



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

‘Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους’

**Ζανέτα Σ.Γκίκα
Ζέφη Φ.Χατζηπέρη**

Επιβλέπων:

Τσίπουρας Αριστείδης,(ΕΔΙΠ ΕΚΠΑ)

ΑΘΗΝΑ

Μάρτιος 2020

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

‘Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους’

Ζανέτα Γκίκα
A.M.:ΜΟΠ 494

Ζέφη Φ.Χατζηπέρη
A.M.:ΜΟΠ 510

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: **Τσίπουρας Αριστείδης, (ΕΔΙΠΕΚΠΑ)**

Μάρτιος 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σημερινή εποχή με τις τεράστιες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, κινητικότητα και σε υπηρεσίες σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, η επικοινωνία πλέον αρχίζει να μη μπορεί να εξυπηρετηθεί από τις υφιστάμενες τεχνολογίες. Υπάρχει κατακλυσμός στην αγορά από έξυπνες συσκευές και άλλες δικτυωμένες συσκευές γεγονός το οποίο δημιουργεί μεγαλύτερες απαιτήσεις από το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Ανάγκες όπως, βίντεο υψηλής ανάλυσης, online gaming και μια πληθώρα από υπηρεσίες οι οποίες ακόμα και εν κινήσει θα πρέπει να εξυπηρετούνται. Από τα βασικότερα συστατικά σήμερα είναι η ποιότητα και η εμπειρία της υπηρεσίας για τον χρήστη, η οποία θα πρέπει να είναι άριστη ακόμα και σε πολυσύχναστα σημεία και σε ώρες αιχμής. Όπως αντιλαμβανόμαστε η μετάβαση από τα σημερινά δίκτυα στα δίκτυα πέμπτης γενιάς ή 5G δίκτυα καθίσταται επιβεβλημένη και γι' αυτό το λόγο. Ερευνητικές ομάδες από διάφορους παγκόσμιους και ευρωπαϊκούς οργανισμούς, πανεπιστήμια και εταιρίες τηλεπικοινωνιών έχουν αναλάβει αυτό το δύσκολο έργο ώστε να επιτευχθούν οι απαιτήσεις και οι στόχοι των 5G δικτύων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται αναφορά στους στόχους που έχουν τεθεί για την ανάπτυξη των δικτύων 5G, στα μέτρα που λαμβάνονται για την επίτευξη των στόχων αυτών τόσο σε Ευρωπαϊκό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο. Αναδεικνύονται τα κίνητρα ανάπτυξης, οι προκλήσεις και οι απαιτήσεις στην ανάπτυξη των 5G συστημάτων. Επίσης ένα μεγάλο κομμάτι της εργασίας αφιερώνεται στις τεχνολογίες και αρχιτεκτονικές των 5G δικτύων, στις εφαρμογές αυτών, στις εκτιμώμενες επιπτώσεις τους τόσο σε επίπεδο οικονομίας, κοινωνίας αλλά και στην ανθρώπινη υγεία. Τέλος, παρουσιάζονται τα πιο πρόσφατα σχετικά ερευνητικά προγράμματα σε Ευρώπη και Ελλάδα.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: 5G Δίκτυα

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Στόχοι, ανάγκες, ποιότητα υπηρεσίας, συστήματα 5^{ης} γενιάς δικτύων, σχέδιο δράσης, κίνητρα, απαιτήσεις, προκλήσεις, φάσμα, επιπτώσεις, τεχνολογίες, αρχιτεκτονική, ερευνητικά έργα, mmWave, beamforming, small cells, NFV, SDN, Network Slicing, C-RAN, Fronthaul, Backhaul.

ABSTRACT

With today's enormous bandwidth requirements, almost real-time mobility, communication is no longer able to be serviced by existing technologies. There is a flood in the market of smart devices and other networked devices where this creates greater demands on the network. Needs like high-definition video, online gaming and a plethora of other services that even on the go should be served. The most important component is the quality and experience of the service to the user, it should be excellent even in crowded places and in rush hour. As we understand the transition from today's networks to fifth generation networks is therefore imperative. Research teams from various global and European organizations, universities and telecommunications companies have undertaken this difficult task to achieve the requirements and goals of 5G networks.

This thesis deals with the goals set for the development of 5G networks, the measures taken to achieve these goals at both European and global level. The development motivations, challenges and requirements for the development of 5G are highlighted systems. Much of the work is also devoted to the technologies and architectures of the 5G networks, its applications, its impact on the economy, society and human health. Finally, the most recent research programs in Europe and Greece are presented.

SUBJECT AREA: 5G Networks

KEYWORDS: Goals, Needs, Quality of Service, 5th Generation Network Systems, Action Plan, Motivations, Requirements, Challenges, Spectrum, Impacts, Technologies, Architecture, Research Projects, mmWave, beam forming, small cells, NFV, SDN, Network Sclicing, C-RAN, Fronthaul, Backhaul.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που με την βοήθειά τους συνέβαλαν ,ο καθένας ξεχωριστά, για να φτάσουμε να γράφουμε σήμερα αυτό το πεδίο των ευχαριστιών. Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Διδάκτορα Τσίπουρα Αριστεΐδη για την πολύτιμη συμβολή και υπομονή για την παρούσα διπλωματική, αλλά κυρίως για την ψυχολογική στήριξή του, που έδειξε μέχρι την τελευταία στιγμή, κατανοώντας τους δύσκολους ρυθμούς που ζούμε σήμερα. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την όλη στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια της παρακολούθησής μας στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	14
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
2."ΣΧΕΔΙΟ ΔΡΑΣΗΣ 5G" ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ	14
2.1 Προτεινόμενα μέτρα για την επίτευξη των στόχων	14
2.2 Βασικοί Δείκτες Απόδοσης των δικτύων 5G	15
2.3 Ο οδικός χάρτης δοκιμών διαφορετικών σεναρίων διαλειτουργικότητας του 5G	15
3.ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΓΙΑ ΔΙΚΤΥΑ, ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ 5G	17
4.ΚΙΝΗΤΡΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ,ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5G	20
4.1 Κίνητρα ανάπτυξης του 5G.....	20
4.2 Κύριοι τεχνικοί στόχοι του 5G	20
4.3 Τύποι υπηρεσιών που προσφέρει το 5G	21
5. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G	24
6.ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ 5G	25
7. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G	27
7.1Δίκτυο ασύρματης πρόσβασης.....	27
7.1.1Νέο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων	27
7.1.2. Χρήση βελτιωμένων τύπων της ορθογώνιας διαμόρφωσης OFDM	27
7.1.3 Χιλιοστομετρικές Συχνότητες (mmWave) και διαμόρφωση δέσμης Beamforming)	27
7.1.4Βελτίωση της φασματικής απόδοσης- Massive MIMO	28
7.1.5 Ετερογενή δίκτυα	29
7.2 Cloud-RAN.....	31
7.2.1 Τα συστατικά στοιχεία της αρχιτεκτονικήςCloud-RAN	31
7.2.2 Τα κύρια πλεονεκτήματα του Cloud RAN.....	32
7.2.3 Η Έννοια του VirtualizationστοCloud-RAN	33
7.3Δίκτυο Κορμού.....	35
7.3.1 NSA και SA.....	35
7.3.2 Το Προγραμματιζόμενο Δίκτυο (Software Define Network)	35
7.3.3 Λειτουργία εικονικοποίησης δικτύου (NetworkFunctionVirtuvoalization)	36
7.3.4 Τμηματοποίηση του δικτύου (NetworkSlicing)	38
7.4 Γενική Αρχιτεκτονική του δικτύου 5G	40
8.ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G	42
9. ΚΥΡΙΑΡΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ 5G	46
9.1 "5GΈξυπνο σπίτι" ("5GSmartHome").....	46
9.2Εικονικήκαιεπαυξημένηπραγματικότητα στο νέφος (CloudVR&AR).....	46
9.3 Σύνδεση κινούμενων οχημάτων("Connectiveautomotive")	48

9.4 “Εξυπνηβιομηχανία”& ασύρματος ρομποτικός έλεγχος βασισμένος στο νέφος (“Smartmanufacturing&cloudbasedwirelessrobotcontrol”)	49
9.5 “Συνδεδεμένη ενέργεια” (“Connectedenergy”)	51
9.6 Ασύρματη η-Υγεία (Wireless-Health)	52
9.7 Ασύρματη ψυχαγωγία στο σπίτι (WirelessHomeEntertainment)	52
9.8 Σύνδεση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (Connecteddrones)	53
9.9 Κοινωνικά δίκτυα (Socialnetworks)	54
9.10 Έξυπνη πόλη (SmartCity)	55
10. ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΕΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ 5G ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	58
10.1 Κοινωνικές Επιπτώσεις	58
10.2 Οικονομικές Επιπτώσεις	61
10.3 Επιπτώσεις στην υγεία	62
11. ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΓΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ 5G	64
5GCAR	64
5G-City	64
5GEssence	65
5G-Media	65
5G-Monarch	66
5G-PHOS	67
5G-Picture	67
5GTANGO	68
5G-Transformer	69
5G-Xcast	69
BlueSpace	70
IoRL	70
MATILDA	71
Metro-Haul	71
NGPaaS	72
NRG-5	73
Global 5G	73
To-Euro-5G	74
5GEve	74
5G-Vinni	75
5GCarmen	76
5GMobix	77

EU-Taiwan: 5GCoral.....	78
12. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	79
12.1 Διαδικασία Χορήγησης αδειών φάσματος	79
12.2 Vodafone Ελλάδας: Επενδύσεις σε ευρυζωνικότητα και 5G	82
12.2.1 Η ανάπτυξη δικτύου 5G από το 2021	82
12.2.2 Το 5G της Vodafone στις πόλεις του μέλλοντος	82
12.2.3 Το 5G της Vodafone και Τηλερομποτική Χειρουργική	83
12.2.4 Το 5G της Vodafone και η Πρόσβαση στην Εκπαίδευση και την Επιστήμη	83
12.3 Τοπικό δίκτυο 5G της Wind	84
12.4 Εφαρμογές της Cosmote μέσω του 5G δικτύου	86
12.4.1 VR Soccer Penalty	86
12.4.2 Συνομιλία μέσω ολογραμμάτων	86
12.4.3 Προσομοίωση εκπαίδευσης από απόσταση	86
12.4.4 5G Connecting Robots	86
12.4.5 Μουσική εμπειρία με ολογράμματα	86
12.4.6 Immersive VR Gaming	86
13. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	88
ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ.....	89
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	90
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	92

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1:ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΡΙΟ ΓΙΑ ΤΟ 5G	14
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΔΟΚΙΜΩΝ	16
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ IMT-2020.....	17
ΕΙΚΟΝΑ 4 :ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 3GPP.....	18
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ RAN.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 6: 5G ΟΡΑΜΑ.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ 4G ΚΑΙ 5G	22
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΤΥΠΟΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ 5G ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΚΥΡΙΟΥΣ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ	22
ΕΙΚΟΝΑ 9: «ΠΡΩΤΟΠΟΡΕΣ ΖΩΝΕΣ»	26
ΕΙΚΟΝΑ 10:ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΚΤΙΝΩΝ(BEAMFORMING).....	28
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΙΜΟ-4GVS 5G	28
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΣ ΔΙΚΤΥΟ	30
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ C-RAN	31
ΕΙΚΟΝΑ 14:ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ DISTRIBUTED VS CENTRALIZED	32
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ C-RAN	33
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΤΟ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ BACKHAUL.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 17: SDN ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	36
ΕΙΚΟΝΑ 18: NFV ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 19: NETWORKSLICING.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ NETWORKSLICING 5G	39
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G	40
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΟΥ 5G	43
ΕΙΚΟΝΑ 23: Η ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΟ 5G.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 24: 5G SMART HOME	46
ΕΙΚΟΝΑ 25: VR/AR ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΨΥΧΑΓΩΓΙΑΣ.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 26: CLOUD VR/AR.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 27: CONNECTED CARS.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 28: CONNECTIVE AUTOMOTIVE	49
ΕΙΚΟΝΑ 29: SMARTMANUFACTURING	50
ΕΙΚΟΝΑ 30:ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΤΥΠΟΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΟΣMARTMANUFACTURING.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 31:ΚΑΝΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΙΟ «ΕΞΥΓΙΝΗ»	51
ΕΙΚΟΝΑ 32: REMOTE DIAGNOSIS	52
ΕΙΚΟΝΑ 33: UHD 8K VIDEO & CLOUD GAMING	53
ΕΙΚΟΝΑ 34: CONNECTED DRONES	54
ΕΙΚΟΝΑ 35: LIVE BROADCASTING	55
ΕΙΚΟΝΑ 36: SMART CITY.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 37: VIDEOSURVEILLANCE	57
ΕΙΚΟΝΑ 38: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 5G ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ	62
ΕΙΚΟΝΑ 39:5GCAR.....	64

EIKONA 40:5G-CITY	65
EIKONA 41:5GESSENCE	65
EIKONA 42:5GMEDIA	66
EIKONA 43:5G-MONARCH.....	66
EIKONA 44:5G-PHOS	67
EIKONA 45:5G-PICTURE.....	68
EIKONA 46:5G-TANGO.....	68
EIKONA 47:5G-TRANSFORMER.....	69
EIKONA 48:5G-XCAST	69
EIKONA 49:5G-BLUESPACE	70
EIKONA 50:IORL	71
EIKONA 51:MATILDA.....	71
EIKONA 52:METROHAUL.....	72
EIKONA 53:NGPAAS	72
EIKONA 54:NRG-5	73
EIKONA 55:GLOBAL 5G	73
EIKONA 56:TO-EURO-5G.....	74
EIKONA 57: 5GEVE	75
EIKONA 58:5G-VINNI.....	76
EIKONA 59:5G CARMEN	76
EIKONA 60:5G MOBIX.....	77
EIKONA 61:EU-TAIWAN: 5GCORAL	78
EIKONA 62: ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ 2G-5G ΑΠΟ ΤΗ VODAFONE	84
EIKONA 63: ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ 2G-5G ΑΠΟ ΤΗ WIND.....	85
EIKONA 64: ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ 2G-5G ΑΠΟ ΤΗ COSMOTE	87

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ 4G ΚΑΙ 5G	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΠΟΔΟΣΗ 5G ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ [18]	25
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΖΩΝΕΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: ΠΟΤΕ ΟΙ ΠΑΡΟΧΟΙ ΣΧΕΔΙΑΖΟΥΝ ΝΑ ΑΝΑΠΤΥΞΟΥΝ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5G	60
ΣΧΗΜΑ 2: ΠΟΙΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΙΝΑΙ ΠΙΟ ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ 5G ΔΙΚΤΥΩΝ.....	60
ΣΧΗΜΑ 3: ΖΩΝΕΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΠΑΡΟΧΟ	81

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε μια εποχή σαν τη σημερινή, το διαδίκτυο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις καθημερινές συνήθειες, ανάγκες και γενικά σε ένα μεγάλο μέρος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Μέσω των εφαρμογών του, πραγματοποιούνται οι online αγορές-πληρωμές, η επικοινωνία με φίλους – συγγενείς- συνεργάτες, η διασκέδαση μέσω online παιχνιδιών, η επιμόρφωση μέσω online courses, αλλά και οι συναλλαγές με το δημόσιο κτλ. Οι διάφορες συσκευές μπορούν πλέον να επικοινωνούν μεταξύ τους, στοιχείο που συμβάλλει στην καλύτερη αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους. Μέχρι πριν από μερικά χρόνια, οι επιλογές δεν ήταν πολλές, καθώς η επικοινωνία και η ανταλλαγή δεδομένων μπορούσε να πραγματοποιηθεί μόνο με χρήση καλωδίου, σήμερα αυτός ο τρόπος είναι αδύνατον να καλύψει την ανάγκη για σύνδεση των αμέτρητων αυτών συσκευών (tablets, φορητά laptops και smartmobiles και γενικά όλων των smart συσκευών) και την ανάγκη για μεγαλύτερη και καλύτερη διαδικτυακή εμπειρία των χρηστών. Κατά συνέπεια, η ολοένα μεγαλύτερη κινητικότητα τόσο των χρηστών και όσο και των συσκευών μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την περαιτέρω εξέλιξη των δικτύων. Οι πάροχοι των υπηρεσιών δαπανούν χρόνο και βέβαια χρήμα έτσι ώστε να αναπτυχθούν βελτιωμένες τεχνολογίες ασύρματων δικτύων, όπως είναι τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς (5th Generation Networks-5G).

Το δίκτυο 5G είναι σημαντική εξέλιξη των σημερινών δικτύων 4G LTE και έχει σχεδιαστεί για να καλύψει την πολύ μεγάλη αύξηση του όγκου των δεδομένων και τις ανάγκες συνδεσιμότητας της σημερινής σύγχρονης κοινωνίας, του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) με δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές και τις καινοτομίες του αύριο. Το 5G θα λειτουργήσει αρχικά σε συνδυασμό με τα υπάρχοντα δίκτυα 4G προτού εξελιχθεί σε πλήρως ανεξάρτητα δίκτυα σε επόμενες εκδόσεις και επεκτάσεις κάλυψης. Εκτός από την παροχή ταχύτερων συνδέσεων και μεγαλύτερης χωρητικότητας, ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του 5G είναι ο γρήγορος χρόνος απόκρισης που αναφέρεται ως χρονική καθυστέρηση (latency). Το latency είναι ο χρόνος απόκρισης των συσκευών μέσω του ασύρματου δικτύου. Τα δίκτυα 3G είχαν τυπικό χρόνο απόκρισης 100 χιλιοστών του δευτερολέπτου, στο 4G είναι περίπου 30 χιλιοστά του δευτερολέπτου και στο 5G θα είναι τόσο χαμηλό όσο 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου. Μια τέτοια ταχύτητα απόκρισης ανοίγει έναν νέο κόσμο συνδεδεμένων εφαρμογών [1].

Μία ακόμα και από τις κύριες διαφορές μεταξύ των 5G και των προηγούμενων γενεών κυψελοειδών δικτύων (3G και LTE / 4G) έγκειται στην έντονη εστίαση στην επικοινωνία τύπου μηχανής (Machine to Machine M2M) που επιτρέπει το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things-IoT). Το 5G θα χρησιμοποιεί φάσμα, που καλύπτει την υπάρχουσα περιοχή συχνοτήτων LTE (600 MHz έως 6 GHz) σε συνδυασμό με τις νέες ζώνες χιλιοστομετρικών κυμάτων (24-86 GHz) για να καλύψει βασικά χαρακτηριστικά όπως χαμηλό latency, υψηλή απόδοση, υψηλή κινητικότητα και υψηλή πυκνότητα σύνδεσης. Οι δυνατότητες του 5G εκτείνονται πολύ πιο πέρα από την κινητή ευρυζωνική σύνδεση με συνεχώς αυξανόμενα ποσοστά δεδομένων [2].

2."ΣΧΕΔΙΟ ΔΡΑΣΗΣ 5G"ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

2.1 Προτεινόμενα μέτρα για την επίτευξη των στόχων

Το Σεπτέμβριο του 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε το "Σχέδιο Δράσης 5G" για την τόνωση των επενδύσεων και των προσπαθειών για την ανάπτυξη υποδομών και υπηρεσιών 5G, χάρη στη δημιουργία μιας Ψηφιακής Ενιαίας Αγοράς. Το εν λόγω σχέδιο θέτει σαφή οδικό χάρτη για τις δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις 5G στην Ευρωπαϊκή Ένωση(ΕΕ) [2]. Η Επιτροπή πρότεινε τα ακόλουθα μέτρα για την επίτευξη των στόχων του σχεδίου:

- Εναρμόνιση των εθνικών προτεραιοτήτων και χρονοδιαγράμματα για συντονισμένη ανάπτυξη σε όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ
- Ορισμός της ζώνης φάσματος για το 5G
- Προώθηση ταχείας και έγκαιρης ανάπτυξης σε μεγάλα αστικά κέντρα και σε μεγάλες οδούς μεταφοράς
- Προώθηση δοκιμών και της διαλειτουργικότητας των παγκόσμιων δικτύων τηλεπικοινωνιών από πολλούς πανευρωπαϊκούς ενδιαφερόμενους φορείς για την προώθηση της μετάβασης από την τεχνολογική καινοτομία στη μαζική αγορά
- Διευκόλυνση της υλοποίησης ιδιωτικών επενδύσεων στην καινοτομία 5G
- Συνεργασία των βασικών «παικτών» για την προώθηση των παγκόσμιων προτύπων.

Μέχρι στιγμής έχουν γίνει πολλά βήματα αναφορικά με τους παραπάνω στόχους. Στις αρχές του 2020 η ΕΕ δημοσίευσε σειρά αυστηρών οδηγιών για την εγκατάσταση του δικτύου 5G στην Ευρώπη, ώστε να αποτραπεί «κάθε κίνδυνος για την ασφάλεια», να υπάρξουν «οι αναγκαίοι αποκλεισμοί για σημαντικές και ευαίσθητες χαρακτήρα δραστηριότητες όπως οι διαχειριστικές λειτουργίες και η οργάνωση του δικτύου». Τα κράτη μέλη της ΕΕ καλούνται επίσης να φροντίσουν ώστε κάθε ένας από τους διαχειριστές να έχει στην διάθεσή του πολλούς προμηθευτές για την αποφυγή της «εξάρτησης από εταιρείες που θεωρούνται υψηλού ρίσκου»[3].



Εικόνα 1:Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο για το 5G

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θέσπισε μια δομή, το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο 5G, προκειμένου να παρακολουθεί τις εξελίξεις της αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των δοκιμών και άλλων

ενεργειών που αναλαμβάνουν οι ενδιαφερόμενοι φορείς της βιομηχανίας και τα κράτη μέλη στο πλαίσιο της ανάπτυξης 5G στην Ευρώπη. Το Παρατηρητήριο θα επιτρέψει την αξιολόγηση της προόδου του ευρωπαϊκού σχεδίου δράσης 5G και θα αναλάβει δράση για την πλήρη εφαρμογή του [4].

2.2 Βασικοί Δείκτες Απόδοσης των δικτύων 5G

Η ανάπτυξη νέων δικτύων επικοινωνίας εξαρτάται από την εμφάνιση παγκοσμίως αποδεκτών προτύπων προκειμένου να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα, οι οικονομίες κλίμακας, με προσιτό κόστος για την εγκατάσταση του συστήματος και τους τελικούς χρήστες. Η Σύμπραξη Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα για την υποδομή 5G (5G Infrastructure Public Private Partnership 5GPPP) είναι μια κοινή πρωτοβουλία μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του ευρωπαϊκού κλάδου ΤΠΕ (κατασκευαστές ΤΠΕ, τηλεπικοινωνιακοί φορείς, πάροχοι υπηρεσιών, μικρομεσαίες επιχειρήσεις και ερευνητικά ιδρύματα). Το 5G PPP θα προσφέρει λύσεις, αρχιτεκτονικές, τεχνολογίες και πρότυπα για τις επικοινωνιακές υποδομές επόμενης γενιάς της επόμενης δεκαετίας και θα συμβάλει στη διατήρηση και ενίσχυση της Ευρωπαϊκής αγοράς έναντι των παγκόσμιων ανταγωνιστών της [5].

Οι ακόλουθες παράμετροι είναι ενδεικτικά τα νέα χαρακτηριστικά δικτύου, που πρέπει να επιτευχθούν σε επιχειρησιακό επίπεδο:

- 1000 φορές μεγαλύτερος όγκος δεδομένων κινητής τηλεφωνίας ανά γεωγραφική περιοχή.
- 10 έως 100 φορές περισσότερες συνδεδεμένες συσκευές.
- 10 φορές έως 100 φορές υψηλότερο τυπικό ποσοστό δεδομένων χρήστη.
- 10 φορές χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.
- Απ' άκρο σε άκρο χρονική καθυστέρηση <1ms.
- Πρόσβαση 5G και σε περιοχές χαμηλής πυκνότητας.

Αυτό το νέο δίκτυο υψηλών επιδόσεων θα λειτουργεί μέσω ενός κλιμακούμενου πλαισίου διαχείρισης που θα επιτρέπει την ταχεία ανάπτυξη νέων εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των εφαρμογών που βασίζονται σε αισθητήρες, με μείωση των λειτουργικών δαπανών δικτύου κατά τουλάχιστον 20% σε σύγκριση με σήμερα. Επιπλέον, θα πρέπει να παρέχονται νέες, όχι πολύπλοκες αλλά ταυτόχρονα ισχυρές μετρήσεις ασφάλειας και ταυτοποίησης που είναι κατάλληλες για μια νέα εποχή διάσπαρτων οπτικοποιημένων δικτύων και υπηρεσιών[6].

2.3 Ο οδικός χάρτης δοκιμών διαφορετικών σεναρίων διαλειτουργικότητας του 5G

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν πρόσφατες ερευνητικές δράσεις που εστιάζουν στην ανάπτυξη πλατφορμών δοκιμών και επικύρωσης (testing & validation) διαφορετικών σεναρίων διαλειτουργικότητας του 5G, προκειμένου να οδηγήσουν σε κατάλληλες προδιαγραφές για περαιτέρω ανάπτυξη των σχετικών αγορών σε πανευρωπαϊκό επίπεδο.

Ο οδικός χάρτης της πορείας των δοκιμών 5G έχει εκπονηθεί και υποστηρίζεται από την Ομάδα εργασίας δοκιμών (Working Group). Ο συντονισμός γίνεται από το 5G Infrastructure

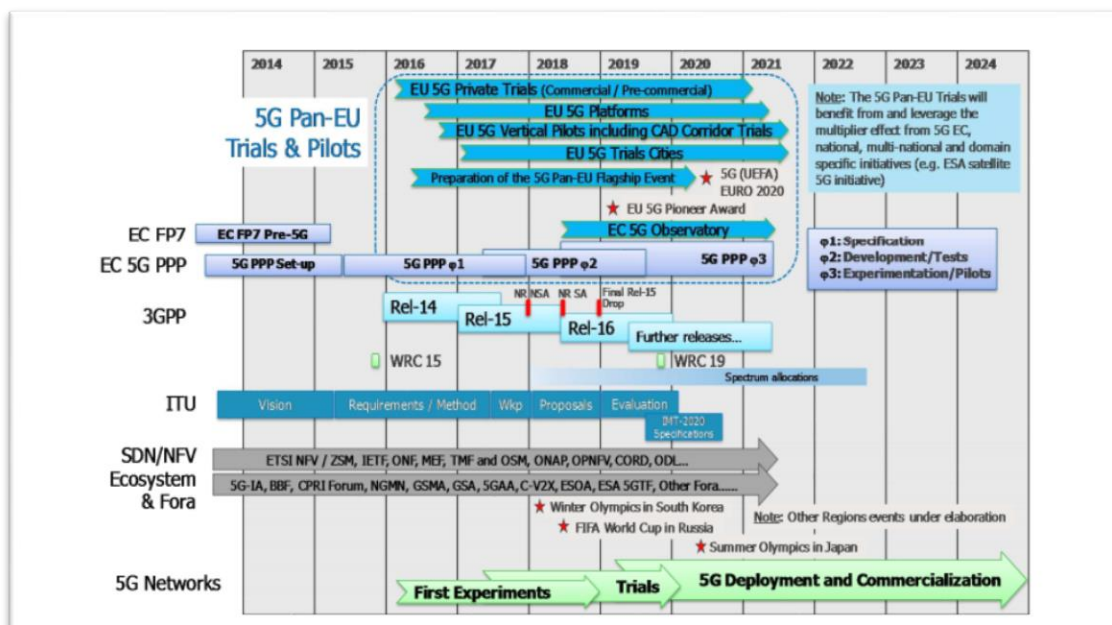
Association (5G-IA) του 5GPPP διευρύνοντας το έργο που ξεκίνησε η βιομηχανία και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο πλαίσιο του «Μανιφέστο 5G» και του «Σχεδίου Δράσης 5G» [6].

Σύμφωνα με το «Οδικός Χάρτης 5G Πανευρωπαϊκών Δοκιμών Έκδοση 4.0» και την εφαρμογή του οι κύριοι στόχοι είναι:

- Υποστήριξη της παγκόσμιας ηγεσίας της Ευρώπης στην ανάπτυξη τεχνολογίας 5G, της ανάπτυξη δικτύων και των κερδοφόρων επιχειρήσεων.
- Επικύρωση των πλεονεκτημάτων του 5G σε κάθετους τομείς, συμπεριλαμβανομένου του δημόσιου τομέα, των επιχειρήσεων και των καταναλωτών.
- Τόνωση μιας σαφούς πορείας προς την επιτυχημένη και έγκαιρη ανάπτυξη των 5G στην Ευρώπη.

Για το σκοπό αυτό, επεκτείνει εμπορικές δοκιμές, καθώς και εθνικές πρωτοβουλίες, με εστίαση σε δραστηριότητες που περιστρέφονται γύρω από τις πόλεις της ΕΕ. Το μεγαλύτερο μέρος της εφαρμογής του οδικού χάρτη καθοδηγείται από τη βιομηχανία σε ιδιωτική βάση. Μέσα από «Σχεδίου Δράσης 5G» η ΕΕ υποστηρίζει τη θέσπιση πλαισίου για την ανάπτυξη του 5G στην Ευρώπη, ιδίως τον εντοπισμό του σχετικού εναρμονισμένου φάσματος και των ρυθμιστικών όρων, ενώ πρόσθετη οικονομική υποστήριξη για δοκιμές διατίθεται από το πρόγραμμα H2020 της ΕΕ [6].

Το συνολικό χρονοδιάγραμμα του οδικού χάρτη πανευρωπαϊκών δοκιμών για το 5G και η σχετική τυποποίηση, κανονιστική πορεία και το χρονοδιάγραμμα των οικοσυστημάτων συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα:

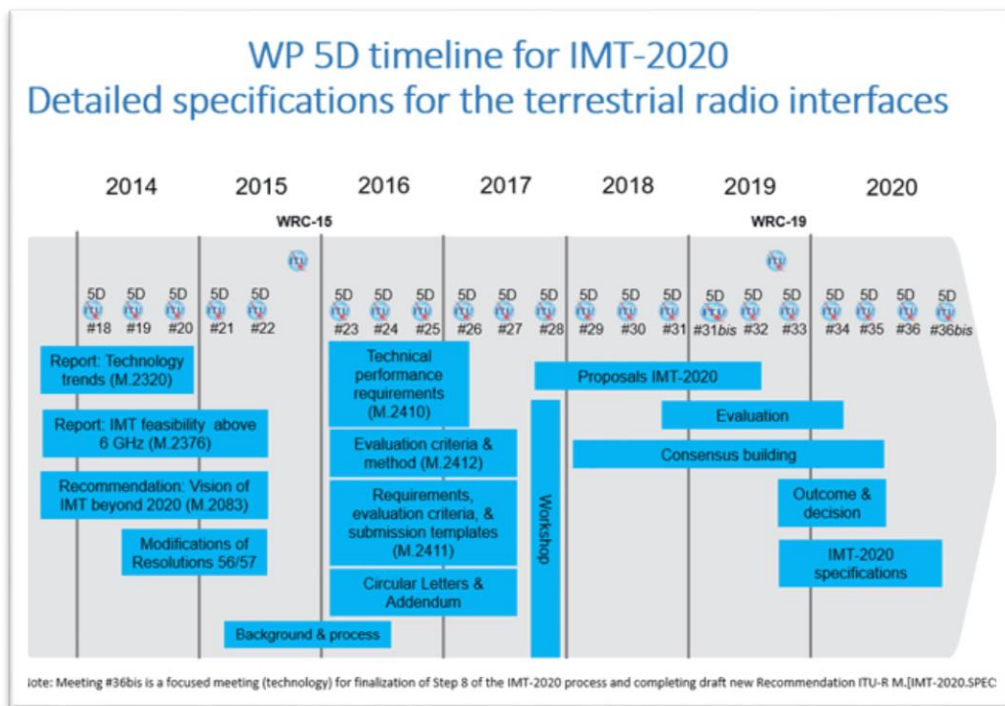


Εικόνα 2: Συνολικό χρονοδιάγραμμα του οδικού χάρτη δοκιμών

3.ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΓΙΑ ΔΙΚΤΥΑ, ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ 5G

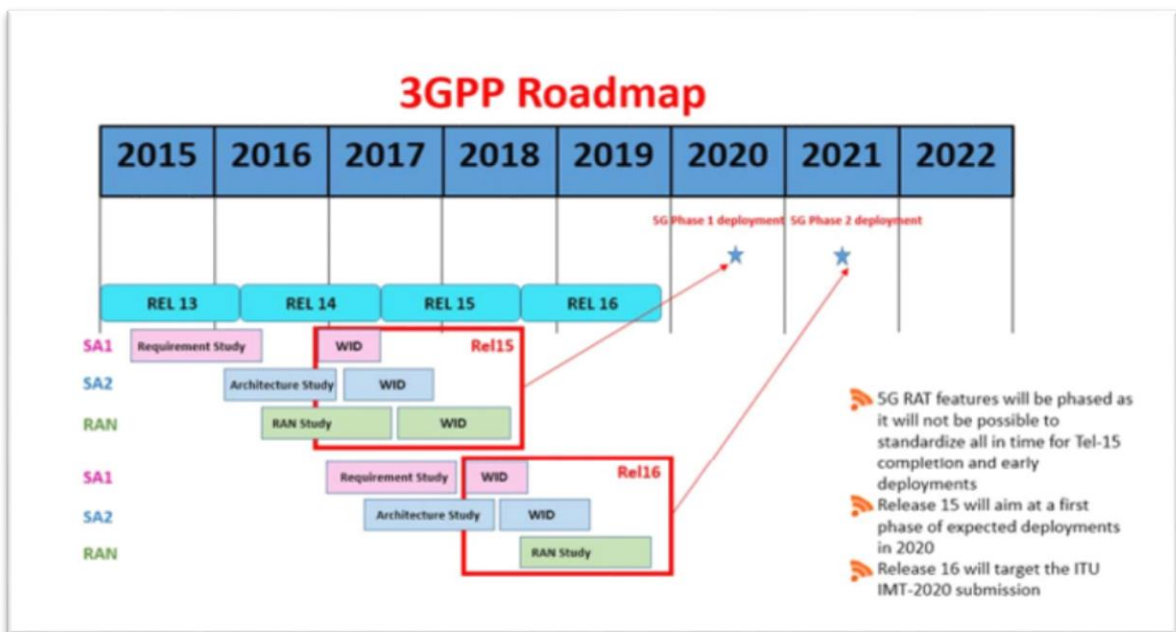
Οι προτεραιότητες τυποποίησης στον τομέα των ΤΠΕ για την ψηφιακή ενιαία αγορά καθορίζουν με σαφή τρόπο την προώθησης ανάδειξης παγκόσμιων προτύπων στον κλάδο για βασικές τεχνολογίες 5G (δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, κεντρικό δίκτυο) και αρχιτεκτονικές δικτύου. Στο πρότυπο International Mobile Telecommunications-2020 (IMT-2020 Standard) ορίζονται οι απαιτήσεις που εξέδωσε ο τομέας ραδιοεπικοινωνιών της ITU (ITU-R) της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) το 2015 για δίκτυα, συσκευές και υπηρεσίες 5G. Το πρότυπο αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2020, αλλά ορισμένα κομμάτια από αυτό έχουν οριστικοποιηθεί νωρίτερα. Για παράδειγμα, οι απαιτήσεις για τις τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης εγκρίθηκαν το Νοέμβριο του 2017[7]. Μετά τη δημοσίευση των απαιτήσεων, οι προγραμματιστές τεχνολογιών ραδιοπρόσβασης, όπως το 3GPP (ΗΠΑ) ή το 5GPPP (Ευρώπη) κτλ αναπτύχουν τεχνολογίες 5G που πληρούν αυτές τις απαιτήσεις.

Στις αρχές του 2012, το ITU-R ξεκίνησε πρόγραμμα για την ανάπτυξη του "IMT α 2020 α beyond ", προετοιμάζοντας το έδαφος για ερευνητικές δραστηριότητες στο 5G που αναδύονται σε όλο τον κόσμο. Επίσης, το ITU-R έχει οριστικοποιήσει το χρονοδιάγραμμα για το «IMT-2020» , ταυτόχρονα η λεπτομερής έρευνα των βασικών στοιχείων του 5G είναι ήδη σε εξέλιξη[8]. Τον Σεπτέμβριο του 2015, η ITU-R ολοκλήρωσε το όραμά της για την 5G κινητή ευζωνική συνδεδεμένη κοινωνία και στην Παγκόσμια Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών το 2019 καθορίστηκε το πρόσθετο φάσμα για την υποστήριξη της μελλοντικής ανάπτυξης του IMT [9]. Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνεται το χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης των χαρακτηριστικών του προτύπου IMT-2020 για το 5G.



Εικόνα 3: Χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης των χαρακτηριστικών του προτύπου IMT-2020

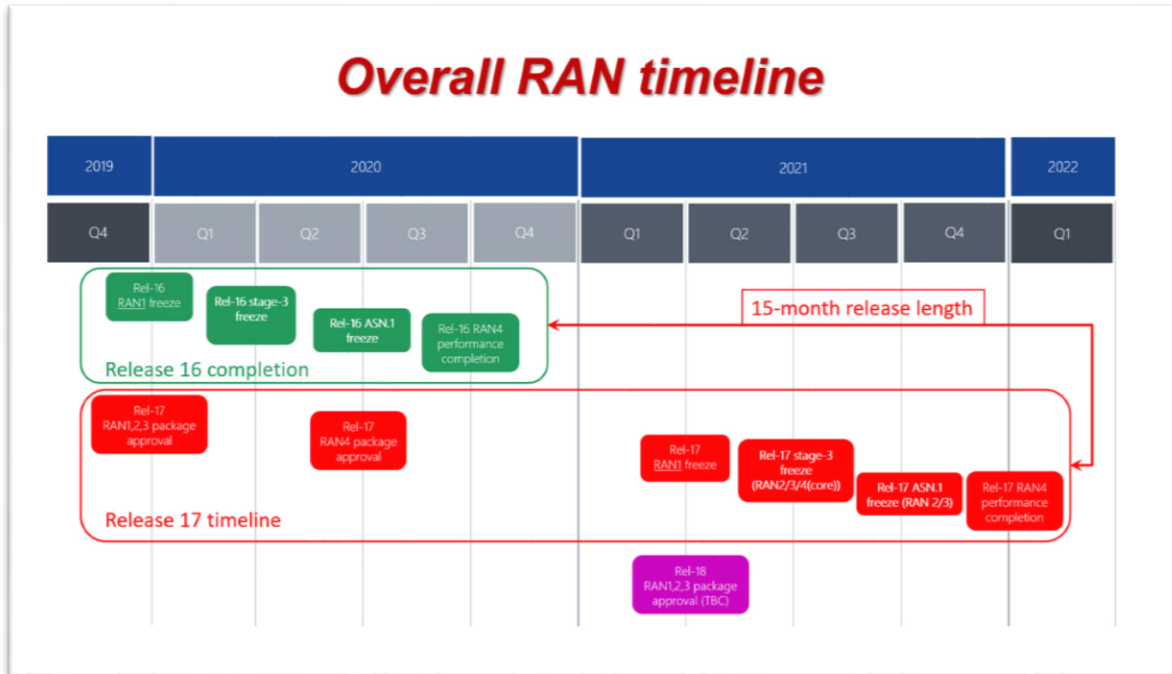
Ο οργανισμός τυποποίησης 3rd Generation Partnership Project (3GPP) ακολουθεί το ίδιο χρονοδιάγραμμα με την ITU και έχει χωρίσει τη διαδικασία προτυποποίησης σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση ολοκληρώθηκε τον Σεπτέμβριο του 2018 με την έκδοση 15, ολοκληρώθηκαν οι αρχικές προδιαγραφές που επιτρέπουν την ανάπτυξη των πρώτων συστημάτων το 2020. Η δεύτερη φάση θα ενσωματώσει επεκτάσεις των δυνατοτήτων του 5G ώστε προοδευτικά να υποστηριχθούν περισσότερες υπηρεσίες, σενάρια και νέες ζώνες συχνοτήτων. Η 2η φάση ολοκληρώθηκε το 2019 με την έκδοση 16[10]. Το 3GPP οργανώνει τη δουλειά του σε τρία διαφορετικά επίπεδα: στα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, στις υπηρεσίες και συστήματα και τέλος στο κεντρικό δίκτυο και τα τερματικά. Παρακάτω παρατίθεται το αντίστοιχο χρονοδιάγραμμα[11].



Εικόνα 4 :Χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης των χαρακτηριστικών του προτύπου 3GPP

Το Δεκέμβριο του 2019 πάρθηκαν σημαντικές αποφάσεις, σχετικά με την περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας του 5G NR. Εγκρίθηκε το περιεχόμενο για το Release-17 - τόσο όσον αφορά τον κατάλογο των χαρακτηριστικών που συμπεριλαμβάνονται όσο και τη λεπτομερή λειτουργικότητα του κάθε χαρακτηριστικού. Αυτή η απόφαση αφορά την εργασία RAN1, RAN2 και RAN3: φυσικό επίπεδο (physical layer), ράδιο-πρωτόκολλο (radio protocol) και βελτιώσεις στην αρχιτεκτονική (architecture enhancements) αντίστοιχα. Περαιτέρω αποφάσεις θα ληφθούν στο RAN # 88, τον Ιούνιο 2020, για το έργο RAN4 του Release-17. Για το Release-17 η εργασία για το φυσικό επίπεδο RAN1 θα ξεκινήσει στις αρχές του 2020, ενώ η εργασία για το ράδιο-πρωτόκολλο και την αρχιτεκτονική λειτουργούν σε RAN2 και RAN3, αντίστοιχα, θα ξεκινήσουν το 2ο τρίμηνο[12][13].

Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους.



Εικόνα 5: Συνολικό Χρονοδιάγραμμα για την ανάπτυξη του ραδιοδικτύου RAN του 5G

4. ΚΙΝΗΤΡΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5G

4.1 Κίνητρα ανάπτυξης του 5G

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής όπως έχει διαμορφωθεί έχει οδηγήσει σε μεγάλη ζήτηση δεδομένων. Η αναμενόμενη ζήτηση για δεδομένα το 2023 θα ανέλθει στα 17GB ως μέση τιμή παγκοσμίως ανά μήνα και ανά ενεργό smartphone, ενώ η συνολική μηνιαία κίνηση δεδομένων θα ανέρχεται στα 107EB (1 exabyte = 10¹⁸ bytes) [14].

Σύμφωνα με έρευνα της Ericsson για το διάστημα 2017-2023 παρατηρείται τάση εκθετικής αύξησης του αριθμού ευρυζωνικών συνδρομών κινητών επικοινωνιών (8,3 δις από 5,3 δις στο τέλος του 2017). Επίσης, η κίνηση δεδομένων πάνω από δίκτυα κινητών επικοινωνιών αναμένεται να αυξηθεί κατά οκτώ φορές από το 2017 έως το 2023. Το 20% αυτής της κίνησης παγκοσμίως αναμένεται να περνάει πάνω από δίκτυα 5G ήδη το 2023. Το video το 2023 θα αποτελέσει το 73% της συνολικής κίνησης (56% το 2017), το οποίο έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις μετάδοσης.

Νέες εφαρμογές, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα (AR), η εικονική πραγματικότητα (VR) και άλλες μορφές ολιστικής εμπειρίας παρακολούθησης video «σαν να είναι κανείς παρών», που εμφανίζονται, έχουν αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας και αξιοπιστίας. Τέλος, ο αναμενόμενος αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών του Διαδικτύου των Αντικειμένων – Internet of Things (IoT)– μέσω κινητών επικοινωνιών το 2023 θα αγγίξει τα 3,5 δις (από 700 εκ. το 2017). Η ανάπτυξη της συνδρομητικής βάσης, η κίνηση δεδομένων και οι υψηλές απαιτήσεις απόδοσης δικτύου αδυνατούν να εξυπηρετηθούν από τα σημερινά δίκτυα. Τα χαρακτηριστικά που καλύπτουν την παραπάνω ανάγκη συγκεντρώνονται στο 5G, το οποίο θα φέρει επιπλέον μια πληθώρα νέων ευκαιριών για τους ανθρώπους, την κοινωνία και τις επιχειρήσεις [15].

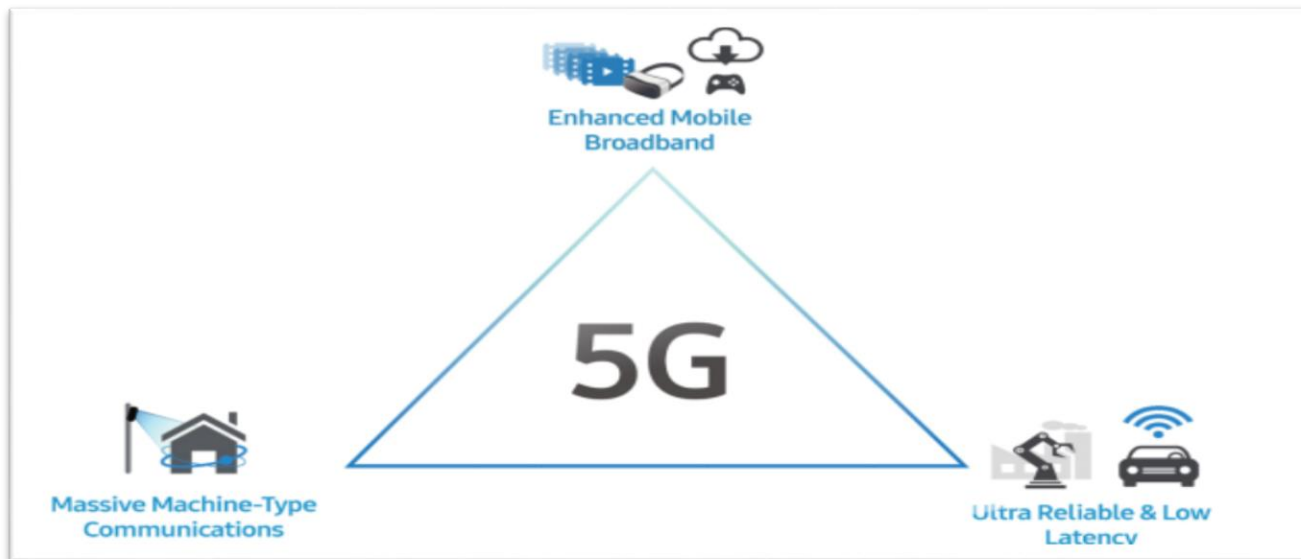
4.2 Κύριοι τεχνικοί στόχοι του 5G

Τα δίκτυα 5G δεν αποτελούν απλώς μια βελτίωση των προηγούμενων δικτύων, αλλά γίνεται ένα άλμα αναφορικά με τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και τη χαμηλή καθυστέρηση απόκρισης που θα προσφέρουν, τη μαζική διασύνδεση συσκευών (machine to machine), την αξιοπιστία των δικτύων και την ενεργειακή τους απόδοση. Οι αλλαγές αυτές θα ικανοποιήσουν την ανάγκη για αυξημένη χωρητικότητα και ρυθμούς μετάδοσης που απαιτεί σήμερα η αυξανόμενη χρήση video (ποιότητα video 4K, ο αυξημένος χρόνος παρακολούθησης τηλεοπτικών και άλλων προγραμμάτων μέσω κινητών συσκευών, περισσότερο περιεχόμενο). Σύμφωνα με το 3GPP οι τρεις κύριοι τεχνικοί στόχοι του 5G δικτύου ή τρεις τύποι υπηρεσιών όπως αναφέρονται μερικές φορές είναι [16]:

- Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (Enhanced Mobile Broadband-eMBB)
- Αξιόπιστες Επικοινωνίες και χαμηλή καθυστέρηση απόκρισης (Ultra Reliable and Low Latency -URLLC)
- Μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (Massive Machine Type Communications-mmtc)

4.3 Τύποι υπηρεσιών που προσφέρει το 5G

Αντιστοίχως, η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) έχει ταξινομήσει τις 5G υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τους παραπάνω τεχνικούς στόχους και έχει περιγράψει τους διάφορους τύπους των υπηρεσιών που μπορεί να προσφέρει [17].



Εικόνα 6: Το όραμα του 5G

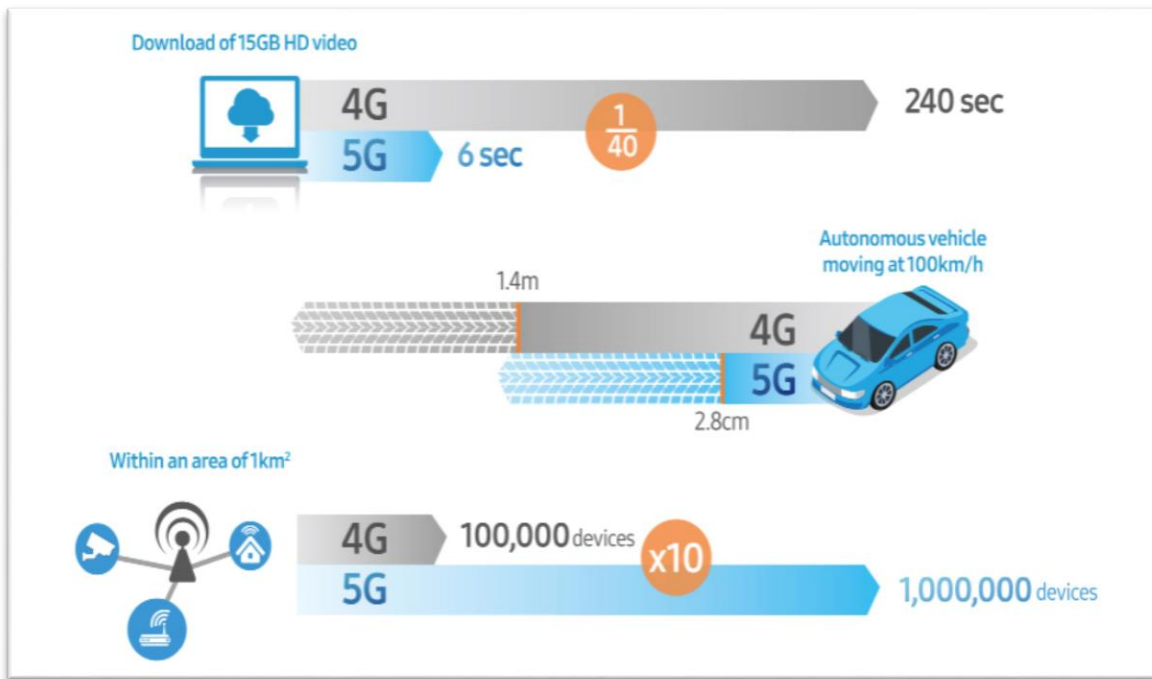
α) Υπηρεσίες εμπλουτισμένης Κινητής Ευρυζωνικότητας - *enhanced Mobile BroadBand (eMBB)*. Οι υπηρεσίες αυτές θα χρησιμοποιούν μεγάλο εύρος ζώνης και θα απαιτούν πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, για την παροχή εξαιρετικής κάλυψης και ομοιόμορφης συνδεσιμότητας παντού. Προβλεπόμενες σχετικές υπηρεσίες αποτελούν το HD video, οι υπηρεσίες εικονικής πραγματικότητας (virtual reality), ή οι υπηρεσίες επαυξημένης πραγματικότητας (augmented reality).

β) Υπηρεσίες εξαιρετικά Αξιόπιστων Επικοινωνιών Χαμηλής Καθυστερήσης - *ultra Reliable Low-Latency Communications (uRLLC)*. Οι υπηρεσίες αυτές απαιτούν υψηλή χωρητικότητα και ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων για την παρακολούθηση και τον απομακρυσμένο έλεγχο κρίσιμων διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο. Παραδείγματα: έλεγχος βιομηχανικών διαδικασιών, δίκτυα αισθητήρων, αυτοματοποίηση της διανομής ενέργειας, απομακρυσμένος έλεγχος κρίσιμων μηχανημάτων (εγχειρήσεις/υπηρεσίες υγείας, αυτόνομη οδήγηση και χειρισμός βαρέων οχημάτων ή μηχανημάτων γενικότερα κλπ.).

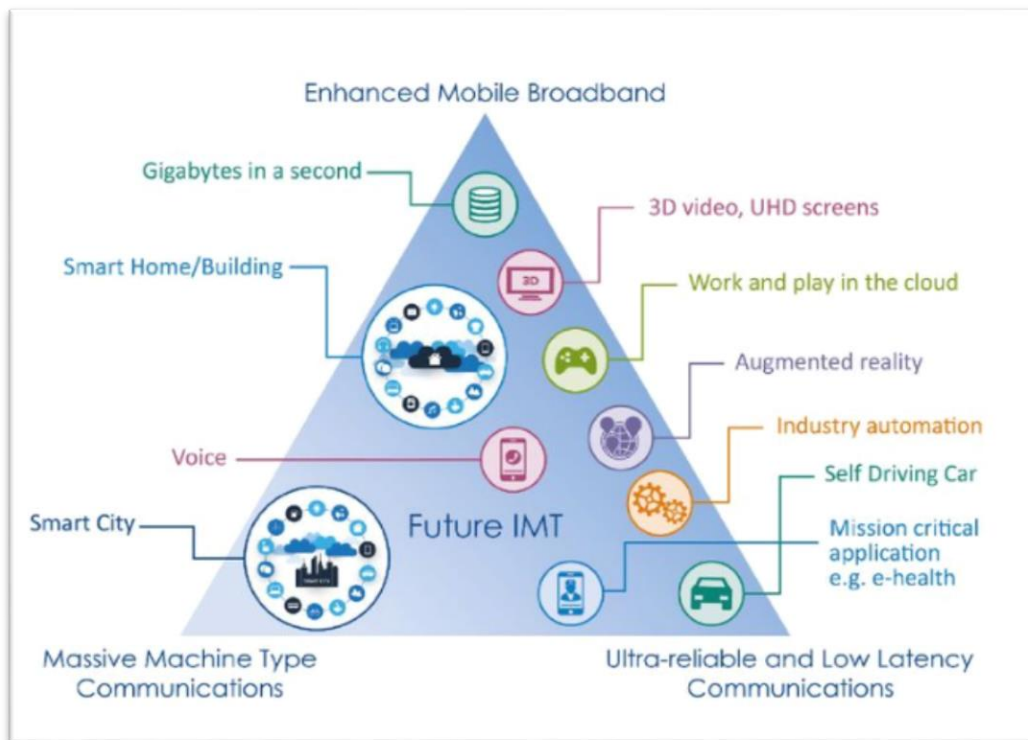
γ) Υπηρεσίες μαζικής Επικοινωνίας μεταξύ μηχανών - *massive Machine Type Communications (mMTC)*. Οι υπηρεσίες για την παροχή ευρείας κάλυψης και βαθιάς διείσδυσης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους για εκατοντάδες χιλιάδες συσκευών ανά km². Επίσης, για την παροχή συνδεσιμότητας παντού με χαμηλή πολυπλοκότητα υλικού και λογισμικού (hw&sw) (και άρα χαμηλού κόστους) και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Παραδείγματα: παρακολούθηση και αυτοματοποίηση κτιρίων, ευφυής γεωργία, ευφυής

Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους.

εφοδιαστική αλυσίδα (logistics), παρακολούθηση και διαχείριση στόλου, υλοποιήσεις ευφυών πόλεων - smart cities κλπ.



Εικόνα 7: Παράδειγμα σύγκρισης απόδοσης μεταξύ 4G και 5G

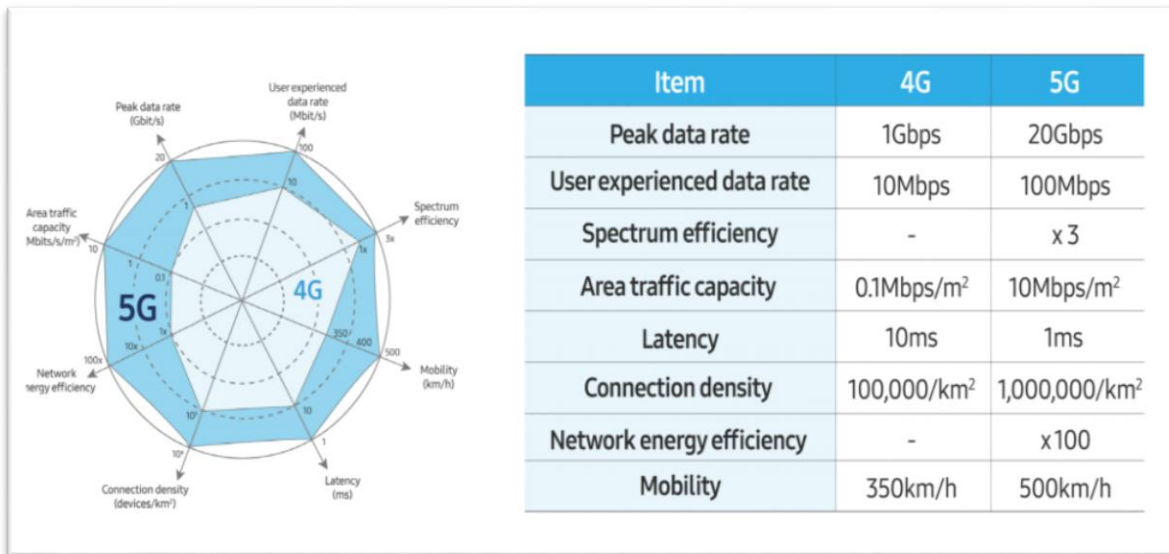


Εικόνα 8: Τύποι υπηρεσιών 5G σύμφωνα με τους κύριους τεχνικούς στόχους

Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους.

Οι κατευθύνσεις που καθορίστηκαν από την ITU συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα όπως και μια σύγκριση μεταξύ τεχνολογιών 4G και 5G [16].

Πίνακας 1: Σύγκριση μεταξύ 4G και 5G



Όταν εισήχθη για πρώτη φορά το 4G LTE, η μέγιστη απόδοση (ή η μέγιστη ταχύτητα) ήταν 75Mbps, η οποία ήταν μικρότερη από το ένα δέκατο της ταχύτητας που ο κλάδος είχε θέσει ως την υψηλότερη τιμή απόδοσης για την τεχνολογία (1Gbps). Μόνο μετά την εισαγωγή μιας συσκευής υποστήριξης, που κυκλοφόρησε στο εμπόριο το 2018, η 4G LTE τεχνολογία μπόρεσε να επιτύχει αυτή την ταχύτητα (1Gbps). Κάθε τεχνολογία κινητών επικοινωνιών χρειάζεται αρκετά χρόνια από την έναρξή της για να επιτύχει την επιθυμητή τιμή ταχύτητας. Ομοίως, η 5G θα ξεκινήσει τις υπηρεσίες της με μέγιστη απόδοση μόλις λίγων Gbps, η οποία θα αυξηθεί σταδιακά ως και τα 20Gbps που είναι ο στόχος(peakdata rate: 20 Gbps) [16].

5. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G

Για να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα από το 5G θα πρέπει να παρέχονται πολύ υψηλές συχνότητες με πολύ μεγάλο εύρος ζώνης, πολλοί σταθμοί βάσης, αντοχή και ανοχή στην πυκνότητα συσκευών και σίγουρα ένας πολύ μεγάλος αριθμός κεραιών. Παράλληλα μιλάμε για συνεργασία μεταξύ LTE και WIFI για παροχή καθολικής κάλυψης σήματος. Πιο κάτω θα αναλύσουμε τις απαιτήσεις που χρειάζονται την ανάπτυξη των δικτύων 5^η γενιάς.

Πιο συγκεκριμένα:

1) Ρυθμός δεδομένων-Datarate: Για την υλοποίηση του 5G δημιουργείται ανάγκη για υποστήριξη τεράστιων ρυθμών δεδομένων όπου είναι και η κινητήριος δύναμη. Ο συνολικός ρυθμός δεδομένων αναφέρεται στην συνολική ποσότητα των δεδομένων του δικτύου και μετριέται σε μονάδες των bits/s/area.

2) Χρόνος Καθυστερήσης- Latency: Οι χρονικές καθυστερήσεις αποτελούν από τις σημαντικότερες προκλήσεις της ανάπτυξης του 5G. Μέχρι τώρα (4G) μιλούσαμε για καθυστερήσεις της τάξεως 15ms. Πλέον περιμένουμε ότι ο χρόνος καθυστέρησης θα είναι της τάξεως 1ms.

3) Ενέργεια και κόστος: Η εκθετική αύξηση της κίνησης στο δίκτυο και ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών, καθιστούν την ενεργειακή απόδοση σημαντικό παράγοντα στην ανάπτυξη του δικτύου. Έτσι, η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών θα μειώσει το κόστος των κεφαλαίων και των λειτουργικών δαπανών. Οι απαιτήσεις σχεδίασης 5G καθορίζουν ότι η χρήση ενέργειας θα μειωθεί στο 10% των σημερινών δικτύων 4G. Οι τεχνολογίες Cloud και virtualization, το νέο αποδοτικό hardware των κεραιών, οι αρχιτεκτονικές δικτύων μικρών κυψελών 5G και τα πιο αποτελεσματικά πρωτόκολλα δικτύου θα οδηγήσουν στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης με τεράστιες δυνατότητες για την αξιοποίηση της σπατάλης ισχύος οι οποίες θα μειώσουν περαιτέρω την κατανάλωση ενέργειας [16].

4) Συμβατότητα: Με την άφιξη της καινούργιας γενιάς δικτύων διατηρείται η χρήση των δικτύων των προηγούμενων γενιών. Τα συστήματα της νέας γενιάς θα συνεργάζονται αρμονικά με τα προηγούμενα κυρίως με τα 3G και 4G LTE ενσωματώνοντας και την τεχνολογία του WIFI η οποία είναι απαραίτητη. Επιπλέον το δίκτυο θα κληθεί να εξυπηρετήσει διάφορων ειδών συσκευές ενώ μελλοντικά περιμένουμε και την απευθείας ανάπτυξη επικοινωνιών μεταξύ μηχανών – D2D Communications (Device-to-device).

5) Εύρος Ζώνης –Bandwidth και Χωρητικότητα Δικτύου: Εύρος ζώνης ορίζουμε το μέγεθος που χαρακτηρίζει το φάσμα συχνοτήτων ηλεκτρικών σημάτων και ηλεκτρονικών διατάξεων. Παράλληλα ορίζουμε τη διαφορά της μεγαλύτερης συχνότητας από την μικρότερη του φάσματος συχνοτήτων. Το 5G θα μεταδίδεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ιδιαίτερα υψηλή συχνότητα. Σε αδρές γραμμές, μεγαλύτερη συχνότητα ισούται με μεγαλύτερη ταχύτητα και μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Το ραδιοφάσμα χωρίζεται σε ζώνες, η καθεμιά με μοναδικά χαρακτηριστικά τα οποία διαφοροποιούνται καθώς ανεβαίνουμε στις υψηλότερες συχνότητες. Τα δίκτυα 4G χρησιμοποιούν συχνότητες κάτω των 6 GHz. Το 5G χρησιμοποιεί εξαιρετικά υψηλές συχνότητες στην περιοχή των **24 GHz έως 300 GHz**[18].

Πίνακας 2: Προτεινόμενη Απόδοση 5G Ασύρματου Δικτύου

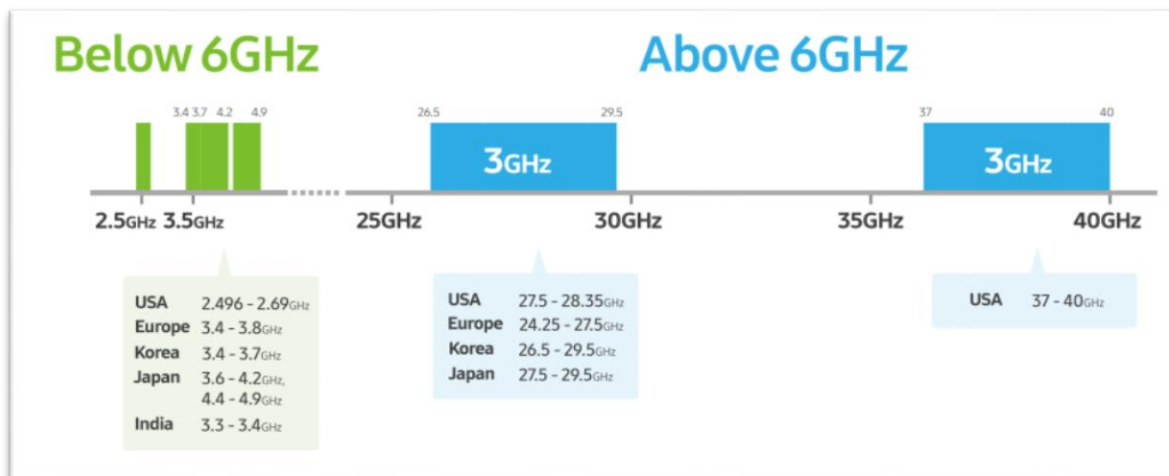
Προτεινόμενη Απόδοση 5G Ασύρματου Δικτύου	
Παράμετρος	Προτεινόμενη Απόδοση
Ποσοστό δεδομένων κορυφής (peak data rate)	Τουλάχιστον 20Gbps κατερχόμενη ζεύξη(downlink) και 10Gbps ζεύξη ανά κινητό σταθμό βάσης. Αυτό αντιπροσωπεύει μια 20-πλάσια αύξηση στην downlink έναντι του LTE.
5G πυκνότητα σύνδεσης	Τουλάχιστον 1 εκατομμύριο συνδεδεμένες συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (για να είναι δυνατή η υποστήριξη του IoT).
5G κινητικότητα	0 -500 km/h για υψηλής ταχύτητας οχήματα.
5G ενεργειακή απόδοση	Η προδιαγραφή 5G απαιτεί ασύρματες διεργασίες που είναι ενεργειακά αποδοτικές όταν βρίσκονται υπό πλήρη λειτουργία, αλλά επίσης πέφτουν γρήγορα σε λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας όταν δεν χρησιμοποιούνται.
5G φασματική απόδοση	30bits/Hz downlink και 15 bits/Hz uplink με τη χρήση massive MIMO
5G ρυθμός δεδομένων πραγματικού χρόνου	Ταχύτητα λήψης ανά χρήστη 100Mbps και ταχύτητα φόρτωσης 50Mbps.
5G καθυστέρηση	Υπό ιδανικές συνθήκες, τα δίκτυα 5G θα πρέπει να προσφέρουν στους χρήστες μέγιστη καθυστέρηση μόλις 1ms (σε σύγκριση με 20ms για LTE).

6.ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ 5G

Για να επιτευχθούν όλοι οι στόχοι των 5G δικτύων θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν δίαυλοι με πολύ μεγάλο εύρος ζώνης, ιδιαίτερα σε σύγκριση με τους διαύλους των υπάρχοντων συστημάτων. Από νωρίς λοιπόν αναγνωρίστηκαν στην Ευρώπη τρεις φασματικές περιοχές, που ονομάστηκαν και «πρωτοπόρες ζώνες»[14]:

- Η Ζώνη κάτω από το 1 GHz, π.χ. στα 700 MHz, με την οποία εξασφαλίζεται εκτεταμένη κάλυψη και προσφέρεται η δυνατότητα εύκολης μετάβασης από τα παλαιότερης γενιάς δίκτυα.
- Η Ζώνη 3400-3800 MHz (3.4-3.8 GHz), η οποία προσφέρει την απαιτούμενη χωρητικότητα για τις νέες υπηρεσίες 5G, αναπτύσσοντας macro αλλά και small cells.
- Η Ζώνη 24.25 – 27.5 GHz (26 GHz), η οποία προσφέρει υπερ-υψηλές ταχύτητες μετάδοσης για καινοτόμες υπηρεσίες και επιτρέπει την ανάπτυξη νέων μοντέλων επιχειρηματικότητας και νέων τομέων της οικονομίας.

Η χρήση των υπόλοιπων ζωνών συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται ήδη από τους παρόχους δεν είναι αποτελεσματική λύση, λόγω της ανάγκης συνύπαρξης των διαφορετικών γενιών συστημάτων, π.χ. 2G, 3G, 4G/LTE και 5G. Στο παρακάτω σχήμα αποτυπώνονται οι φασματικές περιοχές τόσο για την Ευρώπη όσο και για άλλες χώρες του κόσμου.



Εικόνα 9: «Πρωτοπόρες ζώνες»

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα, η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) προτείνει μία δημοπρασία για όλες τις φασματικές περιοχές του 5G (700 MHz, 2 GHz, 3400 – 3800 MHz και 26 GHz) στη δημόσια διαβούλευση που ξεκίνησε 6 Φεβρουαρίου 2020. Βάσει του έως τώρα προγραμματισμού η διαγωνιστική διαδικασία για τις συχνότητες του 5G θα γίνει εντός του έτους, το νωρίτερο στο τέταρτο τρίμηνο[53].

7. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τις πιο βασικές τεχνολογίες που θα καλύψουν τις απαιτήσεις του Δικτύου 5G. Τα ασύρματα συστήματα, το δίκτυο οπισθόζευξης - backhaul, το softwarization των δικτύων κορμού (core networks) και των ασύρματων δικτύων πρόσβασης (radio access networks) αποτελούν τα δομικά στοιχεία κατά την πρώιμη ανάπτυξη δικτύων 5G, ιδίως όσον αφορά την ενισχυμένη ευρυζωνική τεχνολογία [19].

7.1 Δίκτυο ασύρματης πρόσβασης

Το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Network - RAN) έχει χρησιμοποιηθεί από την αρχή της κυψελοειδούς τεχνολογίας και έχει εξελιχθεί μέσω των γενιών κινητών επικοινωνιών (1G έως 5G). Πιο συγκεκριμένα στη πέμπτη γενιά δικτύων έχουμε το New Radio RAN. Το New Radio RAN [20] είναι μια νέα διεπαφή ασύρματου δικτύου (new radio interface) που αναπτύσσεται για κινητές επικοινωνίες 5G. Με τις υψηλές απαιτήσεις που τίθενται στο νέο πρότυπο κινητών επικοινωνιών 5G, αναπτύχθηκε μια εντελώς νέα διεπαφή ραδιοσυχνοτήτων και ασύρματης πρόσβασης. Οι ακρογωνιαίοι λίθοι στο NR που χρησιμοποιούνται για το 5G είναι [21]:

7.1.1 Νέο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων

Για τα πρότυπα 5G απαιτείται ευρύ φάσμα ζώνης συχνοτήτων για την παροχή υψηλής ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων. Κατά συνέπεια, σύμφωνα με τα πρότυπα θα χρησιμοποιηθεί το φάσμα τόσο κάτω όσο και άνω των 6GHz (ζώνες εξαιρετικά υψηλής συχνότητας όπως 28GHz και 39GHz).

7.1.2. Χρήση βελτιωμένων τύπων της ορθογώνιας διαμόρφωσης OFDM

Οι τύποι Cyclic Prefix OFDM (CP-OFDM) και η Discrete Fourier Transforms spread OFDM (DFT-s-OFDM) θα δώσουν ακόμα καλύτερη φασματική απόδοση παρέχοντας ταυτόχρονα ανθεκτικότητα στην επιλεκτική εξασθένηση. Επιτρέπουν επίσης την εφαρμογή πολλαπλής πρόσβασης.

7.1.3 Χιλιοστομετρικές Συχνότητες (mmWave) και διαμόρφωση δέσμης Beamforming)

Μπορεί να είναι σχετικά εύκολο να εξασφαλιστούν ζώνες υψηλών συχνοτήτων ωστόσο έχουν ορισμένα μειονεκτήματά, όπως μικρή κάλυψη και χαμηλό ποσοστό διείσδυσης. Η τεχνολογία Beamforming έχει εισαχθεί ως μέτρο υπέρβασης αυτών των αδυναμιών. Είναι ένα σύστημα ασύρματης εκπομπής, που προσδιορίζει την πιο αποτελεσματική διαδρομή παροχής δεδομένων σε έναν συγκεκριμένο χρήστη και μειώνει τις παρεμβολές για τους χρήστες που βρίσκονται στη γύρω περιοχή. Επίσης, επιτρέπει στις χιλιοστομετρικές συχνότητες να ταξιδέψουν μακριά με λιγότερες παρεμβολές από άλλα σήματα. Όσο περισσότερα τα στοιχεία της κεραίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα κάλυψης.



Εικόνα 10: Πώς λειτουργεί η τεχνολογία σχηματισμού ακτινών(Beamforming)

Η κατεύθυντικότητα των επικοινωνιών χιλιοστομετρικού κύματος (mmWave) δημιουργεί μια σημαντική πρόκληση για την εξυπηρέτηση των ταχέως μετακινούμενων κινητών τερματικών αφού θα πρέπει αυτά να παρακολουθούνται με μεγαλύτερη ακρίβεια και συνεχώς από τη ακτίνα σήματος.

7.1.4 Βελτίωση της φασματικής απόδοσης- Massive MIMO

Η Massive MIMO τεχνολογία (Massive Multi-Input Multi-Output) ελέγχει τη συστοιχία κεραιών πολλών στοιχείων κεραιάς για να δημιουργήσει πολλαπλές δέσμες ταυτόχρονα και κάθε δέσμη φέρει διαφορετικό σήμα στο χρήστη. Η αποδοτικότητα του φάσματος βελτιώνεται καθώς επιτρέπει σε πολλαπλούς χρήστες να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα τον ίδιο ασύρματο πόρο. Μια παρόμοια τεχνολογία MIMO χρησιμοποιείται επί του παρόντος με το 4G. Ωστόσο, οι δέσμες δεν είναι αρκετά κατευθυντικές ώστε να εντοπίζουν κάθε χρήστη, καθιστώντας το MIMO πολύ λιγότερο αποτελεσματικό από αυτό που θα είναι στην εποχή του 5G. Η MIMO τεχνολογία στο 4G χρησιμοποιεί μονοδιάστατη διάταξη συστοιχιών κεραιών που περιορίζει την ελευθερία των κεραιών, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να διακρίνει τους χρήστες σε οριζόντια μόνο κατεύθυνση. Σε αντίθεση με αυτό, το MIMO στο 5G υποστηρίζει ταυτόχρονα περισσότερους χρήστες, ενσωματώνοντας μια δισδιάστατη κεραία για να καλύψει τόσο την οριζόντια όσο και την κατακόρυφη κατεύθυνση.



Εικόνα 11: Πως λειτουργεί η τεχνολογία MIMO-4Gvs 5G

7.1.5 Ετερογενή δίκτυα

Η αρχιτεκτονική προσέγγιση που αποτελεί τη βάση των σημερινών δικτύων, αλλά αναμένεται να αποτελέσει και θεμέλιο λίθο για το 5G, είναι εκείνη της ανάπτυξης **ετερογενών δικτύων**. Ένα ετερογενές δίκτυο είναι εκείνο το δίκτυο που εμπεριέχει ένα πλήθος διαφορετικών τεχνολογιών ραδιο-πρόσβασης φωνής και δεδομένων (2G, 3G και 4G), καθώς και πολλαπλών τύπων κόμβων πρόσβασης (macro, micro, pico και femto), οι οποίες συμβάλλουν από κοινού στην απρόσκοπτη υποστήριξη υψηλής κάλυψης, χωρητικότητας και ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων, εξασφαλίζοντας άριστα επίπεδα παρεχόμενων υπηρεσιών στους τελικούς συνδρομητές.

Η συνύπαρξη των διαφορετικών ραδιο-τεχνολογιών οφείλεται κυρίως σε τεχνολογικούς λόγους, καθώς η ταυτόχρονη παροχή υψηλών επιπέδων υπηρεσιών φωνής και δεδομένων μπορεί να υποστηριχθεί συνδυαστικά από τις επιμέρους τεχνολογίες. Οφείλεται ωστόσο και σε οικονομοτεχνικούς λόγους με βάση τις διαχρονικές επενδύσεις των παρόχων επικοινωνιών στις υποδομές των δικτύων.

Το επίπεδο (layer) ή στρώμα (tier) δικτύου είναι μία τοπολογία κόμβων ραδιοπρόσβασης, οι λεγόμενοι σταθμοί βάσης (base stations), που καλύπτουν αντίστοιχες κυψέλες (cells) με ομογενή χαρακτηριστικά, ως προς το μέγεθος (cell size), τις διαστάσεις της κατασκευής και τη μέγιστη ισχύ εκπομπής. Παραδοσιακά τα ραδιο-δίκτυα σχεδιάζονταν και εξαπλώνονταν με βάση ένα μοναδικό στρώμα, γνωστό ως μακρο-κυψελωτό ή απλά “macro”. Οι macro κυψέλες εξυπηρετούν μία ευρεία γεωγραφική περιοχή ακτίνας από μερικές εκατοντάδες μέτρα (500 m περίπου σε τυπικά αστικά περιβάλλοντα) (10 km περίπου σε τυπικά αγροτικά περιβάλλοντα), ανάλογα με το προφίλ της επιθυμητής περιοχής κάλυψης (πυκνή αστική, αστική, αγροτική, κλπ.). Οι συγκεκριμένοι σταθμοί βάσης τοποθετούνται είτε από προσεκτικό σχεδιασμό (network planning) και συνήθως σε ειδικές κατασκευές (radio towers) που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους, ενώ η ισχύς τους είναι κατάλληλη ώστε να παρέχουν κάλυψη ακόμη και σε εσωτερικούς χώρους, και υποστηρίζουν πολλαπλές φασματικές ζώνες, δηλαδή 800, 900, 1800, 2100, και 2600 MHz. Τα τωρινά δίκτυα φωνής και δεδομένων 2G, 3G, 4G έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί με βάση κυρίως τη συγκεκριμένη τοπολογία μακρο-κυψελών.

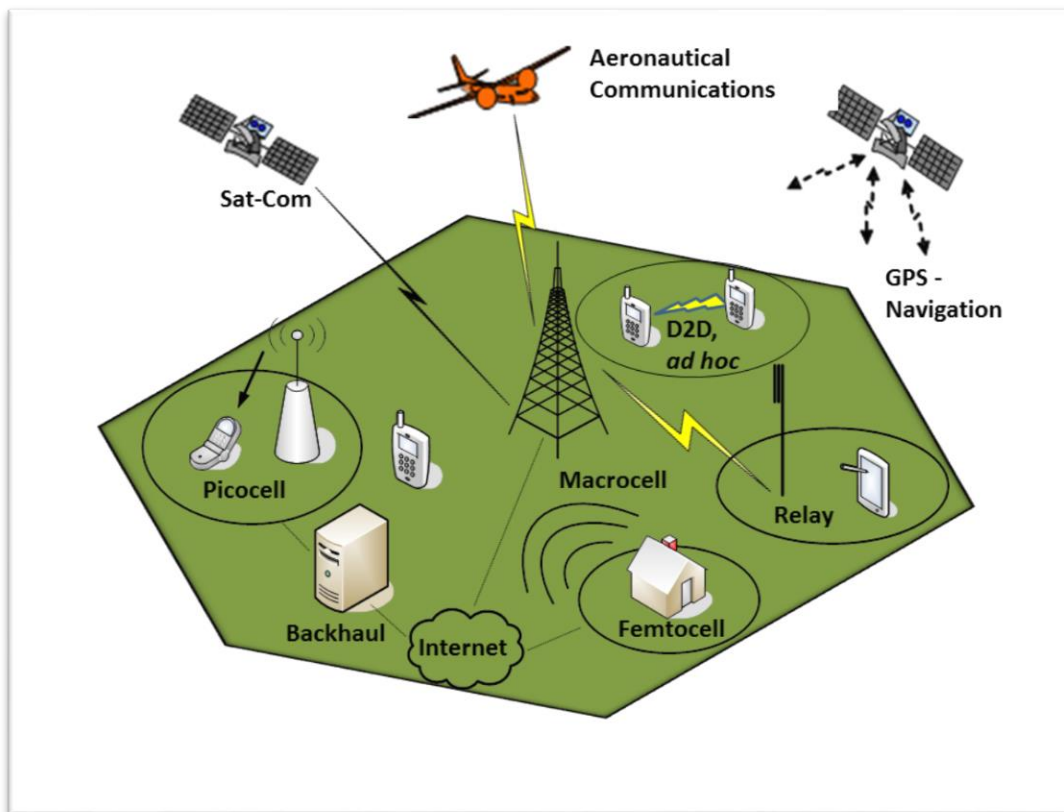
Η ενσωμάτωση μικρών κυψελών “small-cells” όπου υπάρχει ανάγκη για τη βέλτιστη κάλυψη των χρηστών, οι οποίες είναι μικρότερης εμβέλειας σε σχέση με τις κυψέλες macro, συνιστά μία πάγια πρακτική τοπολογικής εξέλιξης των σύγχρονων ραδιο-δικτύων. Οι κυψέλες small-cells διαθέτουν εμβέλεια από λίγα μέτρα (femto-cells) έως μερικές δεκάδες (pico) ή και εκατοντάδες μέτρα (micro). Έχουν ισχύ εκπομπής από 100 mW (femto) έως και 10 W (micro), ενώ τοποθετούνται είτε σε εξωτερικούς (micro/pico) είτε σε εσωτερικούς χώρους (pico/femto). Για τη λειτουργία τους συνήθως χρησιμοποιούνται υψηλότερες φέρουσες συχνότητες, π.χ. 1800, 2100 και 2600 MHz (και μελλοντικά 3500 MHz ή και παραπάνω).

Οι micro-cells τοποθετούνται τυπικά σε εξωτερικό χώρο, σε χαμηλό ύψος, και καλύπτουν κυρίως περιοχές δημοσίου ενδιαφέροντος με αυξημένες ανάγκες τηλεπικοινωνιακής κίνησης (π.χ. στάδια, γήπεδα, πάρκα, στάσεις δημόσιας συγκοινωνίας, στύλους φωτισμού, μέχρι και σε καπάκια φρεατίων στους δρόμους σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές κλπ.). Οι ίδιοι σταθμοί μπορούν να προσφέρουν κάλυψη και σε εσωτερικούς χώρους.

Οι pico-cells έχουν ακτίνα κάλυψης μερικών δεκάδων μέτρων και καλύπτουν συνήθως απαιτητικούς εσωτερικούς χώρους ή εσωτερικούς κι εξωτερικούς χώρους δημοσίου ενδιαφέροντος, όπως πολυ-όροφες εγκαταστάσεις, σταθμούς τραίνων , στάσεις δημόσιας συγκοινωνίας, στύλους φωτισμού, μέχρι και σε καπάκια φρεατίων στους δρόμους σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές κλπ.

Οι femto-cells τοποθετούνται σε οικιακούς χώρους και λειτουργούν βάσει ενός μοντέλου περιορισμένης πρόσβασης. Άρα συνυπάρχουν τα διαφορετικά ιεραρχικά επίπεδα κυψελών, που δρουν συνδυαστικά και συνεργατικά καθώς κάθε επίπεδο επικεντρώνεται σε διαφορετικά προφίλ κάλυψης και τηλεπικοινωνιακής κίνησης, αξιοποιώντας ταυτόχρονα τις συνεχείς επενδύσεις σε εναλλακτικές υποδομές ραδιο-πρόσβασης.

Συνεπώς, ο όρος “ετερογενή δίκτυα” χρησιμοποιείται για να περιγράψει τόσο τα σημερινά όσο και τα μελλοντικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών, τα οποία χρησιμοποιούν πολλαπλές τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης αλλά και πολλαπλά ιεραρχικά επίπεδα κυψελών, ώστε να βελτιστοποιούν κάθε φορά τα επίπεδα της παρεχόμενης κάλυψης αλλά και της χωρητικότητας και ποιότητας υπηρεσιών των συνδρομητών που κινούνται σε ετερογενή περιβάλλοντα. Χωρίς τη χρήση της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής, καθίσταται αδύνατη η παροχή υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών με τα απαιτούμενα κάθε φορά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις απόδοσης δικτύου, τώρα και στο μέλλον.



Εικόνα 12: Το Ετερογενές Δίκτυο

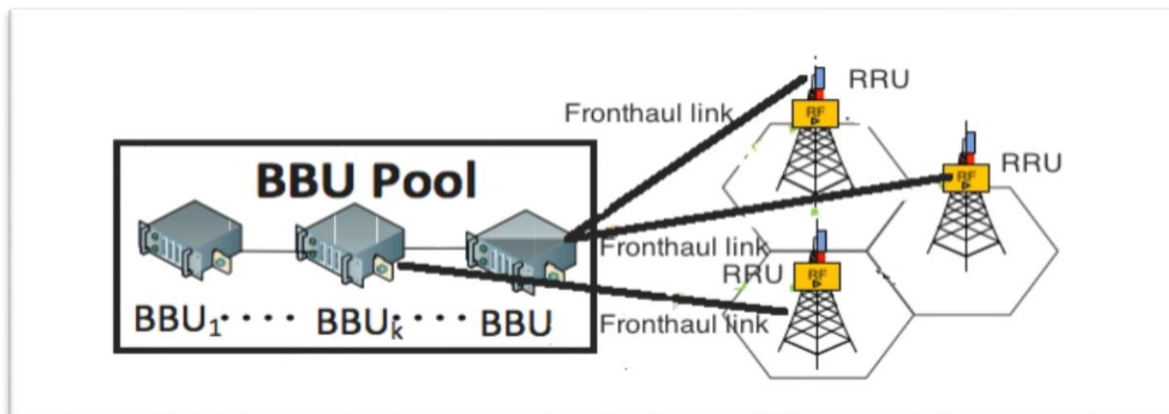
7.2 Cloud-RAN

Ένα επίσης πολύ βασικό χαρακτηριστικό των 5G δικτύων είναι η αρχιτεκτονική **Cloud-RAN (C-RAN)**, όπου οι λειτουργίες του Σταθμού Βάσης χωρίζονται στο Remote Radio Unit (RRU) και στο Baseband Unit (BBU).

7.2.1 Τα συστατικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής Cloud-RAN

Μια αρχιτεκτονική C-RAN αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: το BBU pool, τα δίκτυα απομακρυσμένης ασύρματης μονάδας (Remote Radio Unit RRU) και το δίκτυο μεταφορών ή αυτό που συνήθως ονομάζεται Fronthaul. Το παρακάτω σχήμα δείχνει την επισκόπηση της αρχιτεκτονικής C-RAN, ενώ τα ακόλουθα συνοψίζουν τις κύριες λειτουργίες κάθε στοιχείου:

- **BBU pool:** Είναι μια ομάδα BBU που βρίσκεται σε κεντρική τοποθεσία, όπως το cloud ή ένα data center. Αποτελείται από πολλαπλούς κόμβους BBU που έχουν υψηλές δυνατότητες υπολογιστικής δύναμης και αποθήκευσης. Οι BBUs είναι υπεύθυνοι για την επεξεργασία των πόρων και τη δυναμική κατανομή τους στα RRUs με βάση τις τρέχουσες ανάγκες του δικτύου.
- **Δίκτυο RRU:** Το δίκτυο RRU είναι ένα ασύρματο δίκτυο που συνδέει ασύρματες συσκευές ακριβώς όπως σημεία πρόσβασης (access points) ή πύργους (towers) σε παραδοσιακά κυψελοειδή δίκτυα.
- **Fronthaul ή δίκτυο μεταφοράς:** Το Fronthaul είναι το στρώμα σύνδεσης μεταξύ ενός BBU και ενός συνόλου RRU που παρέχει συνδέσεις μεγάλου εύρους ζώνης για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων πολλών RRU. Τα Fronthauls μπορούν να υλοποιηθούν χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες που περιλαμβάνουν επικοινωνία οπτικών ινών, επικοινωνία κυψελών (cellular communication) ή millimeter wave επικοινωνία. Η επικοινωνία με οπτικές ίνες θεωρείται ιδανική για το C-RAN καθώς καλύπτει την απαίτηση για υψηλότερο εύρος ζώνης. Ωστόσο, η οπτική διασύνδεση έχει υψηλό κόστος και λιγότερο ευέλικτη εφαρμογή σε αντίθεση με την κυψελωτή ή τη millimeter wave επικοινωνία που είναι φθηνότερες και με πιο εύκολη ανάπτυξη. Οι τελευταίοι όμως τρόποι δεν επιλέγονται διότι το κόστος του μικρότερου εύρους ζώνης και της μεγαλύτερης καθυστέρησης σε σχέση με τις οπτικές ίνες τελικά είναι μεγαλύτερο.



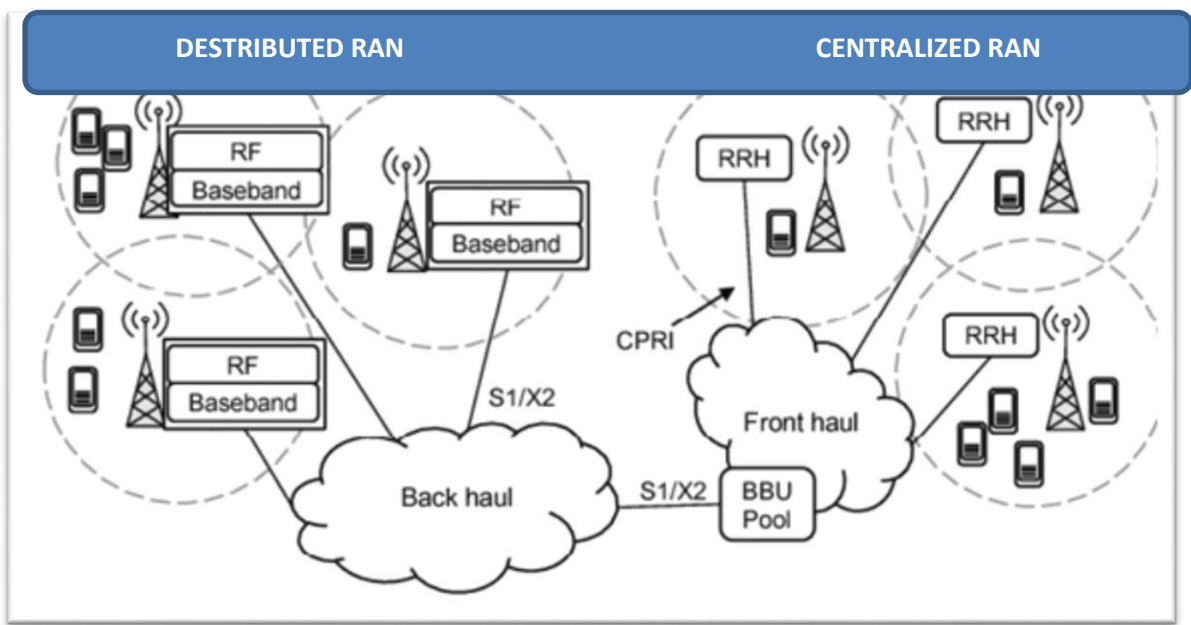
Εικόνα 13: Αρχιτεκτονική C-RAN

7.2.2 Τα κύρια πλεονεκτήματα του Cloud RAN

Ένα κεντρικό BBU έχει πολλά πλεονεκτήματα που περιλαμβάνουν: τη δυνατότητα εφαρμογής προηγμένων τεχνολογιών, virtualization πόρων και ανάπτυξης υπηρεσιών στην άκρη του δικτύου. Μια κεντρική BBU pool σημαίνει ότι τα BBU βρίσκονται στο κέντρο του δικτύου ενώ τα RRH είναι καταναμεμημένα στο δίκτυο. Αυτό επιτρέπει στο C-RAN να έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά κυψελοειδή δίκτυα στα οποία τα BBU είναι καταναμεμημένα.

Το πρώτο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα υλοποίησης διαφόρων προηγμένων τεχνολογιών που απαιτούν υψηλή επεξεργαστική δυνατότητα που δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε παραδοσιακά δίκτυα. Καθώς τα BBU μπορούν να τοποθετηθούν σε ισχυρά data centers και να έχουν αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών, μπορούν να εκτελέσουν εκτεταμένους υπολογισμούς που δεν μπορούν να γίνουν στα τρέχοντα δίκτυα. Ως αποτέλεσμα, με την αρχιτεκτονική C-RAN θα καταστούν δυνατές οι τεχνολογίες από κοινού επεξεργασίας και κοινής χρήσης ραδιοσυχνοτήτων.

Επιπλέον, με τα πολλαπλά BBU που μοιράζονται μια κοινή ομάδα (pool), μπορεί να καταστεί εφικτή η ανταλλαγή πόρων και ως εκ τούτου η κατανομή μπορεί να είναι πιο ευέλικτη και κατ'απαίτηση (ondemand), σε αντίθεση με τα παραδοσιακά δίκτυα. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την αξιοποίηση των πόρων, να οδηγήσει σε λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και να έχει μεγαλύτερη ικανοποίηση των χρηστών λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης πόρων.



Εικόνα14: Αρχιτεκτονική Distributed vs. Centralized RAN

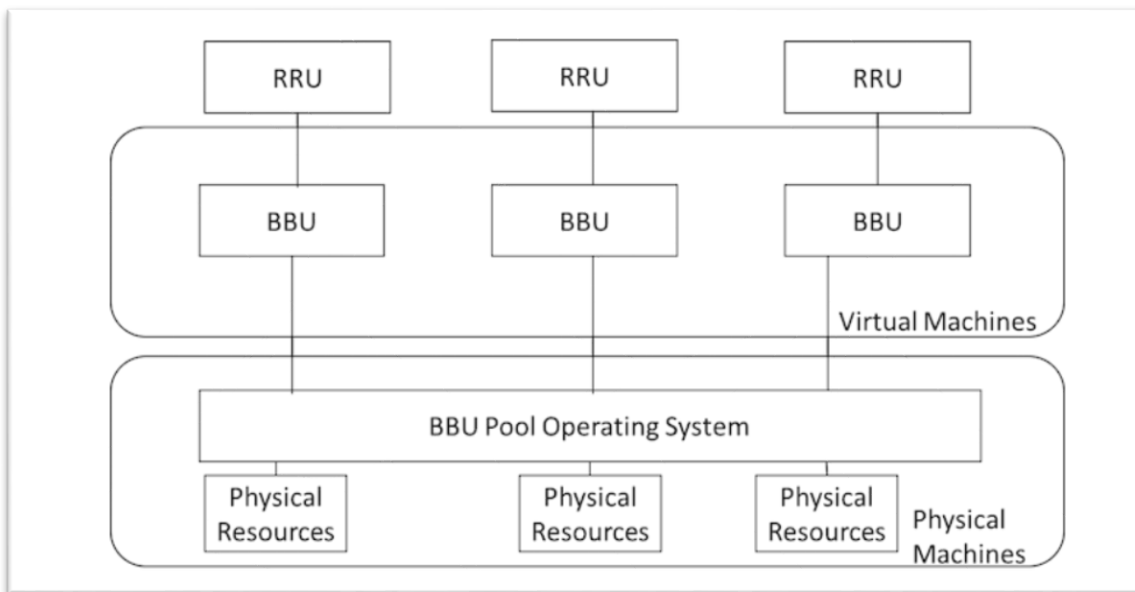
Επιπλέον, με τέτοια μεγάλα και καταναμεμημένα δίκτυα, οι υπηρεσίες μπορούν να αναπτυχθούν στην άκρη (edge) του δικτύου αντί του πυρήνα (core). Καθώς οι διακομιστές C-RAN (servers) είναι ισχυροί και έχουν υψηλή επεξεργαστική ισχύς, η υλοποίηση της ανάπτυξης υπηρεσιών στο άκρο του δικτύου γίνεται πολύ πιο εύκολη. Με αυτόν τον τρόπο, οι υπηρεσίες θα

μετατοπιστούν πιο κοντά στον χρήστη και επομένως θα υπάρξει ταχύτερη ανταπόκριση και μεγαλύτερη ικανοποίηση των χρηστών. Εκτός αυτού, αυτό μπορεί να περιορίσει το φορτίο στα δίκτυα backhaul με αποτέλεσμα αυτά να γίνονται πιο ευέλικτα και πιο επιδεκτικά στη διεύρυνσή τους από την τρέχουσα κατάσταση.

Ως εκ τούτου, η υλοποίηση κεντρικών μονάδων BBU στο C-RAN μπορεί να έχει πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένων των κοινών δυνατοτήτων επεξεργασίας και ανταλλαγής πόρων, πέραν της εφαρμογής των υπηρεσιών στην άκρη του δικτύου. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την ικανοποίηση των χρηστών, να βελτιώσει τη χρήση των πόρων και να μειώσει το φόρτο των server του δικτύου κορμού (backboneserverpressure).

7.2.3H Έννοια του Virtualization στο Cloud-RAN

Η τεχνολογία εικονικοποίησης διευκολύνει τη λογική απομόνωση των πόρων, ενώ οι φυσικοί πόροι μοιράζονται με δυναμικό και κλιμακωτό τρόπο. Οι πόροι αυτοί περιλαμβάνουν πόρους δικτύου, υπολογιστών ή αποθήκευσης. Από αυτούς τους πόρους, ο εικονικοποιητής δικτύου είναι κρίσιμη για το CRAN και τις αρχιτεκτονικές ανάπτυξής του. Η εικονικοποίηση δικτύων αποτελείται από πολλούς κόμβους και διασυνδέσεις που αναπτύσσονται στο ίδιο φυσικό μηχάνημα. Έτσι, μια τέτοια τεχνολογία επιτρέπει ευέλικτο μηχανισμό ελέγχου, αποτελεσματική χρήση πόρων, χαμηλού κόστους και ποικίλες εφαρμογές.



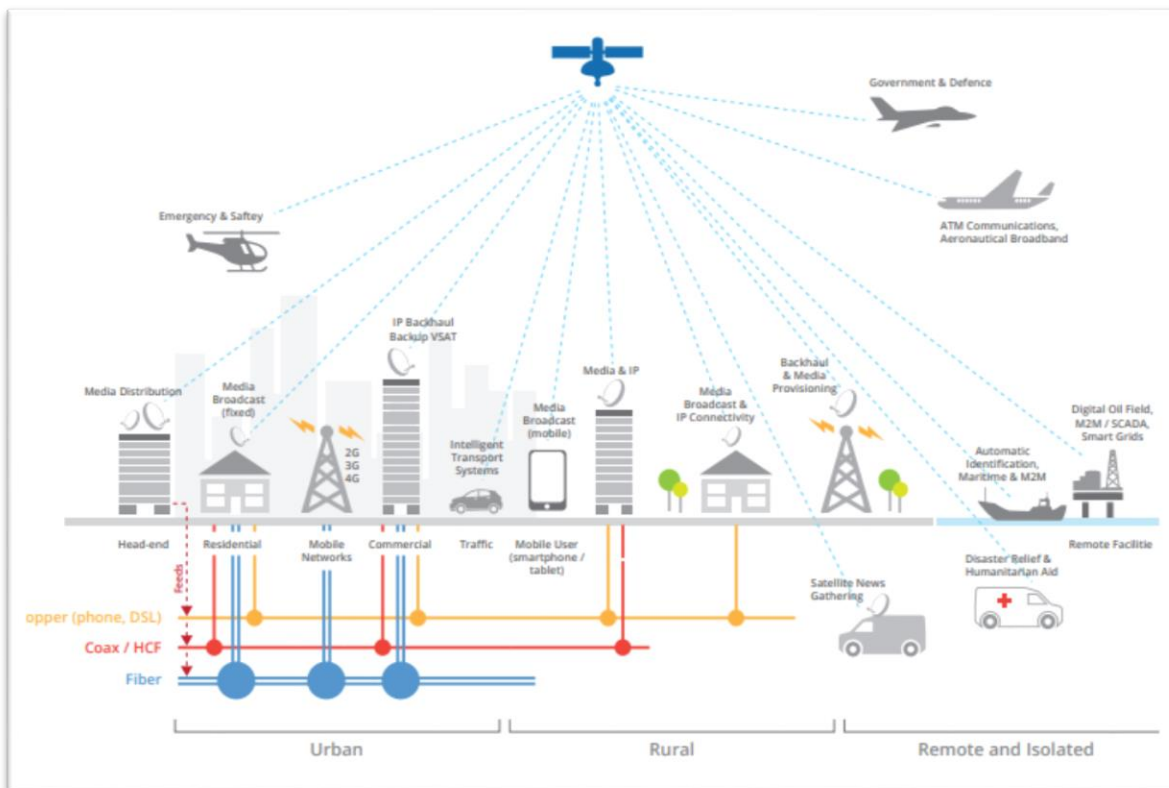
Εικόνα 15: Αρχιτεκτονική Εικονικοποίησης C-RAN

Ακόμα, πολύ σημαντικό ρόλο για το 5G δίκτυο επιτελεί το λεγόμενο Backhaul. Τα δίκτυα **αποισθόζευξης - Backhaul** συνδέουν το ασύρματο δίκτυο (RAN) με το κεντρικό δίκτυο (Core Network). Οι απαιτήσεις για εξαιρετικά υψηλή χωρητικότητα, για μεγάλες ταχύτητες και χαμηλή καθυστέρηση του 5G χρειάζονται ένα δίκτυο backhaul ικανό να καλύψει αυτές τις υψηλές απαιτήσεις. Το Fiber (οπτική ίνα) θεωρείται συχνά ο πιο κατάλληλος τύπος backhaul από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής, της υψηλής

χωρητικότητας, της υψηλής αξιοπιστίας και της ικανότητάς του να υποστηρίξει πολύ υψηλής χωρητικότητας κυκλοφορία.

Ωστόσο, η κάλυψη των δικτύων οπτικών ινών δεν είναι πάντα δεδομένη σε όλες τις πόλεις όπου αναμένεται να ξεκινήσει αρχικά το 5G - και μάλιστα λιγότερο σε προαστιακές και αγροτικές περιοχές. Η εγκατάσταση νέων δικτύων οπτικών ινών στις περιοχές αυτές μπορεί συχνά να είναι απαγορευτική όσον αφορά το κόστος για τους παρόχους. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ένα σύνολο διαθέσιμων ασύρματων τεχνολογιών backhaul πέραν των οπτικών ινών, συμπεριλαμβανομένων των point-to-multipoint (PMP), μικροκυματικών (microwave) και χιλιοστομετρικών κυμάτων (millimeter wave - mmWave). Το PMP είναι ικανό για απόδοση downstream 1Gbit / s και χρόνο καθυστέρησης λιγότερο από 1ms ανά hop σε απόσταση 2-4 km. Τα χιλιοστομετρικά κύματα έχουν σημαντικά χαμηλότερη καθυστέρηση με τη δυνατότητα για υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης[22].

Παρόλο που δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην επίγεια τεχνολογία, υπάρχει επίσης ο ρόλος των συστημάτων πλατφόρμας υψηλού υψομέτρου (HAPS) και της δορυφορικής τεχνολογίας στο 5G. Το HAPS και τα δορυφορικά συστήματα (συμπεριλαμβανομένων των μη γεωστατικών) μπορούν να παρέχουν πολύ υψηλά ποσοστά κίνησης δεδομένων (>100 Mbit / s - 1 Gbit / s) για να συμπληρώσουν τα σταθερά ή επίγεια ασύρματα δίκτυα backhaul εκτός μεγάλων αστικών / προαστιακών περιοχών.



Εικόνα 16: Οι διαθέσιμες τεχνολογίες Backhaul για τα δίκτυα 5G

Το HAPS και οι δορυφόροι ενσωματώνονται σε άλλα δίκτυα και δε λειτουργούν ως αυτόνομο δίκτυο για την παροχή 5G, αυξάνοντας έτσι την ικανότητα εξυπηρέτησης 5G και αντιμετωπίζοντας μερικές από τις μείζονες προκλήσεις όσον αφορά την υποστήριξη της αύξησης της κυκλοφορίας πολυμέσων, την συνολική κάλυψη, τις επικοινωνίες μηχανής προς μηχανή (machine to machine) και κρίσιμες τηλεπικοινωνιακές αποστολές. Με όσα έχουν αναφερθεί ως τώρα ένα χαρτοφυλάκιο ασύρματων τεχνολογιών μπορεί να περιλαμβάνει εκτός από τις οπτικές ίνες, μικροκύματα point-to-multipoint (PMP), χιλιοστομετρικό κύμα (mmWave), HAPS και δορυφόρους[22].

Συνοπτικά, μια ρεαλιστική στρατηγική 5G backhaul είναι πιθανό να αποτελείται από ένα χαρτοφυλάκιο τεχνολογιών. Κάθε προσέγγιση θα πρέπει να εξεταστεί με βάση τα δικά της πλεονεκτήματα, λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες απόδοσης, τη δομή και την πιθανή απόδοση της επένδυσης[23].

7.3 Δίκτυο Κορμού

Ο οργανισμός 3GPP προδιαγράφει ένα νέο δίκτυο κορμού 5G (5CoreNetwork) αλλά και όπως έχουμε ήδη αναφέρει παραπάνω, μια νέα τεχνολογία ραδιοπρόσβασης που ονομάζεται NewRadio (NR).

7.3.1 NSA και SA

Το 5G σε αντίθεση με τα δίκτυα προηγούμενης γενιάς έχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης στοιχείων από τις προηγούμενες γενιές. Αυτό αποτυπώνεται στις δύο εναλλακτικές διατάξεις του δικτύου[14]:

- Διάταξη NSA (non-stand-alone-mode)
- Διάταξη SA (stand-alone-mode)

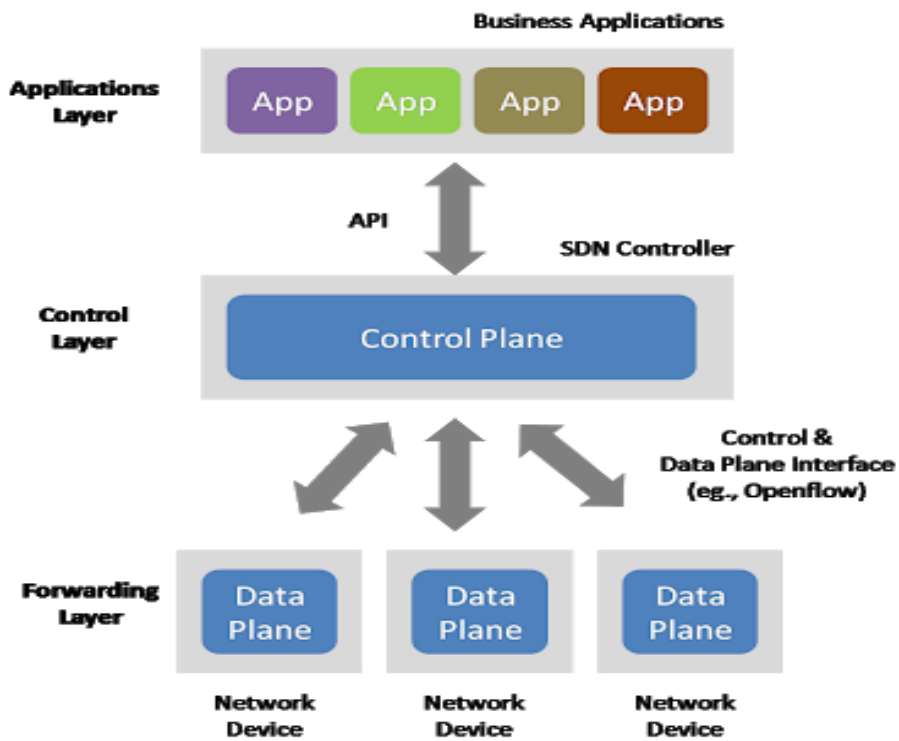
Αρχικά το 5G NR θα κυκλοφορήσει κάνοντας χρήση της υπάρχουσας υποδομής 4G LTE σε διάταξη λειτουργίας NSA (non-stand-alone-mode), δηλαδή λογισμικό 5G NR (5G NR software) θα κάνει χρήση του ασύρματου εξοπλισμού (radio hardware) LTE πρωτού ωριμάσει η διάταξη SA (stand-alone-mode) όπου λογισμικό 5G NR θα «τοποθετείται» πάνω στο ασύρματο εξοπλισμό (radio hardware) 5G NR και στο 5G core network [24].

Τα δίκτυα 5G είναι πλήρως προγραμματιζόμενες πλατφόρμες (software defined networking - SDN). Το SDN μπορεί να εφαρμοστεί είτε στην τεχνολογία εξελιγμένου κορμού πακέτων 4G (Evolved Packet Core – EPC), είτε με πλήρη διαχωρισμό των επιπέδων στον κορμό του 5G (5G Core- 5GC). Οι πλατφόρμες αυτές έχουν ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα, μπορούν να παρέχουν πολλές και διαφορετικές λειτουργίες μεταξύ τους «ως-υπηρεσία» (as-a-service). Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με το διαχωρισμό και την αποσύζευξη του επιπέδου ελέγχου (control plane - CP) από το επίπεδο χρήστη (user plane - UP).

7.3.2 Το Προγραμματιζόμενο Δίκτυο (Software Define Network)

Το SDN είναι μια προσέγγιση στη διαχείριση δικτύου, που επιτρέπει δυναμικές, προγραμματιστικά αποδοτικές ρυθμίσεις δικτύου, προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση και η

παρακολούθηση του. Το SDN αποσκοπεί να αντιμετωπίσει τη στατική αρχιτεκτονική των παραδοσιακών δικτύων που είναι αποκεντρωμένη και πολύπλοκη, ενώ τα τρέχοντα δίκτυα απαιτούν μεγαλύτερη ευελιξία και εύκολη αντιμετώπιση προβλημάτων.



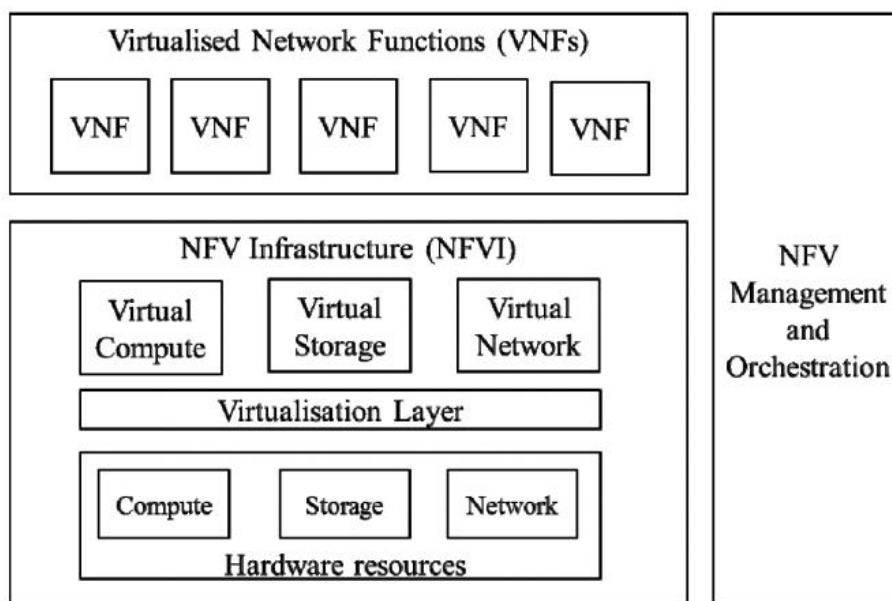
Εικόνα 17: SDN Αρχιτεκτονική

Η SDN επιχειρεί να συγκεντρώσει τη νοημοσύνη δικτύου σε ένα στοιχείο δικτύου αποσυνδέοντας τη διαδικασία προώθησης πακέτων δικτύου (επίπεδο δεδομένων-data plane) από τη διαδικασία δρομολόγησης (επίπεδο ελέγχου- control plane). Το επίπεδο ελέγχου αποτελείται από έναν ή περισσότερους ελεγκτές οι οποίοι θεωρούνται ως ο εγκέφαλος του δικτύου SDN όπου ενσωματώνεται ολόκληρη η νοημοσύνη. Ωστόσο, η συγκέντρωση πληροφοριών έχει τα δικά της μειονεκτήματα όταν πρόκειται για την ασφάλεια, την επεκτασιμότητα και την ελαστικότητα [25].

7.3.3 Λειτουργία εικονικοποίησης δικτύου (NetworkFunctionVirtuvoalization)

Όλες οι λειτουργίες του δικτύου είναι εικονικά διαμορφωμένα στιγμιότυπα λογισμικού (virtualized software instances) που υλοποιούνται και τρέχουν σε εικονικές μηχανές (virtual machines - VMs). Η αρχιτεκτονική Εικονικοποίησης δικτυακών λειτουργιών (Network Function Virtualisation-NFV) όταν εφαρμοστεί στο Δίκτυο κορμού νέας γενιάς (NextGenerationCore-NGC) καθορίζει πώς οι εικονικές λειτουργίες μπορούν να διαμοιράζονται τους φυσικούς πόρους: υπολογιστικούς, αποθήκευσης και δικτύωσης. Το NFV χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες εικονικοποίησης για να εξομοιώσει λειτουργίες κόμβων δικτύων σε δομικά στοιχεία που μπορούν να συνδεθούν μαζί για να δημιουργήσουν υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Μια εικονική λειτουργία δικτύου, ή VNF, μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες εικονικές μηχανές που τρέχουν διαφορετικό λογισμικό και διεργασίες, πάνω σε κοινούς εξυπηρετητές, μεταγωγείς

και συσκευές αποθήκευσης, ή ακόμα και σε υπολογιστικά νέφη, αντί να χρειάζεται εξειδικευμένες συσκευές για κάθε λειτουργία του δικτύου. Οι εικονικές μηχανές είναι είτε στατικά είτε δυναμικά στιγμιότυπα που ελέγχονται από το στρώμα διαχείρισης και ενορχήστρωσης (Management and Orchestration - **MANO**). Συνεπώς, στα δίκτυα 5G είναι κυρίαρχη η λογική του νέφους (cloud). Η εικονικοποίηση των λειτουργιών δικτύου πάνω αναμένεται να μειώσει τα έξοδα κτίσης και τις λειτουργικές δαπάνες, καθώς και το χρόνο δημιουργίας υπηρεσιών και προϊόντων. Ωστόσο, για να υλοποιηθούν τα προσδοκώμενα οφέλη της εικονικοποίησης, οι κατασκευαστές δικτυακού εξοπλισμού βελτιώνουν τις τεχνολογίες εικονικοποίησης για να ενσωματώσουν τα χαρακτηριστικά "επιπέδου-παρόχου" που απαιτούνται για να επιτευχθεί η υψηλή διαθεσιμότητα, η επεκτασιμότητα, η απόδοση και η αποτελεσματική διαχείριση του δικτύου[26].



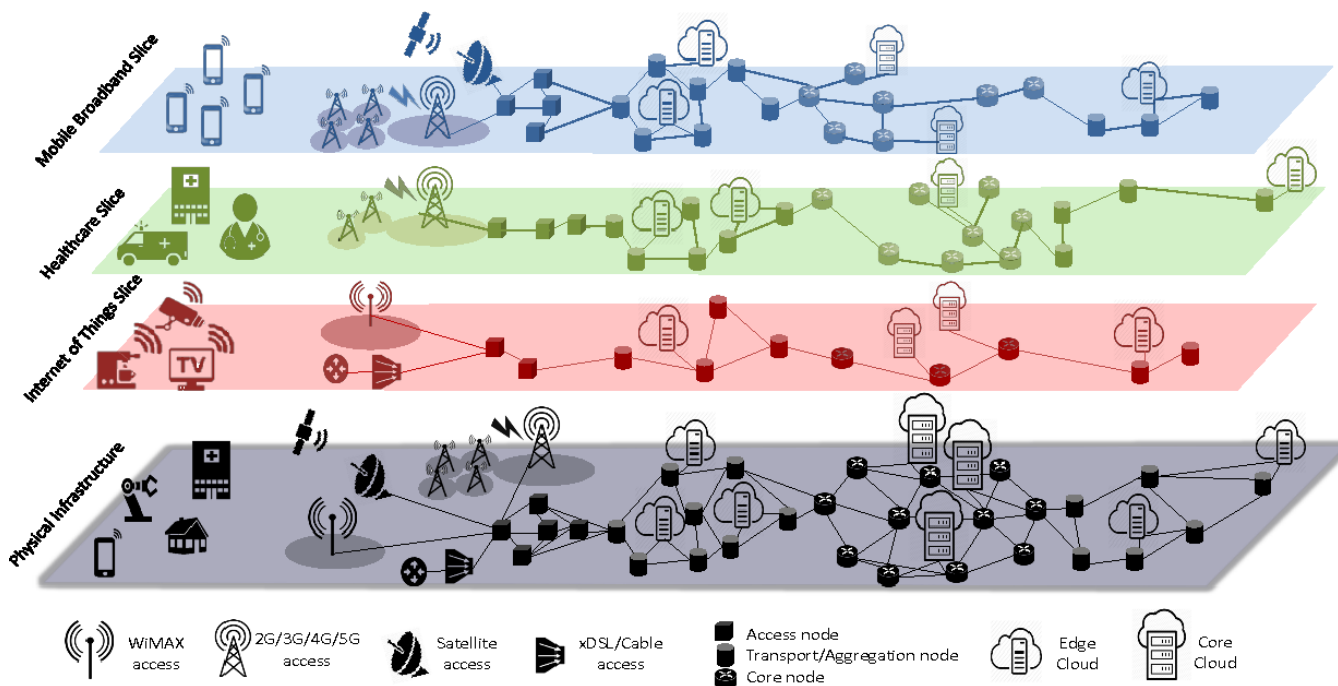
Εικόνα 18: NFV Αρχιτεκτονική

Το NFV είναι μια ιδέα που συμπληρώνει το SDN. Το NFV αποσυνδέει το λογισμικό από το υλικό για να επιτρέψει την εύκαμπτη ανάπτυξη του δικτύου και τη δυναμική λειτουργία. Οι υπηρεσίες που βασίζονται σε λογισμικό που εκτελούνται σε περιβάλλον NFV ονομάζονται Virtual Network Functions (VNF). Το υβριδικό πρόγραμμα SDN-NFV παρέχεται για υψηλής απόδοσης, ελαστικές και κλιμακούμενες δυνατότητες. Το NFV στοχεύει στην επιτάχυνση της καινοτομίας και της παροχής υπηρεσιών με τη χρήση τυπικών τεχνολογιών κωδικοποίησης τεχνολογίας πληροφορικής. Το SDN παρέχει την ευελιξία του ελέγχου των γενικών συσκευών προώθησης (packet forwarding devices) όπως οι δρομολογητές και οι διακόπτες, χρησιμοποιώντας τους ελεγκτές SDN (SDN controllers). Από την άλλη πλευρά, η ευκινησία (agility) του NFV παρέχεται για τις εφαρμογές δικτύου χρησιμοποιώντας τους εικονικούς διακομιστές (virtualized servers). Είναι εξ ολοκλήρου εφικτή η υλοποίηση μιας λειτουργίας virtualized network (VNF) ως αυτόνομης οντότητας χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα πρότυπα δικτύωσης και ενορχήστρωσης[26].

7.3.4 Τμηματοποίηση του δικτύου (NetworkSlicing)

Το νέο δίκτυο κορμού θα επιτρέψει τη δυναμική δημιουργία «τεμαχίων» δικτύου (network slices). Το **NetworkSlicing** είναι μια αρχιτεκτονική δικτύου που επιτρέπει την πολυπλεξία εικονικοποιημένων και ανεξάρτητων λογικών δικτύων (logical networks) στην ίδια υποδομή φυσικού δικτύου (physical network infrastructure), μοιράζονται δηλαδή τους ίδιους πόρους. Κάθε τεμάχιο δικτύου είναι ένα απομονωμένο δίκτυο από άκρο σε άκρο (end-to-end) προσαρμοσμένο ώστε να πληροί τις διάφορες απαιτήσεις που απαιτούνται από μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Για το λόγο αυτό, η τεχνολογία αυτή αναλαμβάνει κεντρικό ρόλο στην υποστήριξη δικτύων κινητής τηλεφωνίας 5G που έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν αποτελεσματικά μια πληθώρα υπηρεσιών με πολύ διαφορετικές απαιτήσεις επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreement-SLA). Η υλοποίηση του δικτύου με μια οπτική που προσανατολίζεται στην υπηρεσία αξιοποιεί τις SDN και NFV που επιτρέπουν την υλοποίηση ευέλικτων και κλιμακούμενων τεμαχίων δικτύου πάνω από μια κοινή υποδομή δικτύου [27].

Από τη σκοπιά ενός επιχειρηματικού μοντέλου, κάθε τεμάχιο δικτύου διαχειρίζεται ένας χειριστής κινητού εικονικού δικτύου (mobile virtual network operator -MVNO). Ο πάροχος υποδομής (ο ιδιοκτήτης της τηλεπικοινωνιακής υποδομής) μισθώνει τους φυσικούς του πόρους στα MVNO που μοιράζονται το υποκείμενο φυσικό δίκτυο. Σύμφωνα με τη διαθεσιμότητα των πόρων που έχουν αποδοθεί, ένα MVNO μπορεί αυτόνομα να αναπτύξει πολλαπλά τεμάχια δικτύου που προσαρμόζονται στις διάφορες εφαρμογές που παρέχονται στους δικούς του χρήστες [27].

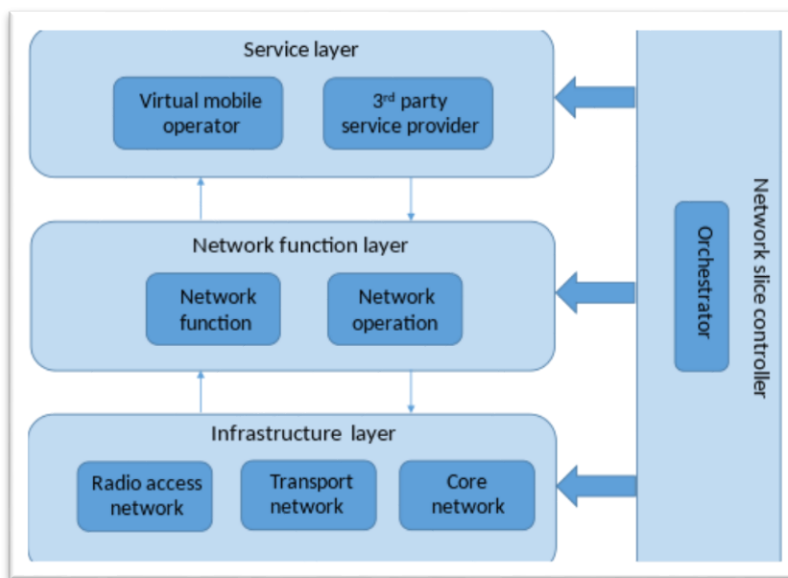


Εικόνα 19: NetworkSlicing

Ο τεμαχισμός σε δίκτυα εμφανίζεται ως μια βασική τεχνική στα δίκτυα 5G για να ικανοποιήσει αυτές τις διαφορετικές και ενδεχομένως αντιπαραβαλλόμενες απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS) που εκμεταλλεύονται μια ενιαία υποδομή φυσικού δικτύου.

Η βασική ιδέα του τεμαχισμού του δικτύου είναι να «χωρίσει» την αρχική αρχιτεκτονική δικτύου σε πολλά λογικά και ανεξάρτητα δίκτυα που έχουν ρυθμιστεί ώστε να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στις διάφορες απαιτήσεις υπηρεσιών. Για να υλοποιήσουμε ποσοτικά μια τέτοια έννοια, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές [27]:

- Λειτουργίες δικτύου(Network functions): εκφράζουν στοιχειώδεις λειτουργίες δικτύου που χρησιμοποιούνται ως "δομικά στοιχεία" για τη δημιουργία κάθε τεμαχίου του δικτύου.
- Εικονικοποίηση(Virtualization): παρέχει μια αφηρημένη αναπαράσταση των φυσικών πόρων υπό ένα ενοποιημένο και ομοιογενές σχήμα. Επιπροσθέτως, επιτρέπει την ανάπτυξη επεκτάσιμων τεμαχίων με βάση το NFV που επιτρέπει την αποσύνδεση κάθε network function instance από το υλικό δικτύου στο οποίο εκτελείται.
- Ενορχήστρωση(Orchestration): είναι μια διαδικασία που επιτρέπει τον συντονισμό όλων των διαφορετικών στοιχείων του δικτύου που εμπλέκονται στον κύκλο ζωής κάθε τεμαχίου του δικτύου. Σε αυτό το πλαίσιο, το SDN χρησιμοποιείται για να επιτρέψει μια δυναμική και ευέλικτη διαμόρφωση τεμαχίου.



Εικόνα 20: Γενικό πλαίσιο του NetworkSlicing 5G

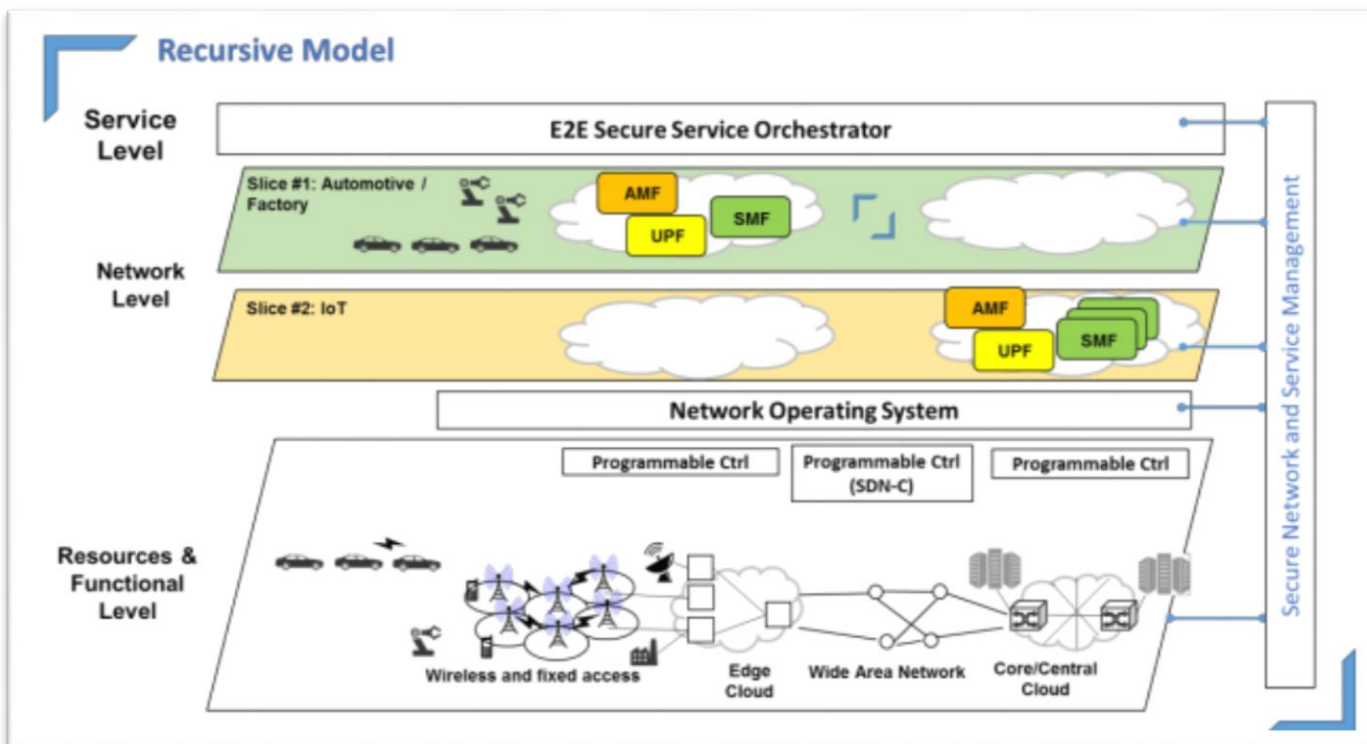
Η πλήρης ανάπτυξη και αξιοποίηση των συστημάτων 5G προϋποθέτει την παράλληλη ανάπτυξη υποδομών, την αξιοποίηση και επαναχρησιμοποίηση δεδομένων, την πλήρη διαλειτουργικότητα υφιστάμενων συστημάτων, την ανάπτυξη κατάλληλων εφαρμογών, αλλά και τερματικού εξοπλισμού. Πρόκειται, δηλαδή, για μια τεχνολογία δικτύων που θα οικοδομηθεί σταδιακά και θα απαιτηθεί χρόνος προκειμένου να δημιουργηθεί ένα πλήρες «5G οικοσύστημα»[28].

Η ανάπτυξη των δικτύων αυτών, η διαλειτουργικότητά τους με τις υφιστάμενες υποδομές ΤΠΕ και η βέλτιστη αξιοποίησή τους απαιτούν μια δέσμη συντονισμένων δράσεων σε

νομοθετικό/κανονιστικό και τεχνικό επίπεδο. Είναι πολύ σημαντικό οι προσπάθειες για την προετοιμασία και την υλοποίηση των δικτύων 5ης γενιάς να γίνουν συντονισμένα και με βάση κεντρικό σχεδιασμό, ώστε να διευκολυνθεί και να απλοποιηθεί η διαδικασία ανάπτυξης των δικτύων, να μειωθεί ο χρόνος και το κόστος ανάπτυξης και να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα των δικτύων. Οι προπαρασκευαστικές ενέργειες για τη διαμόρφωση των οριστικών τεχνικών προδιαγραφών των δικτύων 5G έχουν ωριμάσει αρκετά, ώστε να είναι αξιοποιήσιμες και με σχετική βεβαιότητα να μπορούμε να προχωρήσουμε στην ανάπτυξη των δικτύων [28].

7.4 Γενική Αρχιτεκτονική του δικτύου 5G

Η αρχιτεκτονική και η τεχνολογία 5G διαφοροποιούνται συνεχώς προκειμένου να αντιστοιχίζονται κάθε φορά με τις απαιτήσεις των ενδιαφερόμενων μερών. Παρακάτω παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική 5G με τα συστατικά της μέρη[29].



Εικόνα 21: Γενική αρχιτεκτονική 5G

Στο παραπάνω σχήμα αποτυπώνεται η γενική αρχιτεκτονική 5G και στη συνέχεια παρουσιάζονται περιληπτικά τα βασικά της στοιχεία.

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

Το επίπεδο αυτό περιέχει τους φυσικούς πόρους που χρησιμεύουν για την επικοινωνία, την ανάπτυξη υλικού και λογισμικού (computing), τον αποθηκευτικό χώρο των Core Network, το Internet κτλ. Πιο αναλυτικά έχουμε:

- **Wireless and FixedAccess-FWA:** Πρόκειται για μία τεχνολογία που παρέχει πρόσβαση στο Internet, χρησιμοποιεί επίσης το ασύρματο, πέρα από το σταθερό δίκτυο. Η τεχνολογία FWA είναι αρκετά πιο απλή και γρήγορη, ωστόσο μειονεκτεί στην απόδοση σε σχέση με το σταθερό δίκτυο κάτι το οποίο θα αντιμετωπιστεί με τη χρήση της τεχνολογίας beamforming και τα mmWaves.
- **Edge Cloud:** Με το Edge Cloud ένα μεγάλο μέρος αυτών των εργασιών επεξεργασίας μετατοπίζεται στην πλευρά του πελάτη, γνωστό ως Edge Computing. Αυτό δημιουργεί πολλές ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις, ειδικά όταν θέλουν να παρέχουν υπηρεσίες χαμηλής καθυστέρησης απόκρισης καθ' όλη τη διάρκεια εφαρμογών ή χρήσης πλατφόρμας υψηλής πυκνότητας.
- **Wide Area Network:** Είναι ένα σύνολο υπολογιστών που δημιουργούν μεταξύ τους ένα δίκτυο επικοινωνίας. Τυπικά ένα WAN διασυνδέει μεταξύ τους τοπικά δίκτυα υπολογιστών. Για τη διασύνδεση αυτή χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα μισθωμένες δημόσιες τηλεπικοινωνιακές γραμμές ή μερικές φορές και δορυφορικές τηλεπικοινωνίες. Το γνωστότερο WAN είναι το Internet.
- **Core/Central Cloud:** Είναι η κατ' απαίτηση διαθεσιμότητα πόρων του συστήματος υπολογιστών, ιδιαίτερα η αποθήκευση δεδομένων και η υπολογιστική ισχύς, χωρίς άμεση 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 κοινοποίηση του Φυσικού Δικτύου (virtualization of physical network). Με την εικονικοποίηση του Δικτύου δημιουργούνται τα διάφορα «τεμάχια δικτύου» (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

Πρόκειται για ένα από τα πιο σημαντικά επίπεδα στην αρχιτεκτονική του 5G. Η δυνατότητα του να μπορούμε να υποστηρίξουμε μία πληθώρα υπηρεσιών ταυτόχρονα και με δυναμικό τρόπο, είναι το στοιχείο που θα διαφοροποιήσει το 5G από τα δίκτυα προηγούμενων γενεών. Στο service level, τα slices που αναφέραμε παραπάνω είναι οργανωμένα και ακολουθούν έναν προκαθορισμένο συντονισμό μέσω της λειτουργίας διαχείρισης υπηρεσιών (service management function).

8. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G

Παρόλη τη γρήγορη ανάπτυξη των δικτύων 5G σε παγκόσμιο επίπεδο, υπάρχουν ακόμη πολλές τεχνολογικές προκλήσεις που πρέπει να ικανοποιηθούν πριν τη μετάβαση στα δίκτυα 5ης γενιάς. Απαιτείται γρήγορη προσφορά του δικτυακού εξοπλισμού που να υποστηρίζει NSA αλλά και SA 5G NR, καθώς και ανάλογη διαθεσιμότητα συσκευών. Πέρα από την ενσωμάτωση των συσκευών σταθερής ασύρματης πρόσβασης (Fixed Wireless Access- FWA), tablets και smartphones (NR NSA) και συσκευές NR SA, από το 2020 και μετά αναμένεται να αναπτυχθούν και IoT συσκευές, πρώτα για εφαρμογές στη βιομηχανία και αργότερα για μαζική χρήση.

Όσον αφορά στις συχνότητες, απαιτείται η έγκαιρη απελευθέρωση και ανασυγκρότηση της ζώνης των 3.6 GHz ώστε να μπορούν να αδειοδοτηθούν μεγάλα τμήματα του φάσματος ως το 2020. Επιπρόσθετα, απαιτείται ευελιξία στον τρόπο αδειοδότησης, π.χ. άδειες σε εθνικό επίπεδο ή σε μικρότερες γεωγραφικές περιοχές, υποχρεώσεις κάλυψης και/ή ανάπτυξης των δικτύων και καθορισμός κριτηρίων ικανοποίησης των υποχρεώσεων αυτών. Για τη ζώνη των 26 GHz θα πρέπει να διερευνηθεί η αποτελεσματική συνέχιση των υπαρχουσών υπηρεσιών, αλλά ταυτόχρονα να αποδοθεί ως το 2020 ένα αρκετά μεγάλο τμήμα του φάσματος π.χ. εύρους 1 GHz στα δίκτυα 5G, λαμβάνοντας υπόψη τις μικρές περιοχές. Στην Ελλάδα η προκήρυξη του διαγωνισμού για την εκχώρηση του φάσματος, θα ξεκινήσει στο τέλος του 2020 με στόχο να ολοκληρωθεί μέχρι τα μέσα του 2021[31].

Σχετικά με τις αδειοδοτήσεις και τις εγκαταστάσεις των κεραιοσυστημάτων, απαιτείται ευελιξία, διευκόλυνση και επιτάχυνση της όλης διαδικασίας. Το ίδιο όμως ισχύει και για την υποδομή των οπτικών ινών και την πρόσβαση σε αυτή, ιδιαίτερα υπό το πρίσμα της ανάγκης για ανάπτυξη πυκνού δικτύου από small cells, όπου οι Σταθμοί Βάσης θα πρέπει να συνδέονται με το δίκτυο κορμού με οπτικές ίνες. Παράλληλα με την οπισθοζευκτική διασύνδεση με το δίκτυο των οπτικών ινών, υπάρχει άμεση ανάγκη για επέκταση της διασύνδεσης των διαφόρων κόμβων του δικτύου (backhaul/fronthaul) μέσω ασύρματων ζεύξεων υπερ-υψηλών ταχυτήτων, όπως οι ζεύξεις στις χιλιοστομετρικές συχνότητες στα 70/80 GHz (E-band), αλλά και υψηλότερα στα 90 GHz. Έτσι θα απαιτηθεί επιπλέον φάσμα και για τις ασύρματες αυτές ζεύξεις. Θα πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα η ανάγκη για απρόσκοπτη συνεργασία των παρόχων και τοπικών φορέων, δήμων και κοινοτήτων και ιδιωτών ιδιοκτητών, ώστε να γίνει εφικτή η έγκαιρη και αποδοτική ανάπτυξη του υπερ-πυκνού δικτύου, με εγκατάσταση μικρών Σταθμών Βάσης σε κολώνες, τοίχους πολυκατοικιών, άλλους δημόσιους χώρους κ.λπ. Στο θέμα αυτό υπάρχει μεγάλος κίνδυνος για αυξημένη πολυπλοκότητα στην αδειοδότηση της εγκατάστασης και απαιτείται καλή προετοιμασία, κωδικοποίηση και απλοποίηση της νομοθεσίας, καθώς και χάραξη οδηγιών και διαδικασιών για την πύκνωση των Σταθμών Βάσης. [14].



Εικόνα 22: Σημαντικές προκλήσεις για τις τηλεπικοινωνίες στην εποχή του 5G

Η αναμενόμενη ανάπτυξη του 5G οδηγεί στην ανάδειξη ζητημάτων και προκλήσεων που αφορούν, μεταξύ άλλων, στις ευρύτερες θεματικές περιοχές της ασφάλειας των (κρίσιμων) δικτυακών υποδομών και των προσφερόμενων υπηρεσιών τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στον κυβερνοχώρο, στη θεώρηση ζητημάτων συναφών με τη ιδιωτικότητα και την προστασία των δεδομένων των χρηστών στο Διαδίκτυο, στην ανάπτυξη συνδεσιμότητας και διαλειτουργικότητας υποστηριζόμενης από διαφορετικές ετερογενείς υποδομές, στην προώθηση των δορυφορικών επικοινωνιών καθώς και σε λοιπά αντικείμενα. Τα παραπάνω έχουν σημαντικό αντίκτυπο σε επιχειρηματικές δράσεις της αγοράς καθώς διαμορφώνουν πλαίσια ικανά ώστε να επηρεάσουν όλους τους εμπλεκόμενους «παίκτες» [32].

Μία σημαντική πρόκληση αποτελεί η αντιμετώπιση των κινδύνων για την ασφάλεια που σχετίζονται με την ανάπτυξη των δικτύων 5G. Τον Μάρτιο του 2019 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή διατύπωσε σύσταση σχετικά με δέσμη επιχειρησιακών βημάτων και μέτρων για την εξασφάλιση υψηλού επιπέδου κυβερνοασφάλειας για τα δίκτυα 5G σε ολόκληρη την ΕΕ [33]. Επειδή ακριβώς τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G) θα αποτελέσουν τη μελλοντική ραχοκοκαλιά της κοινωνίας και της οικονομίας μας θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε θέματα ασφάλειας. Τα δίκτυα 5G θα συνδέουν δισεκατομμύρια αντικείμενα και συστήματα σε τομείς κρίσιμης σημασίας, μεταξύ άλλων, όπως η ενέργεια, οι μεταφορές, οι τράπεζες, η υγεία και τα συστήματα βιομηχανικού ελέγχου, που μεταφέρουν ευαίσθητες πληροφορίες και υποστηρίζουν συστήματα ασφάλειας. Δημοκρατικές διαδικασίες, όπως οι εκλογές, βασίζονται ολοένα και περισσότερο σε ψηφιακές υποδομές και δίκτυα 5G, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη να αντιμετωπιστούν τυχόν τρωτά σημεία.



Εικόνα 23: Η ασφάλεια στο 5G

Τον Ιανουάριο του 2020, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε την κοινή εργαλειοθήκη μέτρων μετριασμού που συμφωνήθηκε από τα κράτη μέλη της ΕΕ για την αντιμετώπιση των κινδύνων για την ασφάλεια που σχετίζονται με την ανάπτυξη των δικτύων 5G και εφαρμογών. Σύμφωνα με την Κομισιόν, παρατίθενται οι άξονες των μέτρων που θα εγγυηθούν τη ασφάλεια των υποδομών και της αλυσίδας εφοδιασμού 5G [34]:

- κανόνες για τις τηλεπικοινωνίες και την κυβερνοασφάλεια
- συντονισμό στους τομείς της τυποποίησης και της πιστοποίησης σε επίπεδο ΕΕ·
- πλαίσιο ελέγχου των άμεσων ξένων επενδύσεων για την προστασία της ευρωπαϊκής αλυσίδας εφοδιασμού 5G
- μέσα εμπορικής άμυνας
- κανόνες ανταγωνισμού
- δημόσιες συμβάσεις, εξασφαλίζοντας ότι λαμβάνονται υπόψη οι πτυχές που αφορούν την ασφάλεια
- προγράμματα χρηματοδότησης της ΕΕ, εξασφαλίζοντας ότι οι δικαιούχοι συμμορφώνονται με τις σχετικές απαιτήσεις ασφάλειας[35].

Επιπλέον με τη νέα γενιά τεχνολογιών δικτύου 5G δημιουργούνται προοπτικές για περισσότερο ευέλικτα και αποδοτικότερα ψηφιακά οικονομικά και επιχειρηματικά μοντέλα. Παρά το γεγονός ότι τα βασικά πρότυπα για το 5G εξακολουθούν ακόμα να τελούν υπό διαμόρφωση, έχουν ήδη αναπτυχθεί και επικυρωθεί ορισμένες βασικές προδιαγραφές. Από τις διαφαινόμενες παγκόσμιες πλέον τάσεις εκτιμάται ότι το 5G θα οδηγήσει σε καταλυτικές μεταβολές, προσφέροντας τη δυνατότητα για εκτενέστερο μετασχηματισμό του κλάδου των ηλεκτρονικών επικοινωνιών μέσω των ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών που θα παρέχονται σε ταχύτητες Gigabit, μέσω της υποστήριξης νέων τύπων εφαρμογών που θα «συνδέουν» τερματικές συσκευές με μυριάδες ψηφιακών αντικειμένων (στο πλαίσιο του Διαδικτύου των Πραγμάτων-Internet of things–IoT) σε πλήρες λειτουργικό περιβάλλον και μέσω της προσαρμοστικότητας με τη χρήση εικονικής αναπαράστασης με κατάλληλο λογισμικό που θα επιτρέπει την ανάπτυξη καινοτόμων επιχειρηματικών μοντέλων σε «κάθετους» τομείς της αγοράς (π.χ. μεταφορές, υγεία, βιομηχανική παραγωγή, εφοδιαστική αλυσίδα, ενέργεια, μέσα ενημέρωσης και ψυχαγωγία).

Συμπερασματικά, η πορεία προς το 5G και οι στόχοι συνδεσιμότητας της Ευρώπης για το 2025 συνιστούν μια βασική προτεραιότητα για την επίτευξη μιας ανταγωνιστικής ψηφιακής ενιαίας αγοράς με ώθηση προς μια καινοτόμο «ευρωπαϊκή κοινωνία των Gigabit», που θα στηρίζονται σε μια γενικότερη ανάπτυξη δικτύων υψηλής χωρητικότητας σε όλη την ήπειρο. Από την άλλη μεριά, η επιτάχυνση της διαδικασίας ψηφιοποίησης σε αρκετούς βασικούς βιομηχανικούς κλάδους που βασίζονται στη συνδεσιμότητα 5G, καθώς και η «ανάδυση» καινοτόμων επιχειρηματικών μοντέλων αναμένεται ότι θα ενισχύσουν συνέργειες μεταξύ των οικείων κλάδων και του τομέα των τηλεπικοινωνιών, με στόχο την αύξηση της προβλεψιμότητας, τη μείωση των επενδυτικών κινδύνων και την επικύρωση τόσο των τεχνολογιών όσο και των επιχειρηματικών μοντέλων, οδηγώντας σε σαφή πορεία ανάπτυξης.

9. ΚΥΡΙΑΡΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ 5G

9.1 “5G Έξυπνο σπίτι” (“5GSmartHome”)

Αξίζει να γίνει μια σύντομη περιγραφή για το τι αλλαγές θα περιμένουμε σαν τελικοί χρήστες μέσα στο σπίτι μας. Η τεχνολογία 5G θα είναι χρήσιμη για την παροχή διαδικτύου εντός του σπιτιού μας. Θα είναι πολύ ταχύτερη από τις ενσύρματες συνδέσεις στο διαδίκτυο. Η νέα τεχνολογία δίνει την δυνατότητα στον πάροχο να διαμορφώνει ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών την υποδομή και τις υπηρεσίες του. Αυτό θα έχει σαν θετική αλλαγή την μείωση του κόστους για τον τελικό χρήστη. Αυτό που αναμένεται να συμβεί είναι ότι θα έχουμε στο σπίτι ένα modem/router 5G που θα συνδέεται με τους διακομιστές του παρόχου και θα παρέχει πρόσβαση στο ίντερνετ με ταχύτητες 5G. Με τις νέες ταχύτητες του 5G θα μπορούμε να κατεβάσουμε ένα παιχνίδι πχ 50GB σε λιγότερο από 2λεπτά. Με το 5GHome δεν θα έχουμε πλήρη αντικατάσταση καλωδίων απλά τον περιορισμό αυτών.



Εικόνα24: 5GSmartHome

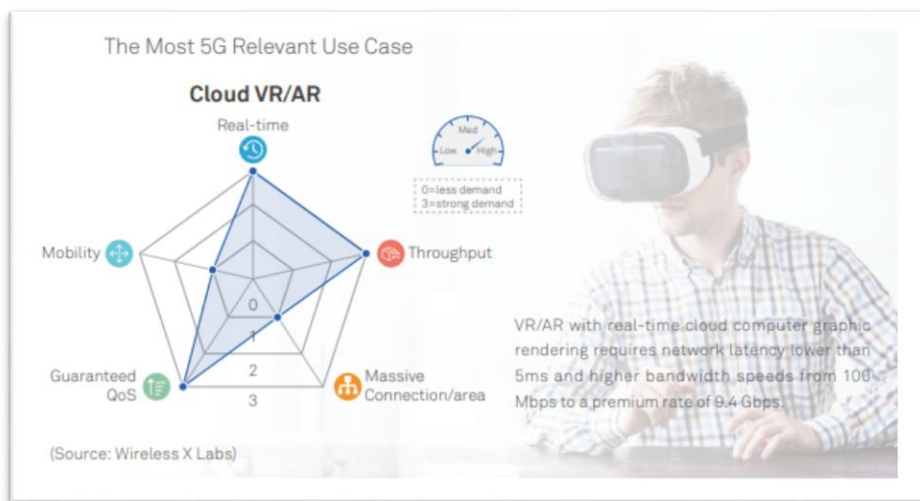
9.2 Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα στο νέφος (CloudVR&AR)

Η εικονική πραγματικότητα (VR) και η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) είναι τεχνολογίες που θα φέρουν την επανάσταση στην κατανάλωση περιεχομένου τόσο στον τομέα των καταναλωτών όσο και των επιχειρήσεων.



Εικόνα 24: VR/AR στον τομέα ψυχαγωγίας

Τα VR / AR απαιτούν σημαντική μεταφορά δεδομένων, αποθήκευση και υπολογιστικές δυνατότητες. Αυτά τα δεδομένα και η υπολογιστική ισχύς θα μεταφερθούν στο cloud, το οποίο παρέχει άφθονο χώρο αποθήκευσης δεδομένων και μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη ικανότητα υπολογιστικής υψηλής ταχύτητας. Αυτό σημαίνει ότι θα μειωθεί σημαντικά το κόστος των συσκευών, κάνοντας τις κονσόλες ή τις συσκευές προσιτές για τους τελικούς χρήστες.



Εικόνα 25: CloudVR/AR

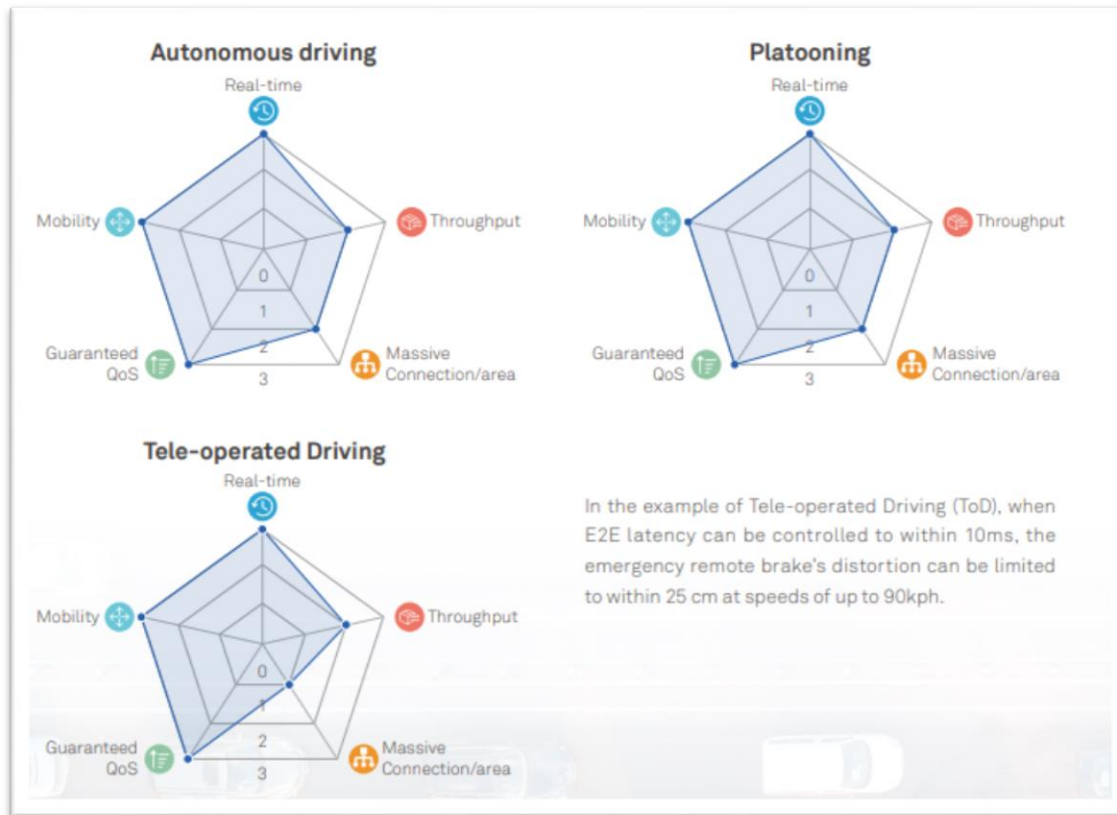
Επιπλέον, η αγορά Cloud αυξάνεται ραγδαία στο 18% σε ετήσια βάση. Στα επόμενα 10 χρόνια, τα σπίτια και τα γραφεία θα απαλλάσσονται ολοένα και περισσότερο από τους υπολογιστές και τους φορητούς υπολογιστές και θα αντικατασταθούν από οθόνες προβολής και από μια ποικιλία διεπαφών ανθρώπου / μηχανής που ενεργοποιούνται με φωνητική εντολή και / ή επαφή. Το 5G θα βελτιώσει σημαντικά την πρόσβαση σε αυτές τις υπηρεσίες που βασίζονται στο Cloud [36][37]

9.3 Σύνδεση κινούμενων οχημάτων (“Connectiveautomotive”)

Η αγορά των συνδεδεμένων οχημάτων θα συντελέσει έναν ριζικό μετασχηματισμό, καθώς ο ρόλος της συνεκτικότητάς αναπτύσσεται πέρα από τις λειτουργίες ψυχαγωγίας και ευκολίας, εξελισσόμενη σε ένα κρίσιμο παράγοντα ασφαλέστερης και πιο βιώσιμης κινητικότητας.



Εικόνα 26: Σύνδεση κινούμενων οχημάτων (Connected Cars)



Εικόνα 27: ConnectiveAutomotive

Οι τεχνολογικές τάσεις που οδήγησαν στην επανάσταση της κινητικότητας - η συντήρηση του κύκλου ζωής του οχήματος και η συγκέντρωση δεδομένων αισθητήρων απαιτούν ασφαλή, αξιόπιστη συνδεσιμότητα χαμηλής λανθάνουσας καθυστέρησης και υψηλού εύρους ζώνης. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι απαραίτητα για την επίτευξη των απαιτούμενων επιδόσεων τόσο στις ταχύτητες των αυτοκινητόδρομων όσο και στα πυκνά αστικά περιβάλλοντα. Μόνο 5G μπορεί να ικανοποιήσει όλες αυτές τις αυστηρές απαιτήσεις συνδεσιμότητας.

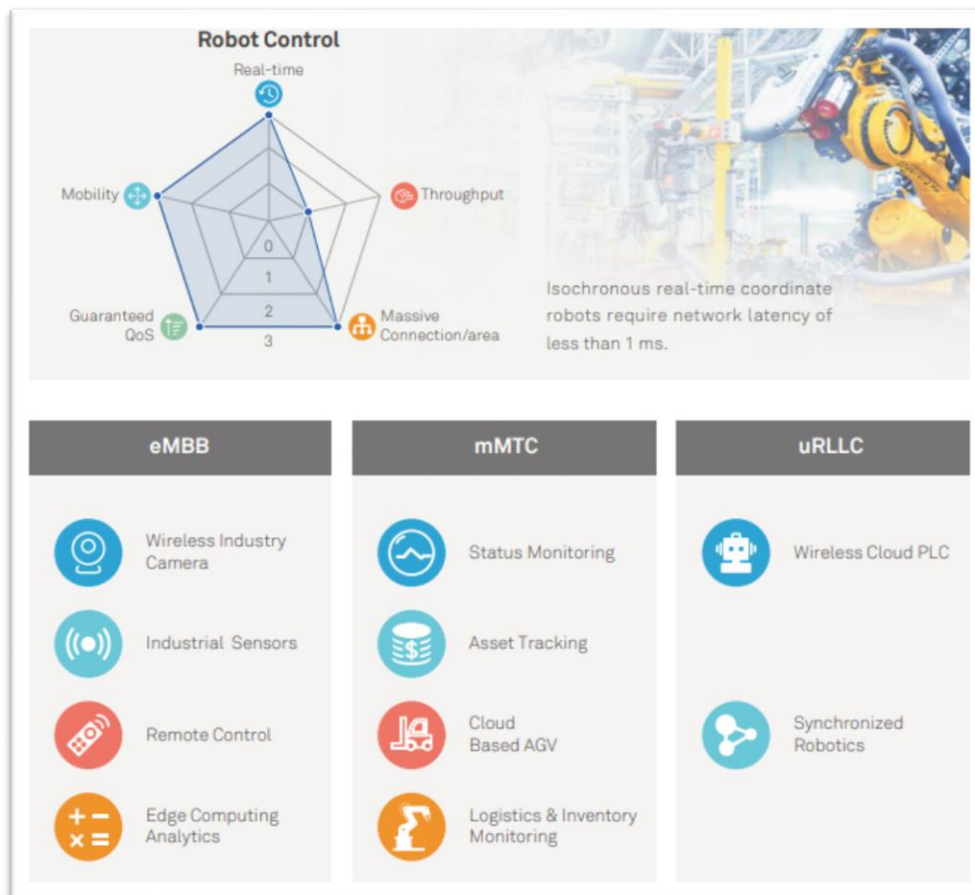
9.4 “Εξυπνη βιομηχανία” & ασύρματος ρομποτικός έλεγχος βασισμένος στο νέφος (“Smart manufacturing & cloud based wireless robot control”)

Η καινοτομία βρίσκεται στο επίκεντρο βιομηχανικού κλάδου της μεταποίησης. Σημαντικές εξελίξεις περιλαμβάνουν τις κινήσεις προς τη λιτή παραγωγή, την ψηφιοποίηση και μεγαλύτερη ευελιξία στις διαδικασίες εργασίας και την παραγωγή. Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει ισχυρή μετατόπιση υπέρ του βιομηχανικού Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT). Ιστορικά, οι κατασκευαστές βασίστηκαν σε ενσύρματες τεχνολογίες για τις συνδεδεμένες εφαρμογές τους. Ωστόσο, έχουν ληφθεί ασύρματες λύσεις, όπως Wi-Fi, Bluetooth και WirelessHART.

Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους.



Εικόνα 28: Smart manufacturing

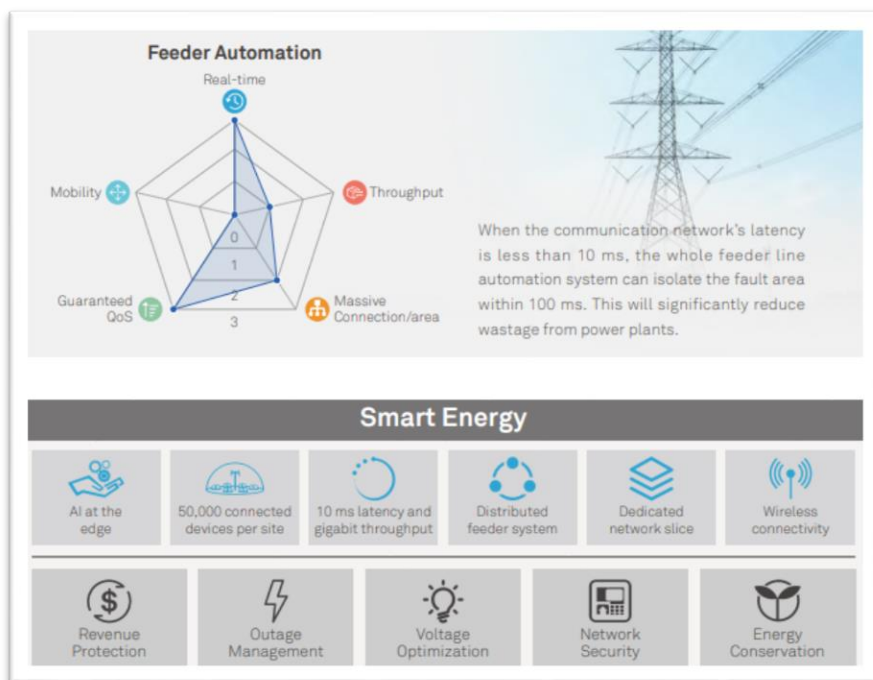


Εικόνα 29: Οι τρεις τύποι υπηρεσιών στο Smartmanufacturing

Οι ασύρματες λύσεις αντιμετωπίζουν περιορισμούς στην ασφάλεια και σε αξιόπιστο εύρος ζώνης. Θεμελιώδης απαίτηση των πρόσφατων εφαρμογών αποτελεί η ευελιξία, η κινητικότητα, το υψηλό εύρος ζώνης και φυσικά ο εξαιρετικά αξιόπιστος χρόνος λανθάνουσας καθυστέρησης στην επικοινωνία (uRLLC). Στην εποχή του 5G, οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να χρησιμοποιήσουν 5G Network slicing και mobile edge computing για να παρέχουν τις υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας για τη μεταποιητική βιομηχανία. Στην παραπάνω εικόνα περιέχονται οι εφαρμογές στη βιομηχανία ανάλογα των τύπων υπηρεσιών στο 5G (eMBB, mMTC, uRLLC).

9.5 “Συνδεδεμένη ενέργεια” (“Connectedenergy”)

Πολλές εταιρείες διαχείρισης ενέργειας, σε αναπτυσσόμενες και αναδυόμενες αγορές, αρχίζουν να βασίζονται σε καταναλωμένα συστήματα αυτοματισμού γραμμής τροφοδοσίας. Τα συστήματα αυτοματισμού γραμμών τροφοδοσίας είναι ιδιαίτερα ανεκτά για ενσωμάτωση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας σε λειτουργίες ενεργειακού δικτύου. Τα οφέλη περιλαμβάνουν μειωμένο λειτουργικό κόστος, κόστος συντήρησης καθώς και βελτιωμένη αξιοπιστία. Είναι απαραίτητο για το σύστημα αυτοματισμού γραμμής τροφοδοσίας να έχει πρόσβαση σε επικοινωνίες πολύ χαμηλής λανθάνουσας καθυστέρησης, όπως το 5G. Οι εταιρείες Κινητής Επικοινωνίας μπορούν να διαδραματίσουν συμπληρωματικό ρόλο στις εταιρείες ενέργειας καθώς προσφέρουν αφοσιωμένο κομμάτι του δικτύου (dedicated network slice) για τους παρόχους ενέργειας και για τα έξυπνα καταναλωμένα συστήματα τροφοδοσίας τους. Αυτό τους επιτρέπει να πραγματοποιούν έξυπνη ανάλυση και να ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο σε μη φυσιολογικές πληροφορίες για την κατανάλωση, επιτρέποντας ταχύτερο και ακριβέστερο έλεγχο ισχύος σε όλο το δίκτυο.



Εικόνα 30:Κάνοντας την ενέργεια πιο «έξυπνη»

9.6 Ασύρματη η-Υγεία (Wireless e-Health)

Τόσο στη Δύση όσο και στην Ασία, οι πληθυσμοί γερνούν γρήγορα. Το ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού που είναι 55 ετών και άνω θα διπλασιαστούν σχεδόν μεταξύ 2000 και 2030 από 12% σε 20%. Το Moody's Analytics, με βάση τα στοιχεία του ΟΗΕ, αναφέρει ότι σε ορισμένες χώρες (Ηνωμένο Βασίλειο, Ιαπωνία, Γερμανία, Ιταλία, Ηνωμένες Πολιτείες και Γαλλία) θα γίνουν "Υπερήλικες", όπου το 20% και άνω του πληθυσμού είναι άνω των 65 ετών.

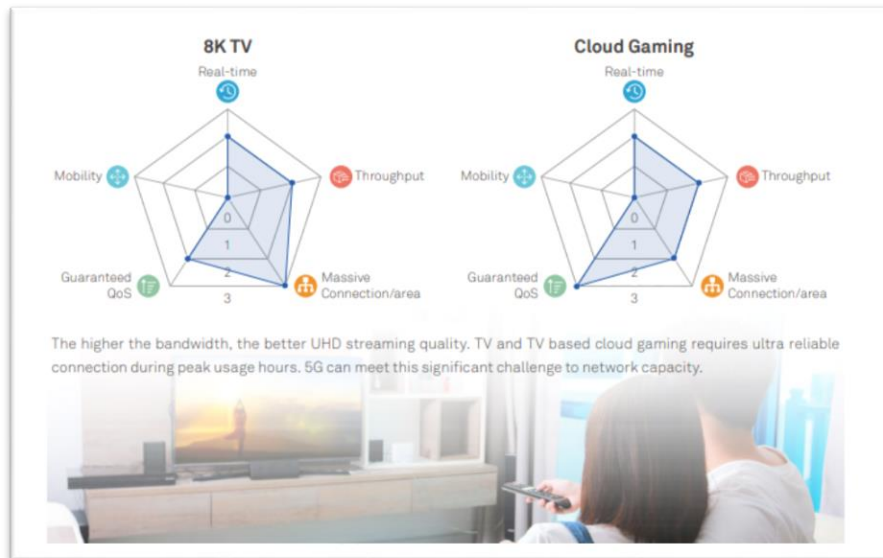


Εικόνα 31: RemoteDiagnosis

Τα τελευταία 5 χρόνια αυξήθηκε η υιοθέτηση του ασύρματου Internet σε ιατρικές συσκευές. Επομένως, οι επαγγελματίες φροντίδας της υγείας έχουν αρχίσει να ενσωματώνουν λύσεις όπως η απομακρυσμένη διάγνωση με χρήση ήχου / βίντεο, η απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση, βάσεις δεδομένων πόρων και απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας χρησιμοποιώντας συσκευές φορητές και που μπορούν να φορεθούν (portable/ wearables).

9.7 Ασύρματη ψυχαγωγία στο σπίτι (Wireless Home Entertainment)

Μια από τις πρώτες περιπτώσεις εμπορικής χρήσης για το 5G είναι η σταθερή ασύρματη πρόσβαση, η οποία αποτελεί ένα σταθερό μέσο παροχής πρόσβασης στο διαδίκτυο σε σπίτια χρησιμοποιώντας τεχνολογία ασύρματου κινητού δικτύου αντί για σταθερές γραμμές. Σταθερή ασύρματη πρόσβαση ή ασύρματο στο x (WTTx- wireless to the x) συχνά αποδεικνύεται πιο βολική για την εγκατάσταση λόγω της ύπαρξης υφιστάμενων πύργων (towers) και φάσματος. Μέχρι τον Αύγουστο του 2016, υπήρχαν σχεδόν 10 εκατομμύρια 4K / UHD χρήστες υπηρεσιών τηλεόρασης παγκοσμίως. Οι 4K / UHD τηλεοράσεις κατέχουν ήδη περισσότερο από το 40% της παγκόσμιας αγοράς και οι 8K τηλεοράσεις είναι ήδη διαθέσιμες και οι εταιρείες πλασάρουν και 16K που θυμίζουν στο μέγεθος οθόνη κινηματογράφου. Σύμφωνα με τις προβλέψεις, χαμηλότερες τιμές και νέες υπηρεσίες UHD TV που βασίζονται σε συνδρομή θα προσελκύσουν τους μισούς τηλεθεατές παγκοσμίως για να χρησιμοποιήσουν τηλεοράσεις 4K / 8K μέχρι το 2020. 8K βίντεο με ρυθμούς δεδομένων άνω των 100 Mbps θα απαιτεί το υψηλό εύρος ζώνης



Εικόνα 32: UHD 8K Video & Cloud Gaming

5G WTTx που παρέχεται. Άλλες εφαρμογές που βασίζονται σε βίντεο, όπως η επίβλεψη του σπιτιού, η ροή περιεχομένου και το cloud gaming, θα επωφελούνται επίσης από το 5G WTTx. Οι πλατφόρμες παιχνιδιών γενικά δεν παρέχουν επίπεδα εικόνας με ποιότητα μεγαλύτερη από 720p, αλλά το 5G αναμένεται να προσφέρει ικανοποιητική και εντυπωσιακή εμπειρία παιχνιδιού 4K στις 90fps, η οποία απαιτεί ταχύτητες δεδομένων μεγαλύτερες των 75 Mbps και λιγότερο από 10ms λανθάνουσα καθυστέρηση.

9.8 Σύνδεση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (Connected drones)

Η παγκόσμια αγορά μη επανδρωμένων οχημάτων (unmanned aerial vehicles -UAV) αυξήθηκε σημαντικά κατά την τελευταία δεκαετία. Τα UAV, επίσης γνωστά ως drones, είναι πλέον καθιερωμένες πλατφόρμες που παρέχουν ένα ποικίλο σύνολο εμπορικών, καταναλωτικών εφαρμογών και εφαρμογών διακυβέρνησης. Οι φορείς εκμετάλλευσης Drone αξιοποιούν τις δυνατότητες μιας κατά παραγγελία (on-demand) και ως υπηρεσία (as-a-service) οικονομίας, παρέχοντας τις υπηρεσίες τους στους τελικούς χρήστες με παρόμοιο τρόπο με το μοντέλο κατανάλωσης νέφους (cloud-consumption model). Για παράδειγμα, στον αγροτικό τομέα, ο αγρότης μπορεί να έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες παρακολούθησης των καλλιεργειών και να πληρώνει την υπηρεσία μόνο τη στιγμή που την καταναλώνει (in a Pay As You Go – PAYG basis), ή με μηνιαίο συμβόλαιο. Εν τω μεταξύ, οι φορείς εκμετάλλευσης των Drone οικοδομούν έναν αυξανόμενο αριθμό συνεργασιών για να δημιουργήσουν αγορές και υπηρεσίες εφαρμογών, προωθώντας τα σε επιχειρήσεις και καταναλωτές.

Επιπλέον, οι φορείς εκμετάλλευσης και οι συνεργάτες τους στην αγορά μπορούν να συγκεντρώσουν και να ανωνυμοποιήσουν τα δεδομένα που συλλέγουν από τους πελάτες προκειμένου βελτιώσουν τις υπηρεσίες τους και να τα αξιοποιήσουν την αγορά νομισματικής ανάλυσης δεδομένων. Τα συγκεντρωμένα και ανωνυμοποιημένα δεδομένα του τομέα της βιομηχανίας μπορούν να παρέχουν στους οργανισμούς χρηματοπιστωτικών υπηρεσιών μια ένδειξη για τις μελλοντικές τάσεις των τιμών των εμπορευμάτων / των εισροών ή μπορεί

Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους.



Εικόνα 33: ConnectedDrones

ενδεχομένως να είναι χρήσιμες για εταιρείες logistics / ναυτιλιακές εταιρείες και κυβερνητικές υπηρεσίες για μελλοντικό προγραμματισμό.

9.9 Κοινωνικά δίκτυα (Socialnetworks)

Το mobilevideo έχει αναπτυχθεί από την παροχή περιεχομένου κατά παραγγελία σε κινητές συσκευές σε νέους τρόπους δημιουργίας και κατανάλωσης περιεχομένου.

Δύο από τις πιο σημαντικές πρόσφατες τάσεις είναι το βίντεο κοινωνικής δικτύωσης (socialvideo) και το κινητό ζωντανό βίντεο(mobilelivevideo):

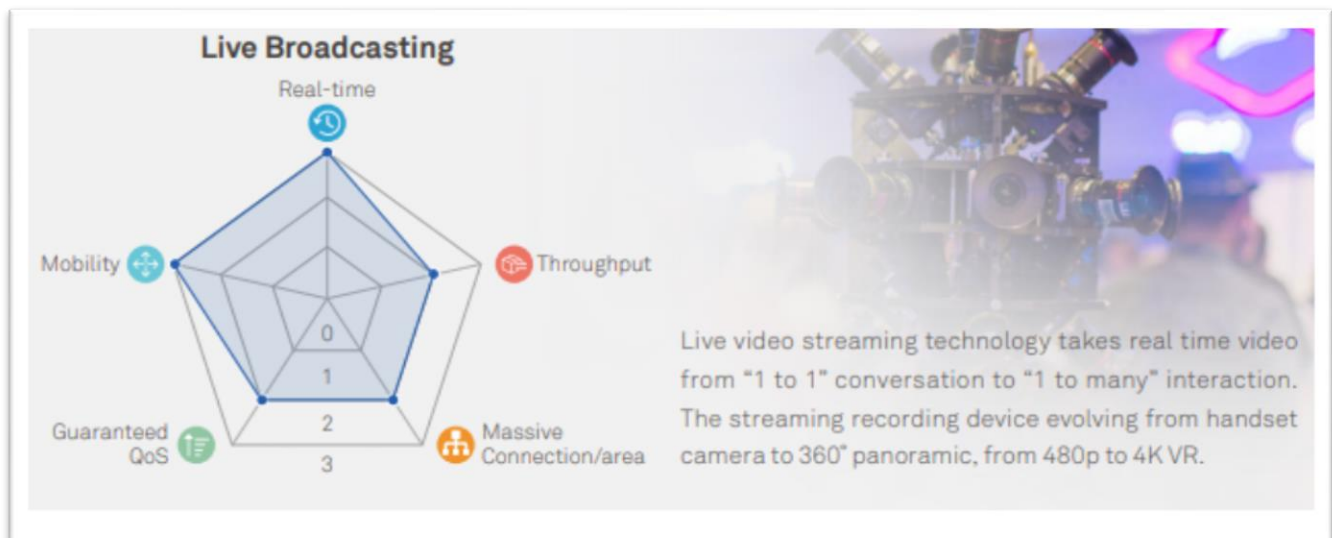
- Το Live video μεταδίδεται όλο και περισσότερο σε κορυφαία κοινωνικά δίκτυα, π.χ.Facebook, Twitter κτλ
- Η κοινωνική πλευρά του Live video, συμπεριλαμβανομένης της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ραδιοηλεκτρονικών φορέων και των θεατών καθώς και μεταξύ των θεατών, καθοδηγεί την ταχεία υιοθέτηση και την άμεση δημιουργία εσόδων από το κινητό ζωντανό βίντεο.

Από το τέλος του 3ου τριμήνου του 2017, υπήρχαν περίπου 10 δισεκατομμύρια ενεργοί χρήστες μηνιαίως (monthly active users -MAU) στα 10 κορυφαία κοινωνικά δίκτυα. Τα πρώτα 3 κοινωνικά δίκτυα ήταν το Facebook με 2 δισεκατομμύρια μηνιαίους ενεργούς χρήστες, το YouTube 1,5 δις και το WeChat με 963 εκατομμύρια.

Το Smartphone υπήρξε μια τεχνολογία άξονας (lynchpin technology) για την κοινωνική δικτύωση. Περίπου το 60% των MAUs έχουν πρόσβαση στο Facebook μέσω των κινητών τηλεφώνων τους. Ωστόσο, οι καταναλωτές επικαιροποιούν ολοένα και περισσότερο τα οικογενειακά και φιλικά κοινωνικά τους δίκτυα μέσω προσωπικών φορητών συσκευών που

μπορούν να επικοινωνήσουν ζωντανά με βίντεο, ακόμη και 360 ° βίντεο, αθλητικές επιδόσεις, μέτρηση βημάτων, ακόμα και τη διάθεσή τους σε πραγματικό χρόνο.

Η δημοτικότητα των κοινωνικών δικτύων υποδεικνύει ότι οι χρήστες της γίνονται ολοένα και πιο άνετοι στην κοινή χρήση περιεχομένου, συμπεριλαμβανομένου του ζωντανού βίντεο. Εξ ορισμού, η ζωντανή ροή βίντεο δεν χρειάζεται να αποθηκεύεται, το περιεχόμενο που έχει καταγραφεί από τον κεντρικό υπολογιστή στη συσκευή μεταφορτώνεται σε μια πλατφόρμα φιλοξενίας. Το περιεχόμενο μεταδίδεται απευθείας στην πλατφόρμα ροής και προβάλλεται σχεδόν άμεσα.



Εικόνα35: LiveBroadcasting

Ο πραγματικός χρόνος ανατροφοδότησης μιας συνομιλίας ενσωματώνεται στα smartphones και ενεργοποιείται από τις πλατφόρμες ζωντανής ροής για κινητά βίντεο, καθιστώντας αυτόν τον νέο τύπο επικοινωνίας «ένας σε πολλούς» ("onetomany") πολύ πιο διαδραστικό και κοινωνικό. Με την ικανότητα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των θεατών να συμμετέχουν στην εμπειρία, υπάρχει επίσης μια κοινωνική διάσταση «πολλοί σε πολλούς ("manytomany") για τη ζωντανή ροή βίντεο. Τα βίντεο αναμένεται να υιοθετηθούν με ενθουσιασμό από τους χρήστες των socialnetworkers, τους μπλόγκερ μόδας και τους ρυθμιστές τάσης (trendsetters).

9.10 Έξυπνη πόλη (SmartCity)

Μια έξυπνη πόλη κατέχει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, καθώς μπορεί να λειτουργεί προληπτικά (proactive) παρά κατασταλτικά (reactive) στις ανάγκες των κατοίκων και των επιχειρήσεων της. Για να γίνει μια έξυπνη πόλη, οι αρχές δεν χρειάζεται μόνο να επενδύσουν σε αισθητήρες δεδομένων που μπορούν να πάρουν τον παλμό της πόλης, αλλά και βίντεο κάμερες παρακολούθησης της ροής της κυκλοφορίας και την ασφάλεια στις γειτονίες της.

Η παρακολούθηση-εποπτεία της πόλης είναι ένα εργαλείο που όχι μόνο ενισχύει την ασφάλεια αλλά και ενεργοποιεί την παραγωγικότητα των επιχειρήσεων και των αστικών θεσμών. Τα συστήματα παρακολούθησης βίντεο είναι ανεκτίμητα για την παρακολούθηση των παρακάτω:

- Δημόσιους χώρους (πλατείες, κέντρα δραστηριοτήτων, σχολεία, νοσοκομεία)
- Επαγγελματικούς χώρους (τράπεζες, εμπορικά κέντρα)
- Μεταφορικά κέντρα (σταθμοί, αποβάθρες)
- Σημαντικές διασταυρώσεις
- Περιοχές υψηλής εγκληματικότητας
- Ιδρύματα και κατοικημένες περιοχές
- Πρόληψη πλημμυρών (κανάλια, ποτάμια)
- Κρίσιμη υποδομή (ενεργειακό δίκτυο, κέντρα δεδομένων τηλεπικοινωνιών, αντλιοστάσια).

Η ζήτηση για βίντεο παρακολούθηση βασίζεται στην καινοτόμα τεχνολογία βιντεοκάμερας, στην αποθήκευση στο cloud που υποστηρίζει τη συλλογή δεδομένων, την ανάλυσή τους και στον ανταγωνισμό των τιμών. Οι σημαντικές καινοτομίες βιντεοκάμερας περιλαμβάνουν:

- Κάμερες IP τεσσάρων megarixel που κυριαρχούν σήμερα στην αγορά, καθώς και κάμερες 6MP και 8 MP με δυνατότητα 4K .
- Καινοτόμα σενάρια εφαρμογών όπως κάμερες που φοριούνται στο σώμα και κάμερες εσωτερικών χώρων που χρησιμοποιούνται από τους πρώτους ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης καθώς και μεμονωμένους ιδιοκτήτες αυτοκινήτων.



Εικόνα 34: Smart City

Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους.



Εικόνα 35: VideoSurveillance

Τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά των καμερών παρακολούθησης βίντεο, όπως τα υψηλά ποσοστά καρέ (high frame rates), το βίντεο υψηλής ευκρίνειας (HighDefinition-HD) και η δυναμική ευρεία εμβέλεια (WideDynamicRange- WDR, επιτρέπει την απεικόνιση ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες φωτισμού) θα συμβάλουν σημαντικά στη δημιουργία νέας κίνησης δεδομένων.

10. ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΕΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝΥΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ 5G ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

10.1 Κοινωνικές Επιπτώσεις

Το 5G αναμένεται να διαδραματίσει κομβικό ρόλο στονμετασχηματισμό όλων των κλάδων της οικονομίας και γενικότερα της ανθρώπινης δραστηριότητας και γενικότερα στη λεγόμενη 4η Βιομηχανικής Επανάστασης και την Ψηφιακή Οικονομία[38].

Η απρόσκοπτη ευρυζωνική πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων παντού και από όλους μέσω των εξελιγμένων δικτύων κινητών επικοινωνιών 5G, η χρήση του υπολογιστικού νέφους και η διασύνδεση των κάθε είδους αντικειμένων που μας περιβάλλουν, σε συνδυασμό με την άνθηση νέων τεχνολογιών, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, τα Big Data Analytics και το Blockchain, αλλάζουν άρδην και ριζικά τα πάντα γύρω μας. Εντελώς νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ευκαιρίες για νέους τρόπους εργασίας, εκπαίδευσης, ευεξίας, διασκέδασης και γενικά ανθρώπινης διαβίωσης. Μπορεί να παρομοιάσει κανείς την σημερινή κατάσταση με τον εξηλεκτρισμό. Μόνο που σήμερα, λόγω της παγκοσμιοποίησης της οικονομίας, είναι ξεκάθαρο πως οι κλάδοι και οι χώρες που θα κινηθούν γρηγορότερα προς την Ψηφιακή Οικονομία θα έχουν καθοριστικό για το μέλλον και την ανάπτυξη πλεονέκτημα έναντι των καθυστερημένων. Το 5G δρα ως καταλυτικός παράγοντας επιτάχυνσης και οικονομικά αποδοτικής υλοποίησης των ανωτέρω αλλαγών και του Ψηφιακού Μετασχηματισμού γενικότερα.

Σ' αυτή τη νέα εποχή, όσοι δημιουργούσαν εφαρμογές για τα «έξυπνα» κινητά τηλέφωνα, τώρα θα δημιουργούν εφαρμογές για έξυπνες πόλεις, έξυπνα εργοστάσια, πλοία και αυτοκίνητα. Πολλές χώρες, μεγάλες και μικρές, στηρίζουν το αναπτυξιακό τους σχέδιο σε αυτή την προοπτική, που της δίνουν το όνομα Industry 4 που όμως η ουσία του δεν είναι η τεχνολογία, αλλά η διασύνδεση και η συνεργασία μεταξύ των ανθρώπων και η αξιοποίηση της συλλογικής γνώσης[39].

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αναγκάζει τις εταιρείες να αλλάξουν τα επιχειρηματικά τους μοντέλα και να προσαρμοστούν στη νέα πραγματικότητα της αγοράς. Αυτό που προκαλεί ενδιαφέρον είναι ότι δεν είναι οι εταιρείες που οδηγούν αυτή την αλλαγή. Αντ' αυτού, η αλλαγή αυτή καθοδηγείται από τον πελάτη. Σήμερα, οι πελάτες αναμένουν σχετικές υπηρεσίες οι οποίες να ακολουθούν τη ρουτίνα τους οποιαδήποτε στιγμή, οπουδήποτε βρίσκονται. Και για να συμβαδίζουν με αυτό το νέο είδος του «πάντα συνδεδεμένου» πελάτη, οι επιχειρήσεις πρέπει να αγκαλιάσουν την τεχνολογία για να προσφέρουν μια αξέχαστη εμπειρία στον πελάτη τους. Η εμπειρία του τελευταίου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον ψηφιακό μετασχηματισμό. Όλες οι διαδικασίες μετασχηματισμού έχουν ως κύριο οδηγό την εμπειρία που ιδανικά θέλει να βιώσει ο πελάτης. Η μετάβαση στην ψηφιακή τεχνολογία σήμερα σημαίνει να κατανοήσουν σε βάθος οι επιχειρήσεις την αντίληψη που βλέπει τους πελάτες ως το κέντρο της επιχείρησης και όχι ως προϊόν ή υπηρεσία.

Οι επιχειρήσεις μπορούν να επικοινωνούν –και το σημαντικότερο– να αλληλοεπιδρούν με διευρυμένα κοινά. Ουσιαστικά, η χρήση ψηφιακών καναλιών δίνει στις εταιρίες την ευκαιρία να αφήσουν πίσω τους οποιοδήποτε εμπόδιο επαφής μεταξύ αυτής και του κοινού, προσεγγίζοντάς τους πλέον απευθείας. Συνεπώς, σχεδιάζουν και επικοινωνούν ενέργειες με

κοινωνικό πρόσημο, αξιοποιώντας περισσότερα κανάλια επικοινωνίας και απευθυνόμενοι πλέον σε μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων [40].

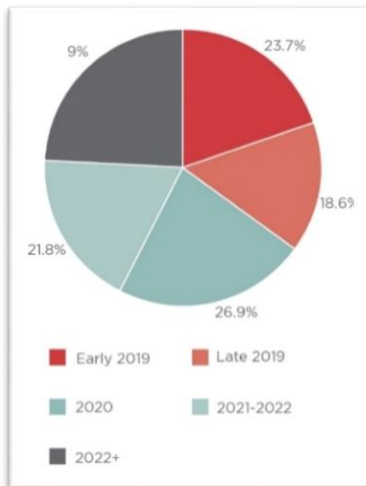
Το 5G-Infrastructure-PPP θα προσφέρει λύσεις, αρχιτεκτονικές, τεχνολογίες και πρότυπα για τις υποδομές επικοινωνίας 5G της επόμενης δεκαετίας. Ο στόχος για τις επιπτώσεις στην Ευρωπαϊκή Οικονομία είναι να διατηρηθεί και να ενισχυθεί μια ισχυρή βιομηχανική βάση στον τομέα των τεχνολογιών δικτύων, η οποία θεωρείται παγκόσμια στρατηγική βιομηχανία. Η διατήρηση τουλάχιστον του 35% του παγκόσμιου μεριδίου αγοράς στην Ευρώπη όσον αφορά τον μελλοντικό εξοπλισμό δικτύου είναι στρατηγικός στόχος που μπορεί να επιτευχθεί με τη συνδρομή της ανάπτυξης του 5G.

Σε κοινωνικό επίπεδο, ο αντίκτυπος είναι να υποστηριχθεί η γενικευμένη πρόσβαση σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών και υπηρεσιών που προσφέρονται με χαμηλότερο κόστος, με αυξημένη ανθεκτικότητα και συνέχεια, με μεγαλύτερη αποδοτικότητα στη χρήση των πόρων (π.χ. ραδιοφάσμα) και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου [41].

Τα έξυπνα δίκτυα του μέλλοντος θα υποστηρίξουν την πλατφόρμα υπηρεσιών για την οδήγηση του ψηφιακού μετασχηματισμού της κοινωνίας, ενεργώντας ως το «νευρικό σύστημα» του Internet Next Generation (NGI). Τα μελλοντικά συστήματα και δίκτυα επικοινωνίας (Smart Networks) θα αποτελέσουν το θεμέλιο του «Ανθρωποκεντρικού Internet». Θα παρέχουν την ευέλικτη, ενεργειακά αποδοτική και υψηλής απόδοσης κρίσιμη υποδομή όπου θα αναπτυχθούν τα δίκτυα νέας γενιάς και άλλες ψηφιακές υπηρεσίες. Τα έξυπνα δίκτυα και οι υπηρεσίες θα καλύψουν το χάσμα της ψηφιακής ανταγωνιστικότητας των ευρωπαϊκών βιομηχανιών σε σχέση με τομείς που ενισχύουν την ανθρώπινη εργασία που συνδέεται με την αποδιοργάνωση νέων ψηφιακών δυνατοτήτων και την αποφυγή παρωχημένων θέσεων απασχόλησης στην ΕΕ.

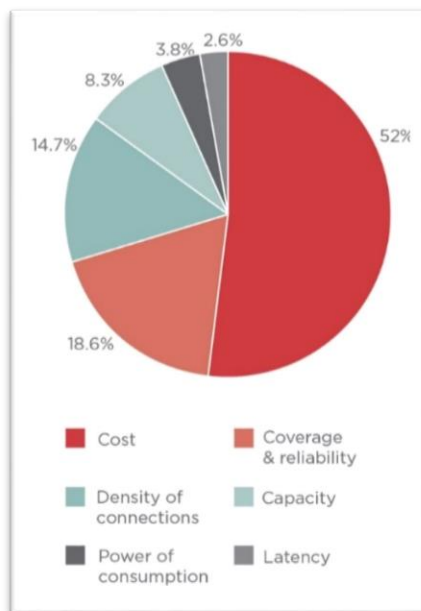
Η συνδεσιμότητα σε όλους έχει εξελιχθεί από μια πολυτέλεια σε ένα κρίσιμο ανθρώπινο δικαίωμα. Η Ισχυρή θέση στην έρευνα, ανάπτυξη και ανάπτυξη δικτύων έξυπνων επικοινωνιών και οι πλατφόρμες εξυπηρέτησης θα αποτελέσουν βασικό μελλοντικό οικονομικό παράγοντα διαφοροποίησης και θα εξασφαλίσουν συνολική ανάπτυξη για να παραμείνει η βιομηχανία ανταγωνιστική. Τα έξυπνα δίκτυα και υπηρεσίες παρέχουν τα μέσα για τη δημιουργία αξιόπιστης γνώσης βασισμένη στην ψηφιακή κοινωνία και πραγματικότητα.

Ήδη, σχεδόν το ήμισυ των τηλεπικοινωνιακών παρόχων, σε παγκόσμιο επίπεδο, σκοπεύει να λανσάρει τα δίκτυα επόμενης, πέμπτης γενιάς άμεσα. Επιπλέον, περισσότερο από το ένα τέταρτο των παρόχων (27%) απαντά ότι σκοπεύει να αναπτύξει τη νέα τεχνολογία από το 2020. Επιπλέον, υπάρχει ένα ποσοστό 24%, που τοποθετεί χρονικά την ανάμειξη του στην τεχνολογία 5G την περίοδο 2021-2022. Όπως είναι αναμενόμενο, οι πάροχοι ανά τον κόσμο σκοπεύουν να ξεκινήσουν την ανάπτυξη των δικτύων νέας γενιάς από τα μεγάλα αστικά κέντρα, καθώς ελάχιστα είναι τα παραδείγματα επενδύσεων στο 5G σε εθνική κλίμακα. Την παραπάνω εικόνα περιγράφει έρευνα του Mobile World Live, σε συνεργασία με τη Huawei, η οποία πραγματοποιήθηκε μεταξύ στελεχών των Τηλεπικοινωνιών για να αξιολογήσει την ετοιμότητά τους στην ανάπτυξη δικτύων 5G, τις προσδοκίες τους από τη νέα τεχνολογία για τα αναμενόμενα οφέλη [42].



Σχήμα 1: Πότε οι πάροχοι σχεδιάζουν να αναπτύξουν εμπορικά τα δίκτυα 5G

Σύμφωνα με την εν λόγω έρευνα, ο βασικός οδηγός, που τροφοδοτεί την ανάπτυξη των δικτύων νέας γενιάς, παγκοσμίως, είναι οι οικονομίες κλίμακας που αναμένονται και η μείωση του κόστους, που μπορεί να επέλθει, με περισσότερα από τα μισά στελέχη του κλάδου (52%) να θεωρούν αυτόν τον παράγοντα ως το “νούμερο ένα”. Όταν ερωτώνται ποιοι θα είναι οι επόμενοι βασικοί οδηγοί ανάπτυξης για την τεχνολογία του 5G, απαντούν η αύξηση της κάλυψης και η αξιοπιστία (19%), με την πυκνότητα των συνδέσεων (15%) και τη χωρητικότητα (8%) να ακολουθούν.



Σχήμα 2: Ποιοι παράγοντες είναι πιο κρίσιμοι στην ανάπτυξη των 5G δικτύων

Τις τελευταίες δεκαετίες, διαδοχικά κύματα τεχνολογικών αλλαγών-μετασχηματισμών-εξελίξεων σε συνδυασμό με συνεχείς και ενίοτε καινοτόμες εφαρμογές και προσφορές στην αγορά έχουν μεταμορφώσει δραστικά τις ανθρώπινες κοινωνίες και τις αντίστοιχες οικονομίες,

με πολλαπλά και σημαντικά οφέλη τόσο για την ευρύτερη ανάπτυξη όσο και για την ποιότητα της ζωής των τελικών «χρηστών» (περιλαμβανομένων των οικιακών και εταιρικών πελατών-καταναλωτών, διαφόρων φορέων και οργανισμών, Αρχών, κτλ.). Σε κάθε περίπτωση καιστη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι σύγχρονες τεχνολογίες οδηγούν σε θετικές επιπτώσεις στην κοινωνία, στην οικονομία και στην προσωπική ζωή των πολιτών, και συμβάλλουν σε ένα συνεχές και δυναμικό πλαίσιο εξέλιξης [43].

10.2 Οικονομικές Επιπτώσεις

Εκτιμάται ότι το 5G θα εξασφαλίσει 12,3 τρισεκατομμύρια δολάρια στην παγκόσμια οικονομία μέχρι το 2035, με μεγαλύτερη ανάπτυξη στις πωλήσεις που προέρχονται από τη βιομηχανία διότι η αναμενόμενη αύξηση οφείλεται στον εξοπλισμό 5G. Αυτό ακολουθείται από την ανάπτυξη πωλήσεων στον κλάδο τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής, το οποίο προέρχεται από δαπάνες σε υπηρεσίες επικοινωνιών. Οι επενδύσεις στην αλυσίδα αξίας προσδοκείται να παράγει παραπάνω 3,5 τρις δολάρια και να παρέχει υποστήριξη σε 22 εκατομμύρια θέσεις εργασίας έως το 2035.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά ότι το συνολικό κόστος της ανάπτυξης 5G μεταξύ των 28 κρατών-μελών ανέρχεται 56 δις ευρώ, δηλαδή όφελος 113,1 δις ευρώ το χρόνο που προκύπτει από τη εισαγωγή των δυνατοτήτων 5G και τη δημιουργία 2,3 εκατομμυρίων θέσεων εργασίας. Εκτιμάται επίσης ότι τα οφέλη προκύπτουν από την παραγωγικότητα στην αυτοκινητοβιομηχανία και γενικότερα στον εργασιακό χώρο. Περισσότερο θα ωφεληθούν αστικές περιοχές και μόνο κατά 8% θα ωφεληθούν οι αγροτικές περιοχές[44].

Στην Ευρώπη, ο τομέας ΤΠΕ συμβάλλει σημαντικά στην οικονομία με περίπου 5% του ΑΕΠ, το οποίο αντιστοιχεί σε μέγεθος αγοράς 600 δις. ευρώ, όπως επιβεβαίωσε η Eurostat. Συγκεκριμένα, ο τομέας των συστημάτων επικοινωνιών και των δικτύων (μεταποιητικός τομέας, συμπεριλαμβανομένων του εξοπλισμού επικοινωνιών και τηλεπικοινωνιών) ενισχύει την αγορά αυτή με:

- περίπου 27,2% (1,74 εκατομμύρια εργαζόμενοι) στην απασχόληση ΤΠΕ
- 37% (234 δις. Ευρώ) του μεγέθους της αγοράς ΤΠΕ.
- 47% (€ 15 δις.) των δαπανών E & A στην Ευρώπη

Σύμφωνα με την GSMA, το κινητό οικοσύστημα έδωσε άμεση απασχόληση σε 1,09 εκατομμύρια άτομα το 2017 στην Ευρώπη συν επιπλέον 1,39 εκατομμύρια έμμεσες θέσεις εργασίας. Το οικοσύστημα απασχόλησης λαμβάνει υπόψη αρκετούς παίκτες που έφεραν συνολικό αντίκτυπο (άμεσο και έμμεσο) στην ευρωπαϊκή βιομηχανία κινητής τηλεφωνίας, 2,48 εκατομμύρια θέσεις εργασίας [45] [46]. Η συνεισφορά αυτή περιλαμβάνει:

- άμεσες επιπτώσεις από τον κλάδο των τηλεπικοινωνιών
- έμμεσες επιπτώσεις από τη χρήση συστημάτων επικοινωνιών και
- επιπτώσεις στη συνολική παραγωγικότητα της οικονομίας

Το 5G θα είναι μια σημαντική τεχνολογία στην αναπτυσσόμενη βιομηχανική ψηφιοποίηση. Η ψηφιοποίηση έχει αυξηθεί σε όλο τον κόσμο και σύμφωνα με μια έκθεση της Pico [47], τα ψηφιακά έσοδα για τους παίκτες ΤΠΕ θα ανέλθουν σε αξίας περίπου 3,5 τρισεκατομμυρίων

δολαρίων έως το 2026 σε όλες τις 10 βασικές βιομηχανίες (δημόσια ασφάλεια, κατασκευές, χρηματοπιστωτικές υπηρεσίες, υγειονομική περίθαλψη, υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, ενέργεια, αυτοκινητοβιομηχανία, μέσα μαζικής ενημέρωσης και ψυχαγωγία, δημόσιες μεταφορές, γεωργία και λιανική πώληση).

10.3 Επιπτώσεις στην υγεία

Ανησυχίες εκφράζονται για το ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που χρησιμοποιείται από όλες τις τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας και κυρίως από το 5Gεν τέλει θα οδηγήσει ορισμένους ανθρώπους σε αυξημένους κινδύνους για την υγεία, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης ορισμένων τύπων καρκίνου[48].

Η ακτινοβολία διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα αν προκαλεί ιοντισμό ή όχι στο άτομο ή το μόριο ενός βιολογικού οργανισμού. Μη ιοντίζουσα, ή γνωστή και ως ηλεκτρομαγνητική, είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει σχετικά μικρή ενέργεια, που δεν προκαλεί ιοντισμό, είναι ικανή όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στον οργανισμό[49]. Στις ακτινοβολίες αυτές εντάσσονται μεταξύ άλλων τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραιές επικοινωνιών, κεραιές ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, φούρνους μικροκυμάτων. Οι βλαβερές επιδράσεις στην υγεία που οφείλονται στις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι αυτές που προκύπτουν κατά την διάρκεια ή αμέσως μετά το πέρας της έκθεσης εφόσον υπερβαίνονται κάποια κατώφλια-στάθμες επιπέδων έκθεσης[50]. Οι βασικοί περιορισμοί προκύπτουν από τα κατώφλια των αποδεδειγμένων βλαβερών επιδράσεων στην υγεία αφού υιοθετηθούν μεγάλοι συντελεστές ασφαλείας. Οι βασικοί περιορισμοί στην πλειονότητά τους δεν αφορούν άμεσα μετρήσιμα μεγέθη στο περιβάλλον διατάξεων εκπομπής, αλλά επαγόμενα μεγέθη στο εσωτερικό του σώματος των ανθρώπων που είναι δύσκολο να μετρηθούν. Για τον λόγο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενέστερες συνθήκες σύζευξης της ακτινοβολίας με τον άνθρωπο, προκύπτουν «επίπεδα αναφοράς» που είναι εύκολα μετρήσιμες παράμετροι της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και η τήρησή τους εξασφαλίζει και την τήρηση του βασικού περιορισμού και κατά συνέπεια την απουσία των βλαβερών επιδράσεων στην υγεία.



Εικόνα 36: Τεχνολογίες 5G και μελέτες για τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου

Μεγαλύτερη ανησυχία παρατηρείται αναφορικά με τα κύματα χιλιοστού (mmWave) με εύρος συχνοτήτων 0-300GHz που είναι μια υποκατηγορία της τεχνολογίας 5G στο εύρος, η οποία μπορεί να μεταφέρει περισσότερες πληροφορίες για μικρότερες βέβαια αποστάσεις. Η νέα τεχνολογία 5G θα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα μικροκύματα και θα απαιτεί την εγκατάσταση αναμεταδοτών κάθε 100 έως 200 μέτρα, εκθέτοντας πολλούς ανθρώπους σε ακτινοβολία χιλιοστομέτρου.

Η νέα τεχνολογία δεν θα αντικαταστήσει την τεχνολογία 4G, αλλά θα την συμπληρώνει. Εάν υπάρχουν αθροιστικές επιδράσεις από ταυτόχρονες εκθέσεις σε πολλαπλούς τύπους ραδιοσυχνοτήτων, ο συνολικός κίνδυνος βλάβης από τις ραδιοσυχνότητες μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Συγκεκριμένα, αν και έχει βρεθεί ότι τα κύματα χιλιοστού δεν διαπερνούν το δέρμα στο ίδιο βάθος με τα κύματα χαμηλότερων συχνοτήτων, παρόλα αυτά, ενδέχεται να χρειάζεται να γίνει μια διαφορετική αξιολόγηση κινδύνου αυτών των κυμάτων για την εκτίμηση της επίδρασής τους στην επιφάνεια του δέρματος [51]. Ο καρκίνος δεν είναι ο μόνος κίνδυνος, καθώς υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι οι συχνότητες αυτές προκαλούν νευρολογικές διαταραχές και βλάβες στην αναπαραγωγή, πιθανώς λόγω οξειδωτικού στρες[52].

Η επιστημονική κοινότητα τείνει προς την άποψη για συνέχιση της μελέτης, της παρατήρησης και της επαγρύπνησης πάνω σε αυτά τα ζητήματα. Ωστόσο, η πλήρης απαγόρευση του δικτύου 5G θα ήταν υπερβολική και θα αποτελούσε ανάχωμα στην τεχνολογική καινοτομία. Επίσης δεν έχει παρατηρηθεί μεγάλη αύξηση του καρκίνου του εγκεφάλου τα τελευταία 20 χρόνια, παρόλο που η χρήση του κινητού τηλεφώνου έχει αυξηθεί κατά πολύ. Συνεπώς, οι επιστήμονες καταλήγουν στο ότι πρέπει, οι δημόσιοι, κρατικοί φορείς αλλά και Ευρωπαϊκοί θεσμοί να επενδύσουν στην περαιτέρω διερεύνηση των επιπτώσεων αυτών των κυμάτων [51].

11.ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΓΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ 5G

Τα δίκτυα 5ης γενιάς στοχεύουν στην κάλυψη αναγκών κάθε είδους σε ένα εύρος εφαρμογών με ξεχωριστά χαρακτηριστικά. Κοινή γνώμη αποτελεί το γεγονός ότι η ανάπτυξη των δικτύων θα παίξει καθοριστικό ρόλο για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) το οποίο συμπεριλαμβάνει την αμφίδρομη σύνδεση κάθε συσκευής που βρίσκεται σε ένα χώρο με το διαδίκτυο ώστε να είναι εφικτός ο απομακρυσμένος έλεγχος αυτών. Εξαιτίας των δικτύων 5ης γενιάς υλοποιείται μια άλλη καινοτομία αυτή των αυτόνομων οχημάτων που θα μπορούν να κινούνται στους δημόσιους δρόμους. Έτσι θα μπορέσουν να υπάρξουν ασφαλείς και αποδοτικές μεταφορές. Σκοπός είναι η αξιόπιστη σύνδεση χωρίς απώλειες και καθυστερήσεις. Στη συνέχεια θα δούμε κάποια έργα που έχουν τεθεί στα πλαίσια υλοποίησης για το 2019-2020. Αρχικά θα δούμε τα έργα (projects) 5PPP-Phase 2.

5GCAR

Το project αυτό έχει αναπτύξει τεχνικές έννοιες για ειδικές περιπτώσεις χρήσης οδήγησης όπως μεταφορά ευπαθών ατόμων με τη βοήθεια του δικτύου , αναγνώριση πότε υπάρχει συμφόρηση στις λωρίδες κυκλοφορίας , χάρτης υψηλής ευκρίνειας και απομακρυσμένη στάθμευση. Το κυριότερο επίτευγμα για το συγκεκριμένο project είναι η βελτίωση της αξιοπιστίας της επικοινωνίας και επιτυγχάνεται με τη μέτρηση της ποιότητας μέσου βασικών δεικτών απόδοσης που σχετίζονται με την υπηρεσία (KPIs). Με βάση αυτούς του δείκτες υπηρεσίας προέκυψαν τα KPI δίκτυα επικοινωνίας για την υποστήριξη του οχήματος.

Η Vehicle-to-everything (V2X) επικοινωνία οχήματος προς είναι η μετάδοση πληροφοριών από ένα όχημα σε οποιαδήποτε οντότητα που μπορεί να επηρεάσει το όχημα και αντίστροφα. Πρόκειται για ένα σύστημα επικοινωνίας οχημάτων που ενσωματώνει άλλους πιο συγκεκριμένους τύπους επικοινωνιών όπως V2I (οχήματος προς υποδομή), V2N (οχήματος προς δίκτυο), V2V (οχήματος προς όχημα), V2P (οχήματος προς πεζό) , V2D (οχήματος-προς-συσκευή) και V2G (οχήματος-σε-πλέγμα). Τα βασικά κίνητρα για το V2X είναι η οδική ασφάλεια, η αποδοτικότητα της κυκλοφορίας και η εξοικονόμηση ενέργειας.



Εικόνα 37:5GCar

5G-City

Το project 5G-City εργάζεται για το σχεδιασμό , την ανάπτυξη και διανομή cloud και πλατφόρμας radioγια τους δήμους και ιδιοκτήτες υποδομών που λειτουργούν ως 5G κεντρικοί υπολογιστές. Ο κύριος στόχος του femt είναι να δημιουργήσει και να αναπτύξει μια κοινή ,

ανοιχτή πλατφόρμα πολλαπλών ενεργειών. Το 5GCity προετοιμάζεται για να καλύψει το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών των πόλεων, απελευθερώνοντας τη δύναμη των νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας 5G προς όφελος των πολιτών.



Εικόνα 38:5G-City

5GEssence

Το πρόγραμμα 5G ESSENCE είναι μια δράση έρευνας και καινοτομίας που «θέτει επί τάπητος» τα πρότυπα των υπολογιστικών συστημάτων Edge Cloud και του Small Cell as-a Service (SCaaS), τροφοδοτώντας τους οδηγούς και απομακρύνοντας τα εμπόδια στην αγορά μικρών κυψελών (SC), προβλέποντας αύξηση με ένα εντυπωσιακό ρυθμό μέχρι το 2020 και μετά και να διαδραματίσει έναν "βασικό ρόλο" στο οικοσύστημα 5G.



Εικόνα 39:5GEssence

Το 5G ESSENCE στοχεύει να προσφέρει μια εξαιρετικά ευέλικτη και κλιμακούμενη πλατφόρμα, ικανή να υποστηρίξει νέα επιχειρηματικά μοντέλα και εισοδηματικές ροές, δημιουργώντας μια ουδέτερη αγορά υποδοχής και μειώνοντας το λειτουργικό κόστος, παρέχοντας νέες ευκαιρίες ιδιοκτησίας, ανάπτυξης, λειτουργίας και απόσβεσης.

5G-Media

Ο στόχος του έργου 5G-MEDIA είναι να αναπτυχθεί μια ολοκληρωμένη προγραμματιζόμενη πλατφόρμα που να αποτελείται από ένα Kit (SDK) που διευκολύνει την ανάπτυξη, τη δοκιμή και την εξομοίωση των υπηρεσιών πολυμέσων και μιας υπηρεσίας Πλατφόρμα Virtualization (SVP), που επιτρέπει την ανάπτυξη και τη λειτουργία των υπηρεσιών μέσω επικοινωνίας σε δίκτυα 5G αξιοποιώντας τις αρχές της Virtualization Function Function (NFV) και το λογισμικό (SDN). Η πλατφόρμα προσφέρει ένα προηγμένο γνωστικό περιβάλλον διαχείρισης για την παροχή υπηρεσιών δικτύου και εφαρμογών που σχετίζονται με τα μέσα ενημέρωσης, οι οποίες

συνδέουν άμεσα τη διαχείριση του κύκλου ζωής τους με την εμπειρία των χρηστών καθώς και τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων των υποδομών.



Εικόνα 40:5GMedia

Μια άλλη καινοτομία του έργου 5G-MEDIA είναι η ενσωμάτωση υπολογιστών χωρίς διακομιστές με εφαρμογές πολυμέσων σε δίκτυα 5G, αύξηση της αποδοτικότητας των λειτουργιών και απλούστευση του χρόνου ανάπτυξης και εγκατάστασης. Η πλατφόρμα επικυρώνεται χρησιμοποιώντας τρεις περιπτώσεις χρήσης μέσω: εμβληματική εφαρμογή Virtual Gaming 3D, απομακρυσμένη παραγωγή περιεχομένου εκπομπής που ενσωματώνει περιεχόμενο που δημιουργείται από το χρήστη και δυναμικά προσαρμοσμένα CDN για την έξυπνη διανομή περιεχομένου UltraHigh Definition (UHD).

5G-Monarch

Πρόκειται για μια ευέλικτη, προσαρμόσιμη και προγραμματιζόμενη αρχιτεκτονική - είναι το κλειδί για την ικανοποίηση της μεγάλης ποικιλομορφίας των απαιτήσεων και υπηρεσιών των 5G κινητών δικτύων. Η 5G-MoNArch σχεδιάζει και αναπτύσσει μια τόσο ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική κινητής τηλεφωνίας 5G μαζί με δύο λειτουργικές καινοτομίες: 1) ανθεκτικότητα και ασφάλεια, με στόχο την κάθετη χρήση της βιομηχανίας με ισχυρές απαιτήσεις για αξιόπιστη, ανθεκτική και ασφαλή επικοινωνία. 2) ελαστικότητα των πόρων, με στόχο μια περίπτωση χρήσης μέσω και ψυχαγωγίας, όπου το δίκτυο πρέπει να προσαρμοστεί γρήγορα στις μεταβαλλόμενες ιδιότητες εφαρμογής και χρήσης.



Εικόνα 41:5G-Monarch

Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης υλοποιούνται σε δύο δοκιμαστικούς σταθμούς πραγματικού κόσμου: το Smart Sea Port στο Αμβούργο και την Τουριστική Πόλη του Τορίνο. Ο απώτερος στόχος είναι να δοθεί μια νέα αρχιτεκτονική δικτύου 5G που να μπορεί να προσεγγίσει νέους

οικονομικούς τομείς και κάθετες περιοχές με τις αντίστοιχες κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις.

5G-PHOS

Το 5G-PHOS απευθύνεται στα εξαιρετικά πυκνά δίκτυα 5G με κύμα mm-κυμάτων που περιλαμβάνουν μια σειρά περιβαλλόντων με διαφορετική πυκνότητα κυκλοφορίας και ανάγκες κάλυψης. Για το σκοπό αυτό, η 5G-PHOS ανταποκρίνεται στις ακόλουθες τεχνικές και ερευνητικές προκλήσεις:

- Παρέχει μια σειρά από προδιαγραφές front-to-multipoint για οπτικές ίνες για 5G
- Συναντά τις αντίστοιχες μετρήσεις της εμπειρίας χρήστη 5G και της απόδοσης του βασικού δείκτη επιδόσεων του συστήματος (KPI),
- Συνεργάζεται με ασύρματες ραδιοκύματα κύματος mm και κεραιές mMIMO για την παροχή αυξημένης ικανότητας και αξιοπιστίας συνδέσμων και
- Ξεχωρίζει από τα προγράμματα που βασίζονται σε CPRI σε αποδοτικές λύσεις CPRI fronthaul με βάση το Ethernet .



Εικόνα 42:5G-Phos

Η 5G-PHOS διαμορφώνει νέες έννοιες δικτύου που θα επικυρωθούν σε μια σειρά κλιμακωτών ερευνών εργαστηρίου και πεδίου δοκιμών και θα εισαγάγει νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ευκαιρίες που θα τους μετατρέψουν σε απτά αποτελέσματα της αγοράς από τους εταίρους της βιομηχανικής κοινοπραξίας. Τα αποτελέσματα θα αποδειχθούν μέσω διαφορετικών περιπτώσεων χρήσης δικτύων που έχουν την υψηλότερη πιθανότητα να εισέλθουν πρώτα στην εποχή 5G, προσαρμοσμένη για να εξυπηρετεί τις απαιτήσεις του δικτύου 5G τόσο σε επιδόσεις όσο και σε επιχειρηματικά μοντέλα και οικονομική βιωσιμότητα. Το 5G-PHOS αναμένεται επίσης να επιτύχει σημαντικό αντίκτυπο σε διάφορες σχετικές ομάδες τυποποίησης λόγω των σημαντικών τεχνολογικών εξόδων. Τέλος, το 5G-PHOS κάνει ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της αύξησης της οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας των ευρωπαϊκών πολιτών, παρέχοντας οικονομικά αποδοτικές, ενεργειακά αποδοτικές λύσεις δικτύου 5G για περιπτώσεις υψηλής πυκνότητας χρήσης.

5G-Picture

Η 5G-PICTURE σχεδιάζει και αναπτύσσει μια ολοκληρωμένη, κλιμακούμενη και ανοιχτή υποδομή μεταφοράς 5G που βασίζεται σε μια συγκλίνουσα λύση fronthaul (FH) και backhaul

(BH), ενσωματώνοντας προηγμένη ασύρματη πρόσβαση και νέους τομείς οπτικών και πακέτων δικτύου. Για να αντιμετωπίσει τους περιορισμούς των τρεχουσών λύσεων, η 5G-PICTURE υιοθετεί τη νέα ιδέα των δικτύων αναλογικής ραδιοεπικοινωνίας (DA-RANs), επιτρέποντας σε κάθε υπηρεσία να αναμιγνύει και να ταιριάζει με ευελιξία και να χρησιμοποιεί πόρους υπολογιστών, αποθήκευσης και δικτύου μέσω υλικού (HW). Αυτή η αναλυτική προσέγγιση δικτύου είναι καθοριστικής σημασίας για τη δημιουργία υποδομής 5G ικανής να υποστηρίξει μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών 5G ICT και "Vertical". Σύμφωνα με την προτεινόμενη λύση, οι κάθετοι πάροχοι υπηρεσιών, οι οποίοι στηρίζονται επί του παρόντος σε κλειστές και ιδιόκτητες υποδομές, θα μπορούν να αναπτύξουν οποιαδήποτε υπηρεσία χωρίς να έχουν στην κατοχή τους και να εγκαταστήσουν οποιοδήποτε στοιχείο HW ή λογισμικό (SW). Η λύση 5G-PICTURE θα επιτρέψει στους τελικούς χρήστες



Εικόνα 43:5G-Picture

και τρίτα μέρη να έχουν πρόσβαση σε πραγματικό ή εικονικό εξοπλισμό, υπηρεσίες, συστήματα και εργαλεία κατά παραγγελία ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση. Αυτή η λύση αναμένεται να υποστηρίξει κάθε είδους υπηρεσία που κυμαίνεται από υπηρεσίες ευαίσθητες στην καθυστέρηση (π.χ. υπηρεσίες εικονικής πραγματικότητας), από την καλύτερη δυνατή προσπάθεια έως τις εξαιρετικά αξιόπιστες εφαρμογές. Αυτό θα επιτρέψει τη μετατροπή των τηλεπικοινωνιακών υποδομών από κλειστά άκαμπτα περιβάλλοντα σε μια ομάδα αρθρωτών εξαρτημάτων HW και SW που μπορούν να συνδυαστούν κατόπιν ζήτησης για να υποστηρίξουν μεγάλη ποικιλία κάθετων τομέων.

5GTANGO



Εικόνα 44:5G-Tango

Το 5GTANGO είναι μια 5GPPP Phase2 Innovation Action που επιτρέπει τον ευέλικτο προγραμματισμό των δικτύων 5G παρέχοντας μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα υπηρεσιών NFV (SONATA), η οποία περιλαμβάνει: α) ένα KIT ανάπτυξης υπηρεσιών (SDK) με δυνατότητα NFV για να διευκολύνει τους προγραμματιστές να δημιουργήσουν ένα καινοτόμο δίκτυο

υπηρεσιών (NS) και εφαρμογών. β) Πλατφόρμα επικύρωσης και επαλήθευσης (V & V) με μηχανισμούς προηγμένων προσόντων για VNF / NS, συμπεριλαμβανομένων των συνεισφορών τρίτων). και γ) μια αρθρωτή πλατφόρμα εξυπηρέτησης με έναν καινοτόμο ενορχηστρωτή για να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ των επιχειρησιακών αναγκών και των λειτουργικών συστημάτων διαχείρισης δικτύων. Το 5GTANGO εφαρμόζει ένα μοντέλο DevOps (Development-Operations) για την Telecom που επιτρέπει την ευέλικτη διαχείριση του πλήρους κύκλου ζωής των NS, αυξάνοντας την παραγωγικότητα, μειώνοντας το χρόνο στην αγορά υπηρεσιών και επιτρέποντας τη δημιουργία ενός οικοσυστήματος για την ενθάρρυνση της συνεργασίας και της καινοτομίας.

5G-Transformer

5G-Transformer

Εικόνα 45:5G-Transformer

Το οικοσύστημα Telco ζει μια επανάσταση που βασίζεται στις ανάγκες και τις απαιτήσεις των κάθετων βιομηχανιών, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ηλεκτρονική υγεία, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης και η βιομηχανία 4.0. Η υποστήριξη των περιπτώσεων χρήσης που προτείνονται από αυτούς τους νέους παίκτες ανοίγει πρωτοφανείς νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες. Για την ικανοποίηση αυτής της πρόκλησης, η 5G-TRANSFORMER (<http://5g-transformer.eu/>) πρότείνει μια καινοτόμο αρχιτεκτονική βασισμένη στο SDN / NFV ως θεμέλια για την παροχή δυνατότητας δυναμικής, αυτοματισμού και προγραμματισμού στο σημερινό άκαμπτο κινητό δίκτυο. Επιπλέον, η 5G-TRANSFORMER χρησιμοποιεί κατανομές δικτύων, υπολογιστές ακροδεκτών πολλαπλών προσπελάσεων (MEC) και έννοιες ομοσπονδίας υπηρεσιών ως βασικοί παράγοντες που επιτρέπουν τη διαχείριση δικτύων και υπολογιστικών πόρων προσαρμοσμένων στις συγκεκριμένες υπηρεσίες κάθετων βιομηχανιών.

5G-Xcast

Το 5G-Xcast είναι ένα 5G Php Phase 2 Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Horizon 2020 που επικεντρώνεται στην εκπόνηση, αξιολόγηση και επίδειξη μιας εννοιολογικά πρωτοποριακής αρχιτεκτονικής δικτύου 5G για μεγάλης εμβέλειας παράδοση μέσων.



Εικόνα 46:5G-Xcast

Οι στόχοι του έργου είναι:

- Η ανάπτυξη δυνατοτήτων σημείων εκπομπής και πολλαπλών σημείων πολλαπλών σημείων (PTM) για το 5G με βάση τα μέσα ενημέρωσης και ψυχαγωγίας (M & E), την αυτοκινητοβιομηχανία, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και τα συστήματα δημόσιας προειδοποίησης (PWS).
- Ο σχεδιασμός ενός δυναμικού προσαρμόσιμου δικτύου 5G για να μεταβαση δυναμικά και απρόσκοπτα μεταξύ των τρόπων unicast, multicast και broadcast ή χρήση παράλληλα και εκμετάλλευση των ενσωματωμένων δυνατοτήτων προσωρινής αποθήκευσης.

BlueSpace

Η βασική ιδέα του blueSPACE είναι να εκμεταλλευτεί την προστιθέμενη αξία της πολυπλεξίας οπτικής διαίρεσης διαστήματος (SDM) στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (RAN) και να εισαγάγει αναλογικό ραδιοπίνακα (ARoF) fronthaul με μια αποδοτική διεπαφή διαμόρφωσης οπτικής δέσμης για ασύρματη μετάδοση τις ζώνες χιλιοστομετρικού κύματος 5G νέου ραδιοφώνου (5G NR). Συνδυάζοντας την SDM με την μεταφορά ARoF, το blueSPACE προβλέπει ένα δίκτυο fronthaul το οποίο είναι ιδανικό για την υποστήριξη μεγάλων εύρους ζώνης RF και φορέων κυματομορφής mm18. Η υιοθέτηση του χωροταξικού τομέα στο οπτικό δίκτυο διανομής (ODN) αυξάνει άμεσα την πολλαπλή χωρητικότητα και προσθέτει έναν πρόσθετο βαθμό ελευθερίας για να υποστηρίξει αυξημένη ευλυγισία ή μεγαλύτερους λόγους σχισίματος.



Εικόνα 47:5G-BlueSpace

Επιπλέον, η SDM είναι ιδανική για την υποστήριξη σεναρίων πολλαπλών λειτουργιών και πολύ επιχειρησιακών υπηρεσιών, επιτρέποντας τη διεξαγωγή μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων παράλληλων διαύλων σε κοινόχρηστη υποδομή με μειωμένο ίχνος αποτύπωσης. Η οπτική μορφοποίηση δέσμης, όπως εισήχθη από το blueSPACE, επιτρέπει την ταυτόχρονη και ανεξάρτητη μετάδοση πολλαπλών ακτίνων για μια απλή συστοιχία κεραιών και έτσι επιτρέπει αυξημένη χωρητικότητα ανά κύτταρο καθώς και πυκνότερη επαναχρησιμοποίηση φάσματος. Η χρήση ενσωματωμένου φωτονίου για οπτική μορφοποίηση δέσμης επιτρέπει την υλοποίηση δικτύων σχηματισμού ακτίνων με μεγάλα διαθέσιμα εύρη ζώνης σε μειωμένο αποτύπωμα και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας.

IoRL

Το έργο Internet of Radio-Light (IoRL) αναπτύσσει ένα ασφαλέστερο, προσαρμόσιμο και έξυπνο δίκτυο κτιρίων χρησιμοποιώντας χιλιοστά κύμα (wave-wave) και Visible Light

Communications (VLC). Η σχεδιασμένη λύση παρέχει αξιόπιστα αυξημένη απόδοση (μεγαλύτερη από 10Gbps) από σημεία πρόσβασης που είναι διαδεδομένα τοποθετημένα μέσα στα κτίρια.



Εικόνα 48:IoRL

Αυτό επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών και της ηλεκτρομαγνητικής έκθεσης και την παροχή ακρίβειας θέσης μικρότερης των 10 cm την ίδια στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο η φιλοδοξία του IoRL είναι να δείξει πώς να λύσει το πρόβλημα της ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης στα κτίρια και να προωθήσει το διεθνές πρότυπο 5G της ITU.

MATILDA

Για να γεμίσει το κενό ολοκλήρωσης μεταξύ των ψηφιακών συστημάτων που επιτρέπουν τις βελτιωμένες υπηρεσίες στο cloud-in και το επίπεδο δικτύου, το MATILDA παρέχει εργαλεία για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη εφαρμογών έτοιμων για 5G, βασισμένων στις αρχές ανάπτυξης cloud-based / microservice, τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες δικτύου, καθώς και τις προδιαγραφές και τη διαχείριση των τεμαχίων δικτύου που είναι ενήμερες για εφαρμογές.



Εικόνα 49:MATILDA

Οι τελευταίοι υλοποιούνται από την πλατφόρμα ανάπτυξης δικτύων και υπολογιστικών πλατφορμών (NCSDP, υπεύθυνη για τον πάροχο τηλεπικοινωνιακών υποδομών), ενώ η διαχείριση και υλοποίηση μιας εφαρμογής πραγματοποιείται από τον ορχήστρας κάθετης εφαρμογής MATILDA (υπεύθυνος του παρόχου υπηρεσιών) ακολουθώντας μια προσέγγιση προσανατολισμένη στο δίκτυο.

Metro-Haul

Το Metro-Haul είναι ένα έργο της ΕΕ στο σύμπλεγμα 5G που λειτουργεί από τον Ιούνιο του 2017. Έχει επικεντρωθεί στην οικοδόμηση της πλευράς του μετρό ενός μελλοντικού δικτύου E2E (5G). Το σκεπτικό πίσω από το έργο είναι απλό - υποθέτουμε ότι ένα έξυπνο, δυναμικό και κυρίως σημαντικό επίπεδο οπτικών μέσων επικοινωνίας 5G θα βοηθήσει πολύ καλύτερα

από την άποψη της απόδοσης και της οικονομικής απόδοσης στην παροχή και λειτουργία των υπηρεσιών 5G, σε σύγκριση με ένα άκαμπτο και αναπόφευκτα πάνω από το προβλεπόμενο στρώμα μεταφοράς.



Εικόνα 50: MetroHaul

NGPaaS

Τα συστήματα Platform-As-A-Service (PaaS) προσφέρουν στους πελάτες ένα πλούσιο περιβάλλον για την κατασκευή, την ανάπτυξη και την εκτέλεση εφαρμογών. Οι σημερινές προσφορές PaaS είναι προσαρμοσμένες κυρίως στις ανάγκες των προγραμματιστών εφαρμογών ιστού και κινητών εφαρμογών και περιλαμβάνουν μια αρκετά άκαμπτη στοίβα στοιχείων και χαρακτηριστικών.



Εικόνα 51: NGPaaS

Το όραμα του έργου NGPaaS είναι να επιτρέψει την παράδοση παραγγελιών PaaS "build-to-order", τα οποία προσαρμόζονται στις ανάγκες των ευρέως φάσματος περιπτώσεων χρήσης με χαρακτηριστικά Telco 5G. Αυτή η 5G PaaS δεν υπάρχει σήμερα. Οι κύριοι στόχοι του NGPaaS είναι να το οικοδομήσουμε στοχεύοντας:

- Ένα PaaS τύπου Telco για την υποστήριξη διαφόρων διαμορφώσεων και ενός μεγάλου συνόλου στόχων ανάπτυξης όπως FPGA / ARM / x86, ιδιωτικό / υβριδικό / δημόσιο cloud με κλιμακωτό και ενοποιητικό τρόπο.
- Υψηλής ποιότητας και υψηλής απόδοσης περιβάλλον ανάπτυξης και λειτουργίας: Οι προγραμματιστές από την βιομηχανία πληροφορικής θα ξεκινήσουν και να συμβάλουν στην πλατφόρμα 5G, τα εργαλεία για την εξασφάλιση της ποιότητας και της SLA, όπως αυτά που βρίσκονται στο περιβάλλον των τηλεπικοινωνιών, είναι καθοριστικής σημασίας.

NRG-5

Το NRG-5 στοχεύει στην εξασφάλιση της βέλτιστης επικοινωνίας του ενεργειακού δικτύου, το οποίο πιστεύεται ότι είναι το πιο περίπλοκο, ετερογενές και γιγαντιαίο μηχάνημα που έγινε ποτέ στην ανθρώπινη ιστορία. Ειδικότερα, το "τελευταίο μίλι" του δικτύου έξυπνης ενέργειας έχει τις μεγαλύτερες δυνατότητες για την επίδειξη του 5G.



Εικόνα 52:NRG-5

Μέχρι σήμερα, το ενεργειακό δίκτυο είναι στην πραγματικότητα παρακολούθηση των υποσταθμών / αντλιών μέσω SCADA, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο ή η ανατροφοδότηση της παραγωγής ενέργειας από τον prosumer, γεγονός που θα επέτρεπε μια πιο λεπτομερή πρόβλεψη της ζήτησης και μια βελτιωμένη εξισορρόπηση φορτίου ενεργειακά δίκτυα. Ως εκ τούτου, ο απώτερος στόχος του NRG-5 είναι η εγκατάσταση, η λειτουργία και η διαχείριση υφιστάμενων και νέων υποδομών επικοινωνιών και ενέργειας με ευκολότερο, ασφαλέστερο, πιο ασφαλές και ανθεκτικό τρόπο από λειτουργική και οικονομική άποψη. Από αυτή την άποψη, το NRG-5 αναπτύσσει ένα νέο λογισμικό πλαίσιο συμβατό με το PPP 5G ειδικά σχεδιασμένο για τον ενεργειακό τομέα.

Global 5G

Το Global5G.org (www.global5g.org) συμβάλλει στην ευρωπαϊκή 5G PPP, εστιάζοντας στις κάθετες αγορές (επιπτώσεις και επιχειρηματικά μοντέλα), τυποποίηση, εντοπισμός KPI και πυκνή δικτύωση στην ΕΕ. Στόχος του είναι να ενθαρρύνει την υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών και ανάπτυξης βάσει προτύπων και να ενισχύσει τις επιπτώσεις στην αγορά σε ολόκληρη την ΕΕ, τόσο για τις μεγάλες επιχειρήσεις όσο και για τις ΜΜΕ.



Εικόνα 53:Global 5G

Το Global5G.org διαδραματίζει ενεργό ρόλο σε αρκετές ομάδες εργασίας 5G PPP, καλύπτοντας Προ-τυποποίηση, Δοκιμές και δοκιμαστικές μονάδες, MME, Spectrum, Αυτοκινητοβιομηχανία, Όραμα και Κοινωνικές Προκλήσεις. Από μια διεθνή προοπτική, το Global5G.org επιδιώκει συνέργειες στις τρέχουσες συνεργατικές προσεγγίσεις με συνδέσμους προς τη βιομηχανία, ενώ διερευνά μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας.

To-Euro-5G

Το σχέδιο To-Euro-5G έχει σαφή πρωταρχικό στόχο να υποστηρίξει τις δραστηριότητες της ευρωπαϊκής Πρωτοβουλίας 5G, όπως περιγράφεται στη 5G συμβατική σύμπραξη δημόσιου και ιδιωτικού τομέα (CPPP) που υπεγράφη μεταξύ της 5G IA και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής την πρόθεση του μεγιστοποιώντας την απόδοση αυτής της επένδυσης για την Ευρώπη.



Εικόνα 54: To-Euro-5G

Το έργο αναπτύσσει στρατηγικό σχέδιο επικοινωνίας για να εξασφαλίσει τον καλύτερο δυνατό αντίκτυπο με τα τεχνικά αποτελέσματα των 5G PPP και των οριζόντιων δραστηριοτήτων του προγράμματος 5G PPP. Υποστηρίζει το στόχο υψηλού επιπέδου 5G για τη διατήρηση και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας ΤΠΕ και την επιδίωξη της ευρωπαϊκής ηγεσίας στον τομέα της 5G κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης της 5G PPP από τον Ιούνιο του 2017 έως τον Ιούνιο του 2019. Το To-Euro-5G το έργο διευκολύνει τη νέα Ομάδα Εργασίας Δοκιμών, η οποία εγκαινιάστηκε από την Ένωση Υποδομών 5G στην 5G PPP τον Σεπτέμβριο του 2016.

Αξίζει να δούμε και τα projects 5PPP phase 3 τα οποία είναι τα εξής:

5GEve

Στόχοι του έργου Η έννοια του 5G EVE βασίζεται στην περαιτέρω ανάπτυξη και διασύνδεση των υφιστάμενων ευρωπαϊκών χώρων για τη δημιουργία μιας μοναδικής διευκόλυνσης 5G από άκρο σε άκρο (E2E). Οι τέσσερις χώροι διασύνδεσης βρίσκονται στη Γαλλία, την Ελλάδα, την Ιταλία και την Ισπανία (όπως φαίνεται στο σχήμα) και παρέχουν τόσο εσωτερικές όσο και εξωτερικές εγκαταστάσεις. Συμπληρώνονται από προηγμένα εργαστήρια, π.χ. το εργαστήριο της Ericsson στο Kista της Σουηδίας. Ο γαλλικός χώρος αποτελείται από ένα σύνολο τοποθεσιών που βρίσκονται στο Παρίσι, τη Νίκαια και τη Ρεν. Κάθε τοποθεσία λειτουργεί από έναν διαχειριστή δικτύου τηλεπικοινωνιών, δηλαδή από τη Orange στη Γαλλία, τον ΟΤΕ στην Ελλάδα, την TIM στην Ιταλία και την Telefonica στην Ισπανία. Οι τέσσερις τοποθεσίες θα διασυνδεθούν ώστε να παρέχουν μια απρόσκοπτη εμπειρία ενιαίας πλατφόρμας. Η

εγκατάσταση 5G EVE end-to-end θα επιτρέψει πειραματισμό και επικύρωση με πλήρη σύνολα δυνατοτήτων 5G - αρχικά συμβατά με το Release 15 και μέχρι το τέλος του έργου Release 16.

Συγκεκριμένα, οι τεχνικοί στόχοι περιλαμβάνουν:

- Εφαρμογή των συμβατικών τεχνολογιών Release 16 στις τέσσερις τοποθεσίες, ξεκινώντας από τις εξελίξεις της τρέχουσας έκδοσης 15.
- Δημιουργία διεπαφών με βάση την πρόθεση για απλούστευση της πρόσβασης στην εγκατάσταση 5G end-to-end.
- Σχεδιασμός και υλοποίηση μηχανισμών διασύνδεσης ιστότοπου.
- Εφαρμογή ενός ανοικτού πλαισίου με κάθετο προσανατολισμό.
- Δημιουργία προηγμένων μηχανισμών 5G δοκιμών και μετρήσεων για την επικύρωση προηγμένων χαρακτηριστικών 5G και KPIs.
- Σύνθετες αναλύσεις δεδομένων σχετικά με την έξοδο των διαδικασιών παρακολούθησης για την πρόβλεψη των λειτουργιών του δικτύου.



Εικόνα 55: 5GEve

Ο μηχανισμός 5GENESIS διανέμεται γεωγραφικά σε ολόκληρη την Ευρώπη και περιλαμβάνει διάφορες πλατφόρμες. Αντί να οικοδομήσει μια κεντρική υποδομή, το 5GENESIS αξιοποιεί τα υπάρχοντα περιουσιακά στοιχεία και test-beds σε όλη την Ευρώπη και τα εξελίσσει για να συμπεριλάβει τεχνολογίες 5G, δημιουργώντας έτσι μια πλήρως κατανομημένη πειραματική εγκατάσταση. Με αυτόν τον τρόπο, οι τεχνολογικές εξελίξεις είναι πιο επικεντρωμένες και λιγότερο δαπανηρές, εκμεταλλευόμενες τις ήδη αναπτυχθείσες τοπικές περιουσίες και τους ανθρώπινους πόρους. Επιπλέον, η πρόσβαση στη διευκόλυνση βελτιώνεται σημαντικά, δεδομένου ότι οι πειραματιστές μπορούν να επιλέξουν την πλατφόρμα που ταιριάζει περισσότερο στις ανάγκες τους, όσον αφορά τις τεχνολογικές δυνατότητες και τη γεωγραφική εγγύτητα.

5G-Vinni

Στόχος του 5G-VINNI είναι να επιταχύνει την ανάληψη του 5G στην Ευρώπη παρέχοντας μια εγκατάσταση από το τέλος έως το τέλος (E2E), η οποία αποδεικνύει το βασικό δείκτη επιδόσεων του δικτύου 5G PPP και μειώνει το εμπόδιο εισόδου για τις κάθετες βιομηχανίες, επικυρώνει περαιτέρω τους πυρήνες 5G KPIs στο πλαίσιο των ταυτόχρονων χρήσεων από πολλούς χρήστες. Το 5G-VINNI στοχεύει σε μια πιο μακροπρόθεσμη εξέλιξη της εγκατάστασης E2E προς την πλήρη εμπορευματοποίηση της "υποδομής 5G ως υπηρεσίας".



Εικόνα 56:5G-Vinni

Οι κύριοι στόχοι του έργου είναι:

- Σχεδίαση προηγμένης και προσβάσιμης εγκατάστασης 5G από άκρο σε άκρο
- Κατασκευή αρκετών χώρων διασύνδεσης της εγκατάστασης 5G-VINNI end to end
- Παροχή φιλικής προς το χρήστη ενορχήστρωσης, λειτουργιών και συστημάτων διαχείρισης για τη μονάδα 5G-VINNI
- Ανάπτυξη ενός βιώσιμου μοντέλου επιχειρήσεων και οικοσυστήματος για τη στήριξη της ζωής της εγκατάστασης 5G-VINNI κατά τη διάρκεια και πέρα από τη διάρκεια ζωής του έργου

5GCarmen

Εστιάζοντας στη διαδρομή Μπολόνια-Μόναχο (600 χλμ. Σε τρεις χώρες), ο στόχος της 5G-CARMEN είναι να αξιοποιήσει τις τελευταίες 5G προόδους για να παρέχει στους χειριστές δικτύων κινητής τηλεφωνίας, μια πλατφόρμα πολλαπλών μισθωτών που μπορεί να υποστηρίξει τον μετασχηματισμό του τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας προς την κατεύθυνση της παροχής ασφαλέστερων και πιο έξυπνων μεταφορών με απώτερο στόχο την αυτοοδήγηση αυτοκινήτων.



Εικόνα 57:5G Carmen

Η 5G-CARMEN σχεδιάζει να διερευνήσει το σενάριο περιβαλλοντικής οδήγησης (green driving). Το έργο θα στοχεύει το επίπεδο αυτοματισμού μέχρι το SAE L3 και το L4. Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης αναμένεται να έχουν κοινωνικό αντίκτυπο, βελτιώνοντας την ασφάλεια της κυκλοφορίας, επιτρέποντας τη συντονισμένη οδήγηση βελτιώνοντας την αντίληψη του περιβάλλοντος, καθώς και μειώνοντας τις εκπομπές συγκεντρώνοντας ετερογενείς πληροφορίες. Επιπλέον, αναμένεται να υπάρξει εμπορικός αντίκτυπος για τους ΚΑΕ στον τομέα των αυτοκινήτων, τους φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών και τους φορείς εκμετάλλευσης οδικών μεταφορών στο παγκόσμιο προσκήνιο των Συστημάτων Ασφαλείας και Οδήγησης. Επιπλέον, το σύστημα 5G-CARMEN αναμένεται να έχει αντίκτυπο στους παρόχους υπηρεσιών, παρέχοντας προηγμένες υπηρεσίες ψυχαγωγίας στους επιβάτες σε αυτοκίνητα ή / και πούλμαν.

5GMobix

Το νέο πρόγραμμα 5G-MOBIX αποτελεί ένα αναπόσπαστο σχέδιο δράσης της 5GG για την Ευρώπη (5GAP), το οποίο συγκεντρώνει μια ενωμένη δέσμευση και τολμηρές πρωτοβουλίες για να διασφαλίσει ότι η ΕΕ μπορεί να χρησιμοποιήσει τη συνδεσιμότητα 5G ως στρατηγικό πλεονέκτημα για να οδηγήσει τον ψηφιακό μετασχηματισμό και ειδικότερα στην περιοχή της συνδεδεμένης και αυτοματοποιημένης κινητικότητας (CAM). Το 5G-MOBIX στοχεύει στην αντιστοίχιση των πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας 5G με προηγμένες περιπτώσεις χρήσης CCAM, προκειμένου να καταστεί δυνατή η εφαρμογή καινοτόμων, αυτοματοποιημένων εφαρμογών οδήγησης με υψηλά επίπεδα αυτοματοποίησης, τόσο από τεχνική όσο και από επιχειρηματική σκοπιά.



Εικόνα 58:5G Mobix

Η 5G-MOBIX θα εκτελεί δοκιμές CCAM κατά μήκος δύο διασυνοριακών διαδρόμων και έξι αστικών περιοχών δοκιμών. Οι δοκιμές θα επιτρέψουν στην 5G-MOBIX να διεξάγει αξιολογήσεις επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων στις επιχειρήσεις και της ανάλυσης κόστους / οφέλους, ιδιαίτερα σε αραιοκατοικημένες διασυνοριακές περιοχές με δύσκολο τρόπο απόκτησης της κινητής τηλεφωνίας. Ως αποτέλεσμα αυτών των αξιολογήσεων και διεθνών διαβουλεύσεων με τους ενδιαφερόμενους φορείς του δημόσιου τομέα και της βιομηχανίας, η 5G-MOBIX θα εντοπίσει νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες για CCAM με δυνατότητα 5G και θα προτείνει συστάσεις και επιλογές για την ανάπτυξή της. Μέσα από τα ευρήματά της σχετικά με τις τεχνικές απαιτήσεις και τις συνθήκες λειτουργίας, η 5G-MOBIX θα καθορίσει σενάρια ανάπτυξης και αναμένεται να συμβάλει ενεργά στις δραστηριότητες τυποποίησης και κατανομής ραδιοφάσματος. Τα υπάρχοντα βασικά στοιχεία όπως η υποδομή και τα οχήματα θα αξιοποιηθούν και θα αναβαθμιστούν για να δοκιμάσουν την ομαλή

λειτουργία του 5G μέσα σε ένα ετερογενές περιβάλλον που περιλαμβάνει άλλες ταυτόχρονες τεχνολογίες όπως το ITS-G5 και το C-V2X.

EU-Taiwan: 5GCoral

Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα και ανάπτυξη του 5G έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία. Οι κύριοι στόχοι της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στα 5G έργα ήταν η αύξηση του εύρους ζώνης, η μείωση του λανθάνοντος χρόνου και η βελτίωση του δικτύου ώστε να επιτραπεί ο αυξανόμενος αριθμός χρηστών κινητής τηλεφωνίας. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του έργου έχει γίνει μέσω κεντρικών δικτύων, ωστόσο για συγκεκριμένες εφαρμογές όπως η ενισχυμένη πραγματικότητα (AR), τα συνδεδεμένα οχήματα και η ρομποτική, είναι πολύ σημαντικές οι άλλες τεχνικές απαιτήσεις.



Εικόνα 59:EU-Taiwan: 5GCoral

Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν εγγυήσεις για καθυστέρηση από άκρο σε άκρο για την παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας, επομένως είναι απαραίτητο να μετατοπιστούν οι δυνατότητες δικτύωσης, πληροφορικής και αποθήκευσης στην άκρη των δικτύων (intelligent edge), κοντά στους τελικούς χρήστες.

12. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

12.1 Διαδικασία Χορήγησης αδειών φάσματος

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την ΕΕΤΤ το φάσμα ενδεχομένως να παραχωρηθεί χωρίς να είναι όλα τα τμήματά του άμεσα διαθέσιμα γιατί ορισμένα χρησιμοποιούνται σήμερα για την κάλυψη διαφορετικών αναγκών (όπως συμβαίνει με τα 700 MHz, αποκαλούμενα και ως ψηφιακό μέρισμα 2). Από το κείμενο της δημόσιας διαβούλευσης απουσιάζει το οικονομικό σκέλος, η προτεινόμενη τιμή εκκίνησης της δημοπρασίας ακόμα αποτελεί αντικείμενο μελέτης. Ταυτόχρονα όμως επειδή θεωρείται και ζήτημα εθνικής στρατηγικής οι πάροχοι που θα διεκδικήσουν τις συχνότητες θα πρέπει να μην καταβάλουν ένα υπερβολικό ποσό για να πάρουν τις συχνότητες διότι αυτό θα αποτελέσει αντικίνητρο στη δημιουργία του δικτύου και στην παροχή των νέων υπηρεσιών.

Η ΕΕΤΤ προτείνει όλες οι ζώνες φάσματος που θα είναι αντικείμενο της δημοπρασίας να χορηγηθούν μέσω μίας δημοπρασίας πολλαπλών ζωνών και πολλαπλών γύρων, όπου σε κάθε γύρο οι συμμετέχοντες μπορούν να υποβάλλουν προσφορές σε κάθε ζώνη που τους ενδιαφέρει. Επίσης, η ΕΕΤΤ θεωρεί ότι ο συνδυασμός χορήγησης των εν λόγω τμημάτων φάσματος σε μία κοινή ή παράλληλη διαδικασία συμβάλλει στη δημιουργία ρυθμιστικής σταθερότητας σχετικά με τους όρους της διαγωνιστικής διαδικασίας και κατά προέκταση στον αποτελεσματικό προγραμματισμό του μέγεθους και του χρονοδιαγράμματος των επενδύσεων των παρόχων, οι οποίοι γνωρίζουν εκ των προτέρων, το διαθέσιμο προς εκμετάλλευση φάσμα. Αντίθετα, πολλαπλές διαδικασίες χορήγησης μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα συντονισμού, διαθεσιμότητας φάσματος και αβεβαιότητα ως προς το κόστος και όρους διάθεσης μεταξύ διαφόρων τμημάτων φάσματος.

Συνεπώς η ΕΕΤΤ θέτει στο επίκεντρο τη διαφύλαξη του ανταγωνισμού και τη βέλτιστη χρήση του φάσματος. Αυτό θα επιτευχθεί με την περιήληψη των ζωνών φάσματος για ανάπτυξη 5ης γενιάς σε μια κοινή διαγωνιστική διαδικασία με την μορφή:

- Διαδοχικών διαδικασιών χορήγησης, όπου η χορήγηση του φάσματος κάθε ζώνης πραγματοποιείται η μία μετά την άλλη, εντός της ίδιας ημέρας και στο πλαίσιο της ίδιας διαδικασίας και ίδιου τεύχους προκήρυξης ή
- Παράλληλων διαδικασιών χορήγησης, όπου η χορήγηση του φάσματος για όλες τις ζώνες πραγματοποιείται ταυτόχρονα, εντός της ίδιας ημέρας και στο πλαίσιο της ίδιας διαδικασίας και ίδιου τεύχους προκήρυξης.

Η ΕΕΤΤ παράλληλα επισημαίνει: «Σε περίπτωση που για λόγους που ξεφεύγουν από τον έλεγχο της ΕΕΤΤ, η διαδικασία δεν είναι κοινή για όλες τις ζώνες, η ΕΕΤΤ θεωρεί πως οι διαδικασίες πρέπει να είναι τουλάχιστον συνδεδεμένες, δηλαδή τα ανώτατα όρια φάσματος και οι προϋποθέσεις συμμετοχής να είναι εκ των προτέρων γνωστές για όλες τις ζώνες, ανεξαρτήτως του πότε θα διενεργηθούν αυτές». Συνεπώς, η ΕΕΤΤ προτείνει τα ανώτατα όρια φάσματος που θα ορισθούν, να ισχύσουν για όλες τις δημοπρασίες που αφορούν στο φάσμα για το 5G ανεξαρτήτως εάν αυτές γίνουν ταυτόχρονα. Ο μέγιστος αριθμός των πανελλαδικών δικαιωμάτων που μπορούν να διατεθούν είναι:

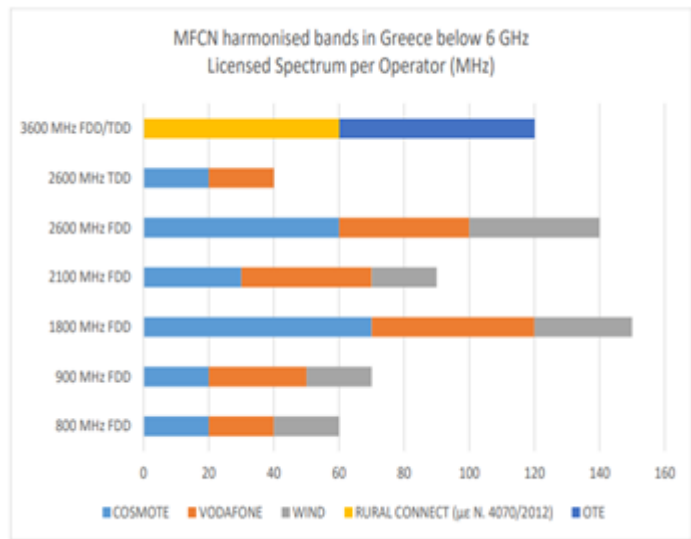
- Έξι συζευγμένα φασματικά τμήματα εύρους 2×5 MHz στις ζώνες συχνοτήτων 703 – 733 MHz & 758 – 788 MHz.
- Τρία συζευγμένα φασματικά τμήματα εύρους 2×5 MHz στις ζώνες συχνοτήτων 1965-1980 MHz και 2155-2170 MHz, που είναι ελεύθερα, καθώς και εννέα συζευγμένα τμήματα από τις ζώνες συχνοτήτων 1920-1965 MHz και 2110-2155 MHz που είχαν χορηγηθεί από το 2001.
- Έως τέσσερα δικαιώματα χρήσης με εύρος από 100 MHz έως 150 MHz στη ζώνη συχνοτήτων 3400 – 3800 MHz. Στη ζώνη αυτή μέρος του φάσματος έχει αποδοθεί στον ΟΤΕ για τα αποκαλούμενα αγροτικά δίκτυα με την ΕΕΤΤ να προτείνει το θέμα να επανεξεταστεί.

Στη ζώνη 24,25-27,5 GHz, ο ακριβής αριθμός των δικαιωμάτων και το φασματικό τους εύρος θα διαμορφωθεί από τις απαντήσεις στη δημόσια διαβούλευση[53].

Στην Ελλάδα οι εναρμονισμένες ζώνες ραδιοσυχνοτήτων που έχουν διατεθεί για δίκτυα κινητών επικοινωνιών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 και αναλύονται ανά φορέα εκμετάλλευσης στο Σχήμα3. Κατά συνέπεια, η Ελλάδα είναι πλήρως εναρμονισμένη⁵ με τις αποφάσεις της ΕΕ σχετικά με τη διαθεσιμότητα των ζωνών συχνοτήτων ραδιοφάσματος για το MFCN.Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα έχουν ήδη χορηγηθεί άδειες για το MFCN από το σύνολο των 1100.

Πίνακας 3: Ζώνες Ραδιοσυχνοτήτων

Band	Authorised Bandwidth (MHz)	Expiry Date
800 MHz	2x30	28-02-2030
900 MHz	2x35	29-09-2027
1500 MHz	0	-
1,8 GHz	2x75	14-11-2027 και 05-12-2035
2,1 GHz	2x45	05-08-2021
2,6 GHz	2x70+40	28-02-2030
3,6 GHz	120	30-04-2029 και 09-04-2037
	Total : 670 MHz	



Σχήμα 3: Ζώνες ραδιοσυχνοτήτων ανά πάροχο

12.2 Vodafone Ελλάδας: Επενδύσεις σε ευρυζωνικότητα και 5G

Σύμφωνα με ανακοινώσεις της Vodafone, σχεδιάζει τα δίκτυα 5G μέσα από επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες στο mobile που παρέχουν νέες δυνατότητες. Συγκεκριμένα, βασιζόμενη στο ήδη υπάρχον 4G δίκτυό της ενίσχυσε τις τεχνολογίες VoLTE (Voice over LTE) και VoWiFi (Voice Over WiFi) που προσφέρουν πιο υψηλή ποιότητα κλήσεων στις υπηρεσίες φωνής, μεγαλύτερες ταχύτητες, αλλά και αδιάλειπτη επικοινωνία, μέσα από τη δυνατότητα εναλλαγής ανάμεσα στο κινητό δίκτυο και το Wi-Fi και την υπηρεσία Giga WiFi Calling.

Ο συνδυασμός του VoLTE και της υπηρεσίας Giga WiFi Calling καθιστά εφικτή την αυτόματη μεταφορά μίας κλήσης μεταξύ δικτύων κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής της. Για παράδειγμα, εάν ο χρήστης μετακινηθεί εκτός της εμβέλειας του WiFi, ακόμα και εν μέσω μιας κλήσης, η επικοινωνία θα συνεχιστεί κανονικά με την κλήση να μεταφέρεται στο δίκτυο 4G χωρίς διακοπή. Το ίδιο συμβαίνει και κατά την αντίθετη μετάβαση, δηλαδή από το δίκτυο 4G σε WiFi [54].

12.2.1 Η ανάπτυξη δικτύου 5G από το 2021

Σύμφωνα με ανακοινώσεις της Vodafone χρονιά ορόσημο που θα «χτιστούν» οι βάσεις για το δίκτυο 5G της Vodafone Ελλάδος είναι το 2021. Πριν όμως τοποθετήσει τα πρώτα κεραιοσυστήματα των δικτύων νέας γενιάς, ξεκινώντας από τον Μάρτιο του 2021 η Vodafone ανέφερε πως αναμένουμε εφαρμογές που θα κάνουν τις πόλεις «έξυπνες» και θα ανοίξουν νέους δρόμους στους τομείς της αυτοματοποιημένης οδήγησης, της ρομποτικής χειρουργικής και της εκπαίδευσης. Ορισμένες από αυτές έχουν παρουσιαστεί ήδη στην πιο καινοτόμο ελληνική πόλη, τα Τρίκαλα, θέτοντας σε λειτουργία την πρώτη πιλοτική εφαρμογή δικτύου 5G στην πόλη από τη Vodafone. Οι εφαρμογές θα ξεκινήσουν από τη βιομηχανία και τη ρομποτική, από τις έξυπνες πόλεις, την εκπαίδευση, που είναι σε πολύ ώριμο στάδιο. Σταδιακά όμως θα υπάρξει επιτάχυνση. Εκατοντάδες μικρές εταιρείες ετοιμάζουν πράγματα. Θα γίνουν επενδύσεις εκεί όπου υπάρχουν εφαρμογές. Το δίκτυο 5ης γενιάς είναι πιο οικονομικό ως προς τη χρήση. Παράλληλα αξίζει να σημειωθεί ότι η Vodafone ισχυρίζεται ότι υπάρχει περιθώριο ως το 2022 για να “σβηστεί” το δίκτυο 3G. Από αυτό θα υπάρξει ένα επιπλέον όφελος, αφού θα εγκαταλείψει ένα κοστοβόρο δίκτυο. Παράλληλα διευκρινίζει ότι θα ξεκινήσει σε οικοσυστήματα έξυπνων πόλεων, δίνοντας έμφαση αρχικά στο B2B.

12.2.2 Το 5G της Vodafone στις πόλεις του μέλλοντος

Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, σε συνεργασία με τον Δήμο Τρικάλων, η Vodafone παρουσίασε την «έξυπνη» πόλη του μέλλοντος Vodafone Giga City 5G, όπου χάρη στις υπερυψηλές ταχύτητες, τις μηδενικές καθυστερήσεις απόκρισης και την μοναδική αξιοπιστία του Giga Network 5G, παρέχονται νέες δυνατότητες. Βασική προτεραιότητα αποτελεί η δημιουργία σύγχρονων Δήμων που μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες των πολιτών. Στο πλαίσιο αυτό, ένας βασικός πυλώνας ανάπτυξης για τις τοπικές κοινωνίες, παραμένει η δημιουργία τηλεπικοινωνιακών υποδομών. Σε αυτήν την προσπάθεια, η τεχνολογία είναι ένας διαρκής σύμμαχος, λειτουργώντας ως μέσο και όχι ως αυτοσκοπός. Οι υπάρχουσες λύσεις, αλλά και όσες αναπτυχθούν από την επέκταση των δικτύων 5ης γενιάς οδηγούν σε Δήμους

ασφαλείς, λειτουργικούς, φιλικούς στα παιδιά και την εκπαίδευση, διασυνδεδεμένους και εξωστρεφείς. Η διαμόρφωση μιας ψηφιακής κοινωνίας εξαρτάται από τη δυνατότητα γρήγορης και αποτελεσματικής ανάπτυξης εκείνων των ψηφιακών υποδομών που θα διασφαλίσουν ότι πολίτες και επιχειρήσεις θα επωφεληθούν από συνδέσεις υπερυψηλών ταχυτήτων, υψηλής απόκρισης και αξιοπιστίας. Η Ελλάδα έχει όλες τις προϋποθέσεις να συμμετάσχει ισότιμα στην 4η Βιομηχανική Επανάσταση, έχοντας ως βάση ένα πλαίσιο αξιοποίησης του φάσματος που θα ενθαρρύνει περισσότερες επενδύσεις.

Στο πλαίσιο της πιλοτικής λειτουργίας του δικτύου 5G της Vodafone στα Τρίκαλα έγινε παρουσίαση του πρώτου αυτοκινήτου με οδηγό εξ αποστάσεως, μέσω 5G διασύνδεσης. Χάρη στις υψηλές ταχύτητες και την αξιοπιστία του δικτύου 5G, ο οδηγός χειρίστηκε το όχημα από απόσταση μέσω cockpit και οθόνης, όπου σε πραγματικό χρόνο είχε την ίδια ορατότητα στην πορεία του αυτοκινήτου, όπως εάν βρισκόταν στη θέση του οδηγού. Οι «εντολές» του οδηγού μεταφέρθηκαν αυτόματα μέσω 5G, με άμεση ανταπόκριση του οχήματος. Το δίκτυο 5G υποστήριξε την οδήγηση ενός οχήματος από απόσταση, καθώς εξασφάλισε υψηλή ταχύτητα, αξιοπιστία και άριστη απόκριση του δικτύου (low latency), σε συνδυασμό με μεγάλο bandwidth για την άμεση μεταφορά εικόνας και τη δυνατότητα άμεσου χειρισμού εξ αποστάσεως.

12.2.3 Το 5G της Vodafone και Τηλερομποτική Χειρουργική

Η Vodafone πραγματοποίησε ακόμη μια παρουσίαση σχετικά με τις δυνατότητες της τηλεχειρουργικής, μέσω δικτύου 5G, σε συνεργασία με το Ιατρικό Κέντρο Αθηνών και το Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών (ΕΠΙΣΕΥ) του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Πρόκειται για το επόμενο βήμα στην ήδη διαδεδομένη ρομποτική χειρουργική, που θα δίνει τη δυνατότητα στον χειρουργό να διενεργεί χειρουργικές επεμβάσεις εξ αποστάσεως, ανταποκρινόμενος σε μια έκτακτη ανάγκη ή και μέχρι να φτάσει στο νοσοκομείο, προλαμβάνοντας έτσι την απώλεια μιας ανθρώπινης ζωής. Με τη δυνατότητα, από την πόλη των Τρικάλων, να συνδεθεί μέσω 5G και να χειριστεί απομακρυσμένα τους χειρουργικούς βραχίονες που βρίσκονταν στο Ιατρικό Κέντρο Αθηνών, καθοδηγώντας την εκτέλεση χειρουργικών κινήσεων, ακριβείας. Η μεταφορά εικόνας από το χειρουργείο μέσω 5G υποστηρίχθηκε από το Ιατρικό Κέντρο Αθηνών και την Livemedia.

Έτσι, χάρη στο δίκτυο πέμπτης γενιάς, ένας γιατρός θα είναι σε θέση να χειρίζεται ρομποτικό σύστημα εξ' αποστάσεως, μέσω παράλληλης μετάδοσης εικόνας, υψηλής ευκρίνειας με μηδενικές καθυστερήσεις (Latency) και μεγάλου bandwidth. Στις πόλεις του μέλλοντος, θα πραγματοποιούνται, πλέον, ρομποτικές επεμβάσεις από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου, δίδοντας παράλληλα, τη δυνατότητα στο χειρουργό, να ασκήσει τη χειρουργική του επιστήμη, άμεσα και απομακρυσμένα, προς όφελος των ασθενών.

12.2.4 Το 5G της Vodafone και η Πρόσβαση στην Εκπαίδευση και την Επιστήμη

Στην ψηφιακή κοινωνία του μέλλοντος, η πρόσβαση στην εκπαίδευση δεν έχει περιορισμούς και η επιστημονική γνώση χάρη στα δίκτυα 5G θα είναι διαθέσιμη σε όλους. Τα δίκτυα νέας γενιάς δίνουν τη δυνατότητα πρόσβασης σε υψηλού επιπέδου γνώση αλλά και σε μοναδικές

βιωματικές εμπειρίες, όπως πρόσβαση σε εκθέματα Μουσείων και σε ερευνητικό περιεχόμενο Πανεπιστημίων από όλο τον κόσμο, χωρίς να απαιτείται φυσική παρουσία.

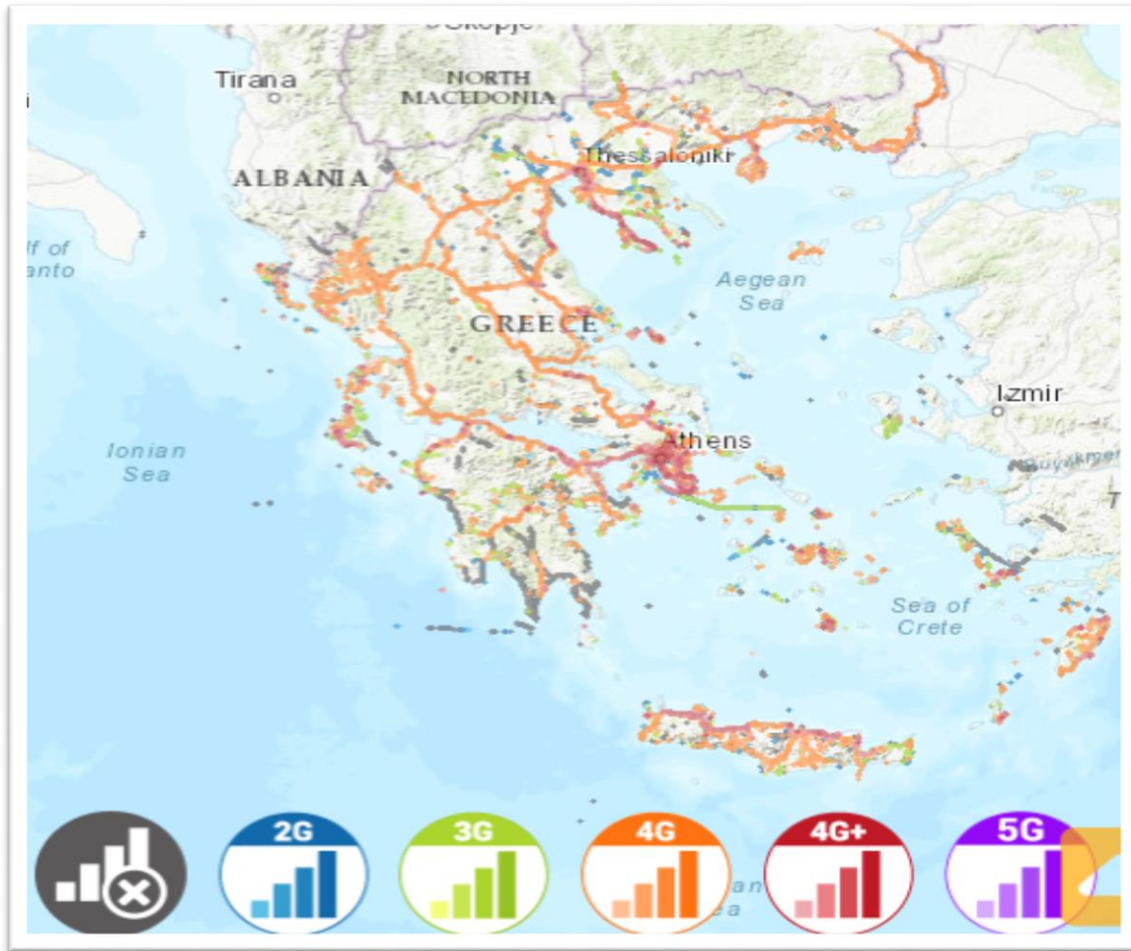


Εικόνα 60: Χάρτης κάλυψης δικτύων 2G-5G από τη Vodafone

Κατά τη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής Giga City, χάρη στο δίκτυο 5G της Vodafone, μαθητές από την πόλη των Τρικάλων είχαν την ευκαιρία να παρακολουθήσουν ένα διαφορετικό μάθημα για την ανθρώπινη εξερεύνηση του Διαστήματος. Η τεχνολογία 5G υποστηρίζει ολογραφικές κλήσεις χάρη στις υψηλές ταχύτητες και την εξαιρετική απόκριση. Σημειώνεται επίσης ότι η πιλοτική εφαρμογή 5G στην πόλη των Τρικάλων υλοποιήθηκε σε συνεργασία με την Huawei που παρείχε υποστήριξη ως προς την τεχνική υλοποίηση του έργου. Τέλος, στη παρακάτω εικόνα βλέπουμε την κάλυψη των δικτύων της Vodafone από το 2G έως το 5G [55].

12.3 Τοπικό δίκτυο 5G της Wind

Με τη σειρά της η Wind παρουσίασε το πιλοτικό της δίκτυο 5G. Η εταιρεία πρόβαλε τις ακραία υψηλές ταχύτητες μέσω του πιλοτικού δικτύου 5G της Wind και των πρώτων 5G τηλεφώνων Huawei Mate 20X. Με τις 5G ταχύτητες που παρουσίασε η Wind το κατέβασμα αρχείων πολλών GB, όπως είναι για παράδειγμα παιχνίδια, σειρές ή ταινίες, θα γίνεται σε χρόνο dt.



Εικόνα 61: Χάρτης κάλυψης δικτύων 2G-5G από τη Wind

Συγκεκριμένα, μια ταινία 3D θα κατεβαίνει μέσα σε 30 δευτερόλεπτα, ενώ με το 4G χρειάζονται έξι λεπτά. Παράλληλα, με την νέα τεχνολογία θα μπορεί κάποιος να δει 4K video με εξαιρετική λεπτομέρεια. Σε συνεργασία με τα καλύτερα κινητά και στις απολύτως καλύτερες συνθήκες λήψης μπορεί κάποιος να αγγίξει τα 200 Mbps, ενώ ένα δίκτυο για να χαρακτηριστεί 5G θα πρέπει να ξεκινά από τα 1.000 Mbps. Η Wind ανέφερε πως οι ταχύτητες αυτές και η σταθερότητα του 5G δικτύου θα επιτρέψει την υλοποίηση καινοτόμων τεχνολογικών εφαρμογών όπως οι εξ αποστάσεως χειρουργικές επεμβάσεις, οι μεταφορές χωρίς οδηγό, η έξυπνη διαχείριση εγκαταστάσεων, κτιρίων και πόλεων. Οι 5G ταχύτητες θα διαμορφώσουν τη νέα πραγματικότητα, τόσο σε ό,τι αφορά τον τρόπο εργασίας, αλλά και στον τρόπο διασκέδασης και επικοινωνίας δισεκατομμυρίων ανθρώπων ανά τον κόσμο. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι το πρώτο βήμα για την έλευση του 5G στην Ελλάδα έγινε από την WIND όπου είχε θέσει σε λειτουργία το πρώτο πιλοτικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 5ης γενιάς στην Καλαμάτα. Στη συνέχεια όμως λόγω σφοδρών αντιδράσεων της τοπικής κοινωνίας της Καλαμάτας τα σχέδια ακυρώθηκαν μη λαμβάνοντας εν τέλει μέρος στα πιλοτικά έργα. Τέλος, στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την κάλυψη των δικτύων της Wind από το 2G έως το 5G [56].

12.4 Εφαρμογές της Cosmote μέσω του 5G δικτύου

Η Cosmote με τη σειρά της έχει παρουσιάσει κάποιες δοκιμαστικές εφαρμογές που η υλοποίησή τους έγινε μέσω 5G δικτύου. Κάποιες από αυτές είναι :

12.4.1 VR Soccer Penalty

Μέσω VR γυαλιών , οι χρήστες «μεταφέρθηκαν» σε πραγματικό χρόνο σε ένα ζωντανό στάδιο , μπροστά σε μία εικονική μπάλα , ενώ παράλληλα είχαν τη δυνατότητα να βλέπουν το στάδιο σε 180ο . Η κίνηση της μπάλας στην εκτέλεση του πέναλτι εμφανιζόταν σε πραγματικό χρόνο ενώ ο τερματοφύλακας , λόγω του σχεδόν μηδενικού χρόνου απόκρισης της τεχνολογίας 5G , αντιδρούσε άμεσα για να αποκρούσει.

12.4.2 Συνομιλία μέσω ολογραμμάτων

Οι χρήστες πραγματοποιούν συνομιλία σε πραγματικό χρόνο με τη μεταφορά ολογραμμάτων και ήχου , μέσω HoloLens Augmented Reality, ενώ βρίσκοντας σε διαφορετικούς χώρους. Ο συγχρονισμός των συνομιλητών επιτεύχθηκε χάρη στην υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και του σχεδόν μηδενικού χρόνου απόκρισης.

12.4.3 Προσομοίωση εκπαίδευσης από απόσταση

Στο συγκεκριμένο demo εφαρμογής 5G , παρουσιάστηκε προσομοίωση εκπαίδευσης από απόσταση , με επίδειξη και ανατροφοδότηση με τηλεχειρισμό , ενός φοιτητή που εκπαιδεύεται σε έναν ασθενή . Ο γιατρός – εκπαιδευτής χρησιμοποιούσε το Haptic Pen για ελέγχει το ιατρικό ρομπότ CGI που έβλεπε σε VR , ενώ ο μαθητευόμενος εκπαιδεύοταν μέσω της δραστηριότητας του γιατρού.

12.4.4 5G Connecting Robots

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή , μία σφαίρα μετακινούνταν από το κέντρο. Μόλις μετακινούνταν , το σύστημα κατηύθυνε τα 3 robot , ώστε να την επιστρέψουν στην αρχική της θέση , σε ελάχιστα δευτερόλεπτα. Οι δυνατότητες του σχεδόν μηδενικού χρόνου απόκρισης έγιναν εύκολα αντιληπτές , συγκρίνοντας την ταχύτητα αντίδρασης του συστήματος μεταξύ των τεχνολογιών 4G και 5G.

12.4.5 Μουσική εμπειρία με ολογράμματα

Πρόκειται για την πρώτη δοκιμαστική εφαρμογή «ολογραφικής» live συναυλίας , μέσω 5G. Οι μουσικοί εμφανίστηκαν μαζί στην ίδια σκηνή μέσω ολογραμμάτων και έπαιξαν σε πραγματικό χρόνο , ενώ βρίσκοντας σε διαφορετικά μέρη. Η συναυλία επιτεύχθηκε χάρη στην τεχνολογία 5G NR (New Radio) , η οποία επιτρέπει χρόνο απόκρισης στα 3,4ms.

12.4.6 Immersive VR Gaming

Οι χρήστες χρησιμοποιώντας μάσκα εικονικής πραγματικότητας (VR) και χειριστήρια χειρός , είχαν την ευκαιρία να «μπουν» στο παιχνίδι Fruit Ninja και να ζήσουν μία μοναδική εμπειρία

Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους.

immersive gaming , με κορυφαία ποιότητα και χωρίς καμία διακοπή. Η απόδοση των γραφικών του παιχνιδιού έγινε μέσω Cloud , ανοίγοντας νέους ορίζοντες στο online gaming.



Εικόνα 62: Χάρτης κάλυψης δικτύων 2G-5G από τη Cosmote

Τέλος , στη παρακάτω εικόνα βλέπουμε την κάλυψη των δικτύων της Cosmote από το 2G έως το 5G[57].

13.ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Είναι γεγονός πλέον πως οι τεχνολογίες των τηλεπικοινωνιών διεισδύουν ολοένα και περισσότερο στη ζωή μας και αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητάς μας. Τα επόμενα χρόνια πρόκειται να υπάρξουν πολλές και μεγάλες αλλαγές στον τομέα των κινητών επικοινωνιών, κάτι το οποίο θα επηρεάσει ακόμα περισσότερους τομείς δημιουργώντας έτσι πιο πολλές ευκαιρίες για ανάπτυξη νέων εφαρμογών και υπηρεσιών. Και αυτό γιατί το νέο 5G δίκτυο θα είναι σε θέση να μας παρέχει εξαιρετικά μεγάλες ταχύτητες, μικρή καθυστέρηση, απόλυτη ασφάλεια καθώς και οτιδήποτε άλλο κρίνουμε εμείς – οι πελάτες – απαραίτητο για την επικοινωνία μας. Είδαμε λοιπόν την αρχιτεκτονική Cloud-RAN (C-RAN) που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του 5G δικτύου. Παράλληλα εξηγήσαμε την SDN,NFVαρχιτεκτονική. Έπειτα κάναμε μία σχετικά λεπτομερή αναφορά στις τεχνολογίες που επιτρέπουν την δημιουργία και υποστήριξη του νέου δικτύου. Έπειτα είδαμε το Network Function Virtualization που είναι απαραίτητο ώστε να γίνονται οι λειτουργίες του δικτύου με βάση το λογισμικό, πράγμα που θα ελαφρύνει αρκετά τους μεταγωγείς του δικτύου και θα συμβάλει στην εξοικονόμηση εσόδων. Με την ένταξη της νέας τεχνολογίας και αρχιτεκτονικής Network Slicing, θα είμαστε σε θέση πλέον εμείς να επιλέγουμε τι υπηρεσίες θέλουμε ακριβώς να μας παρέχει ο ISP χωρίς να προσαρμοζόμαστε εμείς στις μέχρι τώρα προσεγγίσεις “one-size-fits-all”. Μέχρι τώρα υπάρχουν πολλές προτεινόμενες αρχιτεκτονικές για την πιο αποδοτικήανάπτυξητου network slicing και μέχρι να εγκαινιαστεί πλήρως το νέο ευρυζωνικό δίκτυο πέμπτης γενιάς θα βλέπουμε ολοένα και περισσότερες. Το μόνο σίγουρο είναι πως το network slicing έχει καταφέρει να δημιουργήσει μία επανάσταση στον χώρο των τηλεπικοινωνιών ξεφεύγοντας από τη νόρμα και δίνοντας προσοχή πλέον στον ίδιο τον κόσμο που χρησιμοποιεί καθημερινά τις υπηρεσίες επικοινωνιών. Έτσι λοιπόν κάναμε μία αναφορά στο τι είναι το Network Slicing καθώς και πως ορίζεται σύμφωνα με κάποιους οργανισμούς τυποποίησης που το μελετάνε (π.χ. ITU-T, 3GPP κτλ.) και περιγράψαμε με συντομία πως λειτουργεί. Τέλος, αποτυπώσαμε τις προκλήσεις και τα προβλήματα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε κατά την ανάπτυξη του 5G.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Testing	Δοκιμή
Validation	επικύρωση
physical layer	φυσικό επίπεδο
radio protocol	ράδιο-πρωτόκολλο
Latency	Καθυστέρηση ταχύτητας απόκρισης
macro cells	μακροκυψέλες
small cells	μικροκυψέλες
Beamforming	Μορφοποίηση δέσμης
Tier	στρώμα
Accesspoints	σημεία πρόσβασης
Towers	πύργους
Edge	άκρη
Servers	διακομιστές
Core	Δίκτυο κορμού
Virtualization	εικονικοποίηση
Ondemand	κατ' απαίτηση
machine to machine	μηχανής προς μηχανή
Cloud	νέφος
Logicalnetworks	λογικά δίκτυα
Network functions	λειτουργίες δικτύου
Orchestration	ενορχήστρωση
Connective Automotive	συνδεδεμένα οχήματα
SmartHome	έξυπνο σπίτι
Logistics	εφοδιαστική αλυσίδα
Trendsetters	ρυθμιστές τάσης

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

5G	5th Generation
LTE	Long Term Evolution
IoT	Internet of Things
5GPPP	5G Public Private Partnership
5G-IA	5G Infrastructure Association
IMT-2020	International Mobile Telecommunications-2020
ITU	International Telecommunication Unit
ITU-R	International Telecommunication Unit-Radio communication
3GPP	3rd Generation Partnership Project
AR	Augmented Reality
VR	Virtual Reality
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
URLLC	Ultra Reliable and Low Latency
Mmtc	Massive Machine Type Communications
EETT	Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων
RAN	Radio Access Network
NR	New Radio
CP-OFDM	Cyclic Prefix OFDM
DFT-s-OFDM	Discrete Fourier Transforms spread OFDM
Massive MIMO	Massive Multi-Input Multi-Output
C-RAN	Cloud-Radio Access Network
RRU	Remote Radio Unit
BBU	Baseband Unit
HAPS	High-altitude platform systems
PMP	point-to-multipoint
MmWave	millimeter wave
NSA	non-stand-alone
SA	stand-alone
EPC	Evolved Packet Core

SDN	software defined networking
UP	user plane
CP	controlplane
NFV	NetworkFunctionVirtualization
MANO	Management and Orchestration
SLA	ServiceLevelAgreement
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
WAN	Wide Area Network
UAV	Unmannedaerialvehicles
WDR	WideDynamicRange
V2X	Vehicle-to-everything
V2N	Vehicle-to-network
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2V	Vehicle-to-vehicle
UHD	UltraHigh Definition
KPI	Key performance Indicator
SW	Software
HW	Hardware
DevOps	Development-Operations
VLC	Visible Light Communications
PaaS	Platform-As-A-Service
E2E	End-to-End
ΕΠΙΣΕΥ	Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] <http://www.emfexplained.info/?ID=25916#5G%20working%20with%204G>[Προσπελάστηκε 5/5/2019]
- [2] <http://5gobservatory.eu/info-deployments/5g-infrastructure/>[Προσπελάστηκε 5/5/2019]
- [3] https://www.economistas.gr/diethni/23410_plaisio-egkatastasis-toy-5g-stin-ee-me-ti-huawei[Προσπελάστηκε 9/3/2019]
- [4] <http://5gobservatory.eu/about/>[Προσπελάστηκε 25/4/2019]
- [5] <https://5g-ppp.eu/> [Προσπελάστηκε 20/2/2020]
- [6] <https://5g-ppp.eu/kpis/>[Προσπελάστηκε 20/2/2020]
- [7] <https://techblog.comsoc.org/category/imt-2020-standard/>[Προσπελάστηκε 8/1/2020]
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/IMT-2020>[Προσπελάστηκε 8/1/2020]
- [9] <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>[Προσπελάστηκε 3/9/2019]
- [10] <https://www.state.gov/conclusion-of-the-world-radiocommunication-conference-2019/>[Προσπελάστηκε 28/8/2019]
- [11] https://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Informative_Documentation/EETT_book.pdf, σελ 54 [Προσπελάστηκε 28/8/2019]
- [12] <https://en.wikipedia.org/wiki/3GPP2>[Προσπελάστηκε 12/1/2020]
- [13] <https://www.3gpp.org/news-events/2098-5g-in-release-17-%E2%80%93-strong-radio-evolution>[Προσπελάστηκε 17/12/2019]
- [14] https://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Informative_Documentation/EETT_book.pdf, Αθανάσιος Κανάτας, Ανάπτυξη Δικτύων 5G στην Ελλάδα: Προκλήσεις και στρατηγικές Εξέλιξης, σελ 47-58 [Προσπελάστηκε 28/8/2019]
- [15] <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/november-2018>[Προσπελάστηκε 15/5/2019]
- [16] https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/white-paper/who-and-how_making-5g-nr-standards/who-and-how_making-5g-nr-standards.pdf[Προσπελάστηκε 7/6/2019]
- [17] <https://telecoms.com/current-webinars/what-will-your-5g-nr-ran-really-look-like/>[Προσπελάστηκε 2/9/2019]
- [18] <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/5g-nr-new-radio.php>[Προσπελάστηκε 2/9/2019]
- [19] https://read.itu-ilibrary.org/science-and-technology/setting-the-scene-for-5g_pub/811d7a5f-en#page25[Προσπελάστηκε 2/6/2019]
- [20] <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/5g-nr-new-radio.php>[Προσπελάστηκε 2/9/2019]
- [21] <http://www.eekt.gr/LinkClick.aspx?fileticket=HWdtGaEGyP0%3D&tabid=36> [Προσπελάστηκε 9/1/2020]
- [22] EMEA Satellite Operators Association <https://gsoalition.org/cms-data/position-papers/5G%20White%20Paper.pdf>[Προσπελάστηκε 9/1/2020]
- [23] https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/orp/tut/T-TUT-HOME-2018-2-PDF-E.pdf Προσπελάστηκε 9/6/2019]
- [24] <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>[Προσπελάστηκε 14/1/2020]
- [25] https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_networking[Προσπελάστηκε 14/1/2020]
- [26] https://en.wikipedia.org/wiki/Intrusion_detection_system[Προσπελάστηκε 20/1/2020]
- [27] https://en.wikipedia.org/wiki/5G_network_slicing[Προσπελάστηκε 20/1/2020]
- [28] <http://www.eekt.gr/LinkClick.aspx?fileticket=HWdtGaEGyP0%3D&tabid=36>[Προσπελάστηκε 9/1/2020]
- [29] Α.Γεωργακόπουλος, “5G Network Slicing: Περιγραφή και Προκλήσεις, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, ΕΚΠΑ, 2018
- [30] https://www.iaria.org/conferences2018/files/ICSNC18/EugenBorcoci_Tutorial_E2EMultiTenantMultiDomain.pdf [Προσπελάστηκε 3/7/2019]
- [31] <https://nowmag.gr/%CF%83%CF%84%CE%B1-%CE%BC%CE%AD%CF%83%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-2021-%CE%B7-%CE%B5%CE%BA%CF%87%CF%8E%CF%81%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%86%CE%AC%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82-%CE%B3/>[Προσπελάστηκε 9/1/2020]
- [32] <https://www.infocomworld.gr/21o-infocom-world-2019/5g-epistimoniki-synantisi-aitoysa-makedonia/>[Προσπελάστηκε 18/1/2020]
- [33] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/IP_19_1832[Προσπελάστηκε 9/1/2020]

- [34] <https://www.euractiv.gr/section/oikonomia/news/5g-i-anakoinosi-tis-epitropis-gia-ergaleiothiki-metra-se-eyropaiko-kai-ethniko-epipedo-gia-ti-nea-genia-diktyon/>[Προσπελάστηκε 3/10/2019]
- [35] <https://www.infocomworld.gr/21o-infocom-world-2019/5g-epistimoniki-synantisi-aitoysa-makedonia/>[Προσπελάστηκε 18/1/2020]
- [36] <https://www.huawei.com/en/industry-insights/outlook/mobile-broadband/xlabs/use-cases/5g-top-10-use-case>[Προσπελάστηκε 27/8/2019]
- [37] <https://www-file.huawei.com/-/media/corporate/pdf/mbb/5g-unlocks-a-world-of-opportunities-v5.pdf?la=en-nz>
- [38] https://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Informative_Documentation/EETT_book.pdf, Γιώργος Παππάς, Το 5G μοχλός ανάπτυξης για την Ελλάδα, όραμα, στρατηγική και προκλήσεις, σελ.101-114 [Προσπελάστηκε 28/8/2019]
- [39] https://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Informative_Documentation/EETT_book.pdf, Γιάννης Κωτσής/Γιανναράκης, Με καταλύτη τις Τηλεπικοινωνίες και την πληροφορική, σελ.65-68, [Προσπελάστηκε 28/8/2019]
- [40] https://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Informative_Documentation/EETT_book.pdf Βασίλης Μαγκλάρας, Γενικός Γραμματέας EETT, [Προσπελάστηκε 15/9/2019]
- [41] https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2019/02/5G-IA-Position-Paper-Smart-Networks-and-Services_Horizon-Europe.pdf [Προσπελάστηκε 18/10/2020]
- [42] <https://www.businessnews.gr/el/epixeiriseis/tehnologia/oi-misoi-parohoi-pagkosmios-tha-lansaroun-tehnologia-5g-entos-toy-2019.html>[Προσπελάστηκε 10/1/2020]
- [43] <https://www.infocomworld.gr/21o-infocom-world-2019/5g-epistimoniki-synantisi-aitoysa-makedonia/>[Προσπελάστηκε 01/20/2020]
- [44] https://read.itu-ilibrary.org/science-and-technology/setting-the-scene-for-5g_pub/811d7a5f-en#page25[Προσπελάστηκε 10/2/2020]
- [45] Eurostat: ICT sector - value added, employment and R&D. January 2018, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=ICT_sector_-_value_added,_employment_and_R%26D and Eurostat: National accounts and GDP. 2017: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/National_accounts_and_GDP#Further_Eurostat_information. [Προσπελάστηκε 10/12/2019]
- [46] EU Commission: Digital Agenda Scoreboard, Research & Development in ICT [Προσπελάστηκε 10/2/2020]
- [47] Ericsson Report: The 5G Business Potential (Second edition – October 2017), <https://www.ericsson.com/en/networks/trending/insights-and-reports/the-5g-business-potential>[Προσπελάστηκε 3/2/2020]
- [48] <https://www.newsbeast.gr/weekend/arthro/5763867/yprothesi-5g-tromolagneia-i-pragmatikos-kindynos-gia-tin-ygeia>[Προσπελάστηκε 16/1/2020]
- [49] <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=455&language=el-GR>[Προσπελάστηκε 16/1/2020]
- [50] <https://eeae.gr/>[Προσπελάστηκε 16/1/2020]
- [51] <https://www.capital.gr/technology/3390043/upo-diereunisi-oi-epiptoseis-ton-diktuon-5g-stin-anthropini-ugeia>[Προσπελάστηκε 16/1/2020]
- [52] <https://www.tovima.gr/2019/10/23/media/oi-pithanoi-kindynoi-tis-ygeias-apo-tin-texnologia-5g/>[Προσπελάστηκε 7/3/2020]
- [53] <https://www.infocom.gr/2020/02/07/ksekinise-dimosia-diavoulefsi-gia-fasma-5g/50884/>[Προσπελάστηκε 12/2/2020]
- [54] <https://banks.com.gr/vodafone-elladas-ependyseis-evryzonikotita-kai-5g/>[Προσπελάστηκε 7/3/2020]
- [55] <https://www.tovima.gr/2019/12/13/finance/diktyo-5g-apo-to-2021-gia-ti-vodafone-ellados/>[Προσπελάστηκε 7/3/2020]
- [56] <https://www.tovima.gr/2019/09/12/market/deth-i-wind-parousiase-to-pilotiko-diktyo-5g/>[Προσπελάστηκε 7/3/2020]
- [57] <https://www.cosmote.gr/cs/cosmote/gr/5g.html>[Προσπελάστηκε 7/3/2020]

Δίκτυα 5G. Οι στόχοι και η αναμενόμενη εξέλιξή τους.