χ. η επεξεργασία σήματος στο φυσικό επίπεδο. Ένα ακόμα παράδειγμα είναι πως οι πάροχοι θα διαθέτουν την υλοποίηση ενός τείχους προστασίας, το οποίο υποστηρίζεται από λογισμικό ανοιχτού κώδικα, σε μια Virtual Machine (VM) πλατφόρμας x86. Η μείωση υλικών εξοπλισμού αυτομάτως σημαίνει μείωση στην καταναλισκόμενη ενέργεια άρα δημιουργεί μείωση στους ρύπους που παράγονται.

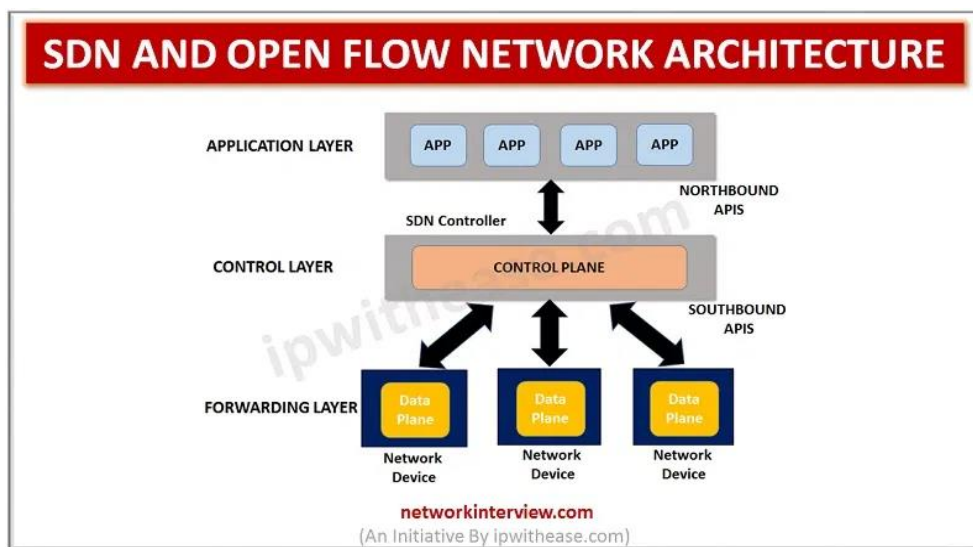
Μέσα από συναρτήσεις βάση των αναγκών που υποδεικνύουν οι παρατηρητές δικτύου επιτρέπεται ο διαμοιρασμός πόρων αυτού αρά το NFV μας προσφέρει αποδοτικότητα αφού η εικονικοποίηση προσφέρει μεγαλύτερο πλουραλισμό στις δυνατότητες του δικτύου, και ευελιξία. Η χρήση του NFV στους παροχούς υπηρεσιών εξυπηρετεί στην υιοθέτηση εργαλείων για αυτοματοποίηση πολλών πτυχών της λειτουργίας και διαχείρισης δικτύου παρόμοια με εκείνα που χρησιμοποιούνται στην IT βιομηχανία. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση των λειτουργικών εξόδων. Δίνεται στους παροχούς υπηρεσιών μέσω του NFV η δυνατότητα δραστηκής μείωσης χρόνου σε περιπτώσεις που εισαγάγουν μια νέα υπηρεσία στην αγορά, με την αλλαγή τυπικού κύκλου καινοτομίας τους παρέχοντας λογισμικό στους χρήστες. Μειώνοντας αυτόν τον χρόνο μπορούν γρήγορα να εισάγουν στοχευόμενες και εξατομικευμένες υπηρεσίες με βάση τις ανάγκες του πελάτη.

#### **4.2.3 Software Defined Networking – SDN**

Η νέα και έξυπνη αρχιτεκτονική Software-Defined Networking (SDN) έχει ως στόχο να προγραμματίζει δίκτυο. Μέσω της λογικής οντότητας λογισμικού(ελεγκτής) μετακινείται το επίπεδο έλεγχου των switches κάνοντας έλεγχο δεδομένων εξωτερικά ήταν η κύρια ιδέα πίσω από τη δημιουργία SDN. Με τον τρόπο αυτό περιγράφει τα στοιχεία, τις παρεχόμενες λειτουργίες και το πρωτόκολλο για τη διαχείριση του επιπέδου προώθησης από τον ελεγκτή μέσω ενός ασφαλούς καναλιού το οποίο καταγράφει κοινές απαιτήσεις πινάκων προώθησης/ροής σε ένα μέρος των switches. Άλλωστε αυτός ο τρόπος διαχείρισης συγκεντρωτικής δομής κάνει τον ελεγκτή κατάλληλο στην εκτέλεση λειτουργιών διαχείρισης δικτύου και μέσω του κεντροποιημένου επιπέδου έλεγχου έχουμε ευελιξίας εύκολης τροποποίησης συμπεριφοράς δικτύου.

#### 4.2.3.3 Αρχιτεκτονική SDN

Η αρχιτεκτονική του SDN για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πιστεύεται ότι θα βασίζεται σε λογισμικό το οποίο επεκτείνεται σε δύο διαστάσεις. Η πρώτη διάσταση είναι η κατακόρυφη όπου διαχειρίζεται ανάμεσα στις κυψέλες και τα δίκτυα τον συντονισμό τους και η δεύτερη διάσταση είναι η οριζόντια όπου εστιάζει στη συνεργασία ανάμεσα στις οντότητες δικτύου. Κατά την κατακόρυφη διάσταση οι κοινές λειτουργίες και απαιτήσεις ελέγχου πρέπει να εξαχθούν από διάφορα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Η συχνή αφαίρεση λειτουργιών θα επιφέρει τη δημιουργία μιας ιεραρχικής αρχιτεκτονικής ελέγχου, στην οποία θα γίνεται έλεγχος από τα υψηλό επίπεδα στα χαμηλότερα, χωρίς την γνώση ακριβής υλοποίησης μέσω καθορισμένων συμπεριφορών. Θα επιτρέψει τον προγραμματισμένο έλεγχο με στόχο τον συντονισμό των ετερογενών δικτύων. Προβλέπεται εντούτοις στην οριζόντια διάσταση για υποστήριγμα συνεργασίας να γίνει δημιουργία κοινών πρωτοκόλλων ελέγχου και ανοικτών διεπαφών κάτω από την ίδια αρχιτεκτονική SDN, όπου αυτό επιτρέπει σε προγραμματιζόμενο SDN τη συνεργασία στα χαμηλότερα στρώματα δικτύου και διευκολύνει την εφαρμογή λειτουργιών συνεργασίας.



#### 4.2.3.4 Σενάρια χρήσης SDN

- SDN Oriented approaches

Η πλειοψηφία των ερευνών προέρχεται από την αρχική ιδέα για το SDN. Τα κοινά χαρακτηριστικά είναι η αποσύνδεση των επιπέδων ελέγχου και δεδομένων και η χρήση ενός κεντρικού ελέγχου. Το OpenRoad είναι μια πολύ πρόωμη μελέτη πάνω σ αυτό το θέμα. Το σενάριο χρήσης Oriented approaches αφορά την κινητή έκδοση του SDN που για δυνατότητα



υποστήριξης προγραμματιζόμενου έλεγχου στο Wi-Fi και στα δίκτυα WiMax χρησιμοποιεί το NOX ως λειτουργικό σύστημα, για έλεγχο το OpenFlow, το FlowVisor για τον τεμαχισμό του δικτύου. Το OpenRoad χρησιμοποιώντας διάφορους αλγορίθμους ελέγχους στους οποίους επιτρέπει να υλοποιούνται ταυτόχρονα σε ένα δίκτυο και ως εκ τούτου συνειδητοποιούμε πως ο τεμαχισμός του δικτύου είναι ένας από τα βασικά χαρακτηριστικά για την υλοποίηση του SDN. Προτείνεται λοιπόν να επιτραπεί στους εικονικούς διαχειριστές δικτύου να συνυπάρχουν σε ένα ενιαίο φυσικό επίπεδο με τη μέθοδο αυτή (τεμαχισμός του δικτύου) ο οποίος θα επεκταθεί και στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Αυτό γίνεται εφικτό με την εικονικοποίηση υποστρώματος και τον διαχωρισμό δικτύου σε μικρότερες κυψέλες για εικονικοποίηση ασύρματων πόρων. Το Softcell υλοποιεί βασικές αρχές SDN με service level στον πυρήνα του δικτύου και είναι η πρώτη προσπάθεια που έγινε για επέκταση του στον πυρήνα ασύρματου δικτύου. Βελτιώνεται λοιπόν η επεκτασιμότητα και η ευελιξία με τη βοήθεια του κεντρικού ελεγκτή και εννοίας ροής τα όποια επιτρέπουν στην αμέσως προηγούμενη συγκεντρωτική επεξεργασία πακέτων στον πυρήνα δικτύου να κατανεμηθεί σε ενδιάμεσες οντότητες επεξεργασίας πακέτων. Ο στόχος χρήσης αρχιτεκτονικής SDN στα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς είναι η υποστήριξη ενός συνόλου ετερογενούς υπηρεσιών με ευελιξία. Μέσα από μια ξεκάθαρη εικόνα σχεδιασμού επίπεδου δεδομένων και ελεγκτών χωρίζεται σε τρία επίπεδα:στη συσκευή, στο κινητό άκρο και στον πυρήνα του δικτύου, όπου αυτός ο σχεδιασμός επιτρέπει την προς τα πίσω συμβατότητα με δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς αφού επιτυγχάνει την αποφυγή πρωτόκολλων σήραγγες για κινητικότητα.

- C-RAN Oriented Approaches

Οι C-RAN προσεγγίσεις συγκεντρώνουν όχι μόνο τον έλεγχο αλλά και ένα μέρος της επεξεργασίας σήματος του δικτύου. Με την αξιοποίηση του SDN επωφελείται πολύ περισσότερο το C-RAN αν και μπορεί να εφαρμοστεί αυτοτελώς και για την προσέγγιση αυτή το SoftRAN είναι μίας από τις πρώτες προτάσεις που είχαν δοθεί. Σ'ένα εικονικοποιημένο σταθμό βάσης εικονικοποιεί το RAN σε ένα και μονό σημείο το οποίο, πραγματοποιεί κατανομή των κινητών πόρων, επιτελεί εξισορρόπηση φορτίου κίνησης, καθώς και άλλες λειτουργίες έλεγχου. Εκμεταλλεύονται πλήρως τις πληροφορίες που λαμβάνει από το δίκτυο για την μεγίστη δυνατή βελτιστοποίηση του μέσα από ένα κεντρικοποιημένο επίπεδο έλεγχου. Για να λυθεί το πρόβλημα του latency, οι κρίσιμες λειτουργίες που πρέπει να γίνουν ταχύτατα θα παραμείνουν στο τοπικό σταθμό βάσης. Ο συνδυασμός ανάμεσα της κεντρικής επεξεργασίας σήματος στο CRAN και της λειτουργίας fronthaul ήταν μια πρόσφατη πρόταση που εξετάστηκε. Από τον κεντρικοποιημένο έλεγχο τα



ορισμένα μέσω λογισμικού fronthauls (SDFs) σχηματίζουν ένα fronthaul δίκτυο, όπου από κοινού επεξεργασμένα σήματα προωθούνται στα fronthauls κι αυτή αρχιτεκτονική ελέγχου είναι παρόμοια με αυτή του SDN για το διαδίκτυο. Η άριστα χρονικά συνεργασία στο φυσικό επίπεδο όπως πχ στο CoMP επιτρέπεται μέσα από τη δυνατότητα προγραμματισμού στο fronthaul δίκτυο. Έτσι υπάρχει η προοπτική βελτιστοποίησης του RAN σε εξαιρετικά πυκνά ασύρματα δίκτυα.

- **Mobile-Edge Oriented Approaches**

Υλοποίηση του SDN στο RAN, γίνεται μέσω βασικών προσεγγίσεων στις κινητές συσκευές των χρηστών. Η υιοθέτηση διεπαφής συναρτήσεων και φάσματος τα όποια καθίζουν τον συντονισμό του σε ασύρματα δίκτυα ήταν η ανάγκη για αυτό το γεγονός. Σ'ένα κεντρικό ελεγκτή για την δυνατότητα δυναμικής αλλαγής των MAC επεξεργασίας διεπαφών φάσματος υπάρχει η προσέγγιση MAClet. Ενώ το μεγαλύτερο μέρος έρευνας αναμένεται προς αυτή την κατεύθυνση, υπάρχει και το ενδεχόμενο οι αρχές του SDN να εφαρμόζονται ευρέως στο σχεδιασμό του ραδιοφάσματος των μελλοντικών ασύρματων δικτύων. Το μεγαλύτερο μάλιστα από αυτά, γνωστό ως Horizon 2020 5G-PPP, ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2015. Ο σκοπός της πρωτοβουλίας αυτής είναι να τεθούν τα θεμέλια για τα 5G δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Το έργο METIS-II είναι ένα ακόμη έργο, όπου επικεντρώνεται στον συνολικό σχεδιασμό του RAN στο 5G RAN. Το έργο 5G-NORMA είναι αφιερωμένο στη δημιουργία μιας εύκολα υιοθετημένης αρχιτεκτονικής ραδιοφάσματος, ενώ το έργο COHERENT θα επικεντρωθεί στη δημιουργία μιας ενιαίας πλατφόρμας ελέγχου για ετερογενή RANs. Όλα τα παραπάνω έργα εστιάζουν την χρήση και λειτουργία αρχών SDN σε δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς.

#### **4.2.4 Σχέση και διάφορα NFV και SDN**

Συχνά αυτές οι δυο τεχνολογίες συγχέονται ως ταυτόσημες, όμως είναι συμπληρωματικές. Η NFV δεν χρειάζεται την SDN και αντίστροφα, όταν όμως λειτουργούν συνδυαστικά είναι επωφελείς. Η NFV μετακινεί υπηρεσίες δικτύων σε ένα εικονικό περιβάλλον και σε αντίθεση με την SDN δεν περιλαμβάνει πολιτικές για την αυτοματοποίηση της. Η NFV έχει τη δυνατότητα να παρέχει υποδομή στην οποία εκτελείται το λογισμικό SDN. Αν ένας ελεγκτής SDN εκτελούνταν σε ένα VM, θα μπορούσε να εφαρμοστεί ως μέρος μιας αλυσίδας υπηρεσιών. Αυτό σημαίνει ότι οι εφαρμογές έλεγχου και διαχείρισης SDN εν μέρει υλοποιούνται ως εικονικές λειτουργίες δικτύου όπως στο NFV.

## 5. Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Πρωτόκολλα ασφάλειας δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς

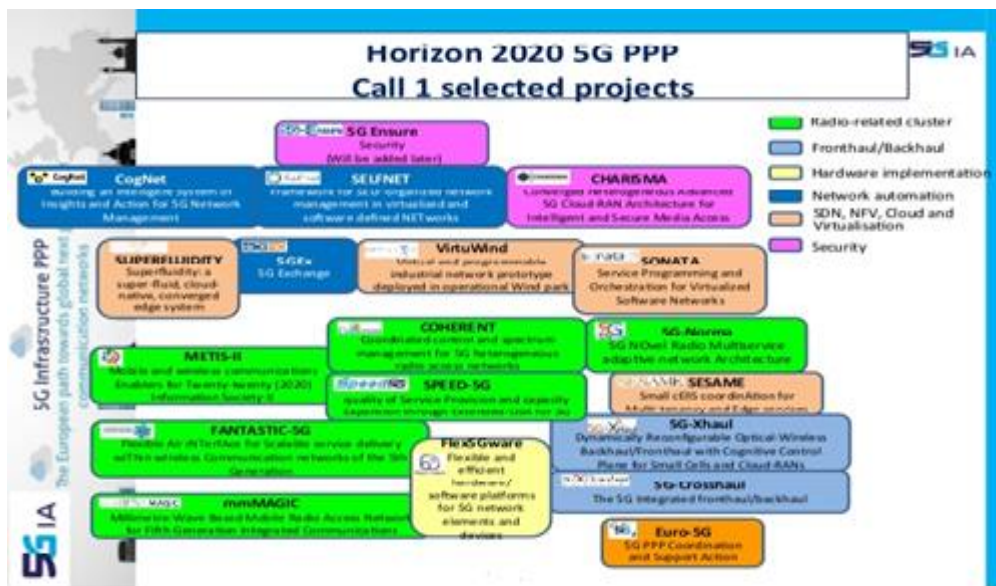
### 5.1 5G-PPP project

Το 5G Public Private Partners (5G – PPP) περιλαμβάνει μια κοινή πρωτοβουλία μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, της βιομηχανίας και των ερευνητικών ιδρυμάτων στον τομέα των επικοινωνιών, προκειμένου να εξασφαλίσει την πρωτοκαθεδρία της Ευρώπης στο χώρο των δικτύων 5ης γενιάς. Έχει στόχο να προσφέρει διάφορες λύσεις, αρχιτεκτονικές, νέες τεχνολογίες και καινούρια πρότυπα. Σκοπός του είναι η επίτευξη αύξησης ασύρματης χωρητικότητας, η εξοικονόμηση ενέργειας, η διασύνδεση όλων των ανθρώπων μεταξύ τους, η αξιοπιστία, ο μικρός χρόνος αναμονής αλλά και η διασύνδεση αντικειμένων. Έχει 3 φάσεις.

Το 5G-PPP στη φάση 1 περιλαμβάνει 19 έργα τα οποία επελέγησαν από 83 συνολικά προτάσεις και υποβλήθηκαν στην Ευρωπαϊκή επιτροπή.

Η 2<sup>η</sup> φάση περιέχει 21 νέα έργα, τα οποία επιλέχτηκαν από τα 101 που υπεβλήθησαν συνολικά στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Τέλος στην 3<sup>η</sup> φάση επιλέχτηκαν 3 από τα 16 συνολικά που υπεβλήθησαν στην Ε. Ε.



#### 5.1.1 EURO-5G

Αυτό το project έχει στόχο την διευκόλυνση της αποτελεσματικότητας και τις αποδοτικής συνεργασίας, καθώς επίσης και την ολοκλήρωση μεταξύ όλων των έργων του 5G-PPP, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του συνδέσμου υποδομών. Οι μετρήσεις για την αξιολόγηση της επιτυχίας του 5G-PPP θα βασιστούν στα KPIs. Το 5G-PPP αποσκοπεί στην διασφάλιση της

ολοκλήρωσης των Ευρωπαϊκών βιομηχανικών πολιτικών, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι χρήσιμα και επιτεύξιμα. Έτσι το EURO-5G θα υποστηρίξει ενεργά το 5G-PPP προκειμένου να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα της Ευρωπαϊκής βιομηχανίας όπου ο καθένας θα επωφεληθεί από τα μελλοντικά δίκτυα όσο οικονομικά όσο και κοινωνικά.

### **5.1.2 5G Novel Αρχιτεκτονική προσαρμοστικού δικτύου Radio Multiservice (5G-NORMA)**

Αποτελεί μια πρωτοποριακή αρχιτεκτονική τροποποιημένου δικτύου πολλών υπηρεσιών. Έχει ως βασικό στόχο την ανάπτυξη μιας καινοφανούς αρχιτεκτονικής δικτύου 5<sup>ης</sup> γενιάς στην κινητή τηλεφωνία, η οποία θα έχει πρωτοφανής επίπεδα προσαρμοστικότητας εξασφαλίζοντας μια ικανοποιητική απόδοση, κόστος ασφάλεια και ενεργειακές απαιτήσεις. Θα παρέχει μια αρχιτεκτονική καθοδηγούμενη από διεπαφές προγραμματισμένων εφαρμογών (APIs), τροφοδοτώντας με τον τρόπο αυτό την οικονομική ανάπτυξη μέσω καινοτομιών. Η νοοτροπία που ακολουθεί το έργο 5G-NORMA βασίζεται στις ιδέες προσαρμοστικής σύνθεσης/αποσύνθεσης, της κατανομής των λειτουργιών του δικτύου προσαρμοστικής σύνθεσης/ αποσύνθεσης και της κατανομής των λειτουργιών του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Αποσυνθέτει με σχετική ευκολία τις λειτουργίες του και στη συνέχεια τοποθετεί τις προκύπτουσες λειτουργίες στην πλέον κατάλληλη θέση. Με τον τρόπο αυτό, τα δίκτυα πρόσβασης και πυρήνα, δεν οφείλουν να διαμένουν σε διαφορετική τοποθεσία, η οποία τώρα αξιοποιείται για τη βελτιστοποίηση της από κοινού λειτουργία τους, όποτε αυτό είναι δυνατό. Η προσαρμοστικότητα της αρχιτεκτονικής ενισχύεται περαιτέρω από τον έλεγχο των κινητών δικτύων προσδιοριζόμενων από το λογισμικό (SDN).

### **5.1.3 5G – XHAUL (Δυναμικά επαναδιαμορφώσιμο οπτικό-ασύρματο Backhaul / Fronhaul με Plane ελέγχου για μικρά κελιά και Cloud-RANs)**

Αυτό το project προτείνει μια λύση οπτικής και ασύρματης μεταφοράς η οποία είναι ικανή να συνδέσει μικρές ευέλικτες κυψέλες (cells) με το δίκτυο πυρήνα. Αξιοποιώντας την δραστηριότητα των χρηστών εκτελείται μια δυναμική κατανομή των πόρων σε σημεία που δίνουν πρόσβαση στο δίκτυο(hotspots). Για την υποστήριξη αυτών των εννοιών, θα πρέπει να αναπτυχθούν νέες τεχνικές όπως:

- Η ανάπτυξη μικροκυματικών πομπών, οι οποίοι θα είναι δυναμικά προγραμματιζόμενοι και θα διαθέτουν υψηλή χωρητικότητα και χαμηλή καθυστέρηση.

- Κοινόχρηστο οπτικού δικτύου που θα προσφέρει ελαστική κατανομή εύρους ζώνης, σε συνεργασία με προηγμένα παθητικά δίκτυα.
- Το λογισμικό θα ορίσει ένα επίπεδο ελέγχου το οποίο θα προβλέπει την ζήτηση της κυκλοφορίας στον χώρο και τον χρόνο, καθώς και να επαναπροσδιορίζει τις συνιστώσες του δικτύου.

Σύμφωνα με το 5G – XHaul, οι τεχνολογίες που θα επέμβουν για αντιμετώπιση της ζήτησης ευρυζωνικής συνδεσιμότητας είναι:

- Small cells
- NFV
- SDN
- C-RAN

Το 5G-XHAUL θα αναπτύξει μικρές κυψέλες για τα δίκτυα μεταφοράς των πυκνών αστικών κέντρων. Τα small cells μπορεί να είναι ασύρματα με τεχνολογίες backhaul και fronthaul, παράλληλα με οπτικές διασυνδέσεις πολύ υψηλής χωρητικότητας.

#### 5.1.4 CogNet

Το project CogNet έχει στόχο την έρευνα και την ανάπτυξη μιας πλατφόρμας διαχείρισης δικτύου σε πραγματικό χρόνο με ικανότητες επέκτασης, ούτως ώστε να αντιμετωπιστούν μελλοντικές απαιτήσεις δικτύου 5<sup>ης</sup> γενιάς. Έχει τους εξής στόχους:

- Συλλογή και επεξεργασία μαζικών δεδομένων από το δίκτυο 5G
- Δημιουργία ενός συστήματος για αυτοδιαχείριση των κόμβων του δικτύου, ενώ υποστηρίζει ενιαία διαχείριση δικτύου.
- Εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για την αντιμετώπιση:
  - Της ζήτησης και του εφοδιασμού για να επιτρέψει στο δίκτυο να αλλάξει μέγεθος χρησιμοποιώντας εικονοποίηση.
  - Θεμάτων ανθεκτικότητας όπως εντοπισμό σφαλμάτων, βλαβών και συνθηκών όπως συμφόρηση δικτύου ή μείωση επιδόσεων.
- Εντοπισμός σοβαρών θεμάτων ασφαλείας, όπως παραβιασμένες συνιστώσες δικτύου.

### **5.1.5 Coherent (Συντονισμένος έλεγχος και διαχείριση φάσματος για ετερογενή δίκτυα ασύρματης πρόσβασης 5G)**

Το Coherent λειτουργεί ερευνώντας και αναπτύσσοντας ένα προγραμματιζόμενο πλαίσιο ελέγχου για δίκτυα ασύρματης ετερογενούς πρόσβασης 5ης γενιάς. Συγκεκριμένα:

- Δικτύωση ορισμένη από το λογισμικό για δίκτυα ασύρματης πρόσβασης για την ενεργοποίηση πλαισίων συντονισμού καθώς και ενός κλιμακούμενου, ευέλικτου ελέγχου για πολύπλοκο συντονισμό πόρων και διαχείριση φάσματος σε δίκτυα 5ης γενιάς.
- Κλιμακούμενη διαχείριση του ραδιοφάσματος για την υποστήριξη διαφορετικού τύπου σχημάτων φάσματος.
- Αποτελεσματική μοντελοποίηση ασύρματων πόρων και διαχείριση τους σε δίκτυα ασύρματης πρόσβασης. έχει καθορισμένες διεπαφές ελέγχου και πρωτόκολλα με στόχο την απλοποίηση ετερογενών δικτύων της κινητής τηλεφωνίας.

### **5.1.6 Flex5Gware (Ευέλικτες και αποτελεσματικές πλατφόρμες υλικού / λογισμικού για στοιχεία και συσκευές δικτύου 5G)**

Σε αυτό το πρωτόκολλο θα αναφερθούμε στις ευέλικτες και αποτελεσματικές πλατφόρμες υλικού για τα στοιχεία δικτύου και τις συσκευές της 5<sup>ης</sup> γενιάς. Πραγματοποιεί έρευνα και ανάπτυξη σε δομικά στοιχεία του δικτύου αλλά και σε μεμονωμένες συσκευές τόσο από άποψη υλικού όσο και από την άποψη του λογισμικού. Αυτές οι διαδικασίες έρευνας και ανάπτυξης πρόκειται να δημιουργήσουν προκλήσεις στον σχεδιασμό του συστήματος, οι οποίες θα επιλυθούν μέσω αναλυτικών προσεγγίσεων και χρήση αναδυόμενων αρχιτεκτονικών 5<sup>ης</sup> γενιάς. Θα πραγματοποιηθούν ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη αναλογικών συνιστωσών για την ενεργοποίηση MIMO σε ζώνες ραδιοφάσματος (mmWave). Πραγματοποιείται σημαντική έρευνα στα πεδία μικτού σήματος και στα στάδια μετατροπής, για να ληφθούν αποτελέσματα που σχετίζονται με κρίσιμες συνιστώσες 5<sup>ης</sup> γενιάς. Μια από της σημαντικότερες προόδους στον ψηφιακό τομέα που θα επιτευχτεί είναι στον τομέα της κατασκευής εξαρτημάτων υλικού για σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως FBMC πομποδέκτες, LDPC, κωδικοί κλπ. Καθώς μια εξελιγμένη πλατφόρμα λογισμικού η οποία είναι ικανή μέσω αποφάσεων να διαχωρίζει λειτουργίες ανάμεσα υλικού και λογισμικού πρόκειται να αναπτυχτεί. Μέσα από αυτή τη πλατφόρμα θα αποδοθεί ένα ισχυρό σύστημα υλικού/λογισμικού για ευέλικτο έλεγχο και διαχείριση μεταξύ ετερογενών ασύρματων συσκευών και δικτύων πρόσβασης. Ο γενικός στόχος αυτού του έργου είναι η παράδοση

υψηλά επαναπροσδιοριζόμενων πλατφορμών υλικού μαζί με περιβάλλοντα λογισμικού, όπου τα στοιχεία του δικτύου όσο και αυτά των συσκευών να λαμβάνουν ανάγκη την αύξηση χωρητικότητας και την μείωση της ενέργειας για επεκτασιμότητα και της ομαλής μετάβασης από τα κινητά της 4<sup>ης</sup> γενιάς σε αυτά της 5<sup>ης</sup>.

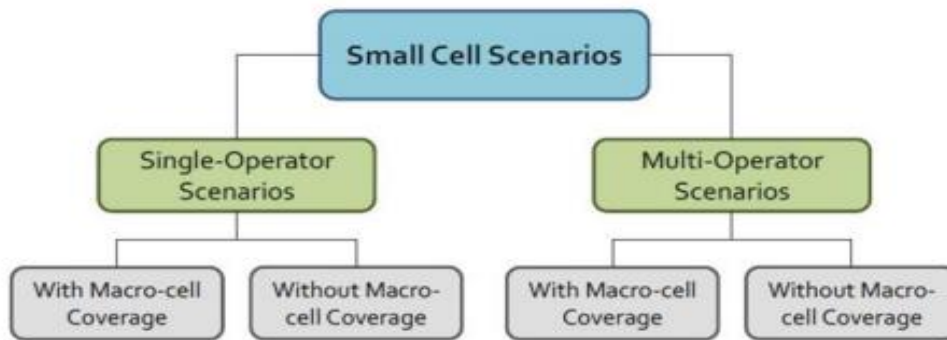
#### **5.1.7 Selfnet (Ένα πλαίσιο για αυτό-οργανωμένη διαχείριση δικτύου σε δίκτυα εικονικοποιημένα και καθορισμένα από λογισμικό)**

Το SELFNET θα σχεδιάσει και θα φτιάξει ένα αυτόνομο πλαίσιο διαχείρισης δικτύου με σκοπό να πετύχει ικανότητες αυτό οργάνωσης στη διαχείριση δικτυακών κατασκευών. Μέσα από μια αυτόματη ανίχνευση και μείωση των συνεπειών μια γκάμας δικτυακών ζητημάτων θα γίνει η υλοποίηση αυτό του έργου, τα οποία από τους χειριστές των δικτύων αντιμετωπίζονται χειροκίνητα, πετυχαίνοντας με τον τρόπο αυτό μια σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους. Λέγεται ότι θα αναπτύξει την ολιστική χρήση των SDN και NFV. Θα είναι σε θέση να παρέχει μετρήσεις ακριβείας όπου θα παρουσιάζεται η κατάσταση του δικτύου και ο τρόπος λειτουργίας του.

#### **5.1.8 Speed - 5G(ποιότητα Παροχής Υπηρεσιών και Επέκταση χωρητικότητας μέσω Extended - DSA για 5G).**

Ο στόχος του Speed-5G έχει σκοπό να διαμορφώσει τον ορισμό της επικείμενης αρχιτεκτονικής 5ης γενιάς αντίστοιχα με την ανάπτυξη ετερογενών δικτύων σε πολλά σενάρια. Συγκεκριμένα προσδιορίζει τις τεχνικές λύσης με σαφήνεια, οι οποίες εκμεταλλεύονται την έξυπνη διαχείριση πόρων των πολλαπλών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης (RATs), καθώς και το φάσμα DSA για δυναμική πρόσβαση και μια άριστη λειτουργία των μη συνεχόμενων τμημάτων του φάσματος.

Το έργο Speed -5G έχει επικεντρωθεί στην δυναμική πρόσβαση στο φάσμα DSA σε εξαιρετικά πυκνά δίκτυα μικροκυβελών, τόσο για σενάρια κλειστών και ανοιχτών χώρων(indoor or outdoor), όσο και για μικτά σενάρια μικτών χώρων (indoor-outdoor).

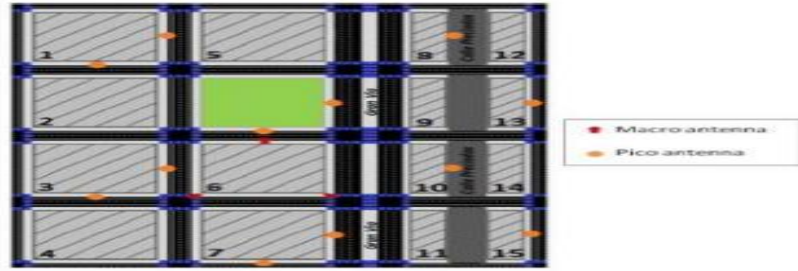


#### Αρχικό σενάριο κατηγοριοποίησης

Το έργο Speed – 5G αποφάσισε να χρησιμοποιήσει το METIS II ως πρώτη πηγή για ρεαλιστικά σενάρια. Πιο συγκεκριμένα:

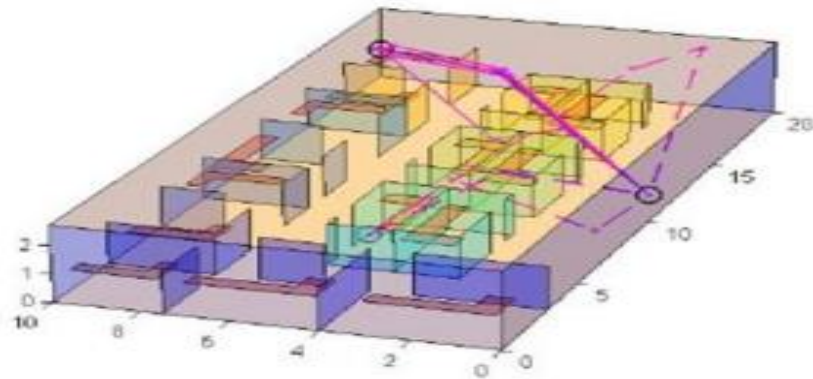
- Οι βασικές παραδοχές του σεναρίου επιλογής είναι η ύπαρξη μικροκυψελών τόσο σε εσωτερικές, εξωτερικές ή μικτές αναπτύξεις, επιλέγοντας κάθε φορά την πιο κατάλληλη ανάλογα με την περίπτωση.
- Το έργο της προσομοίωσης χρησιμοποιεί την καινοτομία DSA της Speed – 5G σε συνδυασμό με τη χρήση FBMC, η οποία είναι μια κυματομορφή 5 ης γενιάς που συμβάλλει στην αξιολόγηση της σκοπιμότητας σε εξαιρετικά πολύπλοκα και απαιτητικά ρεαλιστικά σενάρια.
- Η κινητικότητα των χρηστών (User Mobility) και οι πηγές κίνησης (Traffic Sources) προσανατολίζονται στις υπηρεσίες.

Τα πιο κάτω παραδείγματα που ακολουθούν, έχουν στόχο στην καλύτερη κατανόηση των βασικών σεναρίων που χρησιμοποιεί το Speed – 5G σε συνεργασία με το METIS II. Το σενάριο αυτό χαρτογραφεί το UMB (Ultra Mobile Broadband) και το IoT (Internet of Things), όπου για σενάρια υψηλής κινητικότητας σε αξιόπιστες επικοινωνίες κάνει εξαιρετική διανομή. Το σενάριο αυτό περιλαμβάνει ένα μίγμα από καθαρά εσωτερικούς και εξωτερικούς χρήστες καθώς και μικτούς χρήστες, καλύπτοντας έτσι τις περιπτώσεις χρήσης που υποστηρίζονται στο Speed – 5G και επιτρέπει την αξιολόγηση πυκνών δικτύων σε ένα ρεαλιστικό παράδειγμα τυπικής Ευρωπαϊκή πόλης.



### Κοινωνία πληροφορίας σε πυκνά αστικά δίκτυα

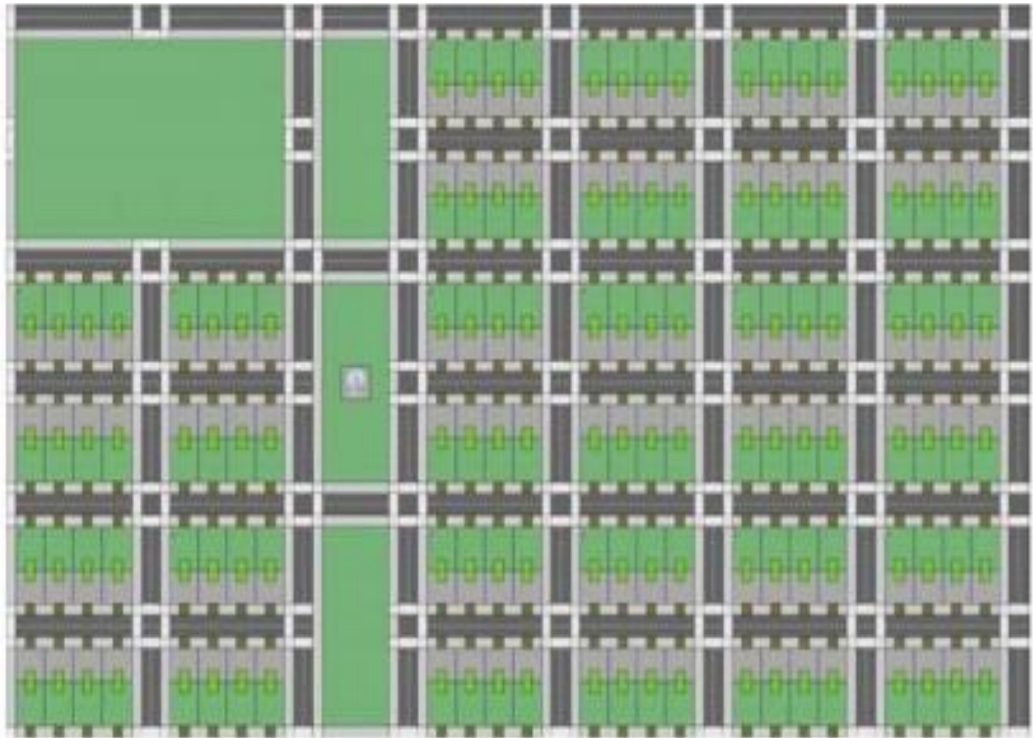
Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε να παρουσιάζεται ένα γραφείο εικονικής πραγματικότητας, το οποίο παρέχει ένα ιδανικό περιβάλλον επικύρωσης για το Speed – 5G σε σενάρια εσωτερικού χώρου. Πιο συγκεκριμένα το σενάριο αυτό ασχολείται με UMB και υπέρ-πυκνά δίκτυα UDN.



### Γραφείο εικονικής πραγματικότητας

Τέλος, στην πιο κάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα εκτεταμένο σενάριο των προαστίων της πόλης στην Μαδρίτη. Στην πόλη αυτή δεν εξυπηρετούνται όλα τα επιμέρους τμήματα των προαστίων με λεπτομερή σχεδιαγράμματα. Για το λόγο αυτό, είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός ασύρματου δικτύου που είναι ικανό να εξυπηρετήσει όλες τις επικοινωνίες με εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης (Ultra – Broadband) και συγχρόνως να διευκολύνει την κίνηση των οχημάτων μέσα σε αυτά.





Εκτεταμένο σενάριο προαστίων

### 5.1.9 Exchange (5GEX)

Αυτό το project επιτρέπει την εκμετάλλευση τεχνικών και επιχειρησιακών παρόχων.

Με αυτή την στρατηγική, καθίσταται δυνατή η εφαρμογή δικτύου και υπηρεσιών ανά τον κόσμο απ' άκρη σε άκρη (end – to – end) για ετερογενή περιβάλλοντα τεχνολογικών πόρων. Προκειμένου να ξεπεραστεί ο παραδοσιακός διαχωρισμός των πόρων του δικτύου τόσο από υπολογιστική άποψη όσο και από άποψη αποθήκευσης, το συγκεκριμένο project θα προσφέρει σύνθετες υπηρεσίες, συνδυάζοντας απρόσκοπτα τη δικτύωση με την Πληροφορική και την αποθήκευση μεταξύ διαφορετικών πεδίων (τομέων). Θεωρείται αποτελεσματική χαρτογράφηση υπηρεσιών η εξάπλωση των υπηρεσιών, η ενεργοποίηση καθώς και η περαιτέρω διαχείριση πάνω σε αφαιρετικά μοντέλα που ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους. Η αυτοματοποιημένη ανάθεση και χαρτογράφηση εικονικών στοιχείων της υπηρεσίας το όποια κάνουν αναπαράσταση στην ίδια και στις λειτουργίες δικτυού της στους πόρους του φυσικού εξοπλισμού μεταξύ τομέων ήταν ο στόχος του project 5GEX. Θα έχουμε βελτιστοποιήσεις σε επιχειρηματικές και επιχειρησιακές πολιτικές καθώς και τους βασικούς δείκτες απόδοσης (KPIs), συμπεριλαμβανομένου της μείωσης του λειτουργικού κόστους (OPEX<sup>38</sup>) και της μεγιστοποίησης των κερδών. Επιπλέον το συγκεκριμένο project θα

δημιουργήσει ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις προκειμένου αυτές να αγοράζουν, να πωλούν και να ενσωματώσουν υπηρεσίες υποδομής με ένα αυτοματοποιημένο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Πρέπει να αναφέρουμε επίσης για νέους τρόπους πειραματισμού ότι θα οικοδομηθεί ένα σύστημα που θα αναπτύξει ένα περιβάλλον δόκιμων και ταυτόχρονα θα λειτουργεί από άκρο σε άκρο, διευκολύνοντας έτσι τη μετάβαση από τον πειραματισμό στην πιλοτική εφαρμογή και τη μετέπειτα λειτουργία στον πραγματικό κόσμο.

#### **5.1.10 Fantastic – 5G**

Αυτό το έργο ασχολείται αποκλειστικά με χαμηλότερες συχνότητες φορέα. (<6GHz). Προσδοκεί να αναπτύξει μια ευέλικτη και κλιμακούμενη διεπαφή αέρα πολλαπλών υπηρεσιών με κάλυψη και υψηλή χωρητικότητα. Αυτή η διεπαφή θα έχει τη δυνατότητα να εκτελεί ελέγχους στο μέλλον και να πραγματοποιεί αειφόρο παράδοση ασύρματων υπηρεσιών σε μεταγενέστερο χρόνο πέρας του τρέχοντος έτους. Θα έχει επίσης ρόλο την αξιολόγηση και επικύρωση στις ανακαλυφθείσες έννοιες και θα δημιουργεί συναίνεση σε λογικές επιλογές για την τυποποίηση της τεχνολογίας 5ης γενιάς. Η κύρια πρόκληση για το συγκεκριμένο έργο είναι να υποστηρίξει όλες τις αναμενόμενες περιπτώσεις χρήσης, με την δυνατή επεκτασιμότητα και απόδοση, χωρίς όμως να είναι αρκετά περίπλοκη από την μεριά του δικτύου. Για τον σκοπό αυτό, το πρωτόκολλο αναπτύσσει τις τεχνικές συνιστώσες της τεχνητής νοημοσύνης και ενσωμάτωση αυτών μέσα σε ένα συνολικό πλαίσιο, όπου θα επιτευχθεί η προσαρμογή πριν τον υψηλό βαθμό ετερογένειας που διέπει τα δίκτυα αυτής της γενιάς.

#### **5.1.11 Charisma (Συγκεντρωμένο ετερογενές σύνθετο 5G σύννεφο(cloud) με αρχιτεκτονική RAR για έξυπνη και ασφαλή πρόσβαση στα media. )**

Το συγκεκριμένο έργο προτείνει την έξυπνη ιεραρχική δρομολόγηση και την εικονοποιημένη αρχιτεκτονική υπηρεσία ασφαλείας η οποία πραγματοποιείται μέσω ενός φυσικού επιπέδου ασφαλείας (PLS), και έχει το συντομότερο δρομολόγιο από άκρη σε άκρη, καθώς και των τελικών χρηστών.

Η αρχιτεκτονική του συγκεκριμένου έργου πληροί τους στόχους χαμηλής καθυστέρησης (<1ms) και ασφαλείας που απαιτούνται για μελλοντική σύγκλιση της ασύρματης /ενσύρματης δικτύωσης. Αυτό παρέχει μια πλατφόρμα υποδομής cloud με αυξημένη ενεργειακή αποδοτικότητα και βελτιωμένη απόδοση, αναφορικά με τις διαπιστωμένες ανάγκες

μετάδοσης αυξημένου όγκου δεδομένων, καθώς και υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων.

Το συγκεκριμένο πρότυπο συνδυάζει τους ακόλουθους στόχους με ιεραρχική αρχιτεκτονική δρομολόγησης:

- Ασφάλεια από άκρο σε άκρο κατά μήκος όλων των επιπέδων του δικτύου ανοιχτής πρόσβασης.
- Φυσικό επίπεδο χαμηλής καθυστέρησης τόσο για τα ασύρματα όσο και για τα ανοιχτά, δυναμικά, υψηλά διασυνδεδεμένα και αποκεντρωμένα δίκτυα 5 ης γενιάς.
- Υψηλό εύρος ζώνης (10Gb/s ασύρματης πρόσβασης και 100Gb/s σταθερής πρόσβασης), εξυπηρέτηση από άκρο σε άκρο χαμηλής καθυστέρησης, ολοκληρωμένη προσπέλαση backhaul και fronthaul, καθώς και δίκτυο πλέγματος D2D.

#### 5.1.12 Superfluidity

Η αρχιτεκτονική του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου βασίζεται σε έναν ταιριαστό συνδυασμό ενός συνόλου αναδυόμενων τεχνολογιών σε αρκετούς τομείς. Εκτός από την αξιοποίηση πολλαπλών τεχνολογιών, η μεγάλη καινοτομία βρίσκεται στον τρόπο με τον οποίο οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα ενιαίο περιβάλλον. Αξιοποιεί και προωθεί τα έργα που πραγματοποιούνται ξεχωριστά από ερευνητικές ομάδες, όπως για παράδειγμα το ETSI NFV, το ETSI MEC, το ONF, το 3GPP και άλλα. Οι λειτουργίες του δικτύου μπορούν να αποτελούνται από προγραμματιστικά δομικά στοιχεία (building blocks). Η βασική υποδομή του δικτύου θα περιέχει τις λειτουργίες αυτές και θα αναπτύσσονται επιτρέποντας μια συνεχή βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο.

Το Superfluidity στοχεύει στην κατασκευή δικτύωσης 5 ης γενιάς για την αντιμετώπιση απαιτήσεων, όπως η αύξηση της κινητικότητας και των απαιτήσεων εύρους ζώνης των τελικών χρηστών, η αντιμετώπιση της μεγάλης έκρηξης του IoT και η ενοποίηση των δικτυακών προσεγγίσεων, προσφέροντας τα εξής:

- Προσφέρει άμεση δημιουργία και ανάπτυξη καινούριων υπηρεσιών, καθώς και σωστή διαχείριση της ετερογένειας.
- Κινητικότητα: ευέλικτη τοποθέτηση και ταχεία μετάβαση των υπηρεσιών στις καινούριες τεχνολογίες.

- Λειτουργική σύνθεση / αποσύνθεση: οι υπηρεσίες κατασκευάζονται από τα επαναχρησιμοποιούμενα λειτουργικά μπλοκ (RFB). Συγκεκριμένα, η αποσύνθεση των λειτουργιών υψηλού επιπέδου σε επαναχρησιμοποιούμενες συνιστώσες βασίζεται στην ιδέα των RFBs, τα οποία αποτελούν λογικές οντότητες που πραγματοποιούν ένα σύνολο λειτουργιών και διαθέτουν ένα σύνολο λογικών θυρών εισόδου/ εξόδου.
- Αποτελεσματική υλοποίηση RFB με την βοήθεια υλικού και λογισμικού: μια σημαντική ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου έργου είναι το γεγονός ότι η αποσύνθεση εφαρμόζεται σε διαφορετικά ετερογενή περιβάλλοντα, από τη σύνθεση σε ολόκληρο το δίκτυο (network-wide) όλων των εικονικών λειτουργιών του, μέχρι τη σύνθεση σε επίπεδο κόμβου (node-level) των μπλοκ επεξεργασίας σήματος. Στην πραγματικότητα, είναι δυνατόν να λειτουργεί αναδρομικά στα διάφορα επίπεδα, για παράδειγμα υπηρεσίες σε όλο το εύρος του δικτύου μπορεί να αναλυθούν σε RFBs επιπέδου κόμβου, που μπορούν με τη σειρά τους να αποσυντεθούν σε μικρότερα RFBs επεξεργασίας πακέτου.
- Ασφάλεια από τον σχεδιασμό: τα RFBs επαληθεύονται για την ασφάλειά τους πριν από την ανάπτυξή τους.

#### **5.1.13 Sonata(Προγραμματισμός υπηρεσιών και ενορχήστρωση για λογισμικό εικονικής διαμόρφωσης)**

Έχει στόχο την αντιμετώπιση της ανάπτυξης και της εξάπλωσης τεχνολογικών προκλήσεων για περίπλοκες εφαρμογές και υπηρεσίες χρήστη για τα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς καθώς διαθέτει το SDK, όπου είναι μια εργαλειοθήκη ανάπτυξης λογισμικού που βοηθάει στην αποτελεσματικότητα της λειτουργίας του δικτύου και των απαιτούμενων υπηρεσιών.

Το SONATA βασίζεται στην εξάπλωση δύο θεμελιωδών νέων τεχνολογιών:

- Cloud Computing.
- SDN.

Οι πιο πάνω τεχνολογίες παρέχουν μηχανισμούς για την αυτοματοποίηση της επεξεργασίας των πόρων από τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων. Παρόλα αυτά από μόνες τους δεν είναι αρκετές για να οδηγήσουν αυτό το μετασχηματισμό. Η πλατφόρμα υπηρεσιών του συγκεκριμένου πρωτόκολλου πετυχαίνει ένα επίπεδο αυτοματισμού ικανό για την επίτευξη τόσο εξοικονόμησης κόστους όσο και νέων υπηρεσιών που είναι εφικτές σε όλο το φάσμα

των διαδικασιών. Παρακάτω θα παρουσιαστούν μερικά παραδείγματα χρήσεως του sonata για ευκολότερη κατανόηση του.

- Το IoT προβάλλει τη σημασία του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου αναφορικά με την παρακολούθηση, την ταξινόμηση και τη βελτίωση της λειτουργίας του.
- Η εγγυημένη, ανθεκτική και ασφαλής παροχή υπηρεσιών σε βιομηχανικά δίκτυα αντιπροσωπεύει βιομηχανικές υπηρεσίες δικτύου. Έχουν ως στόχο τον ορισμό ενός προγραμματιστικού μοντέλου, τον σχεδιασμό του SDK και το σχεδιασμό του περιβάλλοντος εκτέλεσης υπηρεσιών.
- Το Virtual Evolved Packet Core (vEPC) παρουσιάζει και εκτιμά την ανταγωνιστικότητα του SONATA για να εξελίξει μια εικονική EPC υπηρεσία σε ένα LTE κινητό δίκτυο.
- Η υπηρεσία PSS (Personal Security Service) ενισχύει τις υπηρεσίες ασφάλειας του δικτύου για να ενεργοποιήσει την ασφαλή πρόσβαση δικτύου.

#### **5.1.14 Virtuwind (Εικονικό και προγραμματιζόμενο πρωτότυπο βιομηχανικού δικτύου που αναπτύσσεται σε λειτουργικό αιολικό πάρκο)**

Το Virtuwind αναπτύσσει ένα SDN και NFV οικοσύστημα βασισμένο σε ένα ανοικτό, αρθρωτό και ασφαλές πλαίσιο, επιδεικνύοντας ένα πρωτότυπο σενάριο σε ένα πραγματικό αιολικό πάρκο, για να επικυρώσει με τον τρόπο αυτό την οικονομική βιωσιμότητα του. Το δίκτυο ελέγχου του αιολικού πάρκου έχει επιλεγεί ως μια επαγγελματική εφαρμογή από το VirtuWind διότι η αιολική ενέργεια είναι ο κύριος κόσμος για την παραγωγή βιώσιμης ενέργειας. Οι βασικοί στόχοι του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου είναι οι εξής:

- Υλοποίηση QoS βιομηχανική SDN ποιότητας για SDN λύση.
- Εγγύηση QoS για υποσύστημα βασισμένο σε SDN.
- Μείωση του χρόνου και του κόστους για την παροχή υπηρεσιών και τη συντήρηση του δικτύου.
- Εξασφάλιση της ασφάλειας κατά τον σχεδιασμό SDN και NFV υποσυστήματος.
- SDN και NFV πρωτότυπο σενάριο δοκιμαστικού πεδίου τόσο εντός του ίδιου δικτύου όσο και μεταξύ διαφορετικών.

Το συγκεκριμένο έργο προσαρμόζει την SDN δικτύωση σύμφωνα με τις απαιτήσεις των βιομηχανικών δικτύων για την ανάπτυξη μηχανισμών SDN, με σκοπό την εφαρμογή QoS βιομηχανικής ποιότητας και μείωση των κεφαλαιουχικών(CAPEX) και λειτουργιών

δαπανών(OPEX) για το δίκτυο ελέγχου των αιολικών πάρκων. Το δίκτυο αιολικού πάρκου έχει επιλεγεί ως μια επαγγελματική εφαρμογή της VirtuWind, καθώς η αιολική ενέργεια έχει πλέον καθιερωθεί ως ο κύριος κορμός της βιώσιμης παραγωγής ενέργειας. Με λιγότερα χρήματα στις υποδομές του δικτύου το VirtuWind, θα βοηθήσει τα μέγιστα για την μείωση του συνολικού κόστους ενέργειας. Θα φέρει επίσης πολλαπλά πλεονεκτήματα σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς στα δίκτυα επικοινωνίας τους. Με αναμενόμενη εκθετική αύξηση των συνδεδεμένων συσκευών, τα μελλοντικά δίκτυα απαιτούν μια ανοιχτή αρχιτεκτονική λύσεων που να διευκολύνεται από τα πρωτότυπα σενάρια και από ένα ισχυρό οικοσύστημα. Τότε οι συνδεδεμένες συσκευές θα έχουν εύκολη σύνδεση στο διαδίκτυο με την προϋπόθεση να εξασφαλίσουν όταν ζητηθεί το είδος της υπηρεσίας όπου θα εγγυάται υψηλό εύρος ζώνης και μερική καθυστέρηση για εξάλειψη του φαινομένου απώλειας πακέτων. Το δίκτυο θα καλύπτει τους πόρους που απαιτούνται ώστε να προγραμματίσει τις ενδιάμεσες συσκευές με βάση το προφίλ της συσκευής. Με την δικτύωση SDN και την εικονικοποίηση NFV θα παρέχει συνδεσιμότητα, ταχεία παροχή και σύνδεση υπηρεσιών.

#### **5.1.15 Sesame (Μικρός συντονισμός κελιών Cells για πολλαπλές υπηρεσίες μίσθωσης και edge)**

Το συγκεκριμένο έχει βασικό στόχο την ανάπτυξη της ιδέας των μικρών κυψελών. (small cells) καθώς και την τοποθέτηση δεδομένων στην άκρη του δικτύου μέσω NFV και της τεχνολογίας Edge Cloud Computing. Επικροτεί επίσης την ενοποίηση του όρου software multi – tenancy στις υποδομές επικοινωνιών, το οποίο θα επιτρέπει σε πολλούς φορείς/παρόχους υπηρεσιών να δημιουργήσουν νέα μοντέλα και παράλληλα να βελτιώσουν την ικανότητα πρόσβασης, καθώς και τις δυνατότητες της τεχνολογίας Edge Computing.

Το SESAME προτείνει την τεχνολογία CESC, η οποία ολοκληρώνει μια πλατφόρμα εικονικής εκτέλεσης για την ανάπτυξη της εικονικοποίησης δικτύου. Εκτελεί καινοτόμες εφαρμογές και υπηρεσίες στο εσωτερικό της υποδομής του δικτύου πρόσβασης, με την βοήθεια της τεχνολογίας Light DC.

Αυτή η τεχνολογία θα διαθέτει επεξεργαστές χαμηλής ισχύος και επιταχυντές υλικού για κρίσιμες λειτουργίες αναφορικά με το χρόνο και θα οικοδομήσει μια υψηλά διαχειρισμένη υπολογιστική υποδομή στα άκρα του δικτύου. Αυτή η συμφωνία θα επιτρέψει σε νέους ενδιαφερόμενους να εισέλθουν δυναμικά μέσα στην αλυσίδα των επικοινωνιών, ενεργώντας ως πάροχοι σε περιοχές υψηλής τεχνολογίας όπου η πύκνωση πολλαπλών δικτύων δεν είναι εφικτή.

Οι κύριοι στόχοι επίτευξης του πρωτοκόλλου έχουν ως εξής:

- Προδιαγραφές, σχεδιασμός και υλοποίηση της τεχνολογίας Light DC χαμηλού κόστους για την παροχή υποστήριξης της οπτικοποίησης του δικτύου.
- Προσδιορισμός και εξειδίκευση της αρχιτεκτονικής του συστήματος και των διεπαφών για την τροφοδότηση δικτύων small cells, βελτιστοποιημένη για διαφορετικά σενάρια και περιπτώσεις χρήσης.
- Έλεγχος, σχεδιασμός και υλοποίηση της τεχνολογίας CESC, υποστηρίζοντας τη δυνατότητα πολλαπλών μισθώσεων (multi – tenant) και υποδομών πρόσβασης πολλαπλών υπηρεσιών (multi – service).
- Σχεδιασμός και ανάπτυξη ενός πλαισίου για τον αποτελεσματικό προγραμματισμό των πόρων και την διαχείριση της τεχνολογίας των small cells ως κατανεμημένη υποδομή της οπτικοποίησης του δικτύου.
- Ανάλυση αγοράς και δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων. Τεχνο-οικονομική ανάλυση για την αξιοποίηση και εμπορική εκμετάλλευση από βιομηχανικούς εταίρους.
- Ενημέρωση αποτελεσμάτων του πρωτοκόλλου προς τους ενδιαφερόμενους.
- Δημιουργία και αξιοποίηση των συνεργασιών με τα υπόλοιπα έργα 5G – PPP.

#### **5.1.16 mmMagic( Κύμα βασισμένο στο κινητό δίκτυο πρόσβασης για την 5η γενιά ολοκληρωμένων επικοινωνιών παραγωγής)**

Η χρήση υψηλών συχνοτήτων για την υλοποίηση των 5G υπηρεσιών είναι απαραίτητη επειδή απαιτείται μεγάλος αριθμός δεδομένων, καθώς και σε αρκετές περιπτώσεις μικροί χρόνοι αναμονής. Θα εξεταστούν η ανάπτυξη διαφόρων κυματομορφών, η δομή πλαισίων και η αριθμολογία και θα σχεδιαστούν νέες προσαρμοστικές και συνεργατικές τεχνικές σχηματισμού δέσμης και παρακολούθησης για την αντιμετώπιση των ειδικών προκλήσεων των κινητών τηλεπικοινωνιών mmWaves. Το mmMagic πραγματοποιεί μετρήσεις ασύρματων καναλιών και εκπέμπει στις συχνότητες των 6 – 100GHz. Αναπτύσσει επίσης παλιότερα μοντέλα καναλιών για επικύρωση και ανάλυση σκοπιμότητας των προηγούμενων εννοιών.

### 5.1.17 METIS II

Το έργο METIS II παρέχει ένα συνολικό RAN σχεδιασμό 5 ης γενιάς, περιγράφοντας μια συνολική αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου στοίβας. Περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες και διεπαφές που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της τεχνολογίας της 5<sup>ης</sup> γενιάς. Ο συνολικός RAN σχεδιασμός βασίζεται στους ακόλουθους άξονες:

- Ολιστική (σφαιρική) αρχιτεκτονική διαχείρισης του φάσματος
- Ολιστικό πλαίσιο εναρμόνισης της διεπαφής αέρα.
- Ευέλικτη διαχείριση πόρων (RM).
- Πλαίσιο πρόσβασης και κινητικότητας για προσπέλαση ανεξάρτητα από το επίπεδο (Cross- layer) και τη διεπαφή αέρα (cross – air – interface).
- Κοινό πλαίσιο ελέγχου και επιπέδου χρήστη.

Το έργο METIS II φιλοδοξεί να επιτύχει τους ακόλουθους στόχους:

- Ανάπτυξη του συνολικού RAN σχεδιασμού 5<sup>ης</sup> γενιάς. Ιδιαίτερη εστίαση στο σχεδιασμό της τεχνολογίας για μια αποτελεσματική ενσωμάτωση των εννοιών των δικτύων ασύρματης πρόσβασης σε ένα ολιστικό σύστημα.
- Παροχή του πλαισίου συνεργασίας μέσα στο πρόγραμμα 5G – PPP για τον RAN σχεδιασμό 5<sup>ης</sup> γενιάς και μια κοινή αξιολόγηση των RAN εννοιών, τόσο από την άποψη των επιδόσεων όσο και από τεχνο – οικονομική άποψη. Συγκεκριμένα, το METIS II επαναπροσδιορίζει τα σενάρια 5<sup>ης</sup> γενιάς, τις απαιτήσεις και τους κύριους δείκτες απόδοσης (KPIs). Αναπτύσσει ένα πλαίσιο αξιολόγησης ανοιχτού κώδικα, καθώς και εργαλεία απεικόνισης για την επεξήγηση των βασικών περιπτώσεων χρήσης και των RAN σχεδιαστικών λύσεων.

### 5.1.18 Ensure

Το πρωτόκολλο Ensure επιδιώκει να αναπτύξει μια αρχιτεκτονική ασφαλείας για τα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς, έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί από όλα τα πρωτόκολλα και να δικαιολογεί την ύπαρξη του προσφέροντας ένα μεγάλο σύνολο προϋποθέσεων ασφαλείας για την αντιμετώπιση προβλημάτων. Οι βασικές δικλίδες ασφαλείας είναι:

- AAA (Authentication, Authorization, Account)
- Προστασία προσωπικών δεδομένων (Privacy)
- Εμπιστοσύνη (Trust)



- Παρακολούθηση ασφαλείας (Security Monitoring)
- Διαχείριση δικτύου (Network Management)
- Απομόνωση της εικονικοποίησης (Virtualization Isolation)

Προκειμένου να διασφαλιστούν οι προϋποθέσεις προστασίας προσωπικών δεδομένων, το 5G Ensure αναζητά τις απαιτήσεις προστασίας της ιδιωτικής ζωής των χρηστών εκ των προτέρων και την παροχή μηχανισμών ασφαλείας, που θα είναι σε θέση να αποτρέψουν τις παραβιάσεις της ιδιωτικής ζωής. Για παράδειγμα ανωνυμία με χρήση προσωρινής ταυτότητας, μηχανισμοί ελέγχου πρόσβασης και νέο σύστημα κρυπτογράφησης.

Το έργο 5G – Ensure στοχεύει στην παροχή νέων καινοτόμων λύσεων, εξασφαλίζοντας το υψηλότερο επίπεδο ασφαλείας και ανθεκτικότητας. Η τεχνολογία IoT θα εξελίξει τα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς συμβάλλοντας στην κατανομή των πόρων του δικτύου. Η διαχείριση των δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς θα αλλάξει ριζικά με την εφαρμογή της SDN δικτύωσης. Θα αλλάξει την διαχείριση του δικτύου σε μια πιο συγκεντρωτική προσέγγιση. Το 5G-Ensure αναμένετε να έχει στρατηγική απήχηση στον τομέα της τεχνολογίας και τον επιχειρηματικό τομέα. Με τους κατάλληλους μηχανισμούς σε μια σύγχρονη δικτυωμένη κοινωνία θα προσελκύσει νέους χρήστες στο δίκτυο.

Η δικτύωση σχετίζεται άμεσα με τα δίκτυα νέας γενιάς (NGN), στα οποία απαιτείται μία αρχιτεκτονική ασφάλειας για να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις των παρόχων δικτύου και υπηρεσιών, των επιχειρήσεων και των καταναλωτών. Θα αντιμετωπίζει θέματα ασφάλειας που σχετίζονται με τη διαχείριση, τον έλεγχο και τη χρήση της δικτυακής υποδομής, των υπηρεσιών και των εφαρμογών.

#### **5.1.19 Crosshaul**

Ο στόχος του Crosshaul είναι ότι θα δώσει λύση σε ζητήματα κόστους και δικτυακής αποτελεσματικότητας. Λειτουργεί ενσωματώνοντας τα τμήματα fronthaul και backhaul του δικτύου με παράλληλη στήριξη των υφιστάμενων και των νέων πρωτοκόλλων ασύρματης πρόσβασης. Το δίκτυο μεταφορών θα διασύνδει με ευελιξία την κατανεμημένη ασύρματη πρόσβαση και τις λειτουργίες δικτύου του πυρήνα, μέσω δύο νέων δομικών στοιχείων:

- Ένα ενοποιημένο επίπεδο δεδομένων που περιλαμβάνει καινοτόμες τεχνολογίες μετάδοσης υψηλής χωρητικότητας (5G – Crosshaul Forwarding Element, XFE).
- Υποδομή ελέγχου χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο μοντέλο δικτύου για την ολοκλήρωση του επιπέδου ελέγχου (5G – Crosshaul Control Infrastructure, XCI).

Για να αυξηθεί η πολυπλοκότητα των κινητών δικτύων και να επιτευχθούν οι απαιτούμενοι ρυθμοί δεδομένων, πρέπει να υπάρξει υποστήριξη σε τεχνολογίες διεπαφής αέρα, όπως είναι οι τεχνολογίες CoMP, CA και mMIMO. Τέτοιες τεχνολογίες απαιτούν επεξεργασία πληροφοριών από πολλαπλούς σταθμούς βάσης ταυτόχρονα προς μια κοινή κεντρική οντότητα και επίσης ακριβή συγχρονισμό των διαφορετικών ασύρματων περιοχών. Ωστόσο οι τεχνολογίες fronthaul και backhaul θα πρέπει να πληρούν τις πιο αυστηρές προδιαγραφές, τόσο με τους ρυθμούς δεδομένων, αλλά επίσης και από την άποψη της καθυστέρησης και των ρυθμών σφαλμάτων bits.

Εκτός αυτού, οι λειτουργίες του σταθμού βάσης μπορούν να αναλυθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, αναδεικνύοντας την επονομαζόμενη ευέλικτη λειτουργική διάσπαση (flexible functional split), όπου ο διαχωρισμός μεταξύ των κεντρικών λειτουργιών καθώς και των απομακρυσμένων σταθμών βάσης μπορεί να ρυθμιστεί με βάση την εκάστοτε περίπτωση. Στο πλαίσιο αυτό, η διαίρεση μεταξύ fronthaul και backhaul δικτύων μεταφοράς, θα είχε μειωμένη απόδοση, καθώς ποικίλα τμήματα της λειτουργικότητας των δικτύων 5ης γενιάς θα μεταφερόταν στο Cloud για λόγους εξοικονόμησης κόστους.

## 5.2 5G-PPP project (2η Φάση)



### 5.2.1 ESSENCE

Το ESSENCE αντιμετωπίζει τα παραδείγματα του Edge Cloud computing και του Small Cell ως υπηρεσίες τροφοδοτώντας τους οδηγούς και αφαιρώντας τα εμπόδια στην αγορά Small Cell, που προβλέπεται να αναπτυχθούν με εντυπωσιακό ρυθμό έως το 2020 και μετά και να διαδραματίσουν βασικό ρόλο στο 5G οικοσύστημα. Το ESSENCE παρέχει μια εξαιρετικά ευέλικτη και επεκτάσιμη πλατφόρμα, ικανή να υποστηρίξει νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ροές εσόδων δημιουργώντας μια ουδέτερη αγορά υποδοχής και μειώνοντας το λειτουργικό κόστος παρέχοντας νέες ευκαιρίες ιδιοκτησίας, ανάπτυξης, λειτουργίας και απόσβεσης.

Η τεχνική προσέγγιση εκμεταλλεύεται τα οφέλη της συγκέντρωσης των λειτουργιών Small Cell καθώς η κλίμακα μεγαλώνει μέσα από ένα περιβάλλον νέφους που βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική δύο επιπέδων: ένα πρώτο επίπεδο καταναμημένου για παροχή υπηρεσιών χαμηλού λανθάνοντος χρόνου. Το δεύτερο συγκεντρωτικό επίπεδο για την παροχή υψηλής επεξεργαστικής ισχύος για υπολογισμούς και εντατικές εφαρμογές δικτύου. Αυτό επιτρέπει την αποσύνδεση των επιπέδων ελέγχου και χρήστη του δικτύου πρόσβασης ραδιοφώνου (RAN) και την επίτευξη των πλεονεκτημάτων του Cloud-RAN χωρίς τους τεράστιους περιορισμούς καθυστέρησης fronthaul. Η χρήση μηχανισμών τεμαχισμού δικτύου από άκρο σε άκρο θα επιτρέψει την κοινή χρήση της υποδομής ESSENCE μεταξύ πολλαπλών φορέων εκμετάλλευσης / κάθετων βιομηχανιών και προσαρμογής των δυνατοτήτων της σε βάση μίσθωσης. Η ευελιξία της αρχιτεκτονικής ενισχύεται από τεχνικές εικονικοποίησης υψηλής απόδοσης για απομόνωση δεδομένων, μείωση λανθάνοντος χρόνου και αποδοτικότητα πόρων και ενορχηστρώνοντας ελαφρούς εικονικούς πόρους που επιτρέπουν την αποτελεσματική τοποθέτηση λειτουργιών εικονικού δικτύου και ζωντανή μετανάστευση. Αξιοποιεί γνώσεις, μονάδες SW και πρωτότυπα από διάφορα έργα 5G-PPP φάσης πρώτης, με το SESAME να είναι ιδιαίτερα σχετικό. Με βάση αυτά τα θεμέλια, στοχεύονται πολύ φιλόδοξοι στόχοι, που κορυφώνονται με το πρωτότυπο και την επίδειξη του συστήματος ESSENCE σε τρεις πραγματικές περιπτώσεις χρήσης που σχετίζονται με κάθετες βιομηχανίες, δηλαδή, επιτάχυνση δικτύου αιχμής σε ένα γεμάτο συμβάν, κρίσιμες εφαρμογές αποστολών και επικοινωνίες πτήσεων.

### 5.2.2 MEDIA

Στοχεύει στην καινοτομία εφαρμογών που σχετίζονται με τα μέσα ενημέρωσης με την έρευνα πώς εφαρμόζονται και το υποκείμενο δίκτυο 5G πρέπει να συνδεθεί και διεργασία προς όφελος και των δύο. οι στόχοι του είναι οι εξής:

- Κεφαλαιοποίηση και σωστά επέκταση των πολύτιμων αποτελεσμάτων του 5G-PPP.
- Ανάπτυξη λειτουργιών δικτύου και εφαρμογές μέσω των οποίων θα αποδειχθούν στις υλοποιήσεις μεγάλης κλίμακας.

Το MEDIA βασίζεται σε τρεις βασικές χρήσεις περιπτώσεις διαφορετικών απαιτήσεων και είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον για τους εταίρους της κοινοπραξίας. Περιοχές καλύπτονται με τα συναρπαστικά μέσα και το VR. Το έξυπνο προϊόν είναι δημιουργημένο από τον χρήστη περιεχομένου και το UHD μέσω CDN. Είναι βασισμένο στην υιοθέτηση της ανοιχτής καινοτομίας στην προσέγγιση. Η πλατφόρμα MEDIA έχει τρία μέρη για επέκταση. Συνδυασμός, επαλήθευση και ανάπτυξη. Επικυρώνει τις εφαρμογές πολυμέσων χρησιμοποιώντας τις SDK δυνατότητες και προσφοράς πλατφόρμας υπηρεσιών. Σκοπεύει να δημιουργήσει βασικούς κλάδους τομείς του δικτύου και των τομέων πολυμέσων για συμπληρωματικότητα εμπειρίας των συνεργατών του σε επιχειρήσεις.

### **5.2.3 CAR(Ερευνα και καινοτομία στην αυτοκινητοβιομηχανία της Πέμπτης Γενιάς)**

Ο κύριος στόχος στο έργο 5G CAR είναι:

- Να αναπτύξει μια συνολική αρχιτεκτονική συστήματος 5G παρέχοντας βελτιστοποιημένο V2X από άκρο σε άκρο, για συνδεσιμότητα δικτύου να είναι αξιόπιστο και να παρέχει υπηρεσίες χαμηλού λανθάνοντος χρόνου V2X, οι οποίες να υποστηρίζουν την ασφάλεια και το απόρρητο. Να διαχειρίζεται επίσης την ποιότητα εξυπηρέτησης που παρέχει η κυκλοφορία.
- Διαχείριση σε multi-RAT και multi-link V2X επικοινωνία στο σύστημα.
- Συνεργασία πολλαπλών RAT που επιτρέπουν ενσωμάτωση υπάρχουσας επικοινωνίας σε 5G V2X.
- Να αναπτύξει ένα αποτελεσματικό, ασφαλές και επεκτάσιμο σύνδεσμο για επικοινωνίες V2X χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας.
- Να προτείνει 5G ράδιο-υποβοηθούμενες θέσεις και τεχνικές για τους δύο ευάλωτους χρήστες του δρόμου.
- Να παρέχει ιδανικά επιχειρηματικά μοντέλα και να υποστηρίζει ένα ευρύ γκάμα υπηρεσιών 5G V2X.
- Επίδειξη και επικύρωση των ανεπτυγμένων εννοιών και αξιολόγηση της ποσότητας.
- Αναμένετε να έχει επιρροή σε μοντέλα όπως το 3GPP και το 5GAA.

#### **5.2.4 CITY (Μια καταναμημένη πλατφόρμα Cloud & Radio για ουδέτερους κεντρικούς υπολογιστές 5G)**

Ο απώτερος στόχος του City είναι η μεγιστοποίηση της απόδοσης της επένδυσης για ολόκληρη της ψηφιακής αλυσίδας της αγοράς (χρήστες, εφαρμογές, πάροχοι cloud, δηλαδή, οι δήμοι, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών και οι πάροχοι υποδομής). Για να γίνει αυτό, ο κύριος στόχος του City είναι η δημιουργία και η ανάπτυξη μιας κοινής, ανοιχτής πλατφόρμας πολλαπλών ενοικιαστών που επεκτείνει το (κεντρικό) μοντέλο cloud στο άκρο του δικτύου, με μια επίδειξη σε τρεις διαφορετικές πόλεις (Βαρκελώνη, Μπρίστολ και Λούκα). Συνεπώς, προωθεί την τελευταία λέξη της τεχνολογίας για να επιλύσει τις κύριες ανοιχτές ερευνητικές προκλήσεις στον τομέα εικονικοποίησης αιχμής. Βασίζεται σε 5G, συμπεριλαμβανομένης της ουδέτερης προοπτικής φιλοξενίας σε πυκνά περιβάλλοντα ανάπτυξης όπως πόλεις. Έτσι, το City σχεδιάζει και αναπτύσσει μια καταναμημένη πλατφόρμα cloud και ραδιοφώνου για δήμους και ιδιοκτήτες υποδομής που ενεργούν ως ουδέτεροι κεντρικοί υπολογιστές 5G.

#### **5.2.5 MoNArch (Αρχιτεκτονική δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G για διάφορες υπηρεσίες, περιπτώσεις χρήσης, και εφαρμογές σε 5G και μετά)**

Τα κύρια αντικείμενα που ασχολείται το MoNArch συνοψίζονται παρακάτω:

- Λεπτομερείς πληροφορίες και ολοκλήρωση στις 5G έννοιες ως προς ένα πλήρως άκρο αρχιτεκτονικής δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G.
- Επέκταση του υπάρχοντος δικτύου κινητής τηλεφωνίας και αρχιτεκτονική σχεδίαση με ένα σύνολο κλειδιών επιτρέποντας καινοτομίες: ( Έλεγχος μεταξύ των τεμαχίων και διαχείριση μεταξύ τομέων, εγγενής στοίβα πρωτοκόλλων με δυνατότητα cloud, μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση με βάση το πείραμα.
- Λειτουργικές καινοτομίες για τις τεχνολογίες που απαιτείται για τις δύο περιπτώσεις χρήσης λεπτομερώς στο έργο. Η πρώτη χρήση είναι σε ελαστική και ασφαλή κατακόρυφο εφαρμογή βιομηχανίας, η δεύτερη σε έναν ελαστικό ενισχυμένο κινητό πόρων ευρυζωνική εφαρμογή.
- Ανάπτυξη και υλοποίηση της αρχιτεκτονικής και καινοτομίες στις δύο πειραματικές πραγματικές περιοχές δοκιμών: Έξυπνο θαλάσσιο λιμάνι, υλοποιώντας την ανθεκτικότητα και την χρήση ασφάλειας, και Τουριστική πόλη, υλοποιώντας Ελαστική Πόλη χρήσης.
- Αξιολόγηση, επικύρωση και επαλήθευση της απόδοσης των ανεπτυγμένων αρχιτεκτονικών και καινοτομιών.

Το MoNArch έχει πολύ υψηλή ισχύ για εμπορική επίπτωση, συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης προϊόντων (π. χ. ενορχηστρωτές ή cloud-edge RAN), νέες υπηρεσίες και ευκαιρίες για νέα αγορά.

#### **5.2.6 PHOS (5G ολοκληρωμένα δίκτυα Fiber-Wireless που εκμεταλλεύονται υπάρχουσες τεχνολογίες φωτονίων για υψηλής πυκνότητας προγραμματιζόμενες αρχιτεκτονικές δικτύου SDN)**

Το PHOS είναι ένα έργο που εστιάζει σε 5G ολοκληρωμένα δίκτυα Fiber-Wireless που αξιοποιούν τις υπάρχουσες τεχνολογίες φωτονίων για την υλοποίηση μιας υψηλής πυκνότητας προγραμματιζόμενης αρχιτεκτονικής δικτύου SDN. Το έργο έχει διάρκεια 3 ετών, που αποτελείται από μια κοινοπραξία 16 εταιρών και συντονίζεται από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Το PHOS προχωρά στην επένδυση και την αξιοποίηση ολοκληρωμένων οπτικών τεχνολογιών προς ενίσχυση της σύγκλισης Fiber-Wireless (FiWi) και πραγματοποίηση οικονομικά αποδοτικών και ενεργειακά αποδοτικών λύσεων δικτύου 5G για περιπτώσεις χρήσης υψηλής πυκνότητας. Το PHOS είναι η πρώτη συντονισμένη προσπάθεια που θα αντλήσει από τα υπάρχοντα επιστημονικά αποτελέσματα στον τομέα της φωτονικής προκειμένου να δημιουργήσει δίκτυα 5G για πυκνές, εξαιρετικά πυκνές και περιοχές Hot-Spot που ενσωματώνουν Φωτόνια Ολοκληρωμένα Circuits (PIC) στην παραγωγή οπτικών mmWave, υποβοηθούμενη από DSP οπτική μετάδοση, αναδιαμορφωμένη οπτική προσθήκη / απόθεση πολυπλεξίας (ROADM) και λειτουργίες οπτικής δέσμης. Το PHOS αναμένει να κυκλοφορήσει ένα απρόσκοπτο, δια λειτουργικό, RAT-agnostic και SDN-προγραμματιζόμενο δίκτυο FiWi 5G που υποστηρίζει κεραιές 64x64 MIMO στη ζώνη V.

#### **5.2.7 PICTURE**

Η εκρηκτική αύξηση της κίνησης στο Διαδίκτυο για κινητά εισάγει την ανάγκη να μετατραπούν οι παραδοσιακές κλειστές, στατικές και ανελαστικές υποδομές δικτύου σε ανοικτά, κλιμακούμενα και ελαστικά οικοσυστήματα που υποστηρίζουν νέους τύπους συνδεσιμότητας, υψηλή κινητικότητα και νέες κρίσιμες αποστολές υπηρεσίες για φορείς εκμετάλλευσης, προμηθευτές και κάθετες βιομηχανίες. Το PICTURE αναπτύσσει και θα επιδείξει μια συγκλίνουσα υποδομή fronthaul και backhaul που θα ενσωματώνει προηγμένες ασύρματες και νέες λύσεις οπτικού δικτύου. Για να αντιμετωπίσει τους περιορισμούς των τρεχουσών προσεγγίσεων D-RAN και C-RAN, το PICTURE θα εκμεταλλευτεί ευέλικτες λειτουργικές διασπάσεις που μπορούν να επιλεγούν δυναμικά, για τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας πόρων και ενέργειας. Αυτό οδηγεί σε αλλαγή παραδείγματος, από RAN και C-RAN σε ANDis-Aggregated RAN' (DA-RAN). Το DA-RAN είναι μια νέα ιδέα όπου τα

HW και SW χωρίζονται σε ασύρματα, οπτικά και υπολογιστικά / αποθηκευτικά πεδία. Η «Αποσύνδεση πόρων» επιτρέπει την αποσύνδεση αυτών των στοιχείων, δημιουργώντας μια κοινή «ομάδα πόρων» που μπορεί να επιλεγεί ανεξάρτητα και να διατεθεί κατ'απαίτηση για τη σύνθεση οποιασδήποτε υπηρεσίας υποδομής. Οι βασικοί ενεργοποιητές για το DA-RAN είναι:

- «λογισμικό λογισμικού», μετεγκατάσταση από το συμβατικό μοντέλο κλειστού δικτύου σε ανοιχτή πλατφόρμα αναφοράς
- Προγραμματισμός HW. Όπου το HW διαμορφώνεται απευθείας από λειτουργίες δικτύου, για την παροχή της απαιτούμενης απόδοσης. Αυτό θα επιτρέψει την παροχή οποιασδήποτε υπηρεσίας με ευέλικτη ανάμιξη και αντιστοίχιση πόρων δικτύου, υπολογισμού και αποθήκευσης χωρίς να θυσιάζεται η απόδοση και η αποδοτικότητα, όπως συμβαίνει στις σημερινές λύσεις που βασίζονται στο NFV. Για την επικύρωση αυτών των δυνατοτήτων, το PICTURE θα παρουσιάσει συγκλίνουσες υπηρεσίες fronthaul και backhaul σε ένα έξυπνο περιβάλλον πόλης, ένα πειραματικό δοκιμαστικό σιδηροδρομικό σταθμό 5G που παρουσιάζει απρόσκοπτη παροχή υπηρεσιών και διαχείριση κινητικότητας σε κινούμενα περιβάλλοντα υψηλής ταχύτητας και ένα γήπεδο με εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα χρηστών, που υποστηρίζει υπηρεσίες πολυμέσων.

#### **5.2.8 TANGO (Πλατφόρμα ανάπτυξης και επικύρωσης για την παγκόσμια βιομηχανία. )**

Ο κύριος στόχος εντός του έργου TANGO είναι: Να μειώσει το me-to-market για το δίκτυο συντομεύοντας την υπηρεσία κύκλου ανάπτυξης με την πιστοποίηση αυτών των υπηρεσιών δικτύου προς έγκριση. Να εξαλείψει το εμπόδιο εισόδου σε τρίτους προγραμματιστές και υποστηρίζει τη δημιουργία και την σύνθεση λειτουργιών εικονικού δικτύου (VNFs) ως "Υπηρεσίες δικτύου". Να ενεργοποιήσει επίσης νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες σε κάθετες εφαρμογές απαιτήσεις. Επιταχύνει την απορρόφηση NFV στη βιομηχανία μέσω ενός «εκτεταμένου» μοντέλου DevOps και το επικυρώνει σε κλίμακα της υπηρεσίας δικτύου της πλατφόρμας 5G TANGO.

#### **5.2.9 Transformer**

Το 5G-Transformer στοχεύει να μεταμορφώσει το σημερινό κινητό δίκτυο μεταφορών σε φορητές μεταφορές και υπολογιστές με βάση SDN / NFV πλατφόρμας (MTP), η οποία φέρνει

το Δίκτυο Τεμαχισμού στην κινητή μεταφορά δίκτυα με την παροχή και διαχείριση MTP προσαρμοσμένο σε συγκεκριμένες ανάγκες στις βιομηχανίες. Η τεχνική προσέγγιση έχει τους ακόλουθους σκοπούς:

- Να ενεργοποιήσει κάθετες βιομηχανίες για να ανταποκριθούν στις δικές τους απαιτήσεις υπηρεσιών εντός προσαρμοσμένων MTP.
- Να δημιουργήσει συνολικές και ομοσπονδιακές μεταφορές σε δίκτυο δικτύωσης και υπολογιστών, από την άκρη μέχρι τον πυρήνα και το σύννεφο, προς το MTP σε μια εικονικοποιημένη υποδομή.

Θα υλοποιήσει εφαρμογές για βοήθεια στην οδήγηση, την υγεία και την ψυχαγωγία.

#### **5.2.10 Xcast**

Το Xcast θα είναι το πρώτο έργο 5G-PPP που θα επικεντρωθεί στην ολιστική εφαρμογή της πολλαπλής διανομής / εκπομπής ως κρίσιμου τεχνολογικού στοιχείου σε συστήματα 5G επιπλέον και ως συμπλήρωμα της unicast. Οι τεχνολογίες Xcast θα είναι επίσης θεμελιώδεις για την πρόοδο προς το όραμα μιας συγκλίνουσας υποδομής 5G για σταθερές και κινητές προσβάσεις, συμπεριλαμβανομένων επίγειων εκπομπών, σε περιεχόμενο οπτικοακουστικών μέσων. Το έργο θα ακολουθήσει μια ολιστική προσέγγιση για την εναρμόνιση της παράδοσης πολυμέσων μεταξύ των τριών εξεταζόμενων τύπων δικτύων και για την παροχή μιας βελτιστοποιημένης και απρόσκοπτης εμπειρίας χρήστη μέσω. Οι υπηρεσίες οπτικοακουστικών μέσων δημιουργούν πολύ μεγάλο όγκο κίνησης δεδομένων σε δίκτυα που κατανέμεται άνισα με την πάροδο του χρόνου και τις γεωγραφικές περιοχές. Ταυτόχρονα, η Ποιότητα της Εμπειρίας (QoE) εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από σταθερούς ελάχιστους ρυθμούς δεδομένων και χαμηλούς λανθάνοντες χρόνους σε όλους ανεξάρτητα από τον συνολικό αριθμό ταυτόχρονων χρηστών. Αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολο για πολύ δημοφιλείς ζωντανό περιεχόμενο (π. χ. αθλητικά) ή απρόβλεπτα γεγονότα (π. χ. έκτακτες ειδήσεις) που τείνουν να προκαλούν μεγάλες αυξήσεις της κυκλοφορίας. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις bit-rate 4k UHD TV, 8k UHD TV, και οι αναδυόμενες νέες διαδραστικές υπηρεσίες (π. χ. επαυξημένη πραγματικότητα, εικονική πραγματικότητα και οπτικά μέσα 360°) θα αυξήσουν περαιτέρω τη ζήτηση για χωρητικότητα και απόδοση δικτύου. Κανένα από τα υπάρχοντα δίκτυα, είτε σταθερά, είτε για κινητά είτε για εκπομπές, δεν έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει αυτό το είδος μελλοντικής ζήτησης από μόνο του λόγω περιορισμών που σχετίζονται με τη χωρητικότητα, την καθυστέρηση και το κόστος ανάπτυξης. Επιπλέον, το κατακερματισμένο τοπίο των πρωτοκόλλων και των API μεταξύ τους περιορίζει σοβαρά την



ικανότητά τους να συνεργάζονται για την αντιμετώπιση αυτής της ζήτησης. Το Xcast αναπτύσσει μια λύση που στοχεύει τέτοιους περιορισμούς και ως εκ τούτου αντιμετωπίζει τη μελλοντική ζήτηση, με βάση τις βασικές δυνατότητες του 5G που υπερβαίνουν κατά πολύ εκείνες των παλαιών συστημάτων.

#### **5.2.11 Bluespace (Αξιοποιώντας της χρήση των υποδομών και προβολής δικτύων χωρικών πολλαπλών Συστημάτων 5G στις προηγμένες τεχνολογίες και δυνατότητες δικτύωσης)**

Η βασική ιδέα του BLUESPACE είναι να εκμεταλλευτεί την προστιθέμενη αξία της χωρικής διαίρεσης Multiplexing (SDM) στο Radio Access Δίκτυο (RAN) με μια αποτελεσματική οπτική διεπαφή διαμόρφωσης δέσμης για την πραγματική ζώνη ασύρματης μετάδοσης Kaband. Το έργο BlueSpace προσπαθεί να αναπτύξει μια πραγματικά βιώσιμη και αποτελεσματική διαδρομή για ασύρματο 5G με αύξηση 1000 φορές τη χωρητικότητα και τη συνδεσιμότητα για περισσότερους από 1 δισεκατομμύριο χρήστες. Η BlueSPACE έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο από την κυκλοφορία της, αναπτύσσοντας αναλογικό fronthaul ραδιοσυνθετικών ινών (ARoF) με οπτική δέσμη και προτείνει μια μοναδική αρχιτεκτονική fronthaul βασισμένη στην πολυπλεξία διαχωρισμού διαστήματος (SDM) στον οπτικό τομέα με ίνες πολλαπλών πυρήνων (MCF). Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική επιτρέπει την κλιμάκωση της χωρητικότητας fronthaul για την υποστήριξη πολύ πυκνών αναπτύξεων δικτύου 5G, ενώ επιτρέπει επίσης την κοινή χρήση υποδομής μεταξύ ψηφιοποιημένου και αναλογικού fronthaul καθώς και άλλων υπηρεσιών πρόσβασης. Το blueSPACE επεκτείνει περαιτέρω την ευελιξία στο δίκτυο πρόσβασης, όπου οι χώροι χωρικών και μήκους κύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κοινού για δρομολόγηση, εναλλαγή και κατανομή πόρων. Το blueSPACE έχει αναπτύξει μια πλατφόρμα για καθορισμένη από το λογισμικό δικτύωση (SDN) και εικονικοποίηση λειτουργίας δικτύου (NFV) για να αποδείξει αυτά τα πλεονεκτήματα.

#### **5.2.12 IoRL**

Τα ασύρματα δίκτυα σε κτίρια υποφέρουν από συμφόρηση, παρεμβολές, προβλήματα ασφάλειας και ασφάλειας, περιορισμένη διάδοση και κακή ακρίβεια τοποθεσίας στην πόρτα. Το έργο Internet of Radio-Light (IoRL) αναπτύσσει ένα ασφαλέστερο, πιο ασφαλές, προσαρμόσιμο και έξυπνο δίκτυο κτιρίων που παρέχει αξιόπιστα αυξημένη απόδοση (μεγαλύτερη από 10 Gbps) από σημεία πρόσβασης που εντοπίζονται σε κτίρια, ενώ

ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές και την έκθεση στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και παρέχει τοποθεσία ακρίβεια μικρότερη από 10 cm. Το έργο IoRL παρέχει λύσεις στα δύο κύρια εμπόδια για την ανάπτυξη αυτής της λύσης ευρυζωνικής δικτύωσης σε κτίρια επειδή:

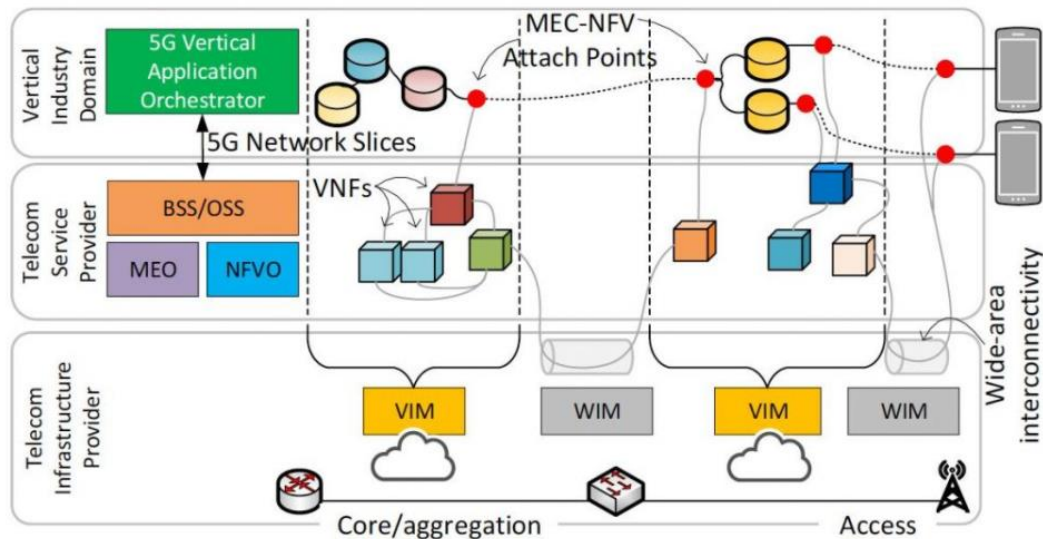
- Συγκεντρώνει μια διεπιστημονική ομάδα ερευνητικών ιδρυμάτων και βιομηχανιών σε ένα πρόγραμμα συνεργασίας για την ανάπτυξη και την επίδειξη αυτού του οράματος, οι οποίοι διαφορετικά δεν θα είχαν συγκεντρωθεί για την επίτευξη αυτού του στόχου.
- Αναπτύσσει μια απόδειξη της επίδειξης έννοιας, η οποία θα λειτουργήσει ως βάση για την τυποποίηση μιας παγκόσμιας λύσης. Το σημείο εκκίνησης είναι η κοινή επίδειξη επικοινωνίας ορατού φωτός (VLC) στο Πανεπιστήμιο Tsinghua & ISEP, το mmWave στο Cobham Wireless και η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύωσης και δικτύου που ορίζεται από το λογισμικό (SDN / NFV) στο NCSR Demokritos. Οι προκλήσεις είναι:
- Ανάπτυξη λύσεων ευρυζωνικής επικοινωνίας για κτίρια ενσωματώνοντας αυτές τις τεχνολογίες για την εκμετάλλευση της διείσδυσης και της προσβασιμότητας των υπάρχοντων σημείων πρόσβασης ηλεκτρικού φωτός, των ευρυζωνικών δυνατοτήτων των τεχνολογιών mmWave και ορατού φωτός (VLC) και της ευελιξίας των λειτουργιών δικτύωσης και δικτύου που καθορίζονται από λογισμικό εικονικοποίηση (SDN / NFV).
- Βιομηχανικά σχεδιάστε μια λύση ράδιο-φωτός που μπορεί να ενσωματωθεί σε πληθώρα παραγόντων μορφής υφιστάμενων συστημάτων ηλεκτρικού φωτός και καταναλωτικών προϊόντων.

#### **5.2.13 MATILDA(Ένα ολιστικό, καινοτόμο πλαίσιο για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την εννοχήστρωση του 5G-ready εφαρμογές και υπηρεσίες δικτύου μέσω προγραμματιζόμενης υποδομής)**

Το όραμα της MATILDA είναι να σχεδιάσει και να εφαρμόσει ένα ολιστικό λειτουργικό πλαίσιο υπηρεσιών 5G end-to-end για την αντιμετώπιση του κύκλου ζωής του σχεδιασμού, ανάπτυξης και εννοχήστρωσης εφαρμογών 5G και υπηρεσιών δικτύου 5G μέσω προγραμματιζόμενης υποδομής, ακολουθώντας ένα ενοποιημένο μοντέλο προγραμματισμού και ένα σετ των αφαιρέσεων ελέγχου. Στόχος του είναι να επινοήσει και να πραγματοποιήσει μια ριζική αλλαγή στην ανάπτυξη λογισμικού για εφαρμογές έτοιμες για 5G, καθώς και λειτουργίες εικονικού και φυσικού δικτύου και υπηρεσίες δικτύου, μέσω της υιοθέτησης ενός

ενοποιημένου μοντέλου προγραμματισμού, του ορισμού των κατάλληλων αφαιρέσεων και της δημιουργίας ενός ανοιχτό περιβάλλον ανάπτυξης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την εφαρμογή καθώς και από προγραμματιστές λειτουργιών δικτύου. Έξυπνοι και ενοποιημένοι μηχανισμοί ενορχήστρωσης θα εφαρμοστούν για την αυτοματοποιημένη τοποθέτηση των εφαρμογών 5G και για τη δημιουργία και συντήρηση των απαιτούμενων slice δικτύου. Η επιβολή των πολιτικών ανάπτυξης και χρόνου εκτέλεσης παρέχεται μέσω ενός συνόλου μηχανισμών βελτιστοποίησης που παρέχουν σχέδια ανάπτυξης βασισμένων σε στόχους υψηλού επιπέδου και ένα σύνολο μηχανισμών που υποστηρίζουν την προσαρμογή χρόνου εκτέλεσης των στοιχείων της εφαρμογής ή και των λειτουργιών δικτύου βάσει πολιτικών που καθορίζονται για λογαριασμό ενός παρόχου υπηρεσιών. Η διαχείριση πολλαπλών τοποθεσιών των υπολογιστικών cloud / edge και των πόρων IoT υποστηρίζεται από έναν πολυεπίπεδο εικονικοποιημένο διαχειριστή υποδομής, ενώ η διαχείριση κύκλου ζωής των υποστηριζόμενων γραφικών προώθησης λειτουργιών εικονικού δικτύου (VNF-FGs) καθώς και ένα σύνολο δραστηριοτήτων διαχείρισης δικτύου παρέχονται από έναν πολύ - ιστότοπο NFV Orchestrator (NFVO). Οι μηχανισμοί ανάλυσης και προφίλ προσανατολισμένων στο δίκτυο και στις εφαρμογές υποστηρίζονται με βάση τον πραγματικό χρόνο καθώς και την εκ των υστέρων επεξεργασία των συλλεγόμενων δεδομένων από ένα σύνολο ροών παρακολούθησης. Τα εξελιγμένα 5G έτοιμα στοιχεία εφαρμογών, εφαρμογές, λειτουργίες εικονικού δικτύου και υπηρεσίες δικτύου με γνώμονα την εφαρμογή διατίθενται για ανοιχτούς ή εμπορικούς σκοπούς, επαναχρησιμοποίηση και επέκταση μέσω μιας αγοράς 5G.

Η έννοια της υπηρεσίας MATILDA και του λειτουργικού διαχωρισμού αντικατοπτρίζεται σαφώς στην τελική αρχιτεκτονική, της οποίας τα κύρια στοιχεία έχουν αναπτυχθεί πλήρως μέσα στο δεύτερο έτος του έργου. Ενώ η θεσμοθέτηση και διαχείριση του slice δικτύου που έχει επίγνωση της εφαρμογής (συμπεριλαμβανομένου του απαραίτητου συνόλου λειτουργιών δικτύου) πραγματοποιείται από το Network and Computing Slice Deployment Platform (NCSDP, υπεύθυνο του παρόχου τηλεπικοινωνιακών υποδομών), τη διαχείριση ανάπτυξης και εκτέλεσης ενός Η εφαρμογή πραγματοποιείται από το MATILDA VAO (υπεύθυνο του παρόχου υπηρεσιών), ακολουθώντας μια προσέγγιση προσανατολισμένη στο πλέγμα υπηρεσιών. Το NCSDP περιλαμβάνει ένα σύστημα OSS / BSS, ένα NFVO και έναν διαχειριστή πόρων που χειρίζονται το σύνολο των διευρυμένων διαχειριστών ευρείας περιοχής και εικονικής υποδομής (WIMs και VIMs). Με βάση την ερμηνεία της παρεχόμενης πρόθεσης slice, οι απαιτούμενοι μηχανισμοί διαχείρισης δικτύου ενεργοποιούνται και ενορχηστρώνονται δυναμικά.



#### 5.2.14 METRO-HAUL

Ο στόχος αυτού του έργου είναι να σχεδιάσει και να κατασκευάσει μια έξυπνη οπτική υποδομή μετρό ικανή να υποστηρίξει κίνηση που προέρχεται από ετερογενή δίκτυα πρόσβασης 5G, αντιμετωπίζοντας την αναμενόμενη αύξηση χωρητικότητας και τα ειδικά χαρακτηριστικά του, π. χ. κινητικότητα, χαμηλός λανθάνων χρόνος, χαμηλός ρυθμός κλπ. Αυτή η υποδομή θα υποστηρίζει επίσης μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών και περιπτώσεις χρήσης με ιδιαίτερη έμφαση στις υπηρεσίες από διάφορες βιομηχανίες κάθετες έως τις ΤΠΕ. Αυτό θα επιτευχθεί δημιουργώντας νέους κόμβους που βλέπουν την πρόσβαση και βλέπουν τον πυρήνα, πλήρεις με εγκαταστάσεις αποθήκευσης και υπολογισμού, που διασυνδέονται από νέα, φασματικά αποδοτικά και προσαρμοστικά δίκτυα οπτικής μετάδοσης. Οι προηγμένες έννοιες, όπως η αποσυναρμολόγηση υλικού και η εικονικοποίηση, θα βοηθήσουν στην επίτευξη απαιτητικών στόχων κόστους, επιτρέποντας ταυτόχρονα τον αυτοματισμό και τον προγραμματισμό - όλα υποστηρίζονται από ένα ειδικά σχεδιασμένο SDN επίπεδο ελέγχου που θα διασυνδέεται με εφαρμογές πελάτη, καλύπτοντας έξυπνα το ευρύ φάσμα των 5G KPI. Θα συντονίσει τα διαφορετικά στοιχεία μετάδοσης, εναλλαγής, δικτύωσης, υπολογισμού και αποθήκευσης, ενορχηστρώνοντας δυναμικές λύσεις για πολλές εφαρμογές 5G. Επιπλέον, το έργο θα συμμετάσχει ενεργά στους σχετικούς φορείς τυποποίησης, προωθώντας λύσεις METRO-HAUL στην ευρύτερη κοινότητα.

#### 5.2.15 NG-PAAS(Πλατφόρμα επόμενης γενιάς ως υπηρεσία)

Αυτό το πρωτόκολλο έχει στόχο να διευκολύνει ποιότητα κατασκευής, την ναυτιλία και τη λειτουργία σε διάφορες εφαρμογές εικονικού δικτύου (VNFs) με ποιότητα «telco-grade»

αλλά παρέχει επίσης οικοσύστημα που σπάει τα εμπόδια μεταξύ συνδεσιμότητας και υπολογισμού, συνδυάζοντας όλα τα είδη εφαρμογών τρίτων με τα VNFs για τη δημιουργία μεγαλύτερης ευκολίας και ισχυρά αντικείμενα cloud. Υποστηρίζει διαφορετικές διαμορφώσεις μέσω του «telco-grade» όπως FPGA / ARM /x86 και τη δυνατότητα κλιμάκωσης. Έχει επίσης ένα μοντέλο Dev-for-Operations για την αφαίρεση κάθετων εμποδίων. Διαθέτει υψηλή ποιότητα και υψηλή απόδοση σε αναπτυξιακά και λειτουργικά περιβάλλοντα και τέλος το μοντέλο OSS / BSS διασυνδέεται με cloud πόρους που υποστηρίζουν το Telco βελτιστοποιημένο για κόστος και απόδοση σε ένα εξαιρετικά δυναμικό περιβάλλον.

#### **5.2.16 NRG**

Ο απώτερος στόχος του έργου είναι να καταστήσει την ανάπτυξη των υπάρχουσών και νέων επικοινωνιακών και ενεργειακών υποδομών (στο πλαίσιο της Έξυπνης Ενέργειας ως Υπηρεσία) ευκολότερη, ασφαλέστερη, πιο ασφαλής και ανθεκτική από επιχειρησιακό και οικονομικό σημείο της οπτικής. Επιπλέον ερευνά σχετικά με εκτεταμένη μοντελοποίηση και εικονικοποίηση στοιχείων ενεργειακής υποδομής ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε συνδυασμό με την τηλεπικοινωνιακή υποδομή που καλύπτει όλο το φάσμα των επικοινωνιακών και υπολογιστικών αναγκών. Τα αποτελέσματα ξεπέρασαν όλες τις προσδοκίες και κάλυψαν πολλούς τομείς ενδιαφέροντος: Το έργο λειτούργησε ταυτόχρονα για να δημιουργήσει μια στοίβα λογισμικού εκτεταμένης φορητής υπολογιστικής, ανοιχτής πηγής, απόδειξη νέας τεχνολογίας, για γρήγορη και βέλτιστη ανάπτυξη γενικών και κεντρικών VNF εξοπλισμένων με πραγματικά αποκεντρωμένο, ασφαλές και αξιόπιστο συνδέστε το πλαίσιο παιχνιδιού για τον συνδυασμό VNFs. Όσον αφορά την πρωτοβουλία 5G-PPP, το NRG-5 ήταν πολύ ενεργό για την προβολή της τελευταίας καινοτομίας κατά τη διάρκεια της συνάντησης των διαφόρων ομάδων εργασίας. Τέλος, το έργο προώθησε τα κύρια αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν στην εκδήλωση EUCNC 2019, και σε δύο ανοιχτές ημέρες που φιλοξενήθηκαν στο Terni και το Παρίσι, αποτελούμενο από ενδιαφερόμενους φορείς τόσο από τομείς ενέργειας όσο και από τηλεπικοινωνίες ως φορείς τηλεπικοινωνιών, ιδιοκτήτες / χειριστές κάθετων slice, ιδιοκτήτης εγκαταστάσεων.

#### **5.2.17 ONE**

Αυτό το έργο έχει τους ακόλουθους στόχους:

- Να προτείνει προηγούμενες τεχνολογίες συνδέσμων και βελτιώσεις για να επιτρέψει τη λειτουργία πολλαπλών υπηρεσιών και την πρακτική εφαρμογή του “5G advanced pro” μέσω του MIMO και διαχείρισης συνδέσμων.
- Να ερευνήσει και να βελτιστοποιήσει την απόδοση της λειτουργίας τόσο για τον χειριστή όσο και για την εμπειρία του χρήστη.
- Να προσδιορίσει στοιχεία που οδηγούν στο κόστος και την ανάπτυξη που να επιτρέπουν τη βιώσιμη παροχή ασύρματων υπηρεσιών σε ανεπαρκείς περιοχές υπό περιορισμένες συνθήκες.

Τέλος συμβάλει να εμπλουτίσει την ιδιωτική ζωή όσο και τις επιχειρησιακές βιομηχανικές δραστηριότητες με βελτιωμένη ασύρματη επικοινωνία στις υπηρεσίες.

#### **5.2.18 SAT**

Το όραμα του έργου ήταν να αναπτύξει μια οικονομικά αποδοτική λύση «plug and play» satcom για το 5G, ώστε οι πωλητές δικτύων να επιταχύνουν την ανάπτυξη 5G σε όλες τις περιοχές και ταυτόχρονα να δημιουργήσουν νέες και αυξανόμενες ευκαιρίες αγοράς για τους ενδιαφερόμενους φορείς της βιομηχανίας satcom. Έχει καταφέρει να επιτύχει ενσωμάτωση σε δορυφορικές συνδέσεις έτσι ώστε η δορυφορική πύλη να παρουσιάζεται ως μη επίγειο δίκτυο (NTN) gNB και το δορυφορικό απομακρυσμένο τερματικό να εμφανίζεται ως NTN UE σε ένα δίκτυο πυρήνα 5G. Αξιοποιεί τις σχετικές ερευνητικές δραστηριότητες 5G και δορυφόρου για την αξιολόγηση και τον καθορισμό λύσεων που ενσωματώνουν δορυφόρο στην αρχιτεκτονική του δικτύου 5G. Στόχος η ανάπτυξη προτάσεων εμπορικής αξίας για δορυφορικές λύσεις δικτύου για 5G. Ορίζει και αναπτύσσει βασικούς τεχνικούς παράγοντες για τις προσδιορισμένες ερευνητικές προκλήσεις και επικυρώνει βασικούς τεχνικούς ενεργοποιητές σε περιβάλλον εργαστηριακών δοκιμών. Συμβάλλει στην τυποποίηση σε ETSI και 3GPP των δυνατοτήτων που επιτρέπουν την ενσωμάτωση λύσεων satcom στο 5G.

#### **5.2.19 SLICENET**

Το SliceNet έχει πραγματοποιήσει σημαντικά επιτεύγματα στην οικοδόμηση ενός πλαισίου για τον τεμαχισμό δικτύου σε πολλούς τομείς διαχείρισης, διευκολύνοντας την έγκαιρη και ομαλή υιοθέτηση 5G slice για κάθετους για την επίτευξη των απαιτητικών περιπτώσεων χρήσης τους και τη διαχείριση του QoE για υπηρεσίες slice. Το πλαίσιο μπορεί να

χρησιμοποιηθεί από κάθετους σε πολλούς τομείς. Πολλά επιτεύγματα πραγματοποιήθηκαν επίσης από την ομάδα του έργου στη διάδοση, την εκμετάλλευση και την τυποποίηση. Ο τεμαχισμός δικτύου 5G θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μία από τις σημαντικότερες καινοτομίες στις επικοινωνίες της δεκαετίας λόγω του ρόλου του στη μεγιστοποίηση της κοινής χρήσης πόρων δικτύου, στη βελτιστοποίηση της ευελιξίας για την κάλυψη διαφορετικών απαιτήσεων από διαφορετικές κάθετες επιχειρήσεις και στην αναβάθμιση των επιχειρησιακών δυνατοτήτων για την παροχή διαμορφώσιμων εγγυήσεων στην ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) ή / και ποιότητα εμπειρίας (QoE). Το SliceNet ακολούθησε μια πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική προσέγγιση για να επιτρέψει τη δημιουργία ενός αρθρωτού, επεκτάσιμου και επεκτάσιμου πλαισίου. Το έργο SliceNet πιστεύει ότι ο τεμαχισμός θα ανοίξει σημαντικό αριθμό νέων αγορών και θα επιτρέψει ένα ευρύ φάσμα απαιτητικών, αποκλίσεων και καινοτόμων περιπτώσεων χρήσης. Έχει αναπτύξει τις πιο κάτω εφαρμογές βασισμένες στην αρχιτεκτονική του ανάπτυξης.

- eHealth (Ηλεκτρονική υγεία). Ο στόχος είναι η χρήση δυναμικής κοπής 5G για διαγνωστικές υπηρεσίες ασθενοφόρων για ασθενείς που πάσχουν από εγκεφαλικό.
- Smart Grid (Εξυπνο δίκτυο). Στοχεύει στην βελτίωση του δικτύου ηλεκτρικής ισχύος Απομόνωση και αποκατάσταση ανίχνευσης σφαλμάτων (FDIR), μειώνοντας έτσι τη συχνότητα και τη διάρκεια των διακοπών ρεύματος.
- Smart city (Εξυπνη πόλη). Επιδιώκει να ορίσει μια αρχιτεκτονική κοπής δικτύου 5G για την εφαρμογή Smart Lighting, όπως λύση μέτρησης (αέριο, ενέργεια, νερό), απομακρυσμένη παρακολούθηση των υποδομών της πόλης (ρύπανση, θερμοκρασία, υγρασία, θόρυβος), πληροφορίες κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο και έλεγχος, διαχείριση φώτων πόλης ή κτιρίων και ειδοποιήσεις δημόσιας ασφάλειας για βελτιωμένους χρόνους απόκρισης έκτακτης ανάγκης.

#### **5.2.20 Global5g.org**

Αυτό το πρωτόκολλο ασχολείται με την υποστήριξη της ασφάλειας, της προστασίας της ιδιωτικής ζωής και των δεδομένων. Εστιάζει στην βιομηχανία της υγειονομικής περίθαλψης και διαθέτει πρότυπα για παρακολούθηση της προόδου και βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων στην ευαισθητοποίηση και την συναίνεση. Υποστηρίζει τα ευρωπαϊκά πρότυπα σε ζητήματα για να περαιτέρω ανάπτυξη πυκνών δικτύων σε ολόκληρη την Ε. Ε και βρίσκει βέλτιστες

πρακτικές και μοντέλα για τους ενδιαφερόμενους και την επιτάχυνση μικρών κυττάρων (small cells).

#### 5.2.21 TO-EURO-5G

Στοχεύει στο να υποστηρίξει τις δραστηριότητες του 5G στην Ευρώπη. Το έργο To-Euro-5G θα αναπτυχθεί περαιτέρω και θα προχωρήσει ένα στρατηγικό σχέδιο επικοινωνίας για να διασφαλιστεί ο καλύτερος δυνατός αντίκτυπος με τα τεχνικά αποτελέσματα του 5G PPP έργα και τις οριζόντιες δράσεις του. Υποστηρίζει το 5G PPP σε υψηλό επίπεδο στόχου της διατήρησης και βελτίωσης της ανταγωνιστικότητας στην βιομηχανία στον τομέα 5G. Διασφαλίζει ότι η ευρωπαϊκή κοινωνία, μέσω από κάθετους τομείς, μπορούν να απολαύσουν οικονομικά και κοινωνικά ωφέληματα από τα μελλοντικά δίκτυα 5G που μπορεί να παρέχει. Διαθέτει τρία επίπεδα:

- Διοικητικό Συμβούλιο (SB)
- Τεχνολογικό Συμβούλιο (TB)
- Συμβούλιο ομαδικής εργασίας (WG)

### 5.3 5G-PPP project (3η Φάση)



#### 5.3.1 EVE

Η φιλοδοξία του 5G-EVE είναι να δημιουργήσει τα θεμέλια για μια διεπισδυτική διάδοση δικτύων 5G από άκρο σε άκρο στην Ευρώπη. Το 5G-EVE υποστηρίζει αυτήν τη θεμελιώδη μετάβαση προσφέροντας σε κάθετες βιομηχανίες και σε όλα τα έργα 5GPPP της φάσης 3 εγκαταστάσεις για την επικύρωση των KPI του δικτύου και των υπηρεσιών τους. Η εγκατάσταση end-to-end 5G-EVE αποτελείται από τέσσερις χώρες (Γαλλία, Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδα), οι οποίες έχουν επιλεγεί λόγω της σημαντικής προηγούμενης εργασίας τους με κάθετες βιομηχανίες και φορείς τυποποίησης, στην κορυφή των τεχνολογικών τους ικανοτήτων 5G. Το 5G-EVE στοχεύει στη δημιουργία συνεργιών μεταξύ ενός σημαντικού αριθμού εγκαταστάσεων που θα διασφαλίσουν τη βιωσιμότητα και τον αντίκτυπο όσον



αφορά την εκμετάλλευση. Η εγκατάσταση 5G-EVE επιτρέπει πειράματα με ετερογενής πρόσβαση, συμπεριλαμβανομένου NR, αδειοδοτημένου / μη αδειοδοτημένου φάσματος, προηγμένης διαχείρισης φάσματος · Mobile Edge Computing, backhaul, core / service τεχνολογίες. Οι βιομηχανικοί κλάδοι διευκολύνονται στην προδιαγραφή και την ανάλυση των πειραμάτων μέσω ανάλυσης KPI.

### 5.3.2 Το 5G-VINNI

Το VINNI επιταχύνει την απορρόφηση του 5G στην Ευρώπη παρέχοντας μια εγκατάσταση end-to-end (E2E) που επικυρώνει την απόδοση των νέων τεχνολογιών 5G με τη λειτουργία δοκιμών προηγμένων υπηρεσιών κάθετου τομέα. Με λίγα λόγια παρέχει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Σχεδιάζει μια προσιτή εγκατάσταση 5G σε άκρο.
- Κατασκευάζει αρκετούς ιστότοπους που συνεργάζονται μέσω end to end.
- Παρέχει λειτουργίες σε συστήματα διαχείρισης για την εγκατάσταση του.
- Επικυρώνει τα KPIs και υποστηρίζει την εκτέλεση δοκιμής E2E για κάθετες περιπτώσεις.
- Αναπτύσσει ένα βιώσιμο μοντέλο επιχείρησης και οικοσυστήματος για υποστήριξη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης.
- Δείχνει την αξία λύσεων στην κοινότητα 5G σε σχετικά πρότυπα για εξασφάλιση υιοθέτηση αυτών των λύσεων.

### 5.3.3 GENESIS

Ο κύριος στόχος του GENESIS είναι η επικύρωση KPI για διάφορες περιπτώσεις χρήσης 5G, τόσο σε ελεγχόμενες ρυθμίσεις όσο και σε συμβάντα μεγάλης κλίμακας. Αυτό επιτυγχάνεται συγκεντρώνοντας αποτελέσματα από σημαντικό αριθμό έργων της ΕΕ καθώς και από τις εσωτερικές δραστηριότητες των εταιρών, προκειμένου να υλοποιηθεί μια ολοκληρωμένη Διευκόλυνση 5G End-to-end. Εφαρμόζει και επαληθεύει όλες τις εξελίξεις του προτύπου 5G, μέσω επαναληπτικής διαδικασίας ολοκλήρωσης και δοκιμών. Συμμετέχει επίσης σε μια ευρεία ποικιλία τεχνολογιών και καινοτομιών αλυσίδας που καλύπτουν όλους τους τομείς, επιτυγχάνοντας πλήρη κάλυψη του τοπίου 5G. Ενοποιεί ετερογενές φυσικά και εικονικά στοιχεία δικτύου κάτω από ένα κοινό πλαίσιο συντονισμού και ανοίγματος που εκτίθεται σε

πειραματιστές από κάθετες βιομηχανίες και επιτρέπει αυτοματοποιημένο τεμαχισμό και τον αυτοματισμό πειράματος.

Διαθέτει 5 πλατφόρμες διευκόλυνσης:

- Η πλατφόρμα της Αθήνας. Είναι μια κοινόχρηστη ραδιοφωνική υποδομή με δυνατότητα υπολογιστικής τεχνολογίας (gNBs και μικρά κελιά), με διαφορετικά εύρη και αλληλεπικαλυπτόμενη κάλυψη που υποστηρίζονται από έναν πυρήνα με δυνατότητα SDN / NFV, για την προβολή ασφαλούς παράδοσης περιεχομένου και εφαρμογών χαμηλού λανθάνοντος χρόνου σε μεγάλες δημόσιες εκδηλώσεις.
- Η πλατφόρμα της Μάλαγας. Αυτοματοποιημένη ενορχήστρωση και διαχείριση διαφορετικών τμημάτων δικτύου σε πολλούς τομείς, πάνω από το 5G NR και πλήρως εικονικοποιημένο βασικό δίκτυο για την προβολή κρίσιμων υπηρεσιών αποστολής στο εργαστήριο και σε εξωτερικές εφαρμογές.
- Η πλατφόρμα της Λεμεσού. Περιέχει ραδιοφωνικές διεπαφές διαφορετικών χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων, που συνδυάζουν επίγειες και δορυφορικές επικοινωνίες, ενσωματωμένες για να παρουσιάσουν τη συνέχεια της υπηρεσίας και την πανταχού παρούσα πρόσβαση σε ανεπαρκείς περιοχές.
- Η πλατφόρμα Surrey. Τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης που μπορούν να υποστηρίξουν μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανήματος (mMTC), συμπεριλαμβανομένων των 5G NR και NB-IoT, σε συνδυασμό με μια ευέλικτη διαχείριση πόρων ραδιοσυχνοτήτων (RRM) και πλατφόρμα κοινής χρήσης φάσματος για την προβολή τεράστιων υπηρεσιών IoT.

Η πλατφόρμα του Βερολίνου: Πολύ πυκνές περιοχές που καλύπτονται από διάφορες αναπτύξεις δικτύου, που κυμαίνονται από εσωτερικούς κόμβους έως νομαδικές εξωτερικές συστάδες, συντονισμένες μέσω προηγμένων τεχνολογιών ανασυγκρότησης για να παρουσιάσουν την εντυπωσιακή παροχή υπηρεσιών.

## **6 Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗΣ**

### **6.1 Συμπεράσματα**

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήσαμε και αναπτύξαμε εκτενώς τις τεχνολογίες και τοπολογίες των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Η συνεχής εξέλιξη των δικτύων έφερε ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα χρήσης της πέμπτης γενιάς, αυτό δίνει σ'όλους τους χρήστες παγκοσμίως τη χρήση εφαρμογών που παράγουν μεγάλους όγκους κίνησης δεδομένων. Για να εξυπηρετηθεί αυτή η ανάγκη, αφού χρόνο με το χρόνο οι χρήστες δικτύου κινητής τηλεφωνίας αυξάνονται, γίνεται απαραίτητη η κατασκευή έξυπνων συσκευών οι οποίες υποστηρίζουν και εξυπηρετούν τις απαιτήσεις χρηστών για το δίκτυο πέμπτης γενιάς. Δεδομένου ότι ο μεγαλύτερος όγκος δεδομένων για τους χρήστες εν κινήσει παράγεται από βίντεο συνεχούς ροής και εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης, τα υπάρχον δίκτυα δε θα είναι εφικτό να διεκπεραιώσουν την ομαλή λειτουργία αυτών. Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς ήρθε για να εξυπηρετήσει τις προσδοκίες χρηστών διότι θα έχουμε μικρότερες χρονικές καθυστερήσεις, υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, μεγάλο εύρος ζώνης αφού το ήδη υπάρχον φάσμα για το δίκτυο τέταρτης γενιάς είναι περιορισμένο. Οι διαδικασίες κατασκευής δικτύου 5G ξεκίνησαν το 2012, μετά από σημαντική μελέτη δομής και αρχιτεκτονικής των προτύπων, καθώς επίσης της ανάπτυξης των ήδη υπάρχον τεχνολογιών (LTE) ολοκληρώθηκε φέτος. Αυτό προαπαιτεί τη συνεχή εξέλιξη ακόμη και των νέων τεχνολογιών για δυνατότητες ευελιξίας ανάλογα με τις απαιτήσεις χρηστών. Για την εκπλήρωση των στόχων κινητών δικτύων πέμπτης γενιάς έχουν επιλεγθεί οι κατάλληλες αρχιτεκτονικές και τεχνολογίες. Η έντονη έλλειψη φάσματος ώθησε τις έρευνες για το δίκτυο πέμπτης γενιάς στην αρχιτεκτονική της έντονης πύκνωσης των κυψελών όπου σε συνδυασμό με τεχνολογίες όπως mmWave και Massive MIMO επιφέρουν μεγάλο όφελος στους χρήστες και στους παρόχους τηλεπικοινωνιών. Αυτό το μοντέλο αρχιτεκτονικής μειώνει την έκταση κάλυψης που αντιστοιχεί σε κάθε κυψέλη, την αύξηση του συνολικού αριθμού κυψελών δικτύου και την αύξηση χωρητικότητας αφού πραγματοποιείται μεγαλύτερη επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και μείωση μεγέθους των σταθμών βάσης. Άρα λιγότερο κόστος εγκατάστασης και μείωση κατανάλωσης ενέργειας. Κάποιες ακόμη σημαντικές αρχιτεκτονικές δικτύου πέμπτης γενιάς είναι η κεντρική διαχείριση των πόρων και η εικονικοποίηση με χρήση τεχνολογιών NFV και SDN. Με αυτή την αρχιτεκτονική γίνεται εξάλειψη παρεμβολών και κάθε χρήστης λαμβάνει το μέγιστο δυνατό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Το NFV και το SDN λειτουργώντας συνδυαστικά αποφέρουν τεράστια οφέλη στα δίκτυα πέμπτης γενιάς,

όπου το NFV προσφέρει ευκολία μετατροπής συναρτήσεων και αναβάθμισης, το SDN μέσω κεντροποιημένων ελεγκτών που επεξεργάζονται τα στοιχεία κίνησης δικτύου κι ανάλογα με τις ανάγκες κατευθύνει τον όγκο κίνησης. Ο συνδυασμός όλων αυτών των αρχιτεκτονικών και τεχνολογιών θα ήταν ιδανικός, όμως ελλοχεύει πολλά εμπόδια και προκλήσεις όπως αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Τη παρούσα στιγμή γίνονται απο ερευνητικά προγράμματα μελέτες που είναι σε εξέλιξη προκειμένου να αντιμετωπιστούν εμπόδια, ώστε τα κινητά δίκτυα πέμπτης γενιάς να γίνουν η απόλυτη εμπειρία χρηστών.

## **6.2 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη**

Όπως έχουμε αναφέρει πιο πάνω η καθιέρωση του 5G δικτύου ενδέχεται με το πέρασμα του χρόνου να φέρει αλλαγές στον τρόπο ζωής μας σε σχέση με τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες. Ενδέχεται να επηρεάσει διάφορους τομείς τόσο στην προσωπική μας ζωή όσο και στην επαγγελματική. Συνεχώς τα δίκτυα πέμπτης γενιάς επεκτείνονται όλο και σε περισσότερες χώρες ανά το παγκόσμιο. Η Ευρώπη αντιμετωπίζει διάφορες προκλήσεις τόσο οικονομικές όσο και κοινωνικές, όπως για παράδειγμα η βιώσιμη ανάπτυξη και η υγεία. Δισεκατομμύρια συσκευές εξαρτώνται από τη συνεχή σύνδεση τους στο διαδίκτυο. Το 5G είναι απίστευτα γρήγορο και σταθερό σε σχέση με το 4G και θα υποστηρίξει περισσότερους χρήστες. Ήρθε για να δώσει λύσεις σε διάφορους τομείς όπως την τεχνική νοημοσύνη, την ιατρική, την κυκλοφορία στις πόλεις, την ψυχαγωγία, την εκπαίδευση, την γεωργία την βιομηχανία αλλά και σε διάφορες επιχειρήσεις οι οποίες απαιτούν πολύ γρήγορη ροή δεδομένων. Παράλληλα βελτιώνεται η ασφάλεια μέσω των μηχανισμών ασφαλείας που αναπτύχθηκαν από τα 5G-PPP πρωτόκολλα. Εταιρίες κολοσσοί όπως Qualcomm Technologies και Ericsson έχουν επενδύσει εκατομμύρια στο δημόσιο τομέα μέσω μιας ανοιχτής πλατφόρμας καινοτομίας (Open Research Europe) που αναμένετε να αποφέρει οφέλη 210 δισεκατομμυρίων στην Ευρώπη. Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο όφελος προκύπτει από τον τομέα της έξυπνης γεωργίας. Οι τηλεπικοινωνιακοί παρόχοι έχουν δείξει ενδιαφέρον στον τομέα της έξυπνης γεωργίας και οι διαθέσιμες υπηρεσίες στην Ελλάδα έχουν στόχο η κάλυψη να φτάσει το 50% στο τέλος του 2021 και στο 100% σε 5-6 χρόνια. Οι πρακτικές εφαρμογές από τη χρήση του 5G στη γεωργία μπορεί να είναι στην παρακολούθηση μιας καλλιέργειας με δίκτυο αισθητήρων που θα παρακολουθούν πχ την θερμοκρασία, την υγρασία, τα παράσιτα, ή θα δίνουν εντολές για αυτόματο πότισμα ή ψεκασμούς, με τη βοήθεια δικτύου drones. Αντίστοιχα στην κτηνοτροφία θα μπορεί να υπάρχει απομακρυσμένη εποπτεία του κοπαδιού και πρόβλεψη μέσω αλγορίθμου για την εξέλιξη μιας κατάστασης. Πρέπει να

επεκταθεί η κάλυψη σε πολλές περιοχές ώστε οι χρήστες να απολαμβάνουν τις λειτουργίες του σύγχρονου δικτύου στη καθημερινότητα τους και να διευκολυνθεί ο τρόπος ζωής. Θα θέλαμε να δούμε λύσεις μέσω της τεχνικής νοημοσύνης όπως βελτίωση της παραγωγικότητας του νοσηλευτικού προσωπικού, μείωση των δαπανών υγείας, μάθησης αλλά και ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επιθυμούμε να βρεθούν λύσεις στο κυκλοφοριακό τομέα μέσω έργων για έξυπνες πόλεις. Οι παρόχοι και οι εταιρίες τηλεφωνίας θα πρέπει να μειώσουν το κόστος των συμβατών συσκευών ώστε να προσελκύσει περισσότερο κόσμο στην χρήση του 5G. Μια πρόταση που ευελπιστούμε να δούμε με την εξέλιξη του 5G, είναι η χρήση του σε αεροπλάνα. Αυτή τι στιγμή μόνο στην Αμερική και τον Καναδά υφίσταται. Δηλαδή με τα πέρασ του χρόνου να μπορούμε σε ολόκληρο το κόσμο να χρησιμοποιούμε τη τεχνολογία του μέσω των συμβατών συσκευών μας ενώ ταξιδεύουμε είτε για επαγγελματικούς σκοπούς είτε για βιντεοκλήσεις ή ψυχαγωγία. Ακόμα μια σημαντική εφαρμογή του 5G που θα δώσει ανάσες στο χώρο της ιατρικής είναι σε γιατρούς όταν έχουν χειρουργείο σε ασθένειες από διαφορετικά μέρη στο κόσμο. Όλες αυτές οι λειτουργίες μπορούν λύσουν τα χέρια σε εκατομμύρια κόσμο εάν αξιοποιηθούν σωστά αλλιώς ίσως να εγκυμονούν κινδύνους.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΩΝ

<b>5G-NORMA</b>	<b>5G novel radio multiservice adaptive network</b>
<b>5G-PPP</b>	<b>5G-Infrastructure public private partnership</b>
<b>AAA</b>	<b>Authentication Authorization Accounting</b>
<b>AMPS</b>	<b>Advanced Mobile Phone System NAI</b>
<b>API</b>	<b>Application Programmable Interfaces</b>
<b>AR</b>	<b>Augmented reality</b>
<b>ARof</b>	<b>Analog Radio over fiber</b>
<b>BS</b>	<b>Base station</b>
<b>CAPEX</b>	<b>Capital Expenditure</b>
<b>CDMA</b>	<b>Code division multiple access</b>
<b>CDN</b>	<b>Content Delivery Network</b>
<b>CESC</b>	<b>Cloud-Enabled small cell</b>
<b>CMOS</b>	<b>Complementary metal oxide semiconductor</b>
<b>C-RAN</b>	<b>Cloud radio access network</b>
<b>DSA</b>	<b>Dynamic spectrum access</b>
<b>DSP</b>	<b>Digital Signal Processing</b>
<b>EDGE</b>	<b>Enhanced data global evolution</b>
<b>FBMC</b>	<b>Filter bank multicarrier</b>
<b>FD MIMO</b>	<b>Full dimensional MIMO</b>
<b>FDMA</b>	<b>Frequency Division Multiple Access</b>
<b>GPP</b>	<b>Generation partnership project</b>
<b>GPRS</b>	<b>General Packet Radio Service</b>
<b>GSM</b>	<b>Global System for Mobile Communication</b>
<b>HDTV</b>	<b>High definition television</b>
<b>HW</b>	<b>Hardware</b>
<b>IEEE</b>	<b>Institute of electrical and electronics engineers</b>
<b>IMT</b>	<b>International telecommunication union</b>
<b>IoT</b>	<b>Internet of Things</b>
<b>IP</b>	<b>Internet protocol</b>
<b>IT</b>	<b>International Technology</b>
<b>ITU-R</b>	<b>International telecommunication union radio communication sector</b>
<b>KPI</b>	<b>Key Performance Indicators</b>
<b>LDPC</b>	<b>Low density parity check</b>
<b>LTE</b>	<b>Long Term Evolution</b>
<b>LTE-A</b>	<b>Long term evolution advanced</b>
<b>MAC</b>	<b>Media access control</b>
<b>MCF</b>	<b>Multi Core Fiber</b>

<b>MEC</b>	<b>Mobile Edge</b>
<b>MIMO</b>	<b>Multiple input and multiple output</b>
<b>MMS</b>	<b>Multimedia Messaging Service</b>
<b>mmWAVE</b>	<b>Millimeter wave</b>
<b>MTP</b>	<b>Mobile Transform Platform</b>
<b>NFV</b>	<b>Network function virtualization</b>
<b>NGN</b>	<b>Next Generation Networks</b>
<b>NMT</b>	<b>Nordic Mobile Telephony</b>
<b>OPEX</b>	<b>Operational Expenditure</b>
<b>PICs</b>	<b>Photonic Integrated Circuits</b>
<b>PLS</b>	<b>Physical Layer Security</b>
<b>PSS</b>	<b>Personal Security Service</b>
<b>QOS</b>	<b>Quality Of Service</b>
<b>RAN</b>	<b>Radio Access Network</b>
<b>RAT</b>	<b>Radio access technology</b>
<b>RF</b>	<b>Radio frequency</b>
<b>RFB</b>	<b>Reusable Functional Blocks</b>
<b>RM</b>	<b>Resource Management</b>
<b>SDK</b>	<b>Software Development Kit</b>
<b>SDM</b>	<b>Spatial Division Multiplexing</b>
<b>SDN</b>	<b>Software defined networking</b>
<b>SMS</b>	<b>Short Message Service</b>
<b>SSK</b>	<b>Space shift keying</b>
<b>SW</b>	<b>Software</b>
<b>TACS</b>	<b>Total Access Communication System</b>
<b>TDMA</b>	<b>Time division multiple access</b>
<b>UDN</b>	<b>Unintelligent design network</b>
<b>UHDV</b>	<b>Ultra high definition video</b>
<b>UMB</b>	<b>Ultra Mobile broadband</b>
<b>UMTS</b>	<b>Universal mobile telecommunications system</b>
<b>V2X</b>	<b>Vehicle to everything</b>
<b>VEPC</b>	<b>Virtual Evolved Packet Core</b>
<b>VM</b>	<b>Virtual Machine</b>
<b>VR</b>	<b>Virtual reality</b>
<b>WiMax</b>	<b>Worldwide interoperability microwave access</b>
<b>WWW</b>	<b>World wide wireless web</b>

## Βιβλιογραφία

1 How 5G Relates to SDN and NFV Technologies – Part I: Introduction and History

[https://infocus.delltechnologies.com/javier\\_guillermo/how-5g-relates-to-sdn-and-nfv-technologies-part-i-introduction-and-history/](https://infocus.delltechnologies.com/javier_guillermo/how-5g-relates-to-sdn-and-nfv-technologies-part-i-introduction-and-history/) Δικτυακός Σύνδεσμος

2 How 5G Relates to SDN and NFV Technologies – Part II: Architecture

[https://infocus.delltechnologies.com/javier\\_guillermo/how-5g-relates-to-sdn-and-nfv-technologies-part-ii-architecture/](https://infocus.delltechnologies.com/javier_guillermo/how-5g-relates-to-sdn-and-nfv-technologies-part-ii-architecture/) Δικτυακός Σύνδεσμος

3 How 5G Relates to SDN and NFV Technologies – Part III Architecture

[https://infocus.delltechnologies.com/javier\\_guillermo/how-5g-relates-to-sdn-and-nfv-technologies-part-iii-architecture-continued/](https://infocus.delltechnologies.com/javier_guillermo/how-5g-relates-to-sdn-and-nfv-technologies-part-iii-architecture-continued/) Δικτυακός Σύνδεσμος

4 Nokia 4. 9G Massive MIMO enables 5G-like user experiences.

[https://onestore.nokia.com/asset/201128?\\_ga=2.238314752.1662235647.1609599271-1825235956.1609599271](https://onestore.nokia.com/asset/201128?_ga=2.238314752.1662235647.1609599271-1825235956.1609599271) Δικτυακός Σύνδεσμος

5 What is 5G Massive MIMO?

[https://blogs.keysight.com/blogs/inds.entry.html/2020/02/19/what\\_is\\_5g\\_massivem-xcZq.html](https://blogs.keysight.com/blogs/inds.entry.html/2020/02/19/what_is_5g_massivem-xcZq.html) Δικτυακός Σύνδεσμος

6 Massive MIMO toward 5G

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09205071.2020.1783825> Δικτυακός Σύνδεσμος

7 5G System Design. Patrick Marsch, Omer Bulakci, Olav Queseth, Mauro Boldi

. (2018). Architectural and Functional Considerations and Long Term Research.

8 The evolution of cellular networks

<https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/resources/article/the-evolution-of-cellular-networks/> Δικτυακός Σύνδεσμος

9 Fundamentals of 5G Mobile Networks-Wiley

10 Introduction to 5G Core Service-Based Architecture (SBA) Components <https://5g.security/5g-technology/5g-core-sba-components-architecture/> Δικτυακός Σύνδεσμος

11 FROM 1G TO 5G: A BRIEF HISTORY OF THE EVOLUTION OF MOBILE STANDARDS

[https://www.brainbridge.be/news/from-1g-to-5g-a-brief-history-of-the-evolution-of-mobile-standards#:~:text=The%20first%20generation%20of%20mobile,NTT\)%20in%20Tokyo%20in%201979.&text=There%20was%20no%20turning%20back,second%20generation%2C%20appropriately%20called%202G.](https://www.brainbridge.be/news/from-1g-to-5g-a-brief-history-of-the-evolution-of-mobile-standards#:~:text=The%20first%20generation%20of%20mobile,NTT)%20in%20Tokyo%20in%201979.&text=There%20was%20no%20turning%20back,second%20generation%2C%20appropriately%20called%202G.) Δικτυακός Σύνδεσμος

12 The 5G Infrastructure Public Private Partnership <https://5g-ppp.eu/?fbclid=IwAR2X5xCIHx8NSsIDCji762cOe08kTbmaDqtUVvKsl0OQ6OGKQ3XrxdxSKQ>

Δικτυακός Σύνδεσμος

13 Η εποχή του 5G: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα <https://www.tsouk.gr/i-epochi-toy-5g-pleonektimata-kai->

<https://www.tsouk.gr/i-epochi-toy-5g-pleonektimata-kai->



[meione/?fbclid=IwAR0P7BEOzPOMOuzjbfS01wwU6CFh9MEeqko15xHDSKjETR8AP15oXsxutr0](https://www.facebook.com/meione/?fbclid=IwAR0P7BEOzPOMOuzjbfS01wwU6CFh9MEeqko15xHDSKjETR8AP15oXsxutr0)

Δικτυακός Σύνδεσμος

**14 5G - Architecture**

[https://www.tutorialspoint.com/5g/5g\\_architecture.htm](https://www.tutorialspoint.com/5g/5g_architecture.htm) Δικτυακός Σύνδεσμος