



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η συμβολή των τεχνολογιών 5G στον τομέα των Media &
Entertainment**

Σταματία Φ. Δράμπαλου

Επιβλέπων καθηγητής: Αντώνιος Μπόγρης, Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

Φεβρουάριος 2021

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η συμβολή των τεχνολογιών 5G στον τομέα των Media & Entertainment

Σταματία Φ. Δράμπαλου

A.M.: 711151003

Επιβλέπων Καθηγητής: Αντώνιος Μπόγρης, Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΣΤΑΜΑΤΙΑ ΔΡΑΜΠΑΛΟΥ του ΦΩΤΙΟΥ, με αριθμό μητρώου 711151003 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας κ. Μπόγρη Αντώνιο για την ανάθεση του θέματος και για την καθοδήγηση. Επίσης, θα ήθελε να ευχαριστήσω το ερευνητικό τμήμα του ΟΤΕ και συγκεκριμένα την ομάδα του κ. Αγαπίου Γεώργιου για τη συνεργασία, η οποία ήταν πολύτιμη και συνετέλεσε στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
ABSTRACT	13
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	14
Κεφάλαιο 1 ^ο - 5G Τεχνολογία: Σύγχρονες Εξελίξεις.....	15
1.1 Ιστορική αναδρομή στα κυψελοειδή συστήματα.....	15
1.2 Συσχέτιση τεχνολογίας 5G με τη τεχνολογία 4G	16
1.3 Χαρακτηριστικά τεχνολογίας 5G	16
1.4 Υπηρεσίες του 5G NR.....	18
1.5 Network Slicing.....	19
1.5.1 Είδη δικτύωσης.....	20
1.5.2 Business models	21
1.5.3 Network Connection Service	22
1.5.4 Network Resource Service	22
1.5.5 Τι προσφέρει το Network Slicing	23
1.6 Συνδυασμός του 5G NR με άλλες τεχνολογίες	25
1.6.1 Software Defined Network (SDN)	25
1.6.2 Network functions virtualization (NFV)	26
1.6.3 Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)	26
1.6.4 Big Data Analysis.....	26
1.6.5 Cloud & Edge Computing.....	26
1.6.6 Blockchain.....	26
1.6.7 Content Distribution Networks (CDN)	26
1.7 Τα αγαθά του 5G	27
1.7.1 Οι κατηγορίες των αγαθών.....	27
1.8 Οι κίνδυνοι στο 5G	29
1.9 Οικονομικά στοιχεία.....	29
1.9.1 GSMA.....	29
1.9.2 Συνεργασία κυβερνήσεων με επιχειρήσεις.....	30
1.9.3 Παγκόσμια αγορά σε νούμερα.....	30
Κεφάλαιο 2: 5G και Vertical Industries.....	34
2.1 Automotive.....	34
2.1.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR.....	35

2.1.2 Περιπτώσεις Χρήσης.....	36
2.2 Manufacturing	39
2.2.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR.....	40
2.2.2 Περιπτώσεις Χρήσης.....	41
2.3 Media	43
2.3.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR.....	44
2.3.2 Περιπτώσεις Χρήσης.....	44
2.4 Energy.....	46
2.4.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR.....	47
2.4.2 Περιπτώσεις Χρήσης.....	48
2.5 e-Health	48
2.5.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR.....	49
2.5.2 Περιπτώσεις Χρήσης.....	50
2.6 Public Safety	52
2.6.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR.....	53
2.6.2 Περιπτώσεις Χρήσης.....	54
2.7 Smart City	55
2.7.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR.....	55
2.7.2 Περιπτώσεις Χρήσης.....	56
2.8 Εφαρμογές.....	58
2.8.1 Ολοκληρωμένες εφαρμογές και δοκιμές	58
Κεφάλαιο 3: 5G NR και Media.....	61
3.1 Εισαγωγή	61
3.2 Τεχνική προσέγγιση	61
3.3 Οι συμμετέχοντες στις εφαρμογές media	62
3.4 Αρχιτεκτονική Δικτύου	63
3.4.1 Service Development Kit (SDK)	63
3.4.2 Service Virtualization Platform (SVP)	64
3.4.3 Physical Layer	65
3.5 Περιπτώσεις Χρήσης	65
3.6 Περίπτωση Χρήσης 1: Immersive Media	65
3.6.1 Συμμετέχοντες	65
3.6.2 Σενάρια.....	66
3.6.3 Σκοπός της περίπτωσης χρήσης	67

3.6.4 Περιγραφή των VNFs και PNFs	68
3.6.5 Γραφήματα Προώθησης VNF (VNF-FGs).....	69
3.7 Περίπτωση Χρήσης 2: Mobile Contribution, Remote and Smart Production in Broadcasting.....	71
3.7.1 Συμμετέχοντες	72
3.7.2 Σενάρια.....	73
3.7.3 Σκοπός της περίπτωσης χρήσης	74
3.7.4 Περιγραφή των VNFs και PNFs.....	74
3.7.5 Γραφήματα Προώθησης VNF (VNF-FGs).....	75
3.8 Περίπτωση Χρήσης 3: Ultra-high Definition (UHD) over Content Distribution Networks (CDN).....	78
3.8.1 Συμμετέχοντες	78
3.8.2 Σενάρια.....	78
3.8.3 Σκοπός της περίπτωσης χρήσης	79
3.8.4 Περιγραφή των VNFs και PNFs.....	79
3.8.5 Γραφήματα Προώθησης VNF (VNF-FGs).....	81
3.9 Τα αναμενόμενα πλεονεκτήματα από τις τρεις περιπτώσεις χρήσης του project 5G-MEDIA στον καθετοποιημένο τομέα των Media	82
Κεφάλαιο 4 ^ο : Παρουσίαση εφαρμογών	83
4.1 Δημιουργία τοπολογιών με IoT	83
4.1.1 Ορισμός IoT	83
4.1.2 Εφαρμογή Home Assistant	83
4.1.3 Sonoff	84
4.2 Επίδειξη πραγματικού συστήματος	86
4.2.1 Σκοπός του project	86
4.2.2 Συνδεσμολογία.....	86
4.2.3 Επίδειξη συστήματος.....	87
4.2.4 Τροποποίηση της λειτουργίας του	89
4.3 Πλατφόρμες για τη τεχνολογία LTE.....	90
4.3.1 Mosaic5G.....	90
4.3.2 OpenAirInterface	91
4.4 Παρουσίαση Μετρήσεων LTE Access Points	92
4.4.1 Συνθήκες εργαστηρίου	92
4.4.2 Αποτελέσματα Δοκιμών	93
Κεφάλαιο 5: Η ανάπτυξη του 5G NR στην Ευρώπη και τα μελλοντικά σενάρια	94

5.1 Εισαγωγή	94
5.2 Κατάσταση στην Ευρώπη	94
5.2.1 Ευρωπαϊκή Ένωση	94
5.2.2 Ρυθμιστικό Πλαίσιο και Συχνότητες	94
5.2.3 Δείκτη Ετοιμότητας 5G	95
5.2 Κατάσταση στην Ελλάδα	96
5.2.1 Επενδύσεις	96
5.3 Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας	96
5.4 6G NR.....	97
5.4.1 Megatrends και 6G	98
5.4.2 6G Services	99
5.4.3 Τεχνικές Απαιτήσεις	101
5.4.4 Τεχνολογίες	102
Συμπεράσματα	108
Βιβλιογραφία	109

AKPΩNYMIA

5G	5th Generation Mobile Network
5G NR	5G New Radio
5G-Infrastructure-PPP	5G-Infrastructure Public Private Partnership
5QI	5G QoS Indicator
A/Vs	Audio and Visual signals
AAA	Authentication, Authorization, and Accounting
AGVs	Automated Guided Vehicles
AI	Artificial Intelligence
APIs	Application Programming Interfaces
AR	Augmented Reality
ARP	Allocation and retention priority
BBS	Business Support System
BS	Base Station
CDN	Content Distribution Networks
CPU	central processing unit
D2D	Device to Device
DREs	Distributed Energy Resources
eMBB	enhanced mobile broadband
ENISA	European Union Agency for Cybersecurity
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FaaS	Function-as-a-Service
GPU	graphic processing unit
GSM	Global System for Mobile communications
HPN	High-Precision Network
IAB	Integrated access and backhaul
ICN	information-centric networking
ICT	Information and communications technology
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ITS	Intelligent Transport Systems
LoS	Line-of-Sight propagation
LTE	Long Term Evolution
LTE Advance	Long Term Evolution Advanced
MC	Mission Critical
MEC	multi-access edge computing
mMTC	massive machine-type communications
MR	mixed reality
MSP	Media Service Provider
MTC	Machine Type Communication
NFV	Network Functions Virtualization
NFVI	Network Function Virtualisation Infrastructure
NFVO	Network Functions Virtualization Orchestrator
NS	Network Service
O-RAN	open radio access network
OSS	Operational Support System
OTT service	Over-the-Top service
PaaS	Platform-as-a-Service
PCF	Policy Control Functions
PDA's	personal digital assistants
ProSe	Proximity Services

QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
QPP	QoS, Priority and Pre-emption
RAN	radio access network
RF	Radio Frequency
RIS	Reconfigurable intelligent surface
SDGs	Sustainable Development Goals
SDI	Serial Data Interface
SEA	US Society of Automotive Engineers
SLA	Service Level Agreement
SLR	Service Level Reporting
SVP	Service Virtualization Platform
UAV	Unmanned aerial vehicles
UE	User Equipment
UHD	Ultra High Definition
URLLC	Ultra reliability and low latency communications
V2X	Vehicle to X (e.g. Vehicle, Infrastructure, Pedestrians)
VDA	German Association of the Automotive Industry
VNF	Virtual Network Function
VNFFG	Virtual Network Function Forwarding Graph
VNFM	Virtual Network Functions Manager
VoD	Video on Demand
VR	Virtual Reality
XR	extended reality
EE	Ευρωπαϊκή Επιτροπή
EETT	Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων
ΜμΕ	Μικρό μεσαίες Επιχειρήσεις
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της αναφερόμενης διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει τις αναπτυσσόμενες και καινούργιες τεχνολογίες, οι οποίες θα συμβάλουν στην δημιουργία του δικτύου 5G, σε διάφορους τομείς. Συγκεκριμένα αναλύεται:

Στο κεφάλαιο 1, «5G Τεχνολογία: Σύγχρονες Εξελίξεις» ,παρουσιάζονται η ιστορική αναδρομή των κυψελοειδών συστημάτων από το 1G μέχρι το 4G. Γίνεται συσχέτιση των τεχνολογιών 4G και 5G, γιατί η τεχνολογία πέμπτης γενεάς διατηρεί το ίδιο δίκτυο με την προηγούμενη. Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά και τα προτερήματα του 5G σε σχέση με τις προηγούμενες γενεές κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, αναλύονται οι υπηρεσίες με τις οποίες θα λειτουργεί το 5G New Radio, όπως eMBB, URLLC , mMTC και οι καινούργιες τεχνολογίες, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν όπως, το Network Slicing, SDN, NFV, AI, big data analysis, cloud & edge computing, blockchain και CDN. Επιπλέον, λόγω του μεγάλου όγκου πληροφορίας, αναλύεται η σημαντικότητα της ασφάλειας των αγαθών του 5G και οι κίνδυνοι που μπορεί να προκύψουν. Τέλος, παρουσιάζονται κάποια οικονομικά στοιχεία από τα αναμενόμενα έσοδα, τα οποία θα επιφέρει το 5G στο παγκόσμιο ΑΕΠ.

Στο κεφάλαιο 2, «5G και Vertical Industries» παρουσιάζονται οι καθετοποιημένοι τομείς στους οποίους θα συμβάλει το 5G. Α) Στην αυτοκινητοβιομηχανία , θα ξεκινήσει η ανάπτυξη της αυτόνομης οδήγησης, θα βελτιωθεί η οδική ασφάλεια και οι υπηρεσίες της, θα ενισχυθεί η εφοδιαστική αλυσίδα και η πλοήγηση θα είναι ευφυής. Β)Στη βιομηχανία ο ασύρματος έλεγχος θα βοηθήσει στη καλύτερη διαχείριση του χρόνου στα εργοστάσια και στη διασύνδεση των προϊόντων. Γ) Στον τομέα των MME θα επιτρέψει την κατανάλωση και τον διαμοιρασμό περιεχομένου υψηλής ευκρίνειας. Δ) Στον τομέα της ενέργειας, θα προσφέρει υποστήριξη σε εφαρμογές Smart metering, εφαρμογές επικοινωνίας τύπου μηχανών (MTC) και θα υποστηρίζονται τα δίκτυα micro-grids. Ε) Στην υγεία εισάγει τον όρο eHealth, γιατί το νοσοκομείο θα ελέγχει ασύρματα τα περιουσιακά του στοιχεία, θα χρησιμοποιεί τη ρομποτική χειρουργική και οι ασθενείς θα παρακολουθούνται από απόσταση. ΣΤ) Στη δημόσια ασφάλεια θα επιτρέπεται η γρήγορη επέμβαση των διασωστών σε κρίσιμες καταστάσεις. Ζ) Στις πόλεις ,για να γίνουν έξυπνες, θα χρησιμοποιηθούν αισθητήρες με συνδεσιμότητα στο δίκτυο 5G. Τέλος παρουσιάζονται εφαρμογές από όλους τους τομείς.

Στο κεφάλαιο 3, «5G NR και Media» παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του δικτύου, οι υπηρεσίες και οι περιπτώσεις χρήσης του καθετοποιημένα τομέα Media. Στο τέλος, αναφέρονται τα πλεονεκτήματα των περιπτώσεων χρήσεων.

Στο κεφάλαιο 4, «Παρουσίαση εφαρμογών» αναφέρονται κάποιες πλατφόρμες για τη ρύθμιση IoT συσκευών και δικτύων 5G. Παρουσιάζεται μια πραγματική υλοποίηση με χρήση αισθητήρων και κάποιες μετρήσεις από 4G τερματικά.

Στο κεφάλαιο 5, «Η ανάπτυξη του 5G NR στην Ευρώπη και τα μελλοντικά σενάρια» παρουσιάζεται η κατάσταση στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, η επίσημη άποψη του ΠΟΥ σχετικά με αν είναι επικίνδυνη η τεχνολογία 5G και αναφέρονται τα υποθετικά σενάρια σχετικά με τη διαμόρφωση του 6G.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Κινητές Επικοινωνίες

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: 5G, Network Slice, Cloud & Edge Computing, αυτοματισμός, ασύρματη επικοινωνία, Media & Ψυχαγωγία, Immersive Media, UHD περιεχόμενο, κινητές εκπομπές, Επαυξημένη Πραγματικότητα, 3D ολογράμματα, Διαδίκτυο των Αντικειμένων, Συχνότητες, 6G

ABSTRACT

The purpose of this analysis is to present the developing and new technologies, which will contribute to the creation of 5G network, in various sectors. Specially:

In chapter 1, "5G Technology: Modern Developments" presents the historical background of cellular systems from 1G to 4G. 4G and 5G technologies are correlated, because the fifth generation technology maintains the same network as the previous one. The features and advantages of 5G, in relation to previous generations of mobile telephony are presented. In addition, services in which 5G New Radio will operate are analyzed, such as eMBB, URLLC and mMTC and new technologies that will be used such as Network Slicing, SDN, NFV, AI, big data analysis, cloud & edge computing , blockchain and CDN. Furthermore, due to the large volume of information, the importance of the security of 5G assets and the risks are analyzed. Finally, economic data are presented from the expected revenues, which 5G will bring to the GDP.

In chapter 2, "5G and Vertical Industries" presents the vertical sectors in which 5G will contribute. A) In automotive industry, the development of autonomous driving will begin, road safety and its services will be improved, the supply chain will be strengthened and navigation will be intelligent. B) In industry, wireless control will help to better manage time in factories and interconnect products. C) In media will allow the consumption and sharing of high definition content. D) In energy, it will support Smart metering applications and machine type communication applications (MTC) and micro-grids. E) In health, introduces the term e-Health, because hospitals will wirelessly check its assets, use robotic surgery and patients are monitored remotely. F) Public safety will allow rescuers to intervene quickly in critical situations. G) Cities will become smart, because sensors with 5G network connectivity will be used. Finally, applications from all sectors are presented.

In chapter 3, "5G NR and Media" presents architecture and services of network and the use cases of the vertical sector. Finally, the advantages of use cases are mentioned.

In chapter 4, "Introducing Applications" lists some platforms for setting up IoT devices and 5G networks. Presents a real implementation, using sensors and some measurements from 4G terminals is presented.

In chapter 5, "The development of 5G NR in Europe and future scenarios" presents the situation in Europe and Greece, the official WHO view on whether 5G technologies are dangerous and the hypothetical scenarios about the 6G configuration.

SUBJECT AREA: Mobile Communications

KEYWORDS: 5G, Network Slice, Cloud & Edge Computing, Automation, Wireless Communication, Media & Entertainment, Immersive Media, UHD Content, Mobile, Augmented Reality, 3D Holograms, Internet of Things, Frequencies, 6G

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ζούμε στην εποχή της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, όπου όλοι οι τομείς, από τις δημόσιες υπηρεσίες μέχρι εταιρείες μεταφοράς αγαθών ,ψηφιοποιούνται. Η τεχνολογία, η οποία θα συμβάλει σε αυτή την επανάσταση, είναι το 5G. Το δίκτυο 5G, είναι η εξέλιξη του δικτύου 4G το οποίο επιτρέπει: μεταφορά περισσότερων δεδομένων, σε μεγαλύτερο εύρος ζώνης, με μηδενικές καθυστερήσεις και μεγαλύτερη ασφάλεια. Το νέο δίκτυο 5^{ης} γενεάς θα αλλάξει τους καθιερωμένους τομείς, όπως την αυτοκινητοβιομηχανία, τη βιομηχανία, τα ΜΜΕ, την ενέργεια, την υγεία, τη δημόσια ασφάλεια και τις έξυπνες πόλεις. Για παράδειγμα, οι χρήστες θα έχουν περισσότερες δυνατότητες και εφαρμογές, όπως να διαμοιράζουν περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας, από σταθερό ή κινητό σημείο. Τα αυτοκίνητα θα γίνουν ημιαυτόνομα. Τα χειρουργεία θα γίνονται απομακρυσμένα κλπ.

Στην παρακάτω εργασία θα αναφερθούν οι αλλαγές που επιφέρουν οι τεχνολογίες 5G σε όλους τους παραπάνω τομείς και εκτενέστερα σε αυτές στον τομέα των Media.

Κεφάλαιο 1^ο - 5G Τεχνολογία: Σύγχρονες Εξελίξεις

1.1 Ιστορική αναδρομή στα κυψελοειδή συστήματα

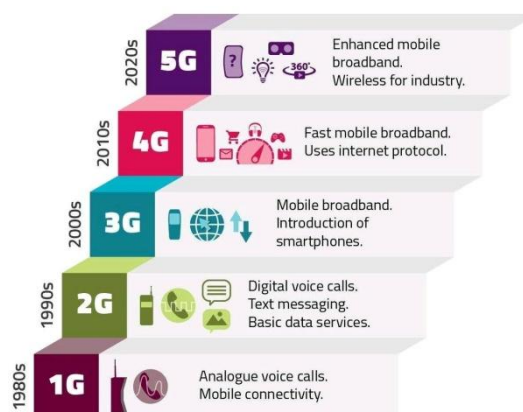
Η τεχνολογία των κινητών επικοινωνιών αναπτύσσεται από τα τέλη της δεκαετίας του '70, με την δημιουργία των κυψελοειδών συστημάτων 1^{ης} Γενιάς (1G), όπου η επεξεργασία γίνονταν σε αναλογικά σήματα. Την επόμενη δεκαετία έγιναν τα κυψελοειδή συστήματα 2^{ης} γενιάς, όπου ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Προτυποποίησης (ETSI) σχεδίασε το σύστημα GSM από το οποίο έγινε η μετάβαση των αναλογικών επικοινωνιών στις ψηφιακές και επικρατεί μέχρι σήμερα [1]. Το 2000 εμφανίστηκαν τα κυψελοειδή δίκτυα 3^{ης} γενιάς (3G), τα οποία θεωρούνται η βάση για τις δύο επόμενες γενεές, γιατί υποστήριζε την ασύμμετρη τηλεπικοινωνιακή κίνηση (voice, SMS, MMS, web browsing) [2]. Η τεχνολογία 5^{ης} γενιάς (5G), έχει βασιστεί στα κυψελοειδή δίκτυα 4^{ης} γενιάς (4G και 4G+), η οποία υποστηρίζει το πρότυπο LTE και LTE Advance [1].

Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τις μέγιστες ταχύτητες downlink (DL) και uplink (UL) για στις προαναφερθείς τεχνολογίες.

Σύμβολο	Τεχνολογία	Πλήρες όνομα	Μέγιστη ταχύτητα Download (Θεωρητικά)	Μέγιστη ταχύτητα Upload (Θεωρητικά)
2G	GSM	Global System for Mobile Communications	14.4 Kbits/s	14.4 Kbits/s
G	GPRS	General Packet Radio Service	53.6 Kbits/s	26.8 Kbits/s
E	EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	217.6 Kbits/s	108.8 Kbits/s
3G	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	384 Kbits/s	128 Kbits/s
H	HSPA	High-Speed Packet Access	7.2 Mbits/s	3.6 Mbits/s
H+	HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access - Release 6	14.4 Mbits/s	5.76 Mbits/s
H+	HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access - Release 7	21.1 Mbits/s or 28.0 Mbits/s	11.5 Mbits/s
H+	HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access - Release 8	42.2 Mbits/s	11.5 Mbits/s
H+	HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access - Release 9	84.4 Mbits/s	11.5 Mbits/s
H+	HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access - Release 10	168.8 Mbits/s	23.0 Mbits/s
4G	LTE	Long Term Evolution	100 Mbits/s	50 Mbits/s
4G	LTE-A	Long Term Evolution - Advanced	1 Gbits/s	500 Mbits/s

Σχήμα 1.1: Ταχύτητες DL/UL που υποστηρίζουν όλα τα κυψελοειδή συστήματα [2].

Το παρακάτω σχήμα εμφανίζει συνοπτικά την ανάπτυξη των κυψελοειδών επικοινωνιών.



Σχήμα 1.2: Κλιμακωτή αναπαράσταση των κυψελοειδών συστημάτων [53].

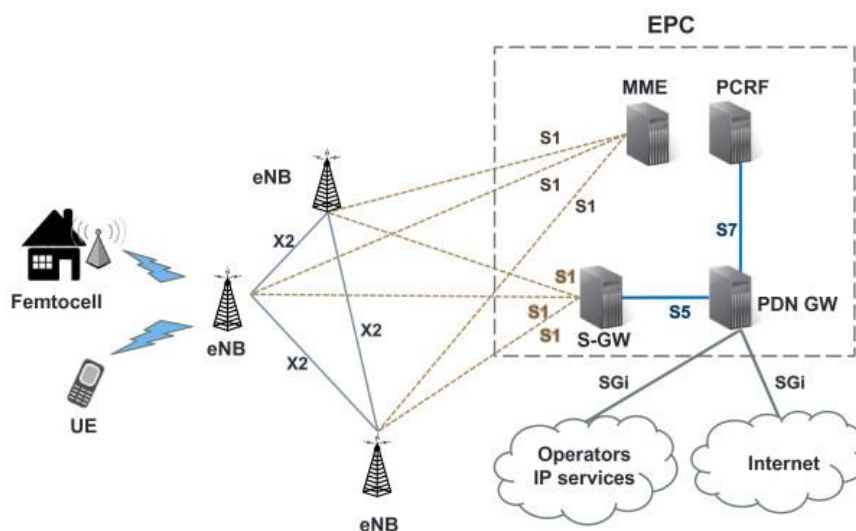
1.2 Συσχέτιση τεχνολογίας 5G με τη τεχνολογία 4G

Η τεχνολογία 5G βασίζεται στη τεχνολογία 4G, δηλαδή ως προς τον τρόπο μετάδοσης των δεδομένων και την αρχιτεκτονική της τελευταίας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το σύστημα LTE-Advance, που είναι βασισμένο εξ ολοκλήρου στη μεταγωγή πακέτων και υποστηρίζει υψηλές ταχύτητες μετάδοσης, με χαμηλή λανθάνουσα καθυστέρηση (latency), πλήρη υποστήριξη κινητικότητας χρήστη και υψηλά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας (QoS) [1].

Η δομή του δικτύου έχει 3 βασικές δομικές μονάδες [1]:

- Τον εξοπλισμό χρήστη (User Equipment – UE)
- Το δίκτυο ραδιο-πρόσβασης (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network – E-UTRAN)
- Το δίκτυο κορμού (Evolved Packet Core – EPC)

Παρακάτω βρίσκεται μια απεικόνιση της αρχιτεκτονικής του δικτύου LTE-Advance:



Σχήμα 1.3: Απεικόνιση δικτύου LTE-Advance [3].

Επομένως, ο στόχος της τεχνολογίας 5G είναι να χρησιμοποιήσει την υποδομή του δικτύου 4G, αλλά με τη χρήση υψηλότερων συχνοτήτων.

1.3 Χαρακτηριστικά τεχνολογίας 5G

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο αναφερθήκαν κάποια από τα χαρακτηριστικά, τα οποία υπάρχουν στη τεχνολογία 4G, όπως ο τρόπος μετάδοσης, οι καθυστερήσεις και η κινητικότητα των χρηστών. Για να γίνουν κατανοητοί οι όροι, θα γίνει η ανάλυση αυτών.

- **Latency (ms)** είναι ο μέγιστος ανεκτός λανθάνων χρόνος, από άκρο σε άκρο, από τη στιγμή που δημιουργείται ένα πακέτο δεδομένων στην εφαρμογή προέλευσης, έως τη στιγμή που λαμβάνεται, από την εφαρμογή προορισμού [4].
- **Reliability (10^{-x})** είναι ο μέγιστος ανεκτός ρυθμός απώλειας πακέτου στο επίπεδο εφαρμογής. Ένα πακέτο θεωρείται χαμένο, εάν δεν ληφθεί από την εφαρμογή προορισμού, εντός του μέγιστου ανεκτού λανθάνοντος χρόνου, από άκρο σε άκρο για αυτήν την εφαρμογή [4].

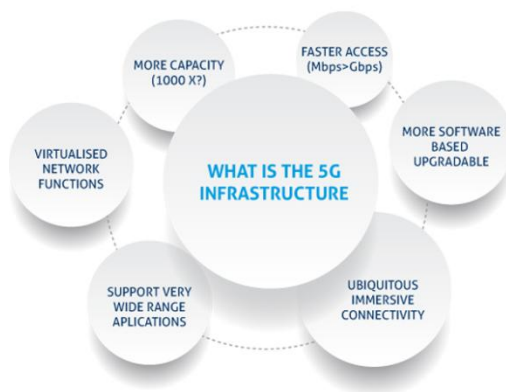
- **Mobility** (km/h) είναι η σχετική ταχύτητα, κάτω από την οποία η εφαρμογή πρέπει να επιτύχει την καθορισμένη αξιοπιστία [4].
- **Positioning accuracy** (cm) είναι το μέγιστο σφάλμα τοποθέτησης που ανέχεται η εφαρμογή [4].
- **Data rate** (Mbit/s) είναι ο ελάχιστος απαιτούμενος ρυθμός bit για τη σωστή λειτουργία της εφαρμογής [4].
- **Communication range** (m) είναι η μέγιστη απόσταση μεταξύ πηγής και προορισμού ραδιοφωνικής μετάδοσης, εντός της οποίας η εφαρμογή πρέπει να επιτύχει την καθορισμένη αξιοπιστία [4].
- **Node mobility** (km/h) είναι η μέγιστη σχετική ταχύτητα υπό την οποία πρέπει να επιτευχθεί η καθορισμένη αξιοπιστία [4].
- **Network density** (vehicles/km²) είναι η μέγιστος αριθμός οχημάτων ανά μονάδα περιοχής κάτω από την οποία πρέπει να επιτευχθεί η καθορισμένη αξιοπιστία [4].
- **Coverage** είναι η περιοχή εντός της οποίας η εφαρμογή πρέπει να λειτουργεί σωστά, δηλαδή επιτυγχάνονται οι καθορισμένες απαιτήσεις (καθυστερήση, αξιοπιστία και ρυθμός δεδομένων) [4].
- **Security** είναι συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ασφαλείας που απαιτούνται από την εφαρμογή. Αυτά περιλαμβάνουν έλεγχο ταυτότητας χρήστη, γνησιότητα δεδομένων, ακεραιότητα δεδομένων, εμπιστευτικότητα και απόρρητο χρήστη [4].

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G στην Ευρώπη γίνεται από 5G-Infrastructure-PPP, η οποία συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ευρωπαϊκή ICT βιομηχανία. Σκοπός τους είναι δημιουργήσουν ένα πρότυπο που θα είναι παγκόσμια αποδεκτό, θα διασφαλίζει την λειτουργικότητα, χαμηλό κόστος για την εγκατάσταση του δικτύου και για το τελικό χρήστη (end user) [5].

Επιγραμματικά, τα χαρακτηριστικά της νέας τεχνολογίας 5G [5]:

- ✓ Παρέχουν 1000 φορές μεγαλύτερη ασύρματη χωρητικότητα, έως 10 Gbits/s και περισσότερες δυνατότητες υπηρεσιών σε σύγκριση με αυτές που υπήρχαν το 2010.
- ✓ Ο λανθάνων χρόνος είναι εξαιρετικά χαμηλός με μόλις 1 ms.
- ✓ Εξοικονομούν μέχρι το 90% της ενέργειας ανά παρεχόμενη κινητή υπηρεσία.
- ✓ Η αξιοπιστία είναι τόσο υψηλή, που φτάνει 99,99% διαθεσιμότητα.
- ✓ Η μαζική συνδεσιμότητα διευκολύνει την ανάπτυξη πολύ πυκνών συνδέσεων ασύρματης επικοινωνίας, ώστε να συνδεθούν περισσότερες από 7 τρισεκατομμυρίων ασύρματες συσκευές.
- ✓ Η κινητικότητα των χρηστών μπορεί να φτάσει μέχρι 500 km/h.
- ✓ Δημιουργούν ασφαλές, αξιόπιστο και ανεξάρτητο διαδίκτυο με "μηδενικό" χρόνο αναμονής για παροχή υπηρεσιών.
- ✓ Ενεργοποιεί το προηγμένο έλεγχο ιδιωτικότητας από τον χρήστη.

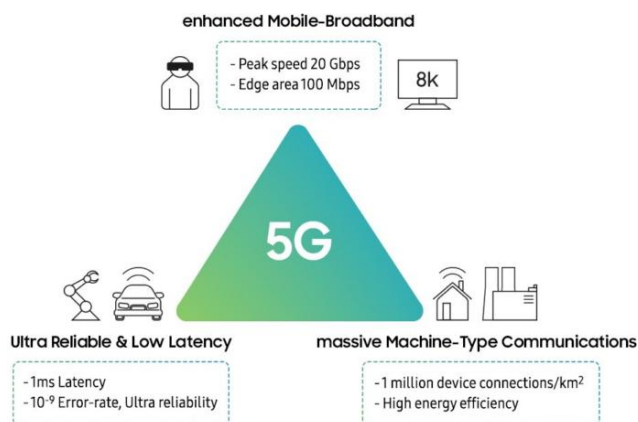
Αυτό, το υψηλών αποδόσεων δίκτυο, θα λειτουργεί σε ένα πλαίσιο, ώστε να αναπτυχθούν γρήγορα νέες εφαρμογές, όπως αυτές που λειτουργούν με αισθητήρες και ο χρόνος διαχείρισης του δικτύου θα μειωθεί κατά 20% σε σχέση με σήμερα. Επίσης, γίνεται πιο ελαφριά και πιο εύρωστη, η ασφάλεια και η ταυτοποίηση των χρηστών. Τέλος, οι υπηρεσίες, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για το δίκτυο θα αναπτυχθούν παρακάτω [5].



Σχήμα 1.4: Χαρακτηριστικά της τεχνολογίας 5G [5].

1.4 Υπηρεσίες του 5G NR

Για να παρέχονται όλα τα προηγούμενα χαρακτηριστικά στο έπακρο, το δίκτυο 5G, θα βασιστεί σε τρεις τεχνολογίες, eMBB (enhanced Mobile Broadband), URLLC (Ultra Reliable & Low Latency Communications) και mMTC (massive Machine-Type Communications).



Σχήμα 1.5: Υπηρεσίες της τεχνολογίας 5G [6].

eMBB (enhanced Mobile Broadband): Επιτρέπει στους χρήστες να κατεβάσουν μια ταινία των 15GB μεγάλου μήκους HD ταινία σε 6 δεύτερα, ενώ με τη σύνδεση 4G χρειάζεται 4 λεπτά. Επομένως, με το eMBB μπορούν να μεταδοθούν πολλά δεδομένα σε υψηλές ταχύτητες, δηλαδή η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης φτάνει μέχρι τα 20 Gbps (2.5 GB των δεδομένων ανά δευτερόλεπτο) [6].



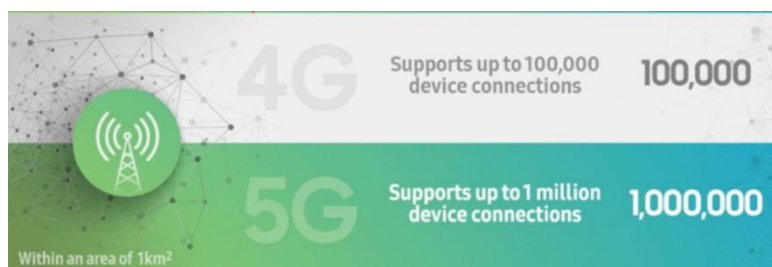
Σχήμα 1.6: Παράδειγμα της τεχνολογίας eMBB [6].

URLLC (Ultra Reliable & Low Latency Communications): Η τεχνολογία URLLC αποτρέπει έγκαιρα τις συγκρούσεις στα αυτόνομα αυτοκίνητα, τα οποία λειτουργούν σε δίκτυο 5G και το σήμα κινδύνου, για να σταματήσει, φτάνει με latency 1 ms. Επομένως, προσφέρει ένα σταθερό δίκτυο και πολύ μικρές καθυστερήσεις [6].



Σχήμα 1.7: Παράδειγμα της τεχνολογίας URLLC [6].

mMTC (massive Machine-Type Communications): Με αυτή την τεχνολογία εδραιώνεται η χρήση των IoT, γιατί επιτρέπει σε συσκευές, οι οποίες μπορεί να φτάσουν το 1 εκ. σε μια περιοχή του 1 km², να επικοινωνούν με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Επομένως, θα υποστηρίξει πολλές βιομηχανικές εφαρμογές [6].

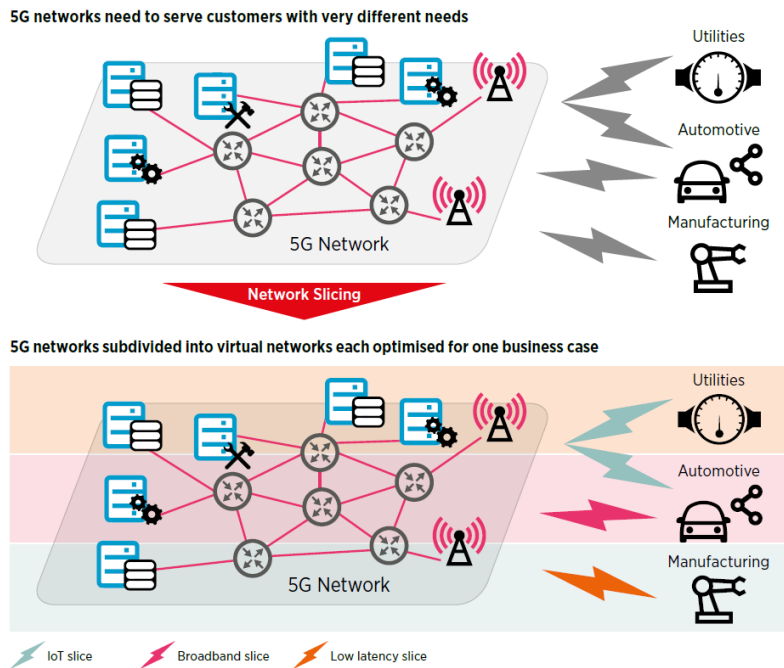


Σχήμα 1.8: Παράδειγμα της τεχνολογίας mMTC [6].

1.5 Network Slicing

Μια άλλη σημαντική διαφορά που θα έχει ένα 5G δίκτυο ,σε σχέση με τις άλλες γενιές δικτύων ,είναι η εικονικοποίηση του δικτύου. Το network slicing είναι ο χωρισμό του δικτύου, του παροχέα (provider), σε επιμέρους δίκτυα, για την καλύτερη υποστήριξη των εμπορικών πελατών (business customers) [7].

Η ιδέα ήταν, ανάλογα με τις ανάγκες του εμπόρου, ο provider θα έδινε το αντίστοιχο φυσικό δίκτυο, το οποίο δεν συμφέρει οικονομικά. Έτσι σκέφτηκαν να το υλοποιήσουν εικονικά. Ο provider χωρίζει τη φυσική υποδομή του δικτύου του με τη τεχνική της εικονικοποίησης (virtualization) και δίνει στον κάθε πελάτη ένα network slice. Το κάθε network slice είναι ανεξάρτητο end-to-end δίκτυο, τρέχει σε μια διαμοιραζόμενη φυσική υποδομή, είναι ένα ποιοτικό δίκτυο και οι πόροι που χρησιμοποιεί είναι από τη κοινόχρηστη φυσική υποδομή, όπως οι πόροι ενέργειας, μνήμης, δικτύου. Επίσης, ο έμπορος μπορεί να «τεμαχίσει», το network slice του, σε περισσότερα slices ανάλογα με τις εφαρμογές, που θέλει να υλοποιήσει.



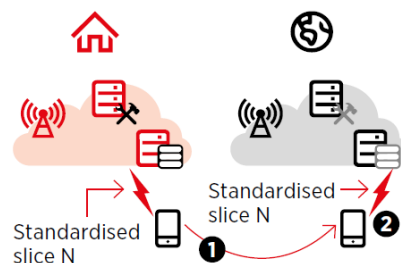
Σχήμα 1.9: Παράδειγμα network slicing σε ένα network slice ενός business customer [7].

1.5.1 Είδη δικτύωσης

Το network slice εμφανίζεται στο χρήστη σαν κανονικό δίκτυο και είναι ασφαλές [7]. Όμως, για να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητά της περιαγωγής (roaming), θα πρέπει το επισκεπτόμενο δίκτυο (visited network), που βρίσκεται ο roaming χρήστης, να είναι σαν το οικιακό του δίκτυο. Επίσης, το visited network είναι το μέρος του δικτύου του κάθε παροχέα, το οποίο χρησιμοποιείται μόνο από roaming χρήστες.

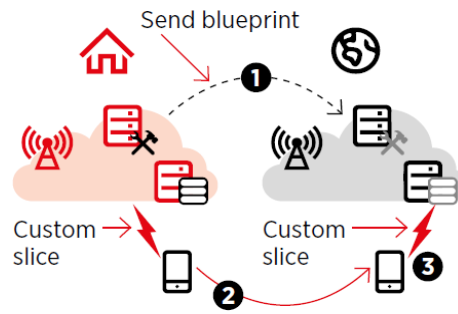
Με το network slicing, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι έχουν ξεκλειδώσει 3 καινούργιους τύπους μοντέλων για να μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ των πελατών, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω [7].

A. Standardized slice types: Έχει συμφωνηθεί παγκοσμίως ότι τα slices, τα οποία είναι για την περιαγωγή των συσκευών, υπάρχει αντίγραφό τους στο visited network.



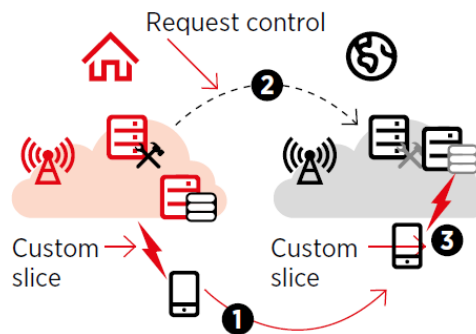
1. Η συσκευή περιφέρεται στο visited network.
2. Το visited network δημιουργεί το ίδιο standardised slice.

B. Network slicing blueprint export: Ο οικιακός provider (home operator) μεταφέρει το σχέδιο του slice στο visited network, για να το αρχικοποιήσει στη roaming συσκευή.



1. Ο home operator εξάγει το πρότυπο του slice.
2. Η συσκευή περιφέρεται στο visited network.
3. Το visited network δημιουργεί το ίδιο slice με αυτό του home operator.

Γ. Virtual home slice: Με άδεια από το visited network ο home operator αναλαμβάνει τους δικτυακούς πόρους του πρώτου.



1. Η συσκευή περιφέρεται στο visited network.
2. Το οικιακό δίκτυο (home network) ζητάει άδεια να ελέγξει το visited network.
3. Η συσκευή χρησιμοποιεί το ίδιο slice με αυτό στο home network.

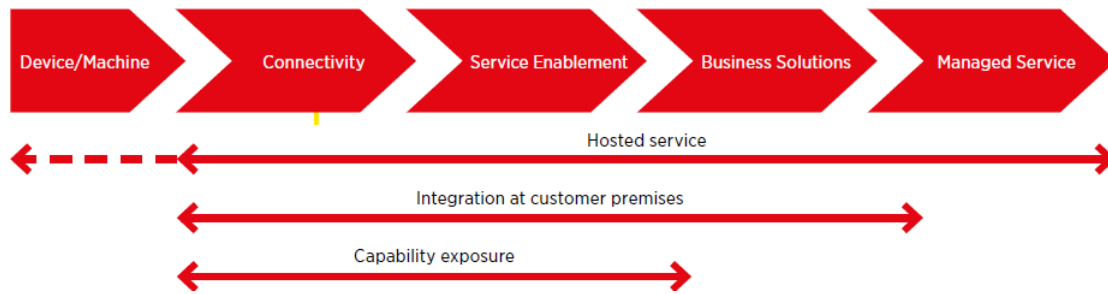
1.5.2 Business models

Hosting Application [7]: Ο provider φιλοξενούν εφαρμογές για επιχειρήσεις και συλλέγουν τα στοιχεία του δικτύου, τα οποία μπορεί να χρησιμοποιήσουν σε αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, για να προβλέψουν το μέλλον ή να εξάγουν δεδομένα και γενικά να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα και την απόδοση της εφαρμογής. Σε αυτή την περίπτωση, ο provider θα διασφαλίσει ότι τα κρίσιμα δεδομένα και οι διαδικασίες που γίνονται σε αυτό το network slice, θα είναι πλήρως απομονωμένα από τα άλλα slices, τα οποία τρέχουν στην ίδια υποδομή.

Capability exposure [7]: Ο provider προσφέρει στους business customers τη δυνατότητα να διαχειριστούν και να λάβουν πληροφορίες για το δίκτυο τους, όπως την οριοθέτηση, τις ρυθμίσεις, μέσω Application Programming Interfaces (APIs).

Integration in existing business processes [7]: Κάποιες επιχειρήσεις έχουν δικιά τους υποδομή δικτύου και μπορούν να την ενσωματώσουν σε ένα network slice.

Πιθανή αλυσίδα αξίας



Σχήμα 1.10: Αναπαράσταση της αλυσίδας αξίας απευθυνόμενο στους provider ανάλογα με το business model προσαρμοσμένο να το network slice του πελάτη [7].

1.5.3 Network Connection Service

Περιλαμβάνει τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζουν τη συμπεριφορά του slice, όπως τη τοπολογία και τη γεωγραφική διάδοση του [7]. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οποία μπορούν να ζητούν οι πελάτες από τον provider είναι τα παρακάτω:

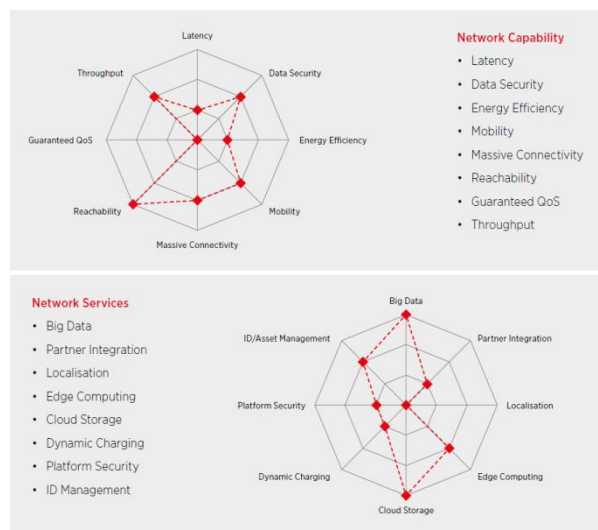
- Κοντινές real-time καθυστερήσεις (end-to-end delay) για υπηρεσίες που απαιτούν πολύ χαμηλές και σταθερές καθυστερήσεις.
- Σταθερή και αξιόπιστη υψηλή ταχύτητα upload/download.
- Αξιόπιστα SLA: ικανότητα του network slice για να παρέχει ένα επίπεδο end-to-end ασφάλεια στη ζητούμενη λειτουργικότητα του συστήματος και ζητούμενα απόδοσης με τη κατάλληλη Service Level Reporting (SLR) μέθοδο.
- Κάλυψη για να εξασφαλιστεί η χρήση της υπηρεσία σε όλα τα δίκτυα.
- Διαχείριση σύνδεσης συσκευών από μερικές μέχρι πολύ υψηλής πυκνότητας συσκευών/συνδέσεων και περιλαμβάνει συγκεκριμένη Device to Device (D2D) σύνδεση και/ή απαιτήσεις υλικού.
- Ακαθόριστη κινητικότητα για την αδιάκοπη υπηρεσία παράδοσης και σταθερής ποιότητας σε σενάρια με μεσαία έως υψηλή ταχύτητα (π.χ. τραίνα υψηλών ταχυτήτων, αεροπλάνα), σε ετερογενή δίκτυα (π.χ. 5G, WiFi), τα οποία ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους.
- Η απόδοση ενέργειας παρέχεται σε περιπτώσεις όπου ζητείται πολύ χαμηλή ενέργεια (π.χ. NB-IoT σενάρια) από τη πλευρά του δικτύου όπως και της συσκευής (π.χ. μικρή διάρκεια ζωής της μπαταρίας).
- Η ασφάλεια των δεδομένων, για να ικανοποιήσουν την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα, θα πρέπει να ισχύουν και για το μέλλον και για τα διάφορα ευαίσθητα δεδομένα (π.χ. εθνική ασφάλεια, απάτη/cyber crime).

1.5.4 Network Resource Service

Ο provider μπορεί να επιτρέπει τους εμπορικούς πελάτες, να διαχειρίζονται τους πόρους του δικτύου για τις εφαρμογές τους [7]. Εκτός από τους πόρους, το δίκτυο προσφέρει επιπλέον πλατφόρμες. Παρακάτω αναφέρονται κάποιες από αυτές τις πλατφόρμες:

- Η ανάλυση πολλών δεδομένων (big data analytics) προσφέρετε ως υπηρεσία, για να υποστηρίξει τη διαχείριση των δεδομένων, ώστε να οργανωθούν πολύπλοκες επεξεργασίες ή οικοσυστήματα.

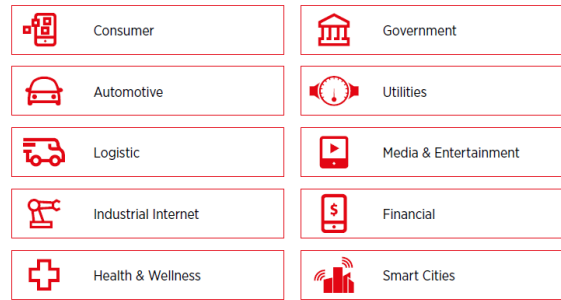
- Διαχείριση αγαθού για ασφαλισμένη, real-time, αυτόματη αυθεντικοποίηση μεταξύ των αγαθών/συσκευών/χρηστών, τα οποία συμπεριλαμβάνουν τη διαχείριση της ταυτότητας ως υπηρεσία.
- Η ασφάλεια της πλατφόρμας ως υπηρεσία προσφέρει ποικίλα επίπεδα ασφάλειας για να ικανοποιεί την ασφάλεια των δεδομένων και την ιδιωτικότητα τους για το μέλλον, στο οποίο μπορεί να συμπεριλαμβάνεται η αποθήκευση πολύ ευαίσθητων δεδομένων (π.χ. εθνική ασφάλεια, απάτη/cyber crime).
- Δυναμική χρέωση των real-time αλληλεπιδράσεων, οι οποίες προσαρμόζονται στις ανάγκες του πελάτη και της αγοράς.
- Με την υπολογιστική νέφους υπάρχει πάντα πρόσβαση στους πόρους του παροχέα, όπως στη μνήμη και στην ισχύ.
- Με το edge computing ενεργοποιεί πολύ γρήγορες αλληλεπιδράσεις/αποκρίσεις στα κατανεμημένα συστήματα και στην αποθήκευση δεδομένων των υπηρεσιών, τα οποία χρειάζονται μικρές καθυστερήσεις.
- Εύκολη ενσωμάτωση συνεργατών.
- Η τοποθέτηση της πλατφόρμας να είναι υπηρεσία στην οποία καθορίζονται τα ζητούμενα της υπηρεσίας, όπως η ακρίβεια και η συχνότητα.
- Τα APIs παρέχουν διαφορετικές ικανότητες σε κάθε καθετοποιημένο τομέα ,όπως η προσαρμογή της γεωγραφικής διάδοσης του slice και να προβλέπουν τα διαφορετικά είδη των πληροφοριών από διαφορετικές πηγές, όπως να μελετήσουμε τη ποιότητα της υπηρεσίας, τις συνθήκες του δικτύου.



Σχήμα 1.11: Προσαρμογή του network slicing [7].

1.5.5 Τι προσφέρει το Network Slicing

Με το network slicing, οι επαγγελματίες πελάτες μπορούν να ρυθμίσουν του δικτύό τους ανάλογα με τις απαιτήσεις τους, το οποίο θα είναι οικονομικά αποδοτικό, έγκαιρο και αποτελεσματικό σύμφωνα με το SLA [7].



Σχήμα 1.12: Βιομηχανικοί τομείς στους οποίους θα εφαρμοστεί το Network Slicing [7].

Παράδειγμα 1: Automotive slice(s) [7]

Ένα μοντέρνο «συνδεδεμένο» όχημα απαιτεί πολύ ευέλικτο δίκτυο, το οποίο να υποστηρίζει υψηλό throughput στην in-car ψυχαγωγία, υψηλή αξιοπιστία και μικρές καθυστερήσεις (URLLC) για υποβοηθούμενη/αυτόνομη οδήγηση, συλλέγοντας δεδομένα και αναλύσεις από αισθητήρες τηλεμετρίας, από συσκευή σε συσκευή επικοινωνία και άλλες λειτουργίες. Η υπηρεσία θα πρέπει να υποστηρίζεται, καθώς ο χρήστης μετακινείται μεταξύ διαφορετικών παροχών (π.χ. διεθνές roaming) και πρέπει να βελτιωθεί. Όλες αυτές οι διαφορετικές υπηρεσίες θα εξυπηρετηθούν από διαφορετικό επιχειρηματικό πακέτο.

Παράδειγμα 2: Industry automation [7]

Ένα εργοστάσιο μπορεί να ζητήσει ένα URLLC slice από τον παροχέα για βιομηχανική αυτόματη παραγωγή, η οποία επιτρέπει στα ρομπότ στη γραμμή παραγωγής να ελέγχονται και να παρακολουθούνται. Το σύστημα διαχείρισης και παρακολούθησης αναπτύσσεται από τους βιομηχανικούς κατασκευαστές και τους συστήνεται να το εφαρμόσουν σε edge data center, ως μια εφαρμογή σε edge computing, μέσω ανοιχτού interface του παροχέα.

Παράδειγμα 3: Slice for the enterprise network [7]

Σε ένα παραδοσιακό δίκτυο η ασφάλειά του εξασφαλίζεται από την εγκατάσταση ιδιωτικού δικτύου ή με επιπρόσθετες μεθόδους αυθεντικοποίησης στο επίπεδο service. Ενώ στο network slice, η αυθεντικοποίηση θα γίνεται κατά τη πρόσβαση σε αυτό, με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται πλέον το ιδιωτικό δίκτυο. Για παράδειγμα, μια εταιρεία ταξί χρειάζεται ένα network slice για να ελέγχει και να αλληλεπιδρά με τα οχήματα.

Παράδειγμα 4: Slice for massive IoT [7]

Η δυσκολία της διαχείρισης του δικτύου θα αυξηθεί, αν υπάρχουν διαφορετικά μεγάλα IoT τερματικά στο γενικό δίκτυο. Οι πάροχοι μπορούν να δημιουργήσουν διαφορετικά slice για διαφορετικούς IoT χρήστες. Αυτά τα slice θα έχουν ειδικές λειτουργίες για τη φόρτιση και τη διαχείριση τους, κάνοντας τη διαχείριση του δικτύου ευκολότερη και αναπτύσσεται γρηγορότερα. Για παράδειγμα, στα MTC θα χρειαστούν ένα ογκώδες network slice για IoT με το οποίο θα ελέγχουν και θα διαχειρίζονται real-time χαρακτηριστικά. Η συλλογή των δεδομένων θα γίνεται με ογκώδη τερματικά (Machine Type Communications), τα οποία θα αναλύονται και θα προβάλλουν πληροφορίες στους χρήστες. Επίσης, με ένα πιο ειδικό network slice, μπορούν να υποστηρίξουν πολλούς συλλέκτες πληροφοριών και να πετύχουν υψηλότερη απόδοση με χαμηλότερο κόστος.

Παράδειγμα 5: AR/VR live broadcast [7]

Οι ειδήσεις, τα αθλητικά ή οι συναυλίες μπορούν να μεταδίδονται ζωντανά και οι χρήστες θα μπορούν να συνδέονται μέσω επαυξημένης ή εικονικής πραγματικότητας (Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR)) τεχνολογίας. Η AR/VR ζωντανή μετάδοση υπηρεσία απαιτεί ένα δίκτυο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- One-to-many downlink συνδέσεις: Θα πρέπει το δίκτυο να υποστηρίζει συγκεκριμένες λειτουργίες. Για παράδειγμα, στο core δίκτυο του 5G, απαιτείται λειτουργίες πολυμεσικής μετάδοσης υπηρεσιών, σε ένα ασύρματο δίκτυο απαιτείται μια πολύ-κυβελοειδές συντονιστική λειτουργία για broadcast/multicast μεταδώσεις. Για την IP backhaul θα πρέπει να είναι IP με multicast εφαρμογή. Αυτές οι απαιτήσεις είναι διαφορετικές μέσα σε ένα τυπικό δίκτυο, π.χ. στο enhanced Mobile Broadband (eMBB).
- High Density Computing: Η VR/AR τεχνολογία απαιτεί υπολογιστική υψηλής πυκνότητας για να ανταπεξέλθει στην επεξεργασία των AR/VR βίντεο.
- QoS προαπαιτούμενα: για να εξασφαλιστεί η εμπειρία του χρήστη και μεταδοθεί ζωντανά ένα τυπικό AR/VR πρόγραμμα απαιτείται 1Gbps εύρος ζώνης και 10ms ~ 40 ms καθυστέρηση.

Τα δύο τελευταία θα πρέπει να υποστηρίζουν υπηρεσίες με immersive video. Η παραπάνω κατηγορία θα αναλυθεί και περαιτέρω στα επόμενα κεφάλαια.

Παράδειγμα 6: Service continuity across multiple networks [7]

Οι μελέτες περίπτωσης (use cases) του 5G βασίζονται στο ότι θα είναι πάντα διαθέσιμο το δίκτυο και οι υπηρεσίες και δεν χρειαστούν ειδικές συμφωνίες μεταξύ των παροχών, κυρίως για την Ευρώπη και τα ομοσπονδιακά κράτη [7]. Για παράδειγμα, οι μελέτες περίπτωσης, οι οποίες σχετίζονται με οχήματα (V2X use cases), επειδή μετακινούνται από τη μια χώρα στην άλλη, χρειάζεται να αλλάζει παροχέα. Έτσι μπορούν για αυτές τις εφαρμογές να χρησιμοποιούν το visited network του κάθε παροχέα.

V2X: Η επικοινωνία του οχήματος με την οδική υποδομή (V2I – Vehicle-to-Infrastructure), με τον backend server του κατασκευαστή, το Διαδίκτυο (V2N – Vehicle-to-Network), το πεζό (V2P – Vehicle-to-Pedestrian) [7].

1.6 Συνδυασμός του 5G NR με άλλες τεχνολογίες

1.6.1 Software Defined Network (SDN)

Το SDN είναι μια καινούργια δομή δικτύου, η οποία είναι η βάση για τις προσφερόμενες λειτουργίες του 5G NR. Η εικονικοποίηση του SDN, στο 5G NR, επιτρέπει στους διαχειριστές να ελέγχουν και να αλλάζουν το δίκτυο από απόσταση [8]. Το 5G NR μπορεί, να αποθηκεύσει τη cache σε προσωρινή μνήμη, το οποίο απαιτεί έναν SDN ελεγκτή για τη διαχείριση της κυκλοφορίας, που έχει πρόσβαση στην προσωρινή μνήμη και ενορχηστρώνει τον τρόπο επικοινωνίας των συσκευών με το δίκτυο. Τέλος, επιτρέπει την αυτοματοποίηση, τη δημιουργία νέων υπηρεσιών, οι οποίες χρησιμοποιούν εικονοποιημένους πόρους, χαμηλότερο κόστος και υψηλό bandwidth.

1.6.2 Network functions virtualization (NFV)

Το NFV θα εικονοποιήσει την υποδομή δικτύου του 5G για έχει απόδοση και χειρισμό. Με το NFV το 5G NR αποκτά τα πλεονεκτήματα του λογισμικού, για να ανταποκρίνεται στις προσδοκίες των φορέων της βιομηχανίας [9]. Το NFV επιτρέπει τον τεμαχισμό του δικτύου σε δίκτυα 5G, όπου ένα εικονικό δίκτυο τοποθετείται πάνω από τη φυσική υποδομή και μετά διαχωρίζεται για διαφορετικές εφαρμογές και χρήσεις με βάση το ζητούμενο. Τέλος, η χρήση της τεχνολογίας NFV σε ένα καταναμημένο σύννεφο φέρνει μαζί της επεκτασιμότητα, ανθεκτικότητα και ανοχή σφαλμάτων.

1.6.3 Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)

Η τεχνητή νοημοσύνη προσφέρει σε όλα τα μέρη του δικτύου 5G, από την αρχιτεκτονική, μέχρι τους καθιερωμένους τομείς, όπως στην υγεία, στη βιομηχανία, στα media κλπ [10]. Οι τεχνολογίες, οι οποίες χρησιμοποιούν AI, όπως η ρομποτική, η deep learning και η μηχανική μάθηση, θα προσφέρουν στους χρήστες ευκολότερες λύσεις. Η AI θα βοηθήσει στη λειτουργία του network slicing, θα χρησιμοποιηθεί στα απομακρυσμένα χειρουργεία, στη διαχείριση των έξυπνων πόλεων, στα ημι-αυτόνομα αυτοκίνητα και στη πολιτική προστασία.

1.6.4 Big Data Analysis

Το δίκτυο 5G, λόγω των πολλών εφαρμογών, του υψηλού bandwidth και της μαζικής συνδεσιμότητας, διαχειρίζεται μεγάλο όγκο δεδομένων, τα οποία θα πρέπει να συγκεντρώσει, να συγχωνεύσει, να μοντελοποιήσει και να εξορύξει [10]. Με τον κλάδο του big data analysis, οι φορείς θα μπορούν να διαχωρίσουν τα δεδομένα και να αποστείλουν εγκαίρως τα μηνύματα στους παραλήπτες τους.

1.6.5 Cloud & Edge Computing

Με την τεχνολογία cloud computing, η φυσικώς διασκορπισμένη υπολογιστική ισχύς μπορεί να ενσωματωθεί και να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων με το χαμηλότερο δυνατό κόστος, με τις υψηλότερες δυνατές αποδόσεις [10]. Ενώ, με το edge computing, η γρήγορη, τοπική επεξεργασία για παρακολούθηση βίντεο υψηλής ευκρίνειας (UHD), AR / VR, στο συνδεδεμένο όχημα και σε άλλες εφαρμογές θα μειώσει την καθυστέρηση πρόσβασης και θα εξυπηρετήσει καλύτερα τις ανάγκες των χρηστών.

1.6.6 Blockchain

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας 5G και το blockchain μπορεί, να εφαρμοστεί στον έλεγχο της ταυτότητας των πληροφοριών, στη διαχείριση τοποθεσίας και ταυτοποίησης, καθώς και στην κοινή χρήση φάσματος κ.λπ. Άρα, η τεχνολογία blockchain προσφέρει περισσότερη ασφάλεια στα δεδομένα, τα οποία διακινούνται στο δίκτυο 5G [10].

1.6.7 Content Distribution Networks (CDN)

Το Content Distribution Networks ή Content Delivery Network (CDN) είναι ένα γεωγραφικά καταναμημένο δίκτυο από proxy servers και τα data centers τους [11]. Παρέχει υψηλή διαθεσιμότητα και απόδοση στους τελικούς χρήστες. Πολλές εταιρίες, οι οποίες ασχολούνται με πολυμέσα και πωλήσεις, χρησιμοποιούν τα CDNs, για να μεταδίδουν το περιεχόμενό τους. Στη συνέχεια, τα CDNs πληρώνουν τους ISPs, carriers και τους παρόχους.

Η τεχνολογία αυτή θα βοηθήσει τις εφαρμογές 5G, να μεταδίδουν σωστότερα τις υπηρεσίες τους, στους τελικούς χρήστες.

1.7 Τα αγαθά του 5G

Σύμφωνα με τον Οργανισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Ασφάλεια Δικτύων και Πληροφοριών (ENISA) τα αγαθά (assets) ενός οργανισμού είτε το καθένα ξεχωριστά είτε όλα μαζί έχουν αξία και θα πρέπει να προστατεύονται [12]. Τα ψηφιακά αγαθά (digital assets) μπορεί να δεχθούν επίθεση από threats agents, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε άνθρωποι είτε λογισμικό. Άρα αυτές οι απειλές θέτουν κινδύνους (risks) στα αγαθά.

Τα αγαθά ενός ICT μπορεί να είναι:

- Το υλικό, το λογισμικό και τα διάφορα εξαρτήματα επικοινωνίας,
- οι τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις μεταξύ στους,
- τα δεδομένα του συστήματος,
- τη φυσική και την οργανωτική δομή του συστήματος 5G,
- οι ανθρώπινοι παράγοντες που αλληλεπιδρούν με το σύστημα και μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία του (π.χ. users, system administrators κλπ.).

1.7.1 Οι κατηγορίες των αγαθών

Στο παρόν μέρος θα κατηγοριοποιηθούν τα 5G αγαθά, τα οποία αναφέρθηκαν προηγουμένως, θα αναλυθούν ως προς τους κινδύνους που μπορεί να εκτεθούν, με τη βοήθεια των αρχών της ασφάλειας [12]. Οι αρχές της ασφάλειας είναι τρεις: Εμπιστευτικότητα (Confidentiality), Ακεραιότητα (Integrity), Διαθεσιμότητα (Availability) (CIA triad).

Πρώτα, σύμφωνα με τον οργανισμό ENISA, παρατίθενται κάποιες από τις κατηγορίες και μετά παρουσιάζονται όλες σε ένα διάγραμμα [12]:

Policy: Η πολιτική ελέγχου λειτουργιών (PCF) καθορίζει τη χρήση και τις χρεώσεις που έχει ο χρήστης όταν καταναλώνει τους πόρους του δικτύου. Οι συναρτήσεις αυτές εφαρμόζονται στον έλεγχο ροής δεδομένων, στο gating και στη παρακολούθηση του QoS.

Management processes: Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται τα αγαθά, τα οποία συμβάλλουν στην ρύθμιση (configuration), στη διαχείριση δικτύου (network management), στη διαδικασία ανάπτυξης λογισμικού (software development process), στη συνοχή (continuity), τα κλειδιά και τα δικαιώματα διαχείρισης (key and access rights management).

Business applications: είναι τα αγαθά που περιέχονται στα συστήματα BSS και OSS, τα οποία σχετίζονται με τη διαχείριση των πελατών στο δίκτυο και θα υλοποιηθούν μέσω λειτουργιών ελέγχου πολιτικής. Θα πρέπει να συντηρούνται αυτά τα αγαθά γιατί περιέχουν δεδομένα σχετικά με το χρήστη, το δίκτυο και μπορούν να γίνουν στόχος για επιθέσεις.

Business services: Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα αγαθά που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με υπηρεσίες που προσφέρουν έσοδα στον τηλεπικοινωνιακό πάροχο, όπως σε επιχειρηματικές, κυβερνητικές, κρίσιμες και έκτατες υπηρεσίες.

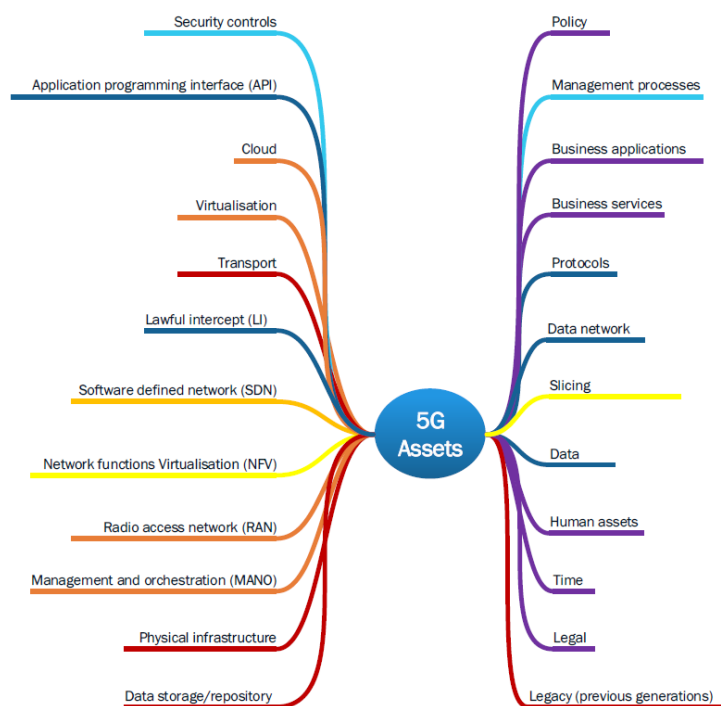
Protocols: Περιλαμβάνονται τα κύρια πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στη δομή του 5G, όπως αυτά σε επικοινωνίες δικτύου, ραδιοεπικοινωνίες και στην ασφάλεια. Κάποιες γνωστές επιθέσεις είναι η αναγνώριση (reconnaissance), η υποκλοπή (eavesdropping), η SYN flood, η replay και οι επιθέσεις man-in-the-middle.

Data network: Αυτά τα αγαθά παρουσιάζουν τη συνδεσιμότητα με εξωτερικά δεδομένα, περιεχόμενο, υπηρεσίες και άλλες πηγές εκτός του 5G δικτύου. Το data center χρησιμοποιείται και για να διασυνδέονται δίκτυα 5G από διαφορετικούς παρόχους.

Slicing: Η ομάδα των αγαθών, που παρουσιάζει όλες τις 5G υπηρεσίες, οι οποίες ευθύνονται για την δημιουργία και τη διαχείριση του διαμερισμού (slicing). Τα κομμάτια (slices), που προκύπτουν, είναι εικονικά ανεξάρτητα δίκτυα, που διεκπεραιώνουν την επικοινωνία του δικτύου μεταξύ του εξοπλισμού του χρήστη και των 5G υπηρεσιών. Τα slices είναι end-to-end συνδέσεις που είναι εικονικά πεπλεγμένες και χαρτογραφούνται σε πόρους της πλατφόρμας εικονικού - φυσικού δικτύου. Το slicing είναι ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των 5G δικτύων γιατί βοηθάει στο low latency.

Data: Περιέχονται όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τα δεδομένα του χρήστη, πληροφορίες του συστήματος και των ρυθμίσεων του, δεδομένα που σχετίζονται με την ασφάλεια και τις πληροφορίες του δικτύου, όπως (configuration, edge, logs, API-data, SDN-data, κλπ.).

Human assets: Εδώ αναφέρονται όλοι οι άνθρωποι που χρησιμοποιούν το δίκτυο όπως το προσωπικό, τους τρίτους και τους τελικούς χρήστες (end-users). Τα διαπιστευτήρια του προσωπικού και των τρίτων σχετίζονται με αυτό του διαχειριστή. Όλοι οι άνθρωποι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, μπορεί να αποτελέσουν εσωτερική απειλή, να διαρρεύσουν πληροφορίες και να προκληθούν ακούσιες ζημιές λόγω σφαλμάτων.



Σχήμα 1.13: Όλες οι κατηγορίες των 5G αγαθών [12].

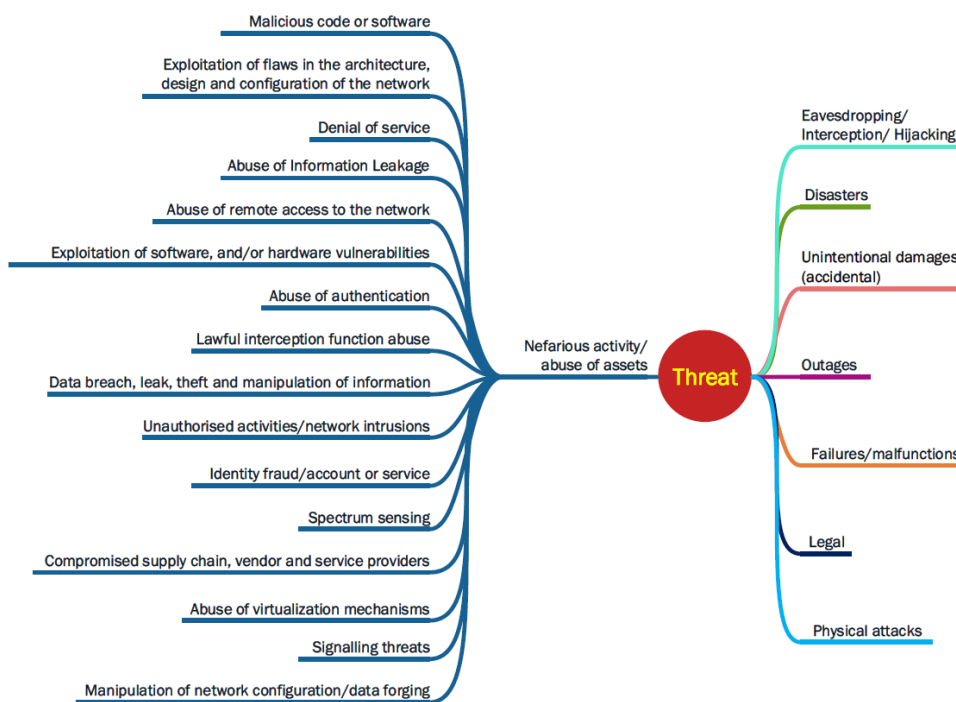
1.8 Οι κίνδυνοι στο 5G

Οι απειλές (threats) στη τεχνολογία 5G αφορούν όλα τα μέρη του δικτύου του (core, access, edge) και μπορεί είναι IP-based threats. Επίσης, κληρονομεί τους κινδύνους από τις 2/3/4G γενιές και από την τεχνολογία εικονικοποίησης [12].

Ο οργανισμός ENISA κατατάσσει τις απειλές ανάλογα με το είδος της απειλής και σε ποιο μέρος του δικτύου συμβαίνει η απειλή. Παρακάτω παρατίθενται μερικές από τις κατηγορίες απειλών.

Eavesdropping/Interception/ Hijacking (EIH): Ενέργειες που έχουν σκοπό να ακούσουν, να διακόψουν ή να λάβουν τον έλεγχο επικοινωνίας τρίτων χωρίς συγκατάθεση. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι core network, access network και multi-edge computing απειλές.

Physical attacks (PA): Ενέργειες που σκοπεύουν να καταστρέψουν, να αποκαλύψουν, να αλλάξουν, να χαλάσουν, να κλέψουν ή να αποκτήσουν μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε φυσικά αγαθά όπως στην υποδομή, στο υλικό ή στο δίκτυο. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι physical infrastructure απειλές.



Σχήμα 1.14: Παρουσίαση απειλών στη τεχνολογία 5G [12].

1.9 Οικονομικά στοιχεία

1.9.1 GSMA

Ο οργανισμός GSM (Global System of Mobile Communications ή Groupe Spécial Mobile) παρουσιάζει όλες τις τεχνολογίες που αναπτύσσουν οι επιχειρήσεις παγκοσμίως και ασχολούνται με την κινητή τηλεφωνία. Κάθε χρόνο ο GSM εκδίδει διάφορες οικονομικές αναλύσεις σχετικά με τις δαπάνες που έκαναν οι εταιρείες για την αναβάθμιση της κινητής τεχνολογίας, οι οποίες μπορεί να είναι σε παγκόσμια κλίμακα ή σε επίπεδο ηπείρου.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν στοιχεία από την αναφορά του 2020 για την παγκόσμια οικονομία.

Σύμφωνα με τον GSM [13], το 2019, οι κινητές τεχνολογίες και υπηρεσίες προσέφερε 4,1 τρισ. δολάρια στην παγκόσμια οικονομία, δηλαδή το 4,7% του παγκόσμιου ΑΠΕ και μέχρι το 2024 αναμένεται να φτάσει τα 5 τρισ. δολάρια, δηλαδή το 4,9% του παγκόσμιου ΑΠΕ, γιατί θα αυξηθούν οι τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Επίσης, οι 5G τεχνολογίες αναμένετε να συνεισφέρουν 2.2 τρισ. δολάρια στη παγκόσμια οικονομία μεταξύ των ετών 2024-2034.

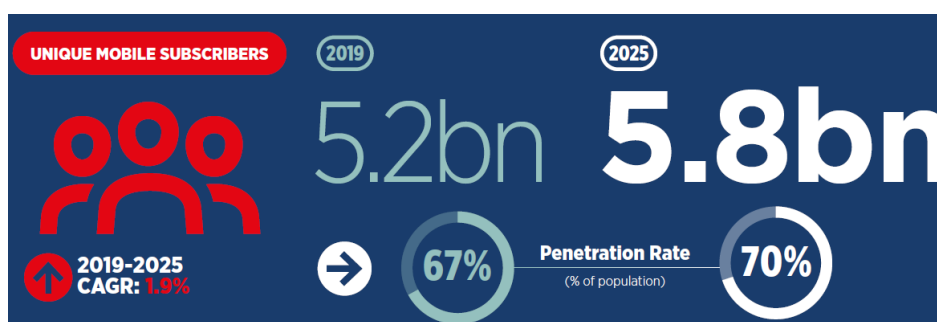
1.9.2 Συνεργασία κυβερνήσεων με επιχειρήσεις

Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό οι κυβερνήσεις να συνεργαστούν με τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών γιατί υπάρχουν κάποιοι τομείς, οι οποίοι θα πρέπει να οργανώσουν πολιτικές και κανονισμούς, όπως [13]:

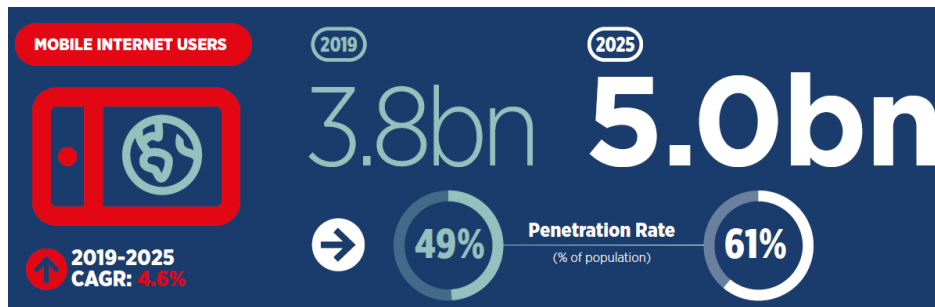
1. Η απόδοση του δικτύου: καθώς αναβαθμίσουν οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι την υποδομή του δικτύου, η δημόσια διοίκηση θα πρέπει να βοηθάει στην ενίσχυση του, όπως να απλοποιήσουν τις διαδικασίες για την τοποθέτηση ή αναβάθμιση των base stations και μικρών cells.
2. Η πολιτική για το φάσμα που θα εκπέμπει το 5G.
3. Οι δημόσιες αρχές μπορούν να προωθήσουν το 5G σε εμπορική χρήση με την χρήση εξελιγμένων εφαρμογών, όπως AI, IoT σε όλους τους οικονομικούς τομείς.
4. Να διασφαλιστεί ότι η τεχνολογία 5G είναι έμπιστη και οι καταναλωτές θα μπορούν να τη χρησιμοποιούν, όπως η διαφύλαξη των προσωπικών δεδομένων.

1.9.3 Παγκόσμια αγορά σε νούμερα

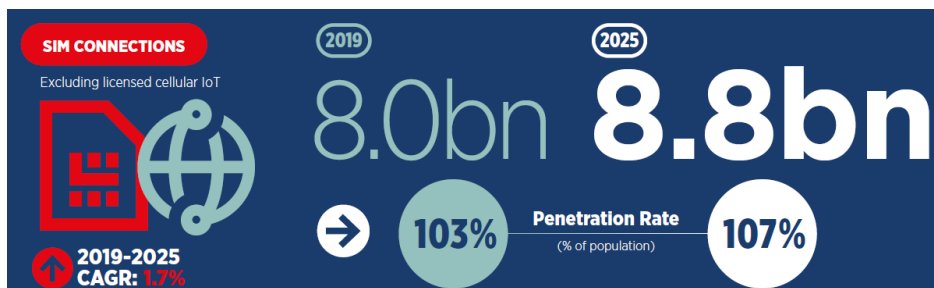
Ο οργανισμός GSMA έχει δημοσιεύσει κάποια στατιστικά σχετικά με τον αριθμό των εγγεγραμμένων χρηστών, τις συσκευές, τις συνδέσεις και τις επενδύσεις μέχρι το 2025, για κατά πόσο θα επηρεαστεί η οικονομία από την ανάπτυξη της τεχνολογίας, σε σχέση με το παγκόσμιο πληθυσμό [13].



Σχήμα 1.15: Ο αριθμός των μοναδικών χρηστών αναμένεται να φτάσει τους 5,8 δις, δηλαδή το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού.



Σχήμα 1.16: Ο αριθμός των μοναδικών χρηστών, οι οποίοι χρησιμοποιούν το διαδίκτυο αναμένεται να φτάσει τους 5,0 δις, δηλαδή το 61% του παγκόσμιου πληθυσμού.



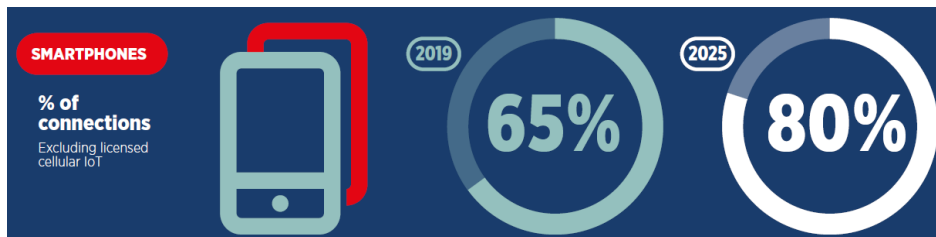
Σχήμα 1.17: Ο αριθμός των συνδέσεων SIM αναμένεται να φτάσει τις 8.8 δις, δηλαδή το 107% του παγκόσμιου πληθυσμού.



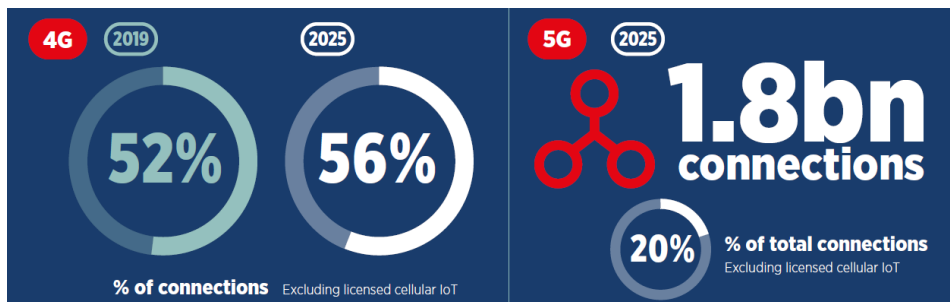
Σχήμα 1.18: Οι επενδύσεις στην αναβάθμιση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας αναμένεται να φτάσει τα 1.14 τρις \$.



Σχήμα 1.19: Οι συνδέσεις IoT αναμένεται να φτάσουν τις 24.6 δις.



Σχήμα 1.20: Ο αριθμός των συνδέσεων από smartphone αναμένεται να φτάσει το 80% όλων των συνδέσεων.



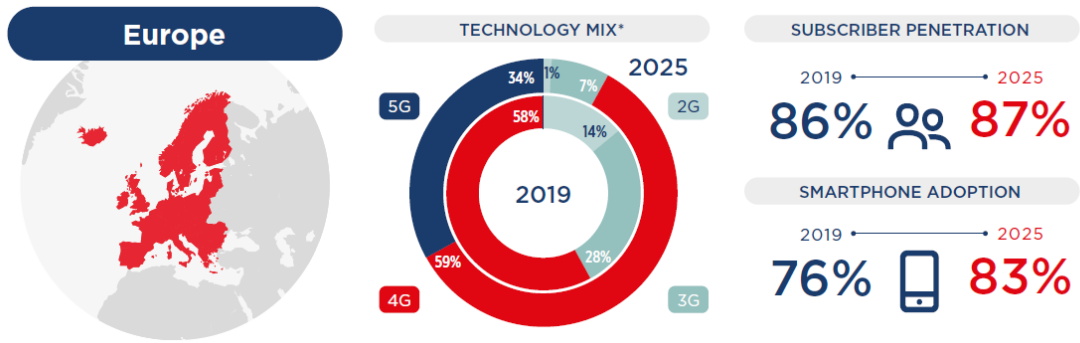
Σχήμα 1.21: Ο αριθμός των συνδέσεων με 4G αναμένεται να φτάσει το 56% και με 5G το 20% όλων των συνδέσεων.



Σχήμα 1.22: Η συνεισφορά των κινητών επικοινωνιών στο παγκόσμιο ΑΕΠ φτάνει τα 4.9 τρις \$, δηλαδή το 4.9% του ΑΕΠ.

1.10 Η αγορά των κινητών επικοινωνιών ανά τον κόσμο

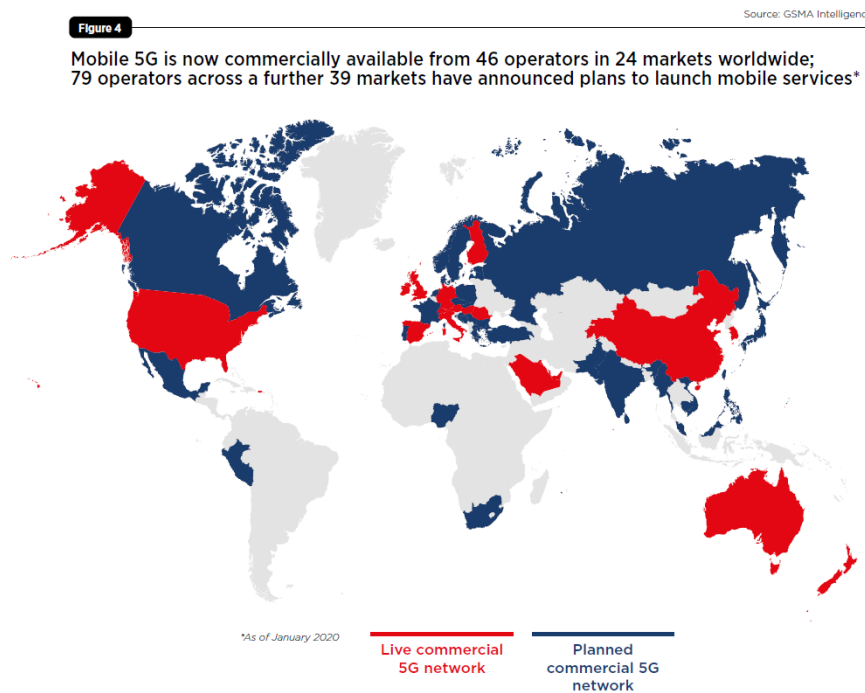
Σύμφωνα με το σχήμα 1.23, στην Ευρώπη οι συνδέσεις 4G κυριαρχούν σε σχέση με τις δύο προηγούμενες γενεές 2G,3G. Το 2025, όμως το 2G και 3G θα έχει μηδενιστεί η χρήση τους και το 35% των επικοινωνιών θα καλύπτεται από το 5G.



*% of mobile connections excluding licensed cellular IoT
 Note: totals may not add up due to rounding

Σχήμα 1.23: Το μέλλον των κινητών τεχνολογιών μέχρι το 2025 [13].

Σύμφωνα με το σχήμα 1.24, το 5G NR λειτουργεί εμπορικά από 2019 σε κάποιες χώρες, αλλά στις περισσότερες χώρες θα λειτουργήσει εμπορικά μετά το 2021.



Σχήμα 1.24: Τα δίκτυα 5G ανά χώρα [13].

Κεφάλαιο 2: 5G και Vertical Industries

Οι προηγούμενες γενεές κινητής τεχνολογίας αρχικά ικανοποιούσαν τις ανθρώπινες επικοινωνίες (human communications) στη φωνή, τα δεδομένα και το Διαδίκτυο [14]. Από την άλλη πλευρά, η τεχνολογία 5G New Radio (NR) στοχεύει εξίσου στις βιομηχανικές επικοινωνίες (industrial communications) για να ψηφιοποιήσει την οικονομία και να συμβάλλει στον παγκόσμιο ψηφιακό μετασχηματισμό. Αυτοί, οι οποίοι θα την υιοθετήσουν κυρίως, είναι οι καθιερωμένοι τομείς (vertical sectors) όπως η μεταφορά, τα μέσα ενημερώσεις και η κατασκευή.

Για την ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G NR εμπλέκονται παρά πολλές εταιρείες, οι οποίες σχετίζονται με τους παραπάνω τομείς. Αυτές είναι αυτοκινητοβιομηχανίες, εταιρείες τηλεφωνίας και μέσα μαζικής ενημέρωσης από όλο τον κόσμο.

Σύμφωνα με τον οργανισμό 5G PPP, οι καθιερωμένοι τομείς είναι [14]:

- Automotive
- Manufacturing
- Media
- Energy
- e-Health
- Public Safety
- Smart City

Στα επόμενα υποκεφάλαια θα γίνει ανάλυση αυτών και για τον τομέα των Media, θα γίνει εκτενής ανάλυση στο επόμενο κεφάλαιο.

2.1 Automotive

Η τωρινή τεχνολογία στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας έχει προσφέρει διάφορες καινοτομίες, όπως τους αισθητήρες παρκαρίσματος, τις έγκυρες προειδοποιήσεις για οποιαδήποτε βλάβη στο όχημα κλπ [4]. Επίσης, η υπηρεσία emergency call (eCall), η οποία δίνεται από τις εταιρείες, συνδέει το όχημα με τον τηλεπικοινωνιακό παροχέα και με το European Global Navigation Satellite System (E-GNSS) λαμβάνεται η τοποθεσία του. Έτσι, το eCall σηματοδοτεί την αρχή της υιοθέτησης συνδεδεμένων υπηρεσιών σε μεγαλύτερη κλίμακα.

Τα οχήματα θα έχουν αισθητήρες, θα συνδέονται στο Διαδίκτυο, θα προχωρήσουν σε υψηλότερα επίπεδα αυτοματισμού και θα ανταλλάσσουν πληροφορίες και θα συνεργάζονται με τα γειτονικά τους οχήματα, για να προλαμβάνουν διάφορα οδικά προβλήματα.

Η τεχνολογία 5G NR μπορεί να προσφέρει και άλλες υπηρεσίες στην αυτοκινητοβιομηχανία, λόγω των ανωτέρω προτερημάτων που έχουν αναφερθεί, όπως χαμηλό latency, πιο αυξημένη αξιοπιστία και προσφέρει υψηλό throughput σε μεγάλη κινητικότητα και πυκνότητα του δικτύου.

Στην Ευρώπη οι εταιρείες που ασχολούνται με την ανάπτυξή της, είναι [4]:

Κατηγορία	Οργανισμός
Κατασκευαστές Αυτοκινήτων	<ul style="list-style-type: none"> • Volkswagen AG • Volvo Car Corporation • PSA Peugeot Citroën
Προμηθευτές	Robert Bosch GmbH
Τηλεπικοινωνιακοί Πάροχοι	<ul style="list-style-type: none"> • Orange SA • Vodafone Group R&D • DoCoMo Communications Laboratories Europe GmbH
Τηλεπικοινωνιακοί Πωλητές	<ul style="list-style-type: none"> • Samsung Electronics R&D Institute UK • Qualcomm • Nokia Networks • Alcatel-Lucel Deutschland AG • Ericsson AB • Huawei Technologies, European Research Center (ERC)
Κέντρα Ερευνών	<ul style="list-style-type: none"> • Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC) • King's College London • National and Kapodistrian University of Athens • Eurescom • Technische Universität Dresden
Άλλοι	<ul style="list-style-type: none"> • ERTICO – ITS Europe • InterDigital Europe, Ltd.

Πίνακας 2.1: Εταιρείες και οργανισμοί στον τομέα Automotive.

2.1.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR

Όσον αφορά τις πληροφορίες οδικής ασφάλειας, το 5G NR προβλέπεται να βελτιώσει την αξιοπιστία του δικτύου, με 10^{-5} ποσοστό απώλειας πακέτου (packet loss rate) για υπηρεσίες που είναι κρίσιμες για την ασφάλεια, ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι για ορισμένες περιπτώσεις χρήσης βιομηχανικού αυτοματισμού, οι οποίες έχουν διαφορετικές συνθήκες και απαιτήσεις από τη χρήση οδικής ασφάλειας περιπτώσεις, ενδέχεται να απαιτείται αξιοπιστία δικτύου 10^{-9} ποσοστών απώλειας πακέτων για 5G NR [4]. Για την αυτοματοποιημένη οδήγηση, το 5G NR θα παρέχει 1ms καθυστέρηση μέσω αέρα (5G NR Infrastructure Association, February 2015) (NGMN Alliance, February 2015), με λανθάνοντα χρόνο end-to-end 5ms ανάλογα με τον τύπο της υποδομής (Uu transport) και λανθάνοντα χρόνο end-to-end 1ms ανάλογα με τον τύπο μετάδοσης (PC5 transport).

Uu transport: Μετάδοση δεδομένων V2X από πηγή UE (π.χ. όχημα) σε προορισμό UE (π.χ. άλλο όχημα, οδική υποδομή, πεζό, κ.λπ.) μέσω του eNB μέσω της συμβατικής διεπαφής Uu (uplink και downlink) [4].

PC5 transport: Μετάδοση δεδομένων V2X από μια πηγή UE (π.χ. ένα όχημα) σε προορισμό UE (π.χ. άλλο όχημα, οδική υποδομή, πεζό, κ.λπ.) μέσω ProSe Direct Communication μέσω της διεπαφής PC5 μεταξύ των UE (sidelink) [4].

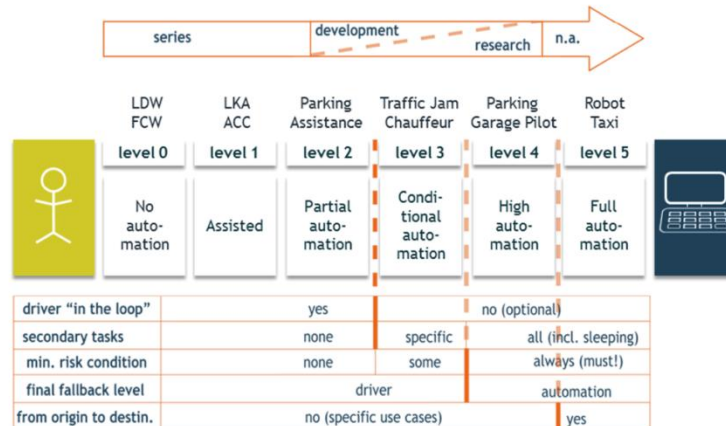
2.1.2 Περιπτώσεις Χρήσης

Οι στόχοι του καθετοποιημένου τομέα Automotive είναι να αναπτύξει την αυτόνομη οδήγηση (automated driving), να δημιουργήσει υπηρεσίες για την οδική ασφάλεια και την απόδοση της κυκλοφορίας (road safety and traffic efficiency services), να αναπτύξει τη ψηφιοποίηση των μεταφορών και της εφοδιαστικής (digitalization of transport and logistics), την ευφυή πλοήγηση (intelligent navigation), τη κοινωνία της πληροφορίας στον δρόμο (information society on the road) και η ανάπτυξη των νομαδικών κόμβων (nomadic nodes) [4].

Περίπτωση Χρήσης 1: Automated driving (Αυτοματοποιημένη Οδήγηση) [4]

Σύμφωνα με την Αμερικανική Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτου (SAE) και τη Γερμανική Ένωση Αυτοκινητοβιομηχανίας (VDA), ορίζονται έξι επίπεδα με αυξανόμενο βαθμό αυτοματισμού για την αυτοματοποιημένη οδήγηση (SAE Standard J3016, Ιανουάριος 2014). Το σχήμα 2.1 δείχνει ένα σενάριο εισαγωγής για την αυτοματοποιημένη οδήγηση με παραδείγματα πιθανών λειτουργιών με χρονικό ορίζοντα έως το 2025.

// Levels of driving automation acc. to SAE and VDA



Source: SAE document J3016, "Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Automated Motor Vehicles", issued 2014-01-16, see also http://standards.sae.org/J3016_201401/

28 January 2015 | 1

iMobility Forum, Brussels

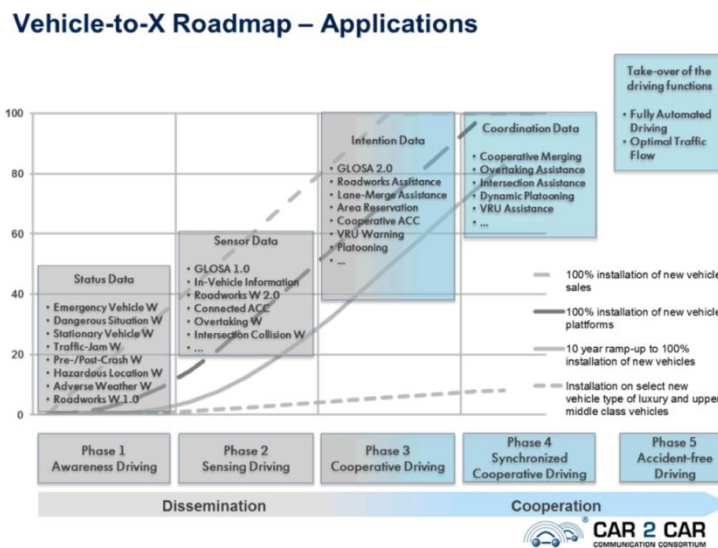
Adapt:Ve

Σχήμα 2.1: Επίπεδα αυτοματισμού SAE / VDA.

Όλα τα αυτοματοποιημένα οχήματα βασίζονται στο ότι σχεδιάζουν συνεχώς τις τροχιές τους και ανάλογα με τις συνθήκες του δρόμου, επιλέγουν την αντίστοιχη τροχιά οδήγησης. Δεν είναι 100% σίγουρο τι θα κάνει ένα άλλο όχημα, ή ο άλλος συμμετέχων στην κυκλοφορία μέσα στα επόμενα δευτερόλεπτα, για αυτό έχουν σχετικά μεγάλα «buffers» αυτές οι τροχιές, ειδικά όταν σχεδιάζονται γύρω από τα υπόλοιπα κινούμενα οχήματα.

Η κοινοπραξία που είναι υπεύθυνη για την έρευνα, ανάπτυξη και τυποποίηση μιας τεχνολογίας άμεσων επικοινωνιών, μεταξύ των οχημάτων, στην Ευρώπη είναι η C2C-CC

(Car-2-Car Communication Consortium, 2015), η οποία χρησιμοποιεί την τεχνολογία ITS-G5 στα 5,9 GHz φάσμα συχνοτήτων (ETSI EN 302 663, Ιούλιος 2013). Επίσης, υπάρχει και η κοινοπραξία The Amsterdam Group (The Amsterdam Group, 2015) και περιλαμβάνει, εκτός από το C2C-CC, το ASECAP (Association Européenne des Concessionnaires d'Autoroutes et d'Ouvrages à Réage), CEDR (Διάσκεψη Ευρωπαίων Διευθυντών Οδικών) και κοινοπραξιών POLIS (Ευρωπαϊκές πόλεις και περιφέρειες δικτύωση για καινοτόμες λύσεις μεταφορών), που εκπροσωπούν τους διάφορους ενδιαφερόμενους φορείς που είναι υπεύθυνοι για την υποδομή ITS σε αυτοκινητόδρομους, πόλεις και διαχειριστές κυκλοφορίας, οι οποίοι έχουν αναπτύξει διάφορες επεκτάσεις στην παραπάνω τεχνολογία, για να είναι αποτελεσματική η ανταλλαγή πληροφοριών και να αναπτυχθούν εφαρμογές τύπου V2X.



Σχήμα 2.2: Ο χάρτης πορείας της κοινοπραξίας Car-2-Car Communication Consortium.

Ο παραπάνω οδικός χάρτης εφαρμογών C2C-CC, προβλέπει τέσσερις φάσεις ανάπτυξης για την V2V άμεση επικοινωνία. Σε κάθε νέα φάση προστίθενται νέες λειτουργίες και ανταλλαγή περισσότερων πληροφοριών. Στη πρώτη φάση, κάθε όχημα θα διαδίδει την παρουσία του και τους κινδύνους, τους οποίους εντοπίζει, στα γειτονικά του οχήματα. Στη δεύτερη φάση, θα διαδίδονται επιπλέον δεδομένα από κάμερες και ραντάρ. Στη τρίτη φάση, με τη λήψη των προαναφερθέντων δεδομένων, κάθε όχημα θα αποφασίζει για τις ενέργειες του, γιατί θα γνωρίζει τις αποφάσεις των υπολοίπων. Στη τέταρτη και πέμπτη φάση, τα οχήματα θα οδηγούνται αυτόνομα, γιατί θα ανταλλάσσουν και θα συγχρονίζουν τις τροχιές μεταξύ τους.

Οι περιπτώσεις χρήσης στην αυτοματοποιημένη οδήγηση είναι α) η αυτοματοποιημένη υπέρβαση (automated overtake), όπου ένα πλήρως αυτόνομο ημι-οδηγούμενο αυτοκίνητο θα εκτελεί ελιγμούς προσπέλασης σε αυτοκινητόδρομους και σε δύο κατευθύνσεων δρόμους, β) η συνεργατική αποφυγή σύγκρουσης (cooperative collision avoidance) είναι τα προβλήματα, τα οποία προκύπτουν όταν τα αυτοκινούμενα οχήματα προσπαθούν να αποφύγουν συγκρούσεις μετά τη αποτυχία όλων των άλλων μηχανισμών ελέγχου της κυκλοφορίας και γ) η high density platooning, είναι η δημιουργία αλυσίδων πολλών οχημάτων σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους στον αυτοκινητόδρομο, για να

ανταλλάσσουν πληροφορίες και έτσι να εξοικονομούν καύσιμα, να αποφεύγουν ατυχήματα κλπ.

Περίπτωση Χρήσης 2: Road safety and traffic efficiency services (Υπηρεσίες οδικής ασφάλειας και αποδοτικότητα στις υπηρεσίες της κυκλοφορίας) [4]

Στην προηγούμενη κατηγορία οι πληροφορίες, τις οποίες ανταλλάσσουν τα οχήματα μεταξύ τους περιοδικά ή αποστέλλονται σε ένα κεντρικό σημείο, όπως ένας σταθμός βάσης (base station), είναι πληροφορίες τις κατάστασής τους, όπως η θέση, η ταχύτητα και του περιβάλλοντος τους, όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση ή ο δρόμος είναι παγωμένος. Όμως, θα μπορούσαν να μεταφέρονται πιο περιπλοκές πληροφορίες, όπως από κάμερες, ραντάρ, ήχοι, από τους αισθητήρες του οχήματος και θα επέτρεπε σε κάθε όχημα, να βλέπουν μέσα από εμπόδια, όπως κτίρια, άλλα οχήματα τις διασταυρώσεις.

Οι περιπτώσεις στην οδική ασφάλεια είναι α) το «βλέπω από μέσα» (see-through), για παράδειγμα ο οδηγός ενός φορτηγού σταματάει απότομα, στέλνει στο πίσω όχημα την εικόνα του με ένα πεζό και προβάλλεται στο παρμπρίζ του πίσω αυτοκινήτου, β) η ανίχνευση ευπαθών οδικών χρηστών (Vulnerable Road User (VRU) Discovery), όλοι οι χρήστες, οι οποίοι μεταφέρουν μια κινητή συσκευή, όπως πεζοί, ποδηλάτες, θα ανταλλάσσουν πληροφορίες με τα οχήματα για την αποφυγή ατυχημάτων και γ) η «θέα από ψηλά» (Bird's Eye View), τα οχήματα δεν αντιλαμβάνονταν το όλους τους δρόμους, στους οποίους κινούνται, χρησιμοποιούν τα δεδομένα από τους αισθητήρες των διασταυρώσεων, για να προσδιορίζουν πεζούς, ελεύθερους δρόμους και σχεδιάζουν καλύτερες πορείες.



Σχήμα 2.3: Ο Περίπτωση Χρήσης 2: Road safety and traffic efficiency services.

Περίπτωση Χρήσης 3: Digitalization of transport and logistics (Ψηφιοποίηση των μεταφορών και του εφοδιασμού) [4]

Η επόμενη πλατφόρμα επαγγελματικών οχημάτων, η οποία θα αναπτυχθεί από την αυτοκινητοβιομηχανία, θα πρέπει να βασιστεί στις μελλοντικές ανάγκες των φορέων μεταφορών και εφοδιασμού, όπου τα οχήματα θα συλλέγουν χρήσιμες πληροφορίες από τα εξαρτήματά τους, καθώς και από άλλα οχήματα και οδικές μονάδες. Ο συνδυασμός αυτών των δεδομένων με άλλες πληροφορίες eBusiness θα βοηθήσει τους οδηγούς καθώς και άλλους φορείς της αλυσίδας εφοδιαστικής στην καθημερινή τους επιχείρηση.

Οι περιπτώσεις χρήσεις των μεταφορών και της εφοδιαστικής είναι α) ο απομακρυσμένος έλεγχος (Remote sensing and control), όπου με τη χρήση των αισθητήρων και των

ενεργοποιητών μπορούν οι εταιρείες έγκαιρα, να γνωρίζουν την φθορά των εξαρτημάτων του φορτηγού και β) η απομακρυσμένη επεξεργασία για τα οχήματα (Remote processing for vehicles), όπου για να υπάρχουν όλες οι προαναφερθέντες εφαρμογές στα επαγγελματικά οχήματα, θα έπρεπε να γίνεται συνεχής συντήρηση των τοπικών τους επεξεργαστών, αντί αυτού θα χρησιμοποιούνται απομακρυσμένοι επεξεργαστές σε υπολογιστικό νέφος, έτσι θα διευκολυνθεί η συντήρηση των οχημάτων και θα προσφερθούν περισσότερες υπηρεσίες στους πελάτες των αυτοκινητοβιομηχανιών και των εταιριών μεταφορών.

Περίπτωση Χρήσης 4: Intelligent navigation (Ευφυής πλοήγηση) [4]

Τα συστήματα πλοήγησης θα αναβαθμιστούν με τη χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας (augment reality) και real-time βίντεο. Τα δεδομένα θα λαμβάνονται από τους αισθητήρες των οδικών δικτύων και από τα οχήματα της περιοχής. Είναι σημαντικό να μεταδίδονται και οι γεωγραφικές πληροφορίες τους, γιατί με βάση αυτές θα γίνεται η ευφυής πλοήγηση. Για τη ροή των δεδομένων χρειάζεται υψηλό εύρος ζώνης (bandwidth) και μικρές καθυστερήσεις (low latency).

Περίπτωση Χρήσης 5: Information society on the road (Η κοινωνία της πληροφορίας στο δρόμο) [4]

Η κοινωνία της πληροφορίας το 2020 θα απαιτήσει υψηλό ρυθμό δεδομένων (high data rate) και μικρή καθυστέρηση σύνδεσης (low latency connectivity) σε οποιοδήποτε μέρος και ανά πάσα στιγμή. Οι άνθρωποι θα απαιτήσουν παρόμοια επίπεδα συνδεσιμότητας ανεξάρτητα από το αν βρίσκονται στο χώρο εργασίας τους, απολαμβάνοντας δραστηριότητες αναψυχής όπως ψώνια ή μετακινούμενοι με τα οχήματά τους (METIS Project Deliverable D1.1, Απρίλιος 2013). Εκτός από τις κλασσικές υπηρεσίες όπως η περιήγηση στο Web, η λήψη αρχείων, το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, τα κοινωνικά δίκτυα κ.λπ., αναμένεται σημαντική αύξηση στη ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας και την κοινή χρήση βίντεο, πιθανώς επίσης με υψηλότερες απαιτήσεις για ανάλυση εικόνας, π.χ., πρότυπο 4K. Οστόσο, θα επιβαρυνθούν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Περίπτωση Χρήσης 6: Nomadic nodes (Νομαδικοί κόμβοι) [4]

Σε αυτή την περίπτωση χρήσης, για να μην μεταδίδεται ο φόρτος εργασίας μόνο στους base stations, τα σταθμευμένα οχήματα θα χρησιμοποιούνται ως μικρές κυψέλες, ώστε να βελτιωθεί η χωρητικότητα (capacity), ο ρυθμός δεδομένων (data rate), η ενεργειακή απόδοση (energy efficiency) και η κάλυψη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας (coverage of the mobile network) (METIS Project Deliverable D1.1, April 2013).

2.2 Manufacturing

Ο βιομηχανικός τομέας εξελίσσεται συνεχώς και ειδικά όταν η τεχνολογία αναπτύσσεται. Η πρώτη βιομηχανική επανάσταση μηχανοποίησε την παραγωγή με την ατμομηχανή, η δεύτερη μαζικοποίησε με την ηλεκτρονική ενέργεια, η τρίτη αυτοματοποίησε με την πληροφορική και η τέταρτη θα διασύνδεει ανθρώπους και μηχανές με ευφυείς τεχνολογίες [23].

Πιο συγκεκριμένα, η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση θα αυτοματοποιήσει και θα ψηφιοποιήσει τη μεταποίηση, θα μετασχηματίσει τις εσωτερικές λειτουργίες, θα ανασχεδιάσει τον τρόπο επικοινωνίας με τον πελάτη, θα δημιουργήσει νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ,το σημαντικότερο, θα αλλάξει τη κουλτούρα και θα αναβαθμίσει τις δεξιότητες εντός της επιχείρησης [23]. Επιπλέον, θα χρησιμοποιήσει όλες τις σύγχρονες και καινοτόμες τεχνολογίες, όπως το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (internet of things – IoT), το υπολογιστικό νέφος (cloud computing), τη τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence), τα κυβερνοφυσικά συστήματα (cyber-physical-systems), blockchain. Για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά όλες οι παραπάνω τεχνολογίες, θα βασιστούν πάνω στην υποδομή του δικτύου της τεχνολογίας 5G NR.



Σχήμα 2.4: Οι σύγχρονες τεχνολογίες στο βιομηχανικό τομέα [19].

Είναι ο πιο απαιτητικός τομέας, γιατί πρέπει να έχει εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις, υψηλή διαθεσιμότητα, αξιόπιστη εσωτερική κάλυψη σε δύσκολα περιβάλλοντα, για παράδειγμα στους βιομηχανικούς χώρους βρίσκονται πολλές μεταλλικές κατασκευές και δυσχεραίνουν την διάδοση του σήματος, ενεργειακά αποδοτικό και χαμηλό κόστος επικοινωνίας για τα παραγόμενα και συνδεδεμένα προϊόντα [15].

2.2.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR

Με τις αλλαγές, οι οποίες συμβαίνουν στη τεχνολογία, οι βιομηχανίες, εκτός από τον τρόπο παραγωγής, θα πρέπει να αναδιαμορφώσουν τα επιχειρηματικά μοντέλα και την οργάνωσή τους. Αυτό θα γίνει σε τρεις τομείς την οριζόντια ενσωμάτωση (horizontal integration), την κάθετη ενσωμάτωση (vertical integration) και την ενσωμάτωση από άκρο σε άκρο (end-to-end integration).

Η οριζόντια ολοκλήρωση αναφέρεται στη διαδρομή του προϊόντος από τη παραγωγή μέχρι την πώληση του [15]. Στην αλυσίδα παραγωγής και εφοδιασμού θα προστεθούν καινούργιες υπηρεσίες και καινούργια προϊόντα, τα οποία θα χρησιμοποιούν αισθητήρες και θα υπάρχει συνεργασία με τους παρόχους υπηρεσιών στα πρότυπα της βιομηχανίας των smartphone. Η κάθετη ολοκλήρωση αναφέρεται στη χρήση των ηλεκτρονικών πλατφορμών για την παραγωγή των προϊόντων στα εργοστάσια [15]. Τέλος, η ενσωμάτωση από άκρο σε άκρο αναφέρεται στην χρήση της τεχνολογίας για την παρακολούθηση του κύκλου ζωής των προϊόντων. Σε αυτό τον κύκλο περιλαμβάνεται η σύλληψη, η σχεδίαση, η

παρασκευή, η αποστολή και η αγορά του προϊόντος και αυτά τα στάδια θα παρακολουθούνται από τις καινούργιες υπηρεσίες.

Οι βιομηχανίες χρειάζονται υποστήριξη από την κοινότητα 5G NR, ιδίως για [15]:

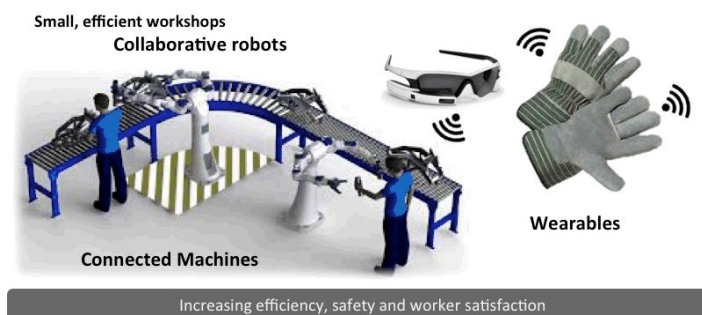
- εξαιρετικά αξιόπιστη ασύρματη επικοινωνία για την ενσωμάτωση φορητών ρομπότ, AGVs κ.λπ. στις διαδικασίες ελέγχου κλειστού βρόχου
- τη χρήση υβριδικών ασύρματων και ενσύρματων τεχνολογιών δικτύου θα είναι οικονομικά αποδοτική διαχείριση του δικτύου γιατί ενοποιεί τα συνδεδεμένα στοιχεία ενός εργοστασίου
- καινοτομίες μέσα στο δίκτυο για την παροχή δικτυακών υπηρεσιών

2.2.2 Περιπτώσεις Χρήσης

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, έχουν δημιουργηθεί πέντε είδη οικογενειών περιπτώσεων χρήσης ως προς την αλυσίδα εφοδιασμού και το μεταποιητικό δίκτυο. Αυτές είναι η βελτιστοποίηση διαδικασίας κρίσιμης διάρκειας μέσα στο εργοστάσιο (Time-critical process optimization inside factory), η μη κρίσιμη χρονική επικοινωνία στο εργοστάσιο (Non time-critical in-factory communication), ο ασύρματος έλεγχος (Remote control), η επικοινωνία εντός/εκτός εργοστασίου (Intra-/Inter- Enterprise Communication) και η διασύνδεση των προϊόντων (Connected goods).

Περίπτωση Χρήσης 1: Time-critical process optimization inside factory (Βελτιστοποίηση διαδικασίας κρίσιμης διάρκειας μέσα στο εργοστάσιο) [15]

Σε αυτή τη περίπτωση χρήσης θα μελετηθούν 3 σενάρια, τα οποία αφορούν την επικοινωνία μεταξύ των αντικειμένων και των ανθρώπων μέσα στο εργοστάσιο. Στο πρώτο σενάριο, με τη real-time επικοινωνία κλειστού βρόχου μεταξύ των μηχανών θα αυξηθεί η αποδοτικότητα και η ευελιξία της ενδοεπικοινωνίας, όπου απαιτείται χαμηλό bit-rate, χαμηλός λανθάνοντας χρόνος και υψηλή αξιοπιστία. Τα δύο επόμενα σενάρια αφορούν τις τρισδιάστες απεικονίσεις (3D), δηλαδή τη χρήση 3D εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας για την εκπαίδευση του προσωπικού και τη συντήρηση των μηχανημάτων και η αλληλεπίδραση των συνεργατικών ρομπότ με τους ανθρώπους μέσω 3D βίντεο, θα αρχίσει η εκτεταμένη χρήση των wearable και άλλων ασύρματων συσκευών και έτσι θα μεταφέρεται μεγάλος δεδομένων. Τέλος, η υλοποίηση των παραπάνω θα αυξήσει την αποδοτικότητα, την ικανοποίηση του εργαζόμενου, θα ενισχύσει την ασφάλεια, την προστασία των δεδομένων και των παραγόμενων προϊόντων.



Σχήμα 2.5: Περίπτωση Χρήσης 1: Time-critical process optimization inside factory.

Περίπτωση Χρήσης 2: Non time-critical communication inside the digital factory (Μη κρίσιμη επικοινωνία εντός του ψηφιακού εργοστασίου) [15]

Σε αυτή τη περίπτωση χρήσης θα μελετηθούν επίσης 3 σενάρια, τα οποία αφορούν τα αγαθά μέσα στο εργοστάσιο. Στο πρώτο σενάριο, θα αναγνωρίζονται, θα εντοπίζονται τα αγαθά και τα μηχανήματα του εργοστασίου. Στο δεύτερο σενάριο, θα λαμβάνονται δεδομένα από αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο για να βελτιστοποιηθούν οι διαδικασίες και στο τρίτο σενάριο, θα λαμβάνονται δεδομένα για το σχεδιασμό, τη προσομοίωση και στη πρόβλεψη νέων προϊόντων και διαδικασιών παραγωγής, για να πραγματοποιηθούν τα παραπάνω θα πρέπει να διασφαλιστεί η υψηλή διαθεσιμότητα και η κάλυψη των ασύρματων δικτύων μέσα στα σκληρά βιομηχανικά περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματα θα είναι η αύξηση της απόδοσης, της ευλυγισίας, η ελαχιστοποίηση χρηματικών αποθεμάτων και θα αυξηθεί η οικολογική βιωσιμότητα γιατί θα μειωθούν οι εκπομπές, οι δονήσεις και ο θόρυβος των εργοστασίων.



Σχήμα 2.6: Περίπτωση Χρήσης 2: Non time-critical communication inside the digital factory.

Περίπτωση Χρήσης 3: Remotely controlling digital factories (Απομακρυσμένος έλεγχος ψηφιακών εργοστασίων) [15]

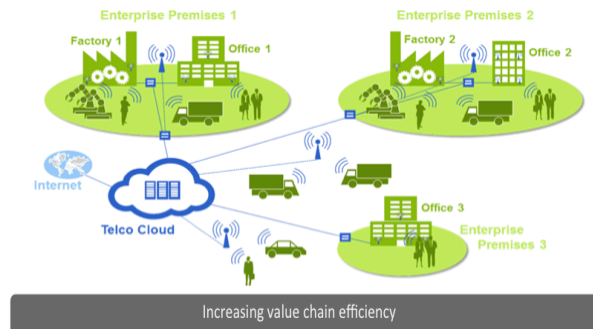
Στα σενάρια αυτής της περίπτωσης χρήσης θα ελέγχεται και θα γίνεται διάγνωση απομακρυσμένα και με τη χρήση συσκευών επαυξημένης πραγματικότητας, θα δημιουργηθούν εικονικά back office, όπου μέσω των wearables θα μπορούν να βλέπουν αυτές οι ομάδες τι συμβαίνει μέσα στο εργοστάσιο. Έτσι, η επαυξημένη πραγματικότητα θα βοηθήσει στην παραγωγή, στη συναρμολόγηση, στη συντήρηση και την επισκευή των μηχανημάτων. Τέλος, το cloud computing είναι σημαντικό παραμείνει χαμηλά ο λανθάνοντας χρόνος και η διαθεσιμότητα του δικτύου πρέπει να είναι υψηλή. Ωστόσο, τα μέτρα φυσικής ασφάλειας δεν επαρκούν.



Σχήμα 2.7: Περίπτωση Χρήσης 3: Remotely controlling digital factories.

Περίπτωση Χρήσης 4: Seamless intra-/inter-enterprise eco-system communication (Απρόσκοπτη επικοινωνία οικο-συστήματος εντός / μεταξύ επιχειρήσεων) [15]

Σε αυτή τη περίπτωση χρήση πάλι θα μελετηθούν 3 σενάρια, τα οποία σχετίζονται με την επικοινωνία εσωτερικά και εξωτερικά των εργοστασίων για τη δημιουργία, τη παραγωγή και τη διανομή των προϊόντων. Συγκεκριμένα, το πρώτο σενάριο αφορά την αναγνώριση και τον εντοπισμό των αγαθών στην end-to-end αλυσίδας παραγωγής, το δεύτερο σενάριο είναι για την αξιοπιστία και την ασφαλής ενδοεπικοινωνία των κτηρίων και το τρίτο σενάριο αφορά την ανταλλαγή δεδομένων για τη προσομοίωση, το σχεδιασμό για διαφόρους λόγους. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν υψηλό επίπεδο διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας του δικτύου, των υπηρεσιών και ασύρματη επικοινωνία. Το αποτέλεσμα είναι να αυξηθεί η απόδοση στο κόστος και στο χρόνο παραγωγής.



Σχήμα 2.8: Περίπτωση Χρήσης 4: Seamless intra-/inter-enterprise eco-system communication.

Περίπτωση Χρήσης 5: Seamless Connected goods – incorporating product lifetime (Συνδεδεμένα προϊόντα – ενσωματώνεται η διάρκεια ζωής του προϊόντος) [15]

Η τελευταία περίπτωση χρήσης αφορά τη σύνδεση των αγαθών κατά τη διάρκειά ζωής τους για την παρακολούθηση των χαρακτηριστικών τους, την αίσθηση του περιβάλλοντος που τα περιβάλλει και να προσφέρει νέα δεδομένα στις υπηρεσίες του εργοστασίου. Σε αυτή τη περίπτωση χρήση είναι πολύ σημαντική η αυτονομία, γιατί το κόστος της αντικατάστασης των μπαταριών είναι ίδιο με αυτό της επικοινωνίας, θα χρησιμοποιηθούν νέες χαμηλής ενέργειας, χαμηλού κόστους και με μεγάλη εμβέλεια τεχνολογίες επικοινωνίας στα δίκτυα των εργοστασίων. Έτσι, θα αυξηθούν οι πωλήσεις, γιατί θα παραχθούν νέα προϊόντα, υπηρεσίες και θα βελτιωθεί η παραγωγή και η διαδικασία σχεδίασης των προϊόντων.



Σχήμα 2.9: Περίπτωση Χρήσης 5: Seamless Connected goods – incorporating product lifetime.

2.3 Media

Οι συνήθειες και οι προσδοκίες των χρηστών όσον αφορά την κατανάλωση των Μέσων αλλάζουν ριζικά [16]. Αυτό αναφέρεται σε τύπους υπηρεσιών (γραμμικά μέσα (linear media)), on-demand περιεχόμενο, περιεχόμενο που δημιουργείται από χρήστες

(user-generated content), παιχνίδια κ.λπ., περιβάλλοντα στα οποία λαμβάνει χώρα η κατανάλωση, εν κινήσει, στο σπίτι κ.λπ. και διάφορες συσκευές, όπως τηλεόραση, smartphone, tablet, wearable και συσκευές εικονικής πραγματικότητας. Οι υπηρεσίες Media and Entertainment (M&E) πρέπει να αντιμετωπίσουν την αυξανόμενη ζήτηση σχετικά με τα data rates, τον αριθμό των ταυτόχρονων χρηστών και τις αυστηρές απαιτήσεις του QoS.

Επίσης, το 5G NR θα ενσωματώσει διαφορετικές τεχνολογίες δικτύου, όπως τις unicast, multicast και broadcast επικοινωνίας - και δυνατοτήτων (π.χ. caching), θα αναπτύξουν νέα επιχειρηματικά μοντέλα για την εκμετάλλευση των δικτύων και θα δημιουργηθούν συστήματα, όπως APIs, toolkits και περιβάλλοντα για την προσαρμογή του δικτύου στις απαιτήσεις του περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο.

Στην Ευρώπη κάποιες από τις εταιρείες που ασχολούνται με την ανάπτυξή τους είναι το BBC, η Deutsche Telekom, η EBU, η Ericsson, η Intel, η Nokia, η Orange, η Samsung κλπ.

2.3.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR

Η τεχνολογία 5G NR απαντά σε όλες τις απαιτήσεις του τομέα M&E, όπως ο όγκος (volume) στο downlink και στο uplink θα επιτρέπει τη μετάδοση υψηλών οπτικοακουστικών προτύπων, όπως Full HD, 4k UHD, γιατί οι τεχνολογίες συμπίεσης και μετάδοσης video αναπτύσσονται ραγδαία και μειώνεται το κόστος αποθήκευσης και caching [16]. Επίσης, το Cloud TV θα διασφαλίσει τη λειτουργία κωδικοποίησης / αποκωδικοποίησης στο cloud. Θα μεταφέρεται οποιοδήποτε περιεχόμενο ή μεμονωμένα στη συσκευή ή σε πολλές ταυτόχρονα συσκευές, για να αναπαραχθεί σε μια κεντρική οθόνη, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, χωρίς να παρατηρείτε συμφόρηση, καθυστερήσεις ή υπερβολική ανάγκη πόρων και οπουδήποτε. Για να υπάρχει υψηλή ποιότητα υπηρεσίας (QoS) θα πρέπει το βίντεο και ο ήχος να έχουν χαμηλά ποσοστά σφάλματος, τα παιχνίδια χαμηλό latency, να μεταφέρεται περιεχόμενο σε οποιαδήποτε πηγή, όπως unicast, multicast, adapting streaming με τη χρήση APIs. Για να προσαρμόζεται δυναμικά η κατανομή των πόρων ανά network slice και να υπάρχει η δυνατότητα εξατομικευμένης υπηρεσίας, στην οποία οι χρήστες μπορούν να προσαρμόζουν τις προβαλλόμενες διαφημίσεις. Τέλος, σε όλους τους τελικούς χρήστες παρέχεται ασφάλεια στα περιεχόμενα τους και στα προσωπικά δεδομένα.

2.3.2 Περιπτώσεις Χρήσης

Οι κατηγορίες του τομέα M&E είναι τρεις, όπως Immersive Media, Mobile Contribution, Remote and Smart Production in Broadcasting και Ultra-High Definition (UHD) over Content Distribution Networks (CDN). Παρακάτω θα αναφερθούν ανά κατηγορία οι περιπτώσεις χρήσης

2.3.2.1 Κατηγορία 1: Immersive Media

Περίπτωση Χρήσης 1: Immersive and Integrated Media [16]

Τα μέσα θα γίνουν συναρπαστικά και εξαιρετικά διαδραστικά ώστε να παρέχουν κατανάλωση περιβάλλοντος στο σπίτι αλλά και εν κινήσει, με το περιεχόμενο να προσαρμόζεται σε οποιαδήποτε κατάσταση. Θα υπάρχει η δυνατότητα μετάδοσης βίντεο

με ολόγραμμα 2D και στον επιχειρηματικό τομέα θα διευκολύνει τη διεξαγωγή της τηλεργασίας.

Περίπτωση Χρήσης 2: Collaborative Gaming [16]

Το Gaming θα επεκταθεί σε ένα εντυπωσιακό πολυ-αισθητήριο περιβάλλον, το οποίο θα οδηγήσει σε μια πιο ρεαλιστική εμπειρία, βελτιωμένη ικανότητα για τους χρήστες να συνεργάζονται μέσα στο παιχνίδι και χωρίς περιορισμό στον αριθμό των ταυτόχρονων χρηστών. Το παιχνίδι είναι πιθανό να μετακινηθεί από μια βασικά «οικιακή» εμπειρία προς μια εμπειρία «οπουδήποτε» με τη συνεργασία των χρηστών να είναι ταυτόχρονα, τόσο στον φυσικό κόσμο, όσο και στον τομέα της επαυξημένης πραγματικότητας, με βάση την πραγματική τοποθεσία των χρηστών.

2.3.2.2 Κατηγορία 2: Mobile Contribution, Remote and Smart Production in Broadcasting

Περίπτωση Χρήσης 3: User Generated Content & Machine Generated Content [16]

Επειδή οι χρήστες θα καταγράφουν και θα μοιράζονται πολλά δεδομένα με άλλους, μέσω του cloud, το μελλοντικό δίκτυο 5G NR θα υποστηρίζει κατ' απαίτηση υψηλό εύρος upload και streaming από συσκευές IoT, όπως φωτογραφικές μηχανές, μετρητές υγείας και ευεξίας, αισθητήρες κτιρίου, για να προσφέρει καλή εμπειρία στο χρήστη.

Περίπτωση Χρήσης 4: Cooperative Media Production [16]

Το περιεχόμενο, το οποίο καταγράφεται ζωντανά από ένα μέσο, χρησιμοποιώντας κάμερες και μικρόφωνο, θα μπορεί να κοινοποιείται αμέσως, με τη βοήθεια του 5G NR, σε οποιονδήποτε από οπουδήποτε και σύγχρονος μαζί με μεταδεδομένα, όπως η χωρική ημερομηνία τοποθεσίας (spatial location date). Στη συνέχεια, το περιεχόμενο θα λαμβάνεται από άλλους χρήστες, οι οποίοι θα το επεξεργάζονται, θα αναμεταδίδουν σε τρίτους κοκ για διαφορετικές απαιτήσεις, όπως δεύτερες οθόνες, interactive παιχνίδια κλπ.

2.3.2.3 Κατηγορία 3: Ultra-High Definition (UHD) over Content Distribution Networks (CDN)

Περίπτωση Χρήσης 5: Ultra High Fidelity Media [16]

Η πρόοδος στις τεχνολογίες οθόνης και λήψης επιτρέπει μια νέα, εξαιρετικά καθηλωτική εμπειρία προβολής με εξαιρετικά ευκρινείς εικόνες ευρείας προβολής με βαθιά αντίθεση και απαράμιλλο ήχο πολλαπλών καναλιών σε γραμμικό, όπως live streaming και σε μη γραμμικό περιεχόμενο, όπως on-demand. Το δίκτυο 5G NR θα διασφαλίσει την υψηλή ποιότητας εμπειρίας για το Ultra High Fidelity Media, γιατί θα εξασφαλίσει δυνατότητες και στρατηγικές μεταφοράς υψηλής ταχύτητας και θα επιτρέψει πλήρη ποιότητα εμπειρίας.

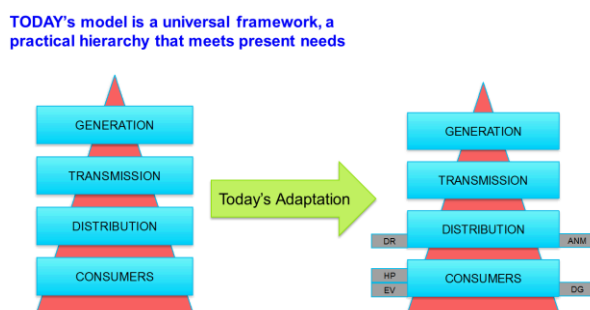
Περίπτωση Χρήσης 6: On-site Live Event Experience [16]

Σε χώρους εκδηλώσεων, όπως κινηματογράφοι, γήπεδα, οι πελάτες θα λειτουργούν διαδραστικά στο χώρο, δηλαδή θα διαλέγουν τη γλώσσα τους, θα βλέπουν ή θα ξαναπαίζουν ένα συγκεκριμένο στιγμιότυπο, με την επαυξημένη πραγματικότητα θα τους προβάλλονται περισσότερες πληροφορίες κ.λπ.

2.4 Energy

Στον ενεργειακό τομέα η επικοινωνία παρέχεται από τις τρέχουσες τηλεπικοινωνιακές λύσεις, για παράδειγμα εδώ και 20 χρόνια χρησιμοποιείται η τεχνολογία plug and play [17]. Από την πλευρά των καθυστερήσεων, μας ενδιαφέρει μόνο η αποτυχία αποστολής ενός μηνύματος σε μια διαδικασία. Στον επιχειρηματικό τομέα της ενέργειας, η τεχνολογία 5G NR θα προσφέρει υποστήριξη σε εφαρμογές Smart metering (έξυπνης μέτρησης) και εφαρμογές επικοινωνίας τύπου μηχανών (MTC), για τον έλεγχο και την προστασία του ενεργειακού δικτύου. Επιπλέον, υποστηρίζονται τα δίκτυα micro-grids, τα οποία είναι δίκτυα καταναλωμένης παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας. Τέλος, χρειάζονται ICT λύσεις για να ικανοποιηθούν ζητήματα σε τεχνικό και επιχειρηματικό επίπεδο.

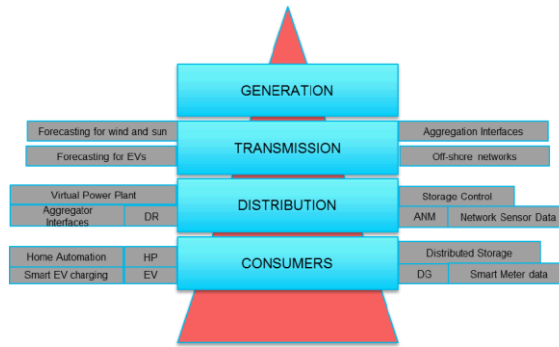
Τα «έξυπνα πλέγματα» (Smart grids) χρησιμοποιούνται για να αντιμετωπίσουν απρόβλεπτους μικρής γενεάς σταθμούς, όπως ηλιακούς και αιολικούς σταθμούς σε συνδυασμό με τη φόρτιση συσκευών των τελικών χρηστών, όπως τα ηλεκτρικά οχήματα (electric vehicles) [17]. Επίσης, τα smart grids δεν θα ασχολούνται μόνο με τη διανομή ενέργειας και τη μέτρηση κατανάλωσης των τελικών χρηστών, οι οποίοι θα γίνονται και παραγωγοί, αλλά θα χρησιμοποιούν επικοινωνιακές υποδομές για παρατηρητικότητα και έλεγχο.



DR=Distributed Resources, ANM=Active Network Management, HP=Heat Pumps, DG=Distributed Generation

Σχήμα 2.10: Δομή Power grid [17].

Και τώρα νέες απαιτήσεις προστίθενται στο σύστημα σχεδόν καθημερινά σε όλα τα επίπεδα του συστήματος, γιατί τα σημερινά πρότυπα επικοινωνίας, ελέγχου και δεδομένων δεν δημιουργήθηκαν για να υποστηρίξουν πολλαπλές εφαρμογές [17]. Θα αυξηθούν τα “outstations”, ο όγκος των δεδομένων. Ωστόσο, οι απαιτήσεις των υπηρεσιών και το σύστημα ενέργειας θα πρέπει να ξαναφτιαχτεί.



Σχήμα 2.11: Νέες απαιτήσεις για το Power grid [17].

2.4.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR

Τα δίκτυα επικοινωνίας για τα Smart Grids, Smart Meters και άλλες περιπτώσεις χρήσης, όπως ηλεκτρικά οχήματα (π.χ. ηλεκτρονικά αυτοκίνητα (e-Cars)) πρέπει να είναι σε θέση να εξυπηρετούν τις ανάγκες διαφόρων εφαρμογών από την αυτόματη ανάγνωση μετρητών και τον έλεγχο των καταναμημένων ενεργειακών πόρων (distributed energy resources) έως την ολοκλήρωση των e-Cars στα ενεργειακά συστήματα [17].

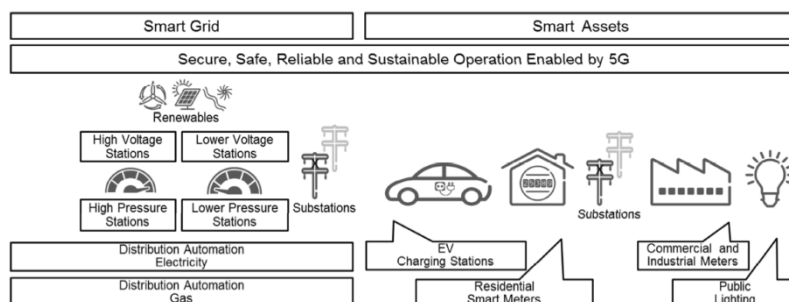
Το 5G NR παρέχει οικονομικά βιώσιμες ασύρματες λύσεις, σε σχέση με τα καθαρά συστήματα οπτικών ινών και αποκεντρώνει τα ενεργειακά δίκτυα με αυξημένη ανθεκτικότητα, για ανοχή σε απειλές από κυβερνοεπιθέσεις, σε σχέση με το LTE [17]. Έτσι, τα μελλοντικά Smart Grids θα παρέχουν αυξημένη προστασία, έλεγχο και παρακολούθηση και θα βελτιωθεί η ποιότητα ισχύος, λιγότερες διακοπές ρεύματος και ευκολότερη ανάπτυξη δικτύου με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις αστικές περιοχές.

Ο στιβαρός και αξιόπιστος χειρισμός της κίνησης δεδομένων, που προσφέρεται στο δίκτυο 5G NR από το πλήθος των υποστηριζόμενων υπηρεσιών, θα επιτευχθεί από την απομόνωση επιπέδου δεδομένων και επιπέδου ελέγχου [17]. Η τεχνολογία network slicing και το mobile edge computing διευκολύνει την κοινή χρήση των καταναμημένων δεδομένων μετάδοσης (distributed data transmission) και της επεξεργασίας δεδομένων (processing capabilities) στον τομέα της ενέργειας. Ο end-to-end έλεγχος και η αρχιτεκτονική data plane καλύπτονται από το network slice, το οποίο ενσωματώνει διαμόρφωση στη ραδιοπρόσβαση, στο fronthaul, στο backhaul καθώς και στο core network για να είναι επιτυχείς οι απαιτήσεις, οι οποίες σχετίζονται με τις περιπτώσεις χρήσης ενέργειας.

Τέλος, οι περιπτώσεις χρήσης ενέργειας θα πρέπει όλο και περισσότερο να απαιτούν ασφαλείς επικοινωνίες σε σχεδόν πραγματικό χρόνο με τις πελατειακές εγκαταστάσεις [17]. Με αυτόν τον τρόπο η αποδοτικότητα του ενεργειακού δικτύου μπορεί να μεγιστοποιηθεί, επιτρέποντας τον πιο λεπτομερή έλεγχο των φορτίων στο δίκτυο ισχύος και με την αυξανόμενη χρήση ισχύος για την παραγωγή θερμότητας στα σπίτια, καθώς και την αύξηση της χρήσης μπαταριών για αποθήκευση από τους πελάτες, καθώς και επιτρέποντας καλύτερη ανάπτυξη ενέργειας και μειώσεις στην παραγωγή CO₂.

2.4.2 Περιπτώσεις Χρήσης

Οι περιπτώσεις χρήσης στον καθιερωμένο τομέα της ενέργειας αφορούν τόσο το smart grid όσο και τις περιοχές έξυπνων περιουσιακών στοιχείων (smart assets areas), όπως φαίνεται με μερικά παραδείγματα στο Σχήμα 2.12.



Σχήμα 2.12: Η ενέργεια χρησιμοποιεί περιπτώσεις που επισημαίνουν τις περιπτώσεις χρήσης των smart assets και την περίπτωση χρήσης διανομής ενέργειας από smart grids [17].

Αρχικά, τα δίκτυα αυτοθεραπείας (Self-healing networks) και η εξαιρετικά γρήγορη τοποθεσία σφάλματος (ultra-fast fault location), η απομόνωση και η αποκατάσταση ισχύος είναι απαραίτητα για τα υπάρχοντα καθώς και τα μελλοντικά Smart Grids [17]. Τα δίκτυα αυτοθεραπείας περιέχουν πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως μπλοκάρισμα άλλων προστατευτικών συσκευών κατά τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας της προστασίας, έτσι ώστε η περιοχή που αποσυνδέεται από το σφάλμα να ελαχιστοποιηθεί ήδη πριν από το άνοιγμα του διακόπτη κυκλώματος. Επίσης, η αποσύνδεση της γειτονικής καταναλωμένης παραγωγής θα πρέπει να είναι ενεργοποιημένη, ώστε να μην τροφοδοτούν ρεύμα σφάλματος και οι πιο μακρινές μονάδες παραγωγής διανομής θα πρέπει να παραμείνουν συνδεδεμένες στο δίκτυο, εάν δεν ανήκουν στην περιοχή, που πρέπει, να αποσυνδεθεί. Άρα, η τοπολογία του δικτύου κατά τη διάρκεια του σφάλματος μπορεί εύκολα, να αναδιαρθρωθεί, έτσι ώστε η αποκατάσταση ισχύος να μπορεί, να συμβεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Επιπλέον, η ενοποίηση των Καταναλωμένων Ενεργειακών Πόρων (DERs) απαιτεί τον έλεγχο της τροφοδοσίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερφόρτωση του συστήματος και να διασφαλιστεί η αξιοπιστία του συστήματος μέσω προστατευτικών μηνυμάτων. Τέλος, το 5G NR θα υποστηρίξει τις παραπάνω υπηρεσίες σε μια ενοποιημένη υποδομή, όπου θα προσφέρει ευελιξία για να αναπτυχθούν κάποιες από τις λειτουργίες του εικονικού δικτύου και να διασφαλιστούν ειδικές τεχνικές επιδόσεις, σχετικά με το SLA, όπως σταθερή καθυστέρηση.

2.5 e-Health

Ο τομέας της υγείας παρουσιάζει συνεχώς εξέλιξη ως προς την περίθαλψη, τη διάγνωση και τη πρόληψη. Για να βελτιωθεί και να διευκολυνθεί περαιτέρω υγεία, οι τεχνολογίες 5G θα βοηθήσουν στην μετεξέλιξη της. Πιο συγκεκριμένα, κάποιος από τους βασικούς λόγους, που η e-Health είναι προτεραιότητα στην Ευρωπαϊκή Ψηφιακή Ατζέντα είναι ότι οι τρέχουσες μέσες δαπάνες στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης είναι περίπου 10% του ΑΕΠ στην Ευρώπη και η ψηφιοποίηση και η εικονικοποίηση της περίθαλψης είναι ένας σημαντικός μοχλός για τη μετάβαση της υγειονομικής περίθαλψης

από ένα νοσοκομείο, σε ένα μοντέλο καταναμημένο, επικεντρωμένο στον ασθενή με το σημείο της φροντίδας να μετατοπίζεται στην περιφέρεια [18].

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), το e-health είναι η μεταφορά υγειονομικών πόρων και υγειονομικής περίθαλψης με ηλεκτρονικά μέσα [18]. Αναφέρεται κυρίως στη παροχή πληροφοριών υγείας, στους επαγγελματίες υγείας και τους καταναλωτές της, μέσω του Διαδικτύου και των τηλεπικοινωνιών, βελτίωση των υπηρεσιών δημόσιας υγείας, μέσω της εκπαίδευσης και της κατάρτισης των εργαζομένων στον τομέα της υγείας και η χρήση του e-commerce και του e-business στη διαχείριση συστημάτων υγείας. Ωστόσο, μια ευρωπαϊκή έρευνα για την e-health το 2011 κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η υιοθέτηση τεχνολογιών e-health στην Ευρώπη είναι αργή και πίσω από τις προσδοκίες, λόγω της έλλειψης εμπιστοσύνης των εμπλεκόμενων φορέων.

Επιπλέον, ο ΠΟΥ και η ΕΕ ορίζουν και τον όρο m-Health ως την ιατρική και δημόσια υγεία πρακτική, η οποία υποστηρίζεται από κινητές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, συσκευές παρακολούθησης ασθενών, προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDAs) και άλλες ασύρματες συσκευές. Το 83% των μελών του ΠΟΥ προσφέρει τουλάχιστον έναν τύπο υπηρεσίας m-Health [18].

Επομένως, η υγειονομική περίθαλψη μετατοπίζεται από τον κεντρικό μοντέλο του 20^{ου} αιώνα σε αυτό του 21^{ου} αιώνα, θα είναι πλήρως διασκορπισμένο ή καταναμημένο [18]. Γιατί θα μειωθεί ο αριθμός των ραντεβού σε υγειονομικές μονάδες σε πολυπληθείς χώρες, όπως η Κίνα και θα βελτιωθεί η ατομική υγεία. Θα μειωθούν οι ανισότητες μεταξύ της αστικής και της αγροτικής υγειονομικής περίθαλψης, λόγω των παραπάνω εργαλείων και θα υπάρχει πάντα πρόσβαση από οποιονδήποτε, οπουδήποτε.



Σχήμα 2.13: Τα συνδεδεμένα IoT στον τομέα e-Health [20].

2.5.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR

Σύμφωνα με τους φορείς NGMN Alliance (5G NR White Paper, February 2015), ITU-R (Recommendation ITU-R IMT Vision, July 2015) και 5G NR PPP Infrastructure Association (5G NR Vision, February 2015), ο οποίος έχει αναλύσει τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών 5G NR, όπως οι καθυστερήσεις (latency), η αξιοπιστία (reliability), η κινητικότητα (mobility) και η ακρίβεια τοποθεσίας (position accuracy), περιγράφουν τις βασικές πτυχές του 5G NR [18].

Αρχικά, θα αυξηθεί η απόδοση της κινητής τεχνολογίας, λόγω του μεγαλύτερου throughput, των χαμηλών καθυστερήσεων, της εξαιρετικά υψηλής αξιοπιστίας, της υψηλότερης συνδεσιμότητας και κινητικότητας [18]. Θα χρησιμοποιηθεί για την σύνδεση πολλών συσκευών, αντικειμένων του νοσοκομείου και για την αξιοπιστία της μεταφοράς των

δεδομένων. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η χρήση του network slicing, για την χρήση περισσότερων εφαρμογών και το σύστημα ραδιοεπικοινωνίας του 5G NR σχεδιάστηκε, για να ενσωματώσει ομαλά τις επικοινωνίες ανθρώπινου τύπου (Human Type Communications (HTC)) με αυτές επικοινωνίες τύπου μηχανών (Machine Type Communications (MTC)) και να λειτουργούν τα IoT. Με τις σημερινές ζώνες κινητής τηλεφωνίας και ένα νέο φάσμα θα μπορούσε να φτάσει το εύρος του κύματος μέχρι χιλιοστά, το οποίο θα εξυπηρετούσε τη κάλυψη.

2.5.2 Περιπτώσεις Χρήσης

Ο καθετοποιημένος τομέας της υγείας έχει τέσσερις περιπτώσεις χρήσης, οι οποίες σχετίζονται με τη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων και παρεμβάσεων σε Νοσοκομεία, τη ρομποτική, την απομακρυσμένη παρακολούθηση δεδομένων υγείας ή ευεξίας και την φαρμακευτική αγωγή.

Περίπτωση Χρήσης 1: Assets and interventions management in Hospitals (Διαχείριση περιουσιακών στοιχείων και παρεμβάσεων σε Νοσοκομεία) [18]

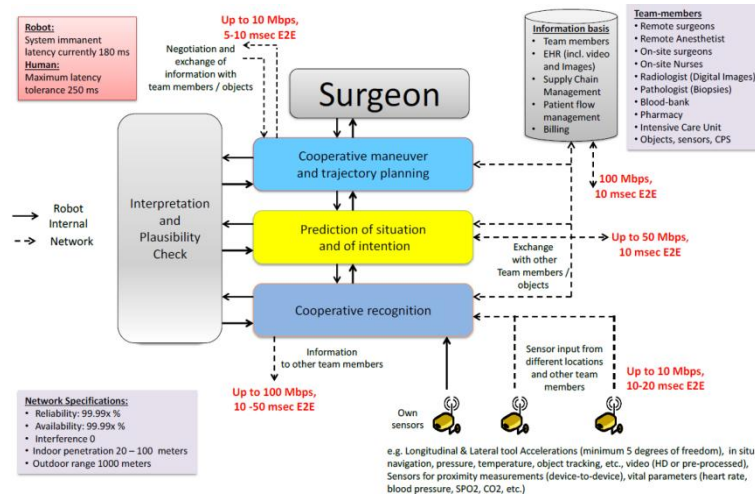
Αρχικά, η παρακολούθηση και η διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων του νοσοκομείου αναφέρεται σε αντικείμενα υψηλής αξίας, όπως τα αναπηρικά καροτσάκια, οι οθόνες ηλεκτροκαρδιογραφήματος, οι αντλίες έγχυσης, που λόγω της μεταφοράς των ασθενών σε άλλες υγειονομικές μονάδες μπορεί να χαθούν. Επίσης, πολύ σημαντική είναι η ανίχνευση των αναλώσιμων των χειρουργείων και η real-time ανίχνευση και προφύλαξη των αγαθών του νοσοκομείου θα αποτρέψει την μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Θα παρακολουθείται η εφοδιαστική αλυσίδα φαρμάκων, για να μην χορηγηθούν επιβλαβή φάρμακα σε ασθενείς και τα φάρμακα θα ανιχνεύονται ανάλογα με την ημερομηνία λήξης τους. Τέλος, σε σχέση με τον σχεδιασμό και τη παρακολούθηση παρεμβάσεων, είναι απαραίτητος ο σωστός προγραμματισμός του χειρουργείου μιας μεταμόσχευσης και απαιτείται η έξυπνη διαχείριση της λίστας αναμονής των ασθενών, για να οριστεί η σωστή προτεραιότητα τους στις λίστες των χειρουργείων. Έτσι, θα ενοποιηθούν οι νοσοκομειακές υπηρεσίες με το μητρώο δωρεάς οργάνων και θα ανανεώνεται ο προγραμματισμός των χειρουργείων, ανάλογα με την κλινική κατάσταση του ασθενή.

Περίπτωση Χρήσης 2: Robotics (Ρομποτική) [18]

Η ρομποτική εφαρμόζεται σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους και στην κλάδο της ιατρικής έχει πολύ ιδιαίτερη αξία, ειδικά στις χειρουργικές επεμβάσεις. Από το 2012, υπάρχει το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci Surgical System¹, κατασκευάζεται από την αμερικανική εταιρεία Intuitive Surgical και εγκρίθηκε από την Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων της Αμερικής (FDA) το 2000. Το σύστημα σχεδιάστηκε για να διευκολύνει τον ασθενή με την ελάχιστη επεμβατική προσέγγιση, ελέγχεται από χειρουργό από μια κονσόλα και χρησιμοποιείται για εγχείρηση στο προστάτη, για επισκευή καρδιακών βαλβίδων και για γυναικολογικές χειρουργικές επεμβάσεις. Με τη τεχνολογία 5G NR θα μειωθούν οι καθυστερήσεις, οι χειρουργοί θα μπορούν να χειριστούν τα ρομπότ από το

¹ Wikipedia (26-10-2020). da Vinci Surgical System.
https://en.wikipedia.org/wiki/Da_Vinci_Surgical_System Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 3-12-2020

γραφείο τους με μια κινητή συσκευή και οι νεώτεροι χειρουργοί θα μαθαίνουν εξ αποστάσεως από τους παλαιούς. Επίσης, ο λανθάνοντας χρόνος θα πρέπει, να είναι μικρότερος από 200ms από άκρο σε άκρο, ώστε οι απομακρυσμένες κινήσεις των χειρουργών να είναι αισθητές ως προς την αφή. Τέλος, η ρομποτική υπηρεσία Cloud θα συμβάλει στην αύξηση των δυνατοτήτων αποθήκευσης και θα αξιοποιηθούν οι δυνατότητες των κινητών ρομπότ για μεγαλύτερη ανταλλαγή πληροφοριών με το περιβάλλον και τους χρήστες.



Σχήμα 2.14: Σενάριο τηλε-χειρουργικής υποβοηθούμενης από τη ρομποτική [18].

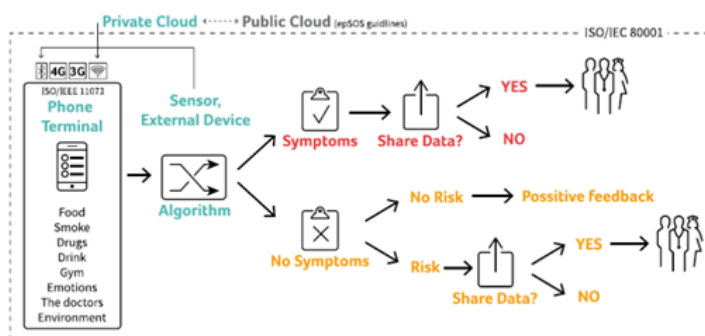
Περίπτωση Χρήσης 3: Remote monitoring of health or wellness data (Απομακρυσμένη παρακολούθηση δεδομένων υγείας ή ευεξίας) [18]

Στην Ευρώπη, λόγω των περισσότερων ηλικιωμένων σε σχέση με τους νέους, η γήρανση και οι ασθένειες θα απαιτήσουν βοήθεια από τις υπάρχουσες δομές σε υπερβολικό βαθμό. Οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας και η σταθερή γραμμή ωφελούν την τηλε-φροντίδα και την τηλεϊατρική γιατί θα περιθάλπονται από το σπίτι, όπου μέσω των wearables και των φορητών συστημάτων παρακολούθησης, θα γίνεται διάγνωση, θεραπεία και θα υποστηρίζεται σχέδιο θεραπείας για άτομα με χρόνια νοσήματα. Επίσης, θα εξελιχθεί και η πρόληψη, γιατί το σύστημα υγειονομικής περίθαλψης θα είναι σε θέση, να συλλέγει όλα τα ιατρικά δεδομένα των ασθενών από όλους τους ιατρούς και θα δίνεται έγκαιρα η θεραπεία. Για την αποτελεσματική εκτέλεση αυτής της διαδικασίας φροντίδας, ένα από τα βασικά σημεία είναι η δυνατότητα της υπηρεσίας να διαπραγματευτεί με τυπικό τρόπο τους πόρους του δικτύου, όπως ρυθμός bit, QoS και τη διαθεσιμότητα δικτύου, σε αγροτικό περιβάλλον καθώς και σε αστικό περιβάλλον με υψηλή πυκνότητα χρηστών.

Περίπτωση Χρήσης 4: Smarter medication (Εξυπνότερη φαρμακευτική αγωγή) [18]

Ο ρόλος της ηλεκτρονικής υγείας και των wearables μπορεί να αξιοποιηθεί πέρα από την απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας και να αναφέρει τη λήψη απόφασης για λογαριασμό των ιατρών και τη λήψη της απόφασης για τους ασθενείς. Για παράδειγμα, στο εγκεφαλικό επεισόδιο θα μπορούσε, να αξιοποιηθεί η πρόοδος της κινητής διάγνωσης, όπως ο αισθητήρας σάρωσης, η ανάλυση δεδομένων, η καταγραφή δεδομένων και η μικρή και μεγάλη ανάλυση δεδομένων για τη Δημόσια Υγεία, για παράδειγμα Επιδημίες /

Πανδημίες. Επιπλέον, νέα φαρμακευτικά προϊόντα, τα οποία έχουν ενσωματωμένες συνδεδεμένες συσκευές θα μπορούσαν, να χρησιμοποιηθούν για τη θεραπεία του άσθματος, του διαβήτη, της σκλήρυνσης κατά πλάκας και για τη διαχείριση των χρόνιων παθήσεων και των πόνων γενικότερα. Ωστόσο, θα πρέπει, να συνδέονται πάρα πολλές συσκευές ανά γεωγραφική περιοχή, τα δεδομένα να αποστέλλονται σε ιδιωτικά clouds για περαιτέρω επεξεργασία από τον πάροχο υγειονομικής περίθαλψης, τις φαρμακευτικές εταιρείες και τους τελικούς χρήστες μετά από εξουσιοδότηση από τον κάτοχο δεδομένων και χρειάζονται δεδομένα για τη διασύνδεση έξυπνων αλγορίθμων στα τηλέφωνα των χρηστών και να υποστηριχθεί η εικονικοποίηση της διαδικασίας φροντίδας. Τέλος, μέσω αλγορίθμου πληροφορίες για τα περιβάλλοντα των ασθενών, τη συμπεριφορά, τη συναισθηματική κατάσταση και τα αντίστοιχα συμπτώματα και ζωτικά σημεία, όπως η αρτηριακή πίεση και ο καρδιακός ρυθμός μπορούν, να σταλούν από τις συνδεδεμένες συσκευές μέσω συνδέσμου δεδομένων 5G NR στον πάροχο υγειονομικής περίθαλψης σε πραγματικό χρόνο για να αποφευχθούν σοβαρά επεισόδια.



Σχήμα 2.15: Ανταλλαγή δεδομένων ασθενούς – ιατρού [18].

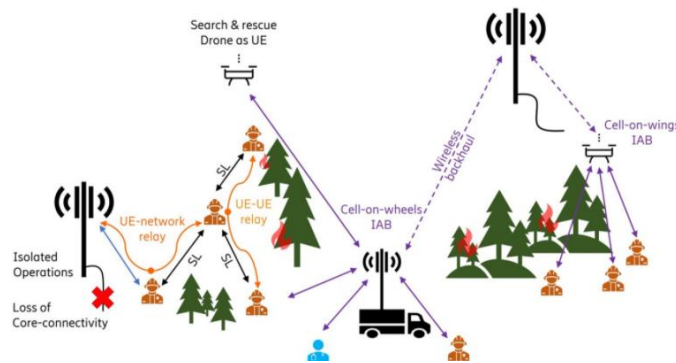
2.6 Public Safety

Σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης (MC), όπως σεισμοί, πλημμύρες, διάσωση ζώων είναι πολύ σημαντικό οι πυροσβέστες, οι αστυνομικοί και το ιατρικό προσωπικό να έχουν άμεση, γρήγορη πρόσβαση και αξιόπιστες, ασφαλείς επικοινωνίες [21]. Η κοινότητα δημόσιας ασφάλειας χρησιμοποιεί εξειδικευμένα συστήματα κινητής τηλεφωνίας εδάφους (LMR) για το push-to-talk (PTT) ως το κύριο σύστημα κινητής επικοινωνίας, όπως το TETRA και το P25. Όμως, οι πρώτοι ανταποκριτές μεταξύ τους χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες, με αποτέλεσμα η επικοινωνία να είναι δύσκολη.

Το 5G NR, μαζί με άλλες σύγχρονες τεχνολογίες θα αναβαθμίσουν και θα διευκολύνουν τις επικοινωνίες τους. Παγκόσμια έχουν αρχίσει να αντικαθιστούν τα συστήματα LMR με τα 3GPP LTE / NR ευρυζωνικά δίκτυα, για να υποστηρίξουν real-time βίντεο, AR και heads-up οθόνες [21]. Τα δεδομένα από τους αισθητήρες ασφάλειας θα κοινοποιούνται άμεσα στα κέντρα εντολών, για να επιτρέπουν καλύτερες αποφάσεις, ώστε να σώσουν ζωές. Τα ρομπότ και τα αεροσκάφη θα διαθέτουν augmented reality και απτική τεχνολογία και θα ελέγχονται εξ αποστάσεως από το δίκτυο σε ζωντανή ροή, για τη διεξαγωγή σύνθετων επιχειρήσεων διάσωσης.

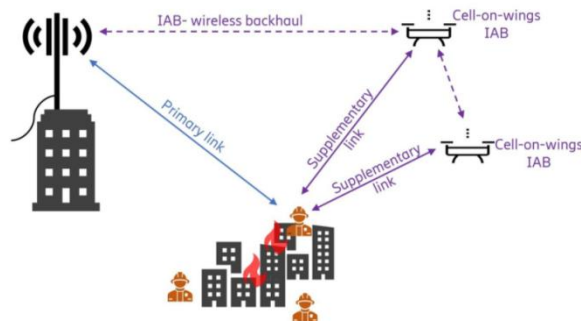
2.6.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR

Για να διασφαλιστεί η κάλυψη και η χωρητικότητα των πρώτων ανταποκριτών πέρα από περιοχές, που είναι συνήθως διαθέσιμες για εξοπλισμό χρήστη (UE), έχουν ήδη τεθεί λύσεις σε ισχύ στην τρέχουσα έκδοση του 5G NR (Rel-16) και μπορούν να εφαρμοστούν για υπηρεσίες MC [21]. Σε περιοχές με περιορισμένη κάλυψη, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι θα εφαρμόσουν προηγμένα συστήματα κεραιών, μαζί με τεχνικές διαμόρφωσης δέσμης, οι οποίες υποστηρίζονται στο NR, για να αυξηθεί η ισχύς του σήματος σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση για καλύτερη εξυπηρέτηση της επικοινωνίας MC στη περιοχή. Επίσης, οι πάροχοι θα τοποθετούν φορητούς κόμβους IAB (Integrated access and backhaul) σε οχήματα και σε μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), τα οποία λέγονται cell-on-wings IAB, για να καλύψουν απομονωμένες περιοχές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.16. Η επικοινωνία sidelink (SL), στο πρότυπο NR Rel-16, διευκολύνει την άμεση επικοινωνία των σωματίων ασφαλείας και επεκτείνει την κάλυψη χρησιμοποιώντας τα UE για αναμετάδοση.



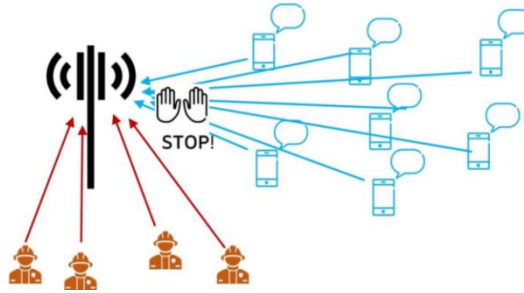
Σχήμα 2.16: Λύσεις κάλυψης 5G NR για δημόσια ασφάλεια [21].

Επιπλέον, η χρήση του IAB επιτρέπει τη δυνατότητα ευέλικτης ανάπτυξης πρόσθετων προσωρινών σταθμών βάσης, σε σταθερά σημεία, κοντά σε μια περιοχή διάσωσης [21]. Αυτοί οι πρόσθετοι σταθμοί βάσης συμβάλουν στην περαιτέρω αύξηση της ακρίβειας των υπηρεσιών εντοπισμού θέσης και ενισχύει την επίγνωση της κατάστασης.



Σχήμα 2.16: Τοποθέτηση των IAB κοντά στη περιοχή διάσωσης [21].

Τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες του 5G NR θα δίνουν στους διασώστες, προτεραιότητα, σε σχέση με τους απλούς χρήστες, για να διασφαλιστεί η γρήγορη σύνδεση και η κυκλοφορία των έκτακτων περιστατικών κατά τη συμφόρηση του δικτύου [21].



Σχήμα 2.17: Διαφορετικά επίπεδα προσβασιμότητας δικτύου βάσει των προτεραιοτήτων χρήστη ή υπηρεσίας [21].

Μόλις ένας χρήστης συνδεθεί σε ένα δίκτυο 5G NR, το δίκτυο μπορεί να αποκτήσει παραμέτρους σχετικές με QoS, Priority και Pre-emption (QPP) της ζητούμενης υπηρεσίας, όπως το αναγνωριστικό του network slice, τον δείκτη 5G QoS (5QI), την κατανομή και προτεραιότητα διατήρησης (ARP) και ούτω καθεξής [21]. Με βάση αυτά τα αναγνωριστικά προτεραιότητας, ο RAN scheduler μπορεί, να εκτελέσει διαφοροποιημένη διαχείριση της κυκλοφορίας και να εφαρμόσει μηχανισμούς εξισορρόπησης φορτίου, για να δώσει προτεραιότητα σε σημαντικές ροές κυκλοφορίας MC και να προλάβει την κυκλοφορία εκτός MC κατά τη διάρκεια περιορισμών πόρων.

2.6.2 Περιπτώσεις Χρήσης

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του 5G NR, όπως υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό latency, υψηλή αξιοπιστία, μαζική συνδεσιμότητα και κινητικότητα στο χρήστη, οι περιπτώσεις χρήσης του τομέα της δημόσιας ασφάλειας μπορούν, να βοηθήσουν τους πρώτους ανταποκριτές, να σώσουν περισσότερες ζωές και να μειώσουν τον κίνδυνο. Οι περιπτώσεις χρήσης είναι 10 και αναφέρονται στη γρήγορη απόκριση της πολιτείας σε έκτακτες καταστάσεις [22].

1. Εύρεση αγνοουμένων σε έκτακτες καταστάσεις μέσω 5G enabled drone
2. Ενεργοποίηση συναγερμού shooter με πληροφορίες σχετικά με τη τοποθεσία και το όπλο στους πρώτους ανταποκριτές με κάμερα και AI
3. Παράδοση ιατρικού εξοπλισμού σε απομακρυσμένες περιοχές μέσω 5G enabled drone
4. Διαχείριση κυκλοφορίας για έκτακτες διαδρομές, ειδοποιήσεων και κατευθύνσεων οχημάτων
5. Χρήση Virtual Reality για προσομοίωση και εκπαίδευση των πρώτων ανταποκριτών, ώστε να μειωθεί το υψηλό κόστος αυτής και ο κίνδυνος σε αυτούς
6. Καταστροφή βομβών και επικινδύνων αντικειμένων μέσω 5G enabled drone ή ρομπότ
7. Τα ασθενοφόρα θα είναι συνδεδεμένα με 5G, για να λαμβάνουν τον έλεγχο οι γιατροί
8. Σε περίπτωση κατάρρευσης κτηρίου από σεισμό θα δίνεται πριν και μετά η τοποθεσία των πληγέντων στους πρώτους ανταποκριτές
9. Με τη βοήθεια των 5G enabled drone ή ρομπότ μπορεί, να επιβληθεί η απαγόρευση κυκλοφορίας σε περίοδο πανδημίας και να εξασφαλίζεται η ασφάλεια των αστυνομικών
10. Ανίχνευση χημικών όπλων και παρακολούθηση της υγείας των πρώτων ανταποκριτών σε εμπόλεμες ζώνες με τη χρήση wearables και σένσορα

2.7 Smart City

Κάθε δεκαετία, όλο και περισσότερο, εντείνονται τα προβλήματα στις πόλεις, όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η ρύπανση, η χαμηλότερη ποιότητα ζωής, λόγω της αστικοποίησης [10]. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Μετανάστευσης (ΙΟΜ), κάθε εβδομάδα τρία εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως μετακινούνται σε πόλεις. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των κατοίκων των πόλεων, θα αυξηθεί σε 6,5 δισεκατομμύρια έως το 2050 - δύο στους τρεις θα ζουν σε πόλεις μέχρι τότε [24]. Το αποτέλεσμα είναι, η εκάστοτε κυβέρνηση να ανησυχεί για τη βιωσιμότητα των πόλεων. Έτσι, δημιουργήθηκε η ιδέα της έξυπνης πόλης (smart city), όπου θα χρησιμοποιηθούν νέες τεχνολογίες, όπως το 5G NR και θα αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο. Σε αυτή την αλλαγή θα συμμετέχουν όλοι όσοι επηρεάζονται, όπως οι πολίτες, οι επιχειρήσεις κλπ.

Σύμφωνα με τη Deutsche Telekom, μια πόλη θεωρείται έξυπνη, όταν οι δημόσιες υπηρεσίες ψηφιοποιηθούν σύμφωνα με τις λύσεις του ICT, οι οποίες βελτιώνουν τη ποιότητα ζωής των πολιτών, προσελκύουν επισκέπτες και υποστηρίζουν την οικονομική ανάπτυξή της [24]. Μια από αυτές είναι το διαδίκτυο των πραγμάτων, γιατί όλες οι υπηρεσίες των πολιτών θα συνδέονται στο Διαδίκτυο, για παράδειγμα οι πολίτες μπορούν να υποβάλουν αίτηση online για άδεια στάθμευσης κατοίκων, να ελέγξουν την κατάσταση μιας αίτησης άδειας οικοδομής. Επίσης, το 5G NR θα εξυπηρετεί όλες τις πιθανές περιπτώσεις χρήσης IoT και Smart City, παρέχοντας τη τέλεια σύνδεση ανάλογα με τη ζήτηση σε data rate, ταχύτητα και χωρητικότητα.

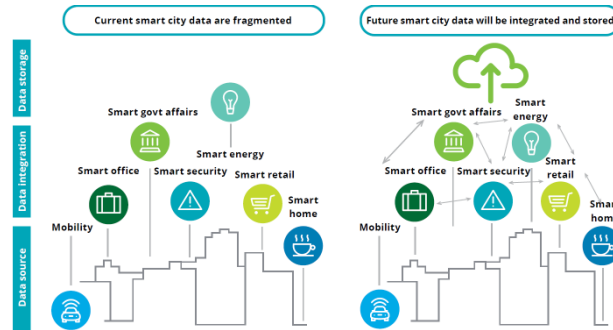
Ωστόσο, η Smart City δημιουργεί τεράστιες ποσότητες δεδομένων που πρέπει να αποθηκεύονται με ασφάλεια. Όταν συγχωνεύονται πληροφορίες από έξυπνα σπίτια, δικτυακά συστήματα κυκλοφορίας, θα παραβιάζεται η ιδιωτική ζωή των πολιτών, αν δεν θεσπιστεί νομικό πλαίσιο για την προστασία των προσωπικών δεδομένων.

Επομένως, οι λειτουργίες της Smart City έχουν ως στόχο την οικονομική ανάπτυξη, την ανάπτυξη βιώσιμου αστικού οικοσυστήματος, τη ζωντανή πόλη, τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και την αποτελεσματική κυβερνητική διαχείριση [10]. Θα πρέπει, όμως, η ανάπτυξη της να είναι σύμφωνα με τις ανάγκες και τα αστικά της χαρακτηριστικά και όχι με βάση τα σχέδια άλλων πόλεων.

2.7.1 Προσφερόμενες δυνατότητες από το 5G NR

Όπως προ-αναφέρθηκε, οι νέες τεχνολογίες επικοινωνίας είναι απαραίτητες για την κάλυψη της ευρείας εξάπλωσης και ανάπτυξης σε συσκευές Smart City. Το πανταχού παρόν δίκτυο αισθητήρων, το οποίο βασίζεται σε 5G NR, παίζει το ρόλο μιας γέφυρας που συνδέει όλα τα πράγματα μαζί, φτάνοντας σε όλες τις περιοχές της πόλης όπως ένα δίκτυο νευρώνων, οι υπηρεσίες εξυπηρετούν απαιτήσεις που αλλάζουν γρήγορα, ποικίλλουν και εξατομικεύονται. Το NarrowBand IoT (NB-IoT) και το 5G NR θα βοηθήσουν στην αντιμετώπιση των ζητημάτων. Το NarrowBand IoT είναι μια νέα τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας, η οποία τυποποιήθηκε το 2016, ειδικά σχεδιασμένη για πολλές «απλές» εφαρμογές IoT και Smart City [24]. Επιτρέπει εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση με την μπαταρία των συσκευών να διαρκεί έως 10 χρόνια, η διαπεραστική ικανότητα του σήματος τους, τούς επιτρέπει, να μεταδίδουν δεδομένα από υπόγεια για εφαρμογές Smart Metering ή Smart Parking και είναι φθηνά στη παράγωγή τους. Επιπλέον, το 5G NR, στον

καθετοποιημένο τομέα Smart City, προσφέρει βελτιωμένη ευρυζωνική σύνδεση για εξαιρετικά γρήγορα upload/download, το χαμηλό latency, κάτω του 1 ms, επιτρέπει έξυπνο αυτοματισμό στις επιχειρήσεις για τον έλεγχο της τροφοδοσίας, για την αυτόματη οδήγηση και η υψηλή πυκνότητα του δικτύου μπορεί, να υποστηρίξει ταυτόχρονα πολλούς χρήστες, οι οποίοι είτε τηλεφωνούν είτε στέλνουν μηνύματα είτε συνδέονται σε δικτυωμένες συσκευές και αισθητήρες της πόλης.



Σχήμα 2.18: Ο διαχωρισμός των δεδομένων στη Smart City, όπως έχει σχεδιαστεί μέχρι στιγμής και πως θα είναι στο μέλλον, σύμφωνα με την εταιρεία Deloitte [10].

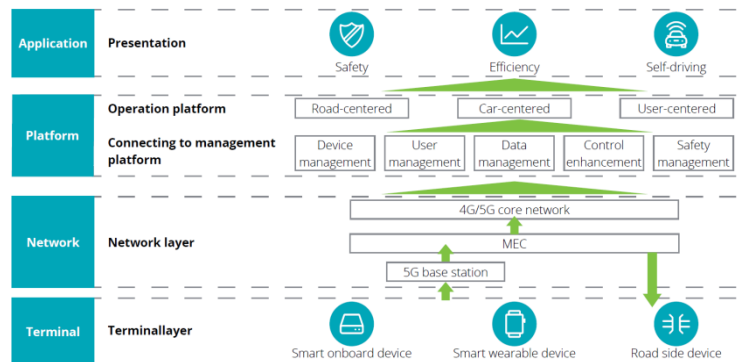
2.7.2 Περιπτώσεις Χρήσης

Οι περιπτώσεις χρήσεις στον καθετοποιημένο τομέα Smart City είναι η έξυπνη μεταφορά, η έξυπνη ασφάλεια, το έξυπνο περιβάλλον και η έξυπνη διακυβέρνηση. Κάποιες από αυτές έχουν υλοποιηθεί στη Κίνα, στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ.

Περίπτωση Χρήσης 1: 5G+smart transportation - enhanced safety and road efficiency (5G + Έξυπνη μεταφορά - βελτιωμένη ασφάλεια και οδική απόδοση) [10]

Η έξυπνη μεταφορά είναι ο καθετοποιημένος τομέας Automotive, όπως έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 2.1 Automotive.

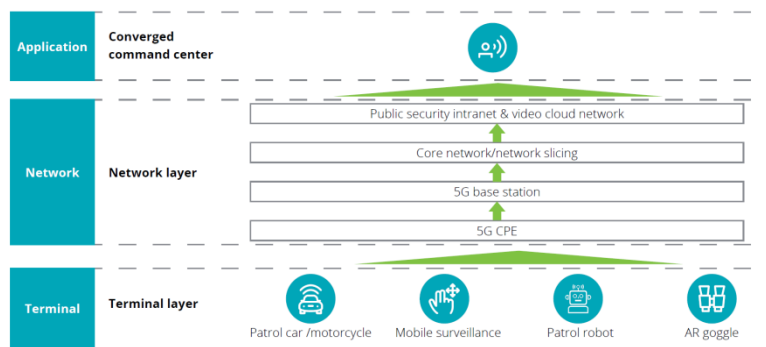
Σύμφωνα με τη Deloitte, η αρχιτεκτονική του smart transportation με 5G NR αναπαρίσταται παρακάτω.



Σχήμα 2.19: Τα επίπεδα εφαρμογής, πλατφόρμας, δικτύου και τερματικών στην αρχιτεκτονική του τομέα Automotive, σύμφωνα με την εταιρεία Deloitte [10].

Περίπτωση Χρήσης 2: 5G + smart security: efficient city protection anywhere, at anytime (5G + Έξυπνη ασφάλεια: αποτελεσματική προστασία της πόλης οπουδήποτε, οποτεδήποτε) [10]

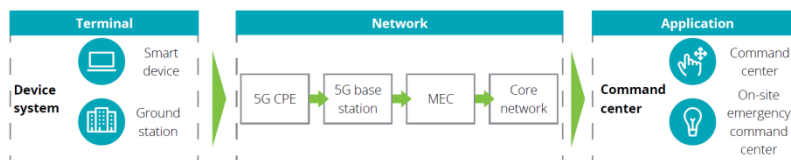
Λόγω του υψηλού bandwidth, το 5G NR υποστηρίζει μετάδοση UHD βίντεο με χαμηλό latency και εξυπηρετεί τα τηλεχειριστήρια των κινητών συσκευών περιπολίας, όπως drones ή ρομπότ σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Στην περιπολία θα χρησιμοποιούνται 5G ρομπότ, τα οποία θα καλύπτουν ένα δρόμο μήκους 800-1000 μέτρα, θα λειτουργούν 7-8 ώρες χωρίς διακοπή και θα ελέγχονται απομακρυσμένα. Θα είναι εξοπλισμένα με πανοραμική και θερμική κάμερα, 6-7 καναλιών, για να λαμβάνει HD βίντεο και φωτογραφίες, θα στέλνονται στο κέντρο της αστυνομίας και τα πρόσωπα θα αναγνωρίζονται με AI. Επιπλέον, τα παραπάνω συλλεγόμενα στοιχεία θα βελτιώνουν την διαδρομή των ρομπότ. Τα κράνη και τα γυαλιά των αστυνομικών θα είναι εξοπλισμένα με AR, για να βλέπουν real-time μια 3D ή πανοραμική απεικόνιση του μέρους. Επίσης, θα χρησιμοποιούν UAV με συνδεσιμότητα 5G από τα κέντρα ελέγχου, μειώνοντας τον αριθμό των χειριστών και του κόστους εξοπλισμού. Τέλος, για την μεταφορά των δεδομένων θα χρησιμοποιείται η τεχνολογία του edge computing και του network slicing.



Σχήμα 2.20: Τα επίπεδα εφαρμογής, δικτύου και τερματικών στην αρχιτεκτονική του τομέα Smart Security, σύμφωνα με την εταιρεία Deloitte [10].

Περίπτωση Χρήσης 3: 5G + smart environmental protection to empower supervision (5G + έξυπνη προστασία του περιβάλλοντος για την ενίσχυση της εποπτείας) [10]

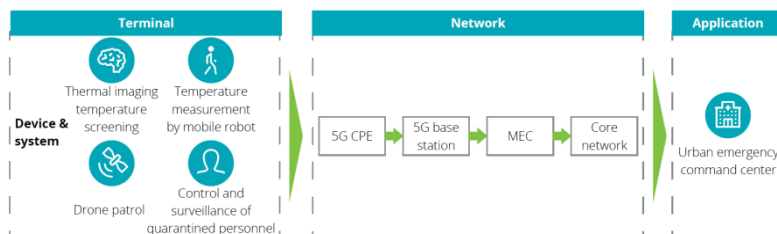
Η μαζική συνδεσιμότητα, το υψηλό εύρος, οι χαμηλές καθυστερήσεις επιτρέπουν σε κάμερες υψηλής ευκρίνειας και σε αισθητήρες ποιότητας νερού, πάνω σε drone να συλλέγουν δεδομένα, να αναλύουν την ποιότητα νερού, κατά τη διάρκεια της περιπολίας τους και τα στέλνουν σε μια πλατφόρμα. Επιπλέον σε συνδυασμό με σόναρ, τα UAV θα εξερευνούν υποβρύχια εδάφη και δημιουργείται ένα τρισδιάστατο σύστημα διαχείρισης νερού.



Σχήμα 2.21: Τα επίπεδα εφαρμογής, δικτύου και τερματικών στην αρχιτεκτονική του τομέα Smart Environmental, σύμφωνα με την εταιρεία Deloitte [10].

Περίπτωση Χρήσης 4: 5G + smart governance: a smart toolbox for emergency response (5G + έξυπνη διακυβέρνηση: μια έξυπνη εργαλειοθήκη για την αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης) [10]

Σε ειδικές στιγμές, όπως επιδημικές εκδηλώσεις, καταστροφές και τρομοκρατικές επιθέσεις, η ανταπόκριση σε αυτές τις δημόσιες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης πρέπει να γίνεται γρήγορα, με ασφαλή, ανοιχτό και δίκαιο τρόπο, ενώ η διατήρηση των λειτουργιών της πόλης αποτελεί δοκιμή για τη σοφία και την ικανότητα των κυβερνητικών αξιωματούχων. Η χρήση του 5G NR, των IoT και συσκευών με AI θα μπορούσαν, να αναπτυχθούν σε πραγματικές τοποθεσίες αντί του παραδοσιακού ανθρώπινου δυναμικού για τη μείωση των κινδύνων του προσωπικού.



Σχήμα 2.21: Τα επίπεδα εφαρμογής, δικτύου και τερματικών στην αρχιτεκτονική του τομέα Smart Governance εν καιρώ πανδημίας, σύμφωνα με την εταιρεία Deloitte [10].

2.8 Εφαρμογές

Στα προηγούμενα υποκεφάλαια, έγινε ανάλυση των καθετοποιημένων τομέων, όπως Automotive, Manufacturing, Media, Energy, e-Health, Public Safety και Smart City. Στο κεφάλαιο 2.8, θα παρουσιαστούν κάποιες από τις εφαρμογές 5G, που έχουν πραγματοποιηθεί σε όλο τον κόσμο.

Από το 2018, για τη τεχνολογία 5G μέχρι σήμερα, έχουν υλοποιηθεί χιλιάδες εφαρμογές, κυρίως στη Κίνα και στην Αμερική. Η Ευρώπη από τις αρχές του 2020, προσπάθησε να ξεκινήσει κάποια project, αλλά λόγω της πανδημίας από τον ιό COVID-19, δεν μπόρεσε να τα ολοκληρώσει. Θα παρουσιαστούν κάποιες από αυτές.

2.8.1 Ολοκληρωμένες εφαρμογές και δοκιμές

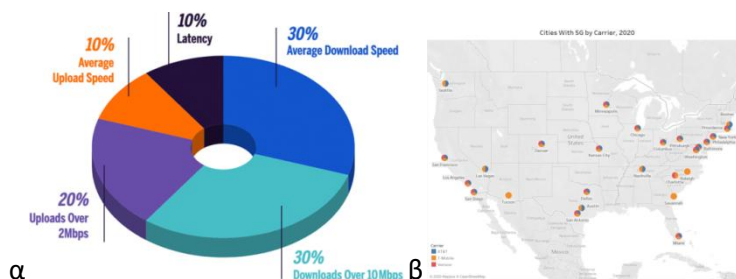
Η Κίνα στις 24 Μαρτίου 2020 έδωσε στην αστυνομία «έξυπνα» κράνη για να ελέγχουν τη θερμοκρασία σώματος του πλήθους, για να αντιληφθούν γρήγορα ποιος έχει πυρετό και πολύ πιθανόν να νοσεί από το SARS-CoV-2. Αυτά τα κράνη είναι εξοπλισμένα με AR γυαλιά, Wi-Fi, Bluetooth και υποστηρίζουν συνδεσιμότητα 5G NR. Μπορούν να εντοπίσουν μέχρι και 5 μέτρα και όποιος έχει πάνω από 37.3°C, θα ηχήσει συναγερμός².



Σχήμα 2.22: Χρήση έξυπνων κρανών για τον περιορισμό της μετάδοσης από τον COVID-19.

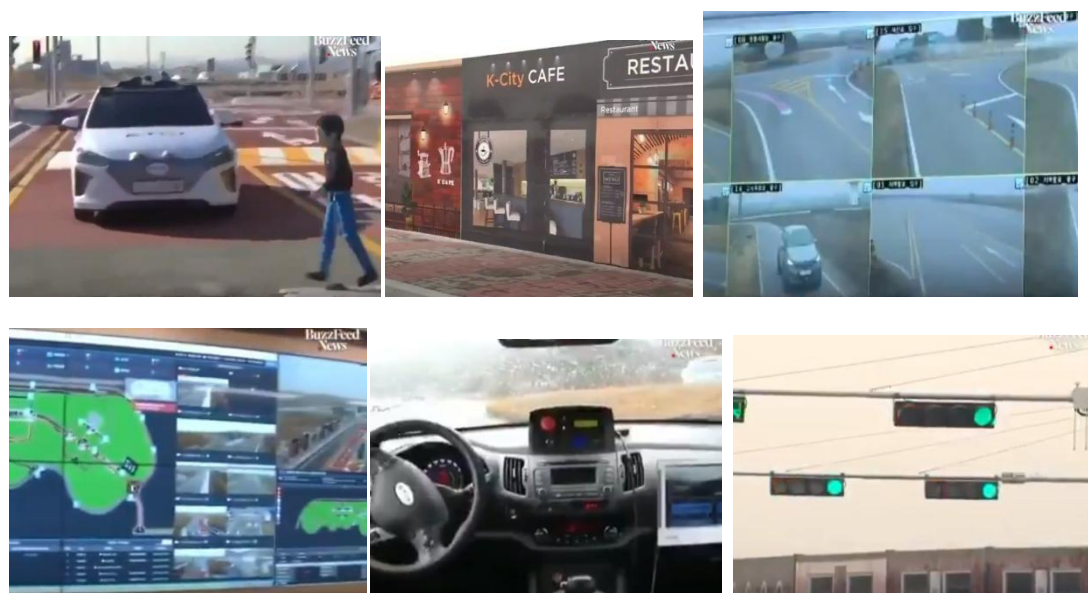
² <https://twitter.com/5GBarcelona/status/1242484382432141313>

Στις ΗΠΑ έχουν εγκατασταθεί σταθμοί βάσης 5G σε 35 πόλεις, όπως η Βαλτιμόρη, το Σικάγο, το Ντάλλας, το Λας Βέγκας, το Λος Άντζελες, το Μαϊάμι κ.α. Σε αυτές έχουν γίνει μετρήσεις, με κινητά τηλέφωνα τεχνολογίας 5G και 4G από τη PCMag³. Παραδόξως, παρατήρησαν ότι το κινητό τεχνολογίας 4G παρουσίασε καλύτερη απόδοση σε κάποιες περιπτώσεις από αυτά με 5G.



Σχήμα 2.23: α. Μέσος όρος μετρήσεων για τα κινητά τεχνολογίας 4G και 5G, β. Πόλεις στις ΗΠΑ που έχουν 5G.

Η Κορέα στις 22 Νοεμβρίου 2019 δημιούργησε μια πόλη, που ονομάζεται «K-city» με συνδεσιμότητα 5G, για να δοκιμάσει αυτό-οδηγούμενα αυτοκίνητα 5G. Σε αυτή προσομοιώθηκε το κέντρο, ο χώρος στάθμευσης, τα προάστια και τα διόδια. Επιπλέον, υπάρχουν πολλά οδικά εμπόδια, όπως κτήρια, σιδηρόδρομοι, δέντρα και άνθρωποι-ρομπότ. Η δημιουργία αυτή κόστισε πάνω από 11 εκ. δολάρια και σε δεύτερη φάση θα προστεθεί η φωτεινή σηματοδότηση και θα προσομοιωθούν οι συνθήκες κακοκαιρίας⁴.



Σχήμα 2.24: K-City, η έξυπνη πόλη.

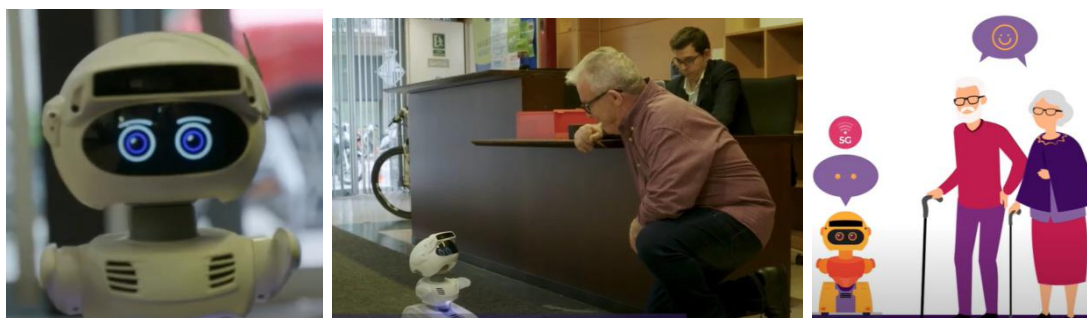
Στη Βαρκελώνη, στις 5 Οκτωβρίου 2020, οι 5G Barcelona, MWC Capital, Saltó Group και το δημοτικό συμβούλιο της δημιούργησαν ένα προσωπικό βοηθό, το Misty II⁵, για να βοηθήσει του 90.000 κατοίκους της, άνω των 65. Είναι ικανό να κινείται και να αλληλεπιδρά

³ <https://www.pcmag.com/fastest-mobile-networks/2020#testing-methodology>

⁴ <https://twitter.com/5GBarcelona/status/1197836191917322247>

⁵ <https://www.youtube.com/watch?v=D4JFCb28dls&feature=youtu.be>

με τον χρήστη και είναι εξοπλισμένο με κάμερα, μικρόφωνο, αισθητήρες, δύο επεξεργαστές και με λειτουργικό σύστημα Android. Το ρομπότ συζητάει, βοηθάει στις καθημερινές τους συνήθειες, όπως στα φάρμακά, στο φαγητό και τους εξοικειώνει με τη τεχνολογία.



Σχήμα 2.25: *Misty II*, ο έξυπνος βοηθός.

Η Πάτρα και η Χαλκίδα, μαζί με τη Cosmote, είναι οι πρώτες πόλεις στην Ελλάδα, οι οποίες αλλάζουν και γίνονται έξυπνες [10]. Έχουν εγκατασταθεί εξειδικευμένοι αισθητήρες Smart Parking σε υπάρχουσες θέσεις στάθμευσης, με μια εφαρμογή οι χρήστες θα ενημερώνονται για τις άδειες θέσεις και κάποιιοι, από αυτούς τους αισθητήρες, ειδοποιούν για παράνομη στάθμευση. Επίσης, έχουν σύστημα Smart Lighting με αισθητήρες, οι οποίοι προσαρμόζονται σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, εξοικονομούν ηλεκτρικό ρεύμα και για το περιβάλλον ένας αισθητήρας ελέγχει την ποιότητα αέρα.

Κεφάλαιο 3: 5G NR και Media

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, ο τομέας των Μ&Ε θα αναλυθεί εκτενώς ως προς την αρχιτεκτονική του δικτύου, τις περιπτώσεις χρήσεις και τις αλλαγές, που θα επιφέρει στο τρόπο χρήσης των μέσων. Η παρουσίαση του τομέα θα γίνει σύμφωνα με τις αναφορές του ευρωπαϊκού project 5G MEDIA.



Σχήμα 3.1: Logo 5G MEDIA.

Ο τομέας Μ&Ε, στην Ευρώπη χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα καινοτομίας «Ορίζοντας 2020» της Ευρωπαϊκής Ένωσης βάσει της συμφωνίας επιχορήγησης αριθ. 761699 και αποτελεί τμήμα δράσης καινοτομίας φάσης 2 του 5G-PPP. Οι εταιρείες και οι οργανισμοί που συμμετέχουν είναι, κυρίως από την Ευρώπη, όπως IBM, Singular Logic, ΟΤΕ, Ινστιτούτο Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΙΠΤΗΛ), Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος» κλπ. Σύμφωνα με τους ερευνητές, στόχος είναι τα τελικά αποτελέσματα, από όλα τα 5G-PPP project, να εκδίδονται σύντομα, ώστε να προσφέρει ευέλικτο προγραμματισμό, εγκυρότητα και οργάνωση της πλατφόρμας για τις υπηρεσίες, να αναπτύξει λειτουργίες και εφαρμογές στο δίκτυο, για να εφαρμοστούν σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.

Στον καθιερωμένο τομέα των Media (πολυμέσων) γίνεται ο διαχωρισμός των δραστηριοτήτων, όπως ο τελικός χρήστης (end-user), ο παροχέας (service provider), ο προγραμματιστής (application developer), ο ιδιοκτήτης της υποδομής (infrastructure owner) και ο υπεύθυνος της εικονικής πλατφόρμας (service virtualization platform operator). Επιπλέον, οι περιπτώσεις χρήσης είναι τρεις. Η πρώτη περίπτωση χρήσης βασίζεται σε εφαρμογές Tele-Immersive (TI), οι οποίες επιτρέπουν τη συνεργασία πολλών μερών σε real-time παγκόσμια καταναμετημένων χρηστών σε κοινόχρηστους εικονικούς πόρους. Ο χρήστης θα δημιουργεί μια «3D replica», μέσω πολλαπλών αισθητήρων RGB-D και αλγορίθμων ανακατασκευής 3D. Η δεύτερη περίπτωση χρήσης αφορά την απομακρυσμένη και έξυπνη παραγωγή στη μετάδοση τηλεοπτικών εκπομπών. Τέλος, η τρίτη περίπτωση χρήσης αναφέρεται στη ροή UHD δεδομένων σε κινητές και σταθερές συσκευές, ενώ ο χρήστης κινείται στο δίκτυο 5G [26].

3.2 Τεχνική προσέγγιση

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν κάποιες από τις λειτουργίες, τις οποίες θα προσφέρει το 5G NR, στο τομέα των μέσων, όπως χαμηλό latency, υψηλό εύρος ζώνης για τη μετάδοση βίντεο κλπ. Όμως, μαζί με το 5G NR και άλλες τεχνολογίες θα αναβαθμίσουν την χρήση των μέσων, όπως το SDN, το NFV και το cloud/edge computing, οι οποίες αναλύθηκαν στο

Κεφάλαιο 1^ο - 5G Τεχνολογία: Σύγχρονες Εξελίξεις. Θα χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία Management and Orchestration (MANO)⁶, η οποία με έξυπνους αλγόριθμους θα ρυθμίσει network paths και virtual slices, ώστε να παραδοθούν οι απαραίτητοι πόροι χωρητικότητας και απόδοσης στο network edge. Επίσης, θα χρησιμοποιηθεί ένα περιβάλλον SDK για εφαρμογές πολυμέσων, το οποίο θα κρύψει την πολυπλοκότητα της ανάπτυξης υπηρεσιών και την ανάπτυξη στην υποκείμενη υποδομή 5G, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να επικεντρωθούν στο επίπεδο εφαρμογών. Τέλος, το πρότυπο Function-as-a-Service (FaaS) είναι μια νέα μορφή container, βασιζόμενη στο PaaS και προσφέρει εύκολο προγραμματισμό και χαμηλό λειτουργικό κόστος στη χρήση του cloud, γιατί κατανέμονται οι πόροι [26].

Επομένως, τα δομικά μέρη στην αρχιτεκτονική του τομέα των media είναι [25]:

1. Application Development SDK, το οποίο θα περιλαμβάνει όλα τα εργαλεία για ανάπτυξη πολυμεσικών εφαρμογών,
2. Service Virtualization Platform (SVP), φιλοξενεί τα εξαρτήματα που σχετίζονται με το MANO framework ,
3. VNF/NetApp Repository όπως τα γενικά εξαρτήματα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε αρκετές εφαρμογές
4. Central Cloud environment , διευκολύνει την ανάπτυξη εξαρτημάτων και υπηρεσιών ειδικά για εκείνα που δημιουργήθηκαν σε φυσικό/ειδικευμένο λογισμικό
5. Network Function Virtualization Infrastructures (NFVIs), το οποίο παρέχει cloud πηγές που ανήκουν σε διαφορετικούς διαχειριστές. Χειρίζονται από τον διαχειριστή του SVP και το OSS/BSS που επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες της πλατφόρμας 5G-MEDIA.

3.3 Οι συμμετέχοντες στις εφαρμογές media

End user: Ο τελικός χρήστης είναι ο καταναλωτής μιας υπηρεσίας. Υπηρεσία θεωρείται 1) η συμμετοχή, ως ενεργός παίχτης ή θεατής, σε ένα tele-immersive παιχνίδι, 2) η προβολή μιας ζωντανής μετάδοσης με εμπλουτισμένη εμπειρία χρήστη (user experience – UX) που περιλαμβάνει προβολή από διαφορετικές κάμερες ανάλυσης UHD ή 4K και κατανάλωση από διαφορετικές συσκευές, όπως smart TV, smartphone, tablet και 3) η κατανάλωση διαφορετικών υπηρεσιών, όπως Video on Demand (VoD) "εν κινήσει" που παρέχεται από έξυπνες πλατφόρμες [26].

Service Provider: Ο provider προσφέρει υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες ή στις εταιρείες [26].

Application/Service/Function Developer: Εταιρείες που αναπτύσσουν υπηρεσίες με τη βοήθεια του SVP και του NFVIs, για media services, τα οποία περιλαμβάνουν λειτουργίες σχετικά με media streaming servers, επεξεργασία σημάτων A/V, κωδικοποίηση ήχου, ανάλυση πακέτων και με networking services, οι οποίες περιλαμβάνουν λειτουργίες, όπως το caching, switching, firewalling, ταξινόμηση κυκλοφορίας και πολιτικές δρομολόγησης [26].

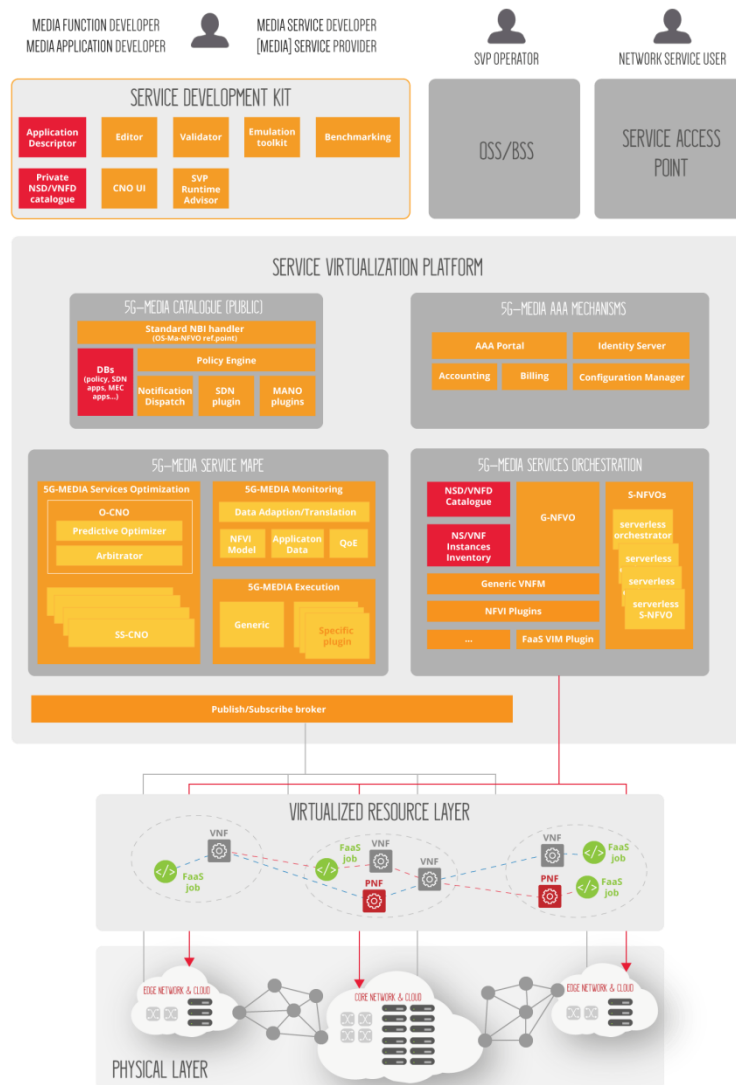
⁶ <https://osm.etsi.org/>

Infrastructure Owner: Περιλαμβάνει μεγάλες τηλεπικοινωνιακές εταιρείες, οι οποίες παρέχουν δικτυακούς, υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους σε μεγάλης κλίμακα περιβαλλόντων βασισμένα σε νέφη, για την ανάπτυξη υπηρεσιών [26].

Service Virtualisation Platform Operator: Αυτός ευθύνεται για τη λειτουργία και τη διατήρηση ενός ασφαλούς, επεκτάσιμου και αποτελεσματικού SVP για την οργάνωση των υπηρεσιών [26].

3.4 Αρχιτεκτονική Δικτύου

Σύμφωνα με τους συντελεστές του project 5G-MEDIA, η αρχιτεκτονική στο τομέα των Media θα αποτελείται από τρία επίπεδα, το Service Development Kit (SDK), το Service Virtualization Platform (SVP) και το Physical Layer, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2 .



Σχήμα 3.2: 5G-MEDIA architecture [28].

3.4.1 Service Development Kit (SDK)

Με το 5G-MEDIA SDK, οι service developers αναπτύσσουν, προσομοιώνουν και δοκιμάζουν υπηρεσίες βασισμένες σε NFV, ενσωματώνοντας ταυτόχρονα τις αναπτυξιακές και λειτουργικές της πτυχές [28]. Συγκεκριμένα, το SDK χρησιμοποιεί ένα εργαλείο

επικύρωσης (validator) σε φιλικό Web UI, για να ελέγχει τη συμβατότητα μεταξύ των σχημάτων τύπου TOSCA⁷ και OSM. Οι εξουσιοδοτημένοι περιγραφείς (descriptors) χρησιμοποιούν το 5G-MEDIA Service Catalogue Northbound Interface (NBI⁸), για να ενσωματωθούν στο private catalogue. Το εργαλείο 5G-MEDIA SDK Emulator χρησιμοποιεί τα vim-emu και FaaS-vim, για να τρέξουν λειτουργίες σε Docker containers, σε προσομοιωμένες τοπολογίες δικτύου που εκτελούνται τοπικά στο μηχάνημα του προγραμματιστή. Το benchmarking service χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του φόρτου εργασίας διαφορετικών περιοριστικών πόρων σε VNF και NS, για την εύρεση σφαλμάτων, ανίχνευση συμφόρησης ή διερεύνηση ζητημάτων στις εφαρμογές τους. Τέλος, το 5G-MEDIA SDK προσφέρει επίσης υποστήριξη για τη διαχείριση του κύκλου ζωής των υπηρεσιών που αναπτύσσονται στο SVP με εργαλεία όπως i) το CNO Training tool, όπου ο προγραμματιστής το εκπαιδεύει με το μοντέλο της ενισχυτικής μάθησης (reinforcement learning) και ii) ο SVP Runtime Advisor, ο οποίος παρέχει ανατροφοδότηση στον προγραμματιστή για το πώς λειτουργούν οι υπηρεσίες τους στο λειτουργικό περιβάλλον. Επομένως, το SDK αποτελεί μια εργαλειοθήκη που υποστηρίζει τη συνεχή διορθωτική ανάπτυξη υπηρεσιών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των υπηρεσιών.

3.4.2 Service Virtualization Platform (SVP)

Η SVP αποτελείται από τέσσερα στοιχεία [28]. Διαθέτει δύο κεντρικές υπηρεσίες: το 5G-MEDIA Service MAPE και το 5G-MEDIA Service Orchestrator, τα οποία είναι υπεύθυνα για την έξυπνη ενορχήστρωση υπηρεσιών έναντι των ετερογενών NFVI. Επιπλέον, διαθέτει δύο βοηθητικές υπηρεσίες: 5G Apps and Services Catalogue (Public Catalogue) και τις υπηρεσίες AAA 5G-MEDIA, οι οποίες υποστηρίζουν οριζόντιες υπηρεσίες της πλατφόρμας, όπως η ενσωμάτωση VNF σε δημόσιο κατάλογο, υπηρεσίες ελέγχου ταυτότητας χρήστη και εξουσιοδότησης.

Το βασικό συστατικό του SVP είναι το MANO framework, γιατί όλα τα στοιχεία του SVP, έχουν βασιστεί στις αρχιτεκτονικές αρχές του OSM. Συγκεκριμένα, η υπηρεσία Service Orchestrator ελέγχει το NFVO, το VNFM και ο έλεγχος των VNF/NS Repository & Catalogue βασίζεται στους μηχανισμούς του project SELFNET⁹ της φάσης 1 του 5G-PPP. Ο κατάλογος 5G-MEDIA, επίσημα 5G Apps and Services Catalogue (Public Catalogue), σχεδιάστηκε ως πλατφόρμα NFV MANO, με συγκεκριμένους όρους φόρμας και σύνταξης και μοντέλο πληροφοριών VNF package. Η υπηρεσία AAA επικυρώνει του καταλόγου και του SVP, αναγνωρίζει τους end-user, έχει εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στους πόρους και τις υπηρεσίες και κρατάει αρχείο δραστηριοτήτων. Το Media Service MAPE είναι το πιο καινοτόμο και σημαντικό στοιχείο στην αρχιτεκτονική και αποτελείται από το Cognitive Network Optimizer (CNO), το Monitoring service και το Execution service. Το CNO Engine, έχει βασιστεί στο project COGNET¹⁰ της φάσης 1 του 5G-PPP και με τη μηχανική μάθηση (ML) δημιουργεί και διαμορφώνει δυναμικά το ζωντανό VNF Forwarding Graphs (VNF-FGs). Το Execution service ενεργοποιεί μηχανισμούς εκτέλεσης, σύμφωνα με το OSM, για να

⁷ https://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=tosca#overview

⁸ <https://whatis.techtarget.com/definition/northbound-interface-southbound-interface>

⁹ Το παραδοτέο D2.3: 5G-MEDIA Platform Architecture, στο κεφάλαιο 2.1.2 The SELFNET project, σελ.24

¹⁰ Το παραδοτέο D2.3: 5G-MEDIA Platform Architecture, στο κεφάλαιο 2.1.1 The COGNET project, σελ.18

επιβληθούν εντολές στο CNO των ολοκληρωμένων NFIV και των VNF-FGs. Τέλος, ο publish/subscribe broker χρησιμοποιείται στο SVP ως μηχανισμός ανταλλαγής μηνυμάτων.

3.4.3 Physical Layer

Το φυσικό επίπεδο, για να έχει καλύτερη απόδοση και λειτουργία, δεν χωρίζεται φυσικά, άλλα εικονικά με τη χρήση του cloud computing, του virtualization και άλλων τεχνολογιών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να φιλοξενήσουν στιγμιότυπα VNF, NS και να μεταφέρουν υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες [27]. Το Core Network και το Cloud Environment έχουν τρεις στόχους. Αρχικά, να παρέχει πόρους στο VNF, οι οποία χρησιμοποιούνται από ενοικιαστές ή εφαρμογές, όπως virtual firewall και από λειτουργίες ή βοηθήματα συγκεκριμένων εφαρμογών, όπως διακομιστές rendering ή AR. Επίσης, κατανέμουν τους πόρους, όπως το network slicing, για να ικανοποιούνται τα QoS, QoE των εφαρμογών ή ζητήματα ασφάλειας/απορρήτου ενός παροχέα υπηρεσιών. Τέλος, θα διευκολυνθεί η ανάπτυξη παλαιών υπηρεσιών που βασίζονται σε φυσικό/εξειδικευμένο υλικό.

3.5 Περιπτώσεις Χρήσης

Οι περιπτώσεις χρήσης του M&E είναι τρεις.

1. Immersive Media: στα ηλεκτρονικά online παιχνίδια, οι παίχτες μπαίνουν μέσα στο παιχνίδι, ως 3d replicas και τους παρακολουθούν όλοι οπουδήποτε, οποτεδήποτε.
2. Mobile Contribution, Remote and Smart Production in Broadcasting: οι τηλεοπτικές μεταδόσεις γίνονται ευκολότερες και πιο ευέλικτες.
3. Ultra-High Definition (UHD) over Content Distribution Networks (CDN): η μεταφορά περιεχομένου UHD media σε οποιαδήποτε συσκευή χρήση.

3.6 Περίπτωση Χρήσης 1: Immersive Media

Οι εφαρμογές Tele-Immersive (TI) βασίζονται σε διαδικτυακές εφαρμογές, οι οποίες υποστηρίζουν την real-time αλληλεπίδραση πολλών παιχτών μαζί, οι οποίοι είναι σε διαφορετικές τοποθεσίες, άλλα βρίσκονται όλοι μαζί στον ίδιο εικονικό κόσμο [26]. Η αναπαράσταση της 3D replica του κάθε παίχτη γίνεται μέσω πολλών RGB-D αισθητήρων και με αλγόριθμους 3D ανακατασκευής σωμάτων, αναπαράγονται τα 3D time varying mesh (TVM). Όμως, προκειμένου να αντιμετωπιστεί ο μεγάλος όγκος δεδομένων που παράγονται από μια εφαρμογή TI, απαιτείται αναβάθμιση της υποδομής δικτύου, σε πιο αποτελεσματική, μαζί με την δημιουργία νέων συστημάτων συμπίεσης TVM.

3.6.1 Συμμετέχοντες

Συμμετέχον	Ρόλος	Πλεονέκτημα
End User	Συμμετέχει στο TI παιχνίδι ως παίχτης ή θεατής	Υψηλή χωρητικότητα και χαμηλός λανθάνοντας χρόνος αυξάνει το QoE
Service Provider	Προσφέρει TI υπηρεσία gaming στους παίχτες /	Η πλατφόρμα 5G-MEDIA επιτρέπει στον παροχέα εύκολη προσαρμογή των μερών της υπηρεσίας game σε μεγάλα κατανεμημένα

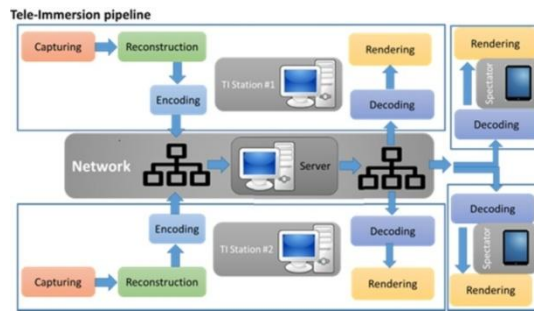
	θεατές σε κατανεμημένες περιοχές	συστήματα, διαχειρίζεται τα VNFs δυναμικά ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη και αυξάνεται του QoE, εντός των περιορισμένων για την κατανάλωση των πόρων
Application/Service/ Function Developer	Ανάπτυξη των PNFs και VNFs	Οι καινούργιες λειτουργίες παιχνιδιών αναπτύσσονται, λόγω των επεκτάσιμων υπολογιστικών και αποθηκευτικών πόρων σε edge και centralized τοποθεσίες
Service Virtualisation Platform Operator	Το SVP χειρίζεται την ανάπτυξη και τη διαχείριση του TI παιχνιδιού	Ο διαχειριστής VNF-FG επιτρέπει στα στοιχεία της υπηρεσίας TI game on-demand να ταιριάζει τη ποιότητα και τη τοποθεσία των παιχτών / θεατών. Για να βελτιωθεί το QoE του τελικού χρήστη, προσφέρεται έξυπνη υποδομή, διαχείριση πόρων και αλγόριθμοι στους προγραμματιστές και στους παρόχους
Infrastructure Owner	Παρέχει cloud computing και networking infrastructure	Προσφέρει υψηλή περιεκτικότητα, χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και προγραμματισμό στα μονοπάτια και πόρους για τη στελέχωση των VNFs. Λόγω του SVP, οι πόροι της υποδομής χρησιμοποιούνται αποδοτικότερα.

Πίνακας 3.1: Ρόλοι των συμμετεχόντων και πλεονεκτήματα στη περίπτωση χρήσης 1 [26].

3.6.2 Σενάρια

Σενάριο 1: Playing a TI-Game [26]

Τα 3D replicas των παιχτών βρίσκονται στο κοινό εικονικό περιβάλλον του παιχνιδιού και τοποθετούνται πάνω σε sci-fi hoverboards. Η φυσική παρουσία κάθε παίχτη είναι σε ένα σταθμό βάσης TI, για να λαμβάνει, να επεξεργάζεται, να κωδικοποιεί και να μεταδίδει τα 3D δεδομένα στους υπόλοιπους. Οι παίχτες μπορούν να πλοηγηθούν και να αλληλεπιδράσουν με το περιβάλλον του παιχνιδιού χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε στάση σώματος, όπως λυγίζοντας τα γόνατα για να κινηθούν προς τα εμπρός, να κλίνουν δεξιά ή αριστερά για να στρίψουν ανάλογα. Τα δεδομένα αυτά πηγαίνουν σε έναν εξουσιοδοτημένο game server και συγχρονίζει τη κατάσταση του παιχνιδιού μεταξύ των παιχτών. Κάθε παίχτης συμμετέχει μέσω ενός game client και η ευθύνη του λογισμικού του είναι διπλή. Πρώτον, σε κάθε χρονικό πλαίσιο, απεικονίζει την τρέχουσα κατάσταση παιχνιδιού ενσωματώνοντας και τοποθετώντας την τρισδιάστατη προβολή όλων των παικτών μέσα στον εικονικό κόσμο. Δεύτερον, εισάγει οποιαδήποτε χειρονομία του χρήστη που αλληλεπιδρά με τον εικονικό κόσμο και τη μεταδίδει στο game server για επεξεργασία.



Σχήμα 3.3: Τυπικό TI-GAME pipeline [26].

Στο συνέδριο e-Sports παρουσιάστηκε το TI παιχνίδι, SpaceWars. Αποτελείται από 2 παίχτες, τον Αργύρη και το Σπύρο και η λειτουργία του παιχνιδιού εξελίσσεται με βάση το παραπάνω σενάριο. Στο σχήμα 3.4 απεικονίζονται στιγμιότυπα του παιχνιδιού SpaceWars κατά τη διάρκεια μιας περιόδου λειτουργίας των δύο παικτών.



Σχήμα 3.4: Στιγμιότυπα από το παιχνίδι SpaceWars [26].

Σενάριο 2: Spectating [26]

Σε αυτό το σενάριο, οι θεατές παρακολουθούν το παιχνίδι TI. Ο κάθε χρήστης-θεατής έχει μια εγκατεστημένη εφαρμογή στην συσκευή του και προβάλλουν τη ζωντανή μετάδοση του παιχνιδιού. Η εφαρμογή συνδέεται με τον game server και λαμβάνει τις τρισδιάστατες προβολές των παιχτών, τις κωδικοποιεί και τις προβάλλει μέσα το περιβάλλον του παιχνιδιού την τρέχουσα κατάσταση του, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.

Στο ίδιο συνέδριο μεγάλος αριθμός θεατών ζήτησε να παρακολουθήσει το παιχνίδι TI. Ο Κώστας παρακολουθεί την εξέλιξη του παιχνιδιού χωρίς προβλήματα. Ενώ, ο Βασίλης το παρακολουθεί από το κινητό του, πηγαίνοντας σπίτι του. Οι θεατές μπορούν να παρακολουθήσουν ή τη ζωντανή μετάδοση ή τις καλύτερες στιγμές ή όλη τη δράση.

3.6.3 Σκοπός της περίπτωσης χρήσης

Η περίπτωση χρήσης Immersive Media απαιτεί υψηλό bandwidth (next-gen immersive 3D media), χαμηλές καθυστερήσεις και ομαλές αναπαραγωγές για τους θεατές, γιατί τα 3D δεδομένα είναι συνδυασμός γεωμετρικών και γραπτών ρυθμίζουν και το απαιτούμενο εύρος ζώνης δικτύου θα κυμαίνεται από 18 Mbit/s μέχρι 30 Mbit/s [26]. Ο σκοπός του project 5G MEDIA είναι αναπτύξει δικτυακές εφαρμογές, μέσω συγκεκριμένων media VNFs, όπως οι transcoders και εφαρμογών serverless/FaaS, μέσω πάλι VNFs, οι οποίοι θα ενεργοποιούνται στιγμιαία, όπως ο replay generator. Ο CNO καθορίζει την καλύτερη τοποθέτηση των VNFs, λαμβάνοντας υπόψη τη σύγκριση της απόδοσης με το κόστος και ανάλογα με τη χωρητικότητα του δικτύου, ρυθμίζεται το επίπεδο συμπίεσης στους transcoder, ώστε να ταιριάζει η ποιότητα της ροής δεδομένων με τους πόρους του δικτύου. Με τη μηχανική μάθηση θα προβλέπεται η κίνηση του δικτύου.

3.6.4 Περιγραφή των VNFs και PNFs

Παρακάτω παρουσιάζονται τα VNFs και τα PNFs των διαφόρων επιπέδων της αρχιτεκτονικής δικτύου, όπως αναφέρθηκαν.

Λειτουργίες του Application Layer [26]

Game Server: Είναι κεντρική εφαρμογή του φυσικού δικτύου και είναι υπεύθυνος για το συγχρονισμό του παιχνιδιού μεταξύ των παιχτών.

vTranscoder: Αυτή η εφαρμογή είναι υπεύθυνη για τη δια-κωδικοποίηση (transcoding) των τρισδιάστατων ολογραμμάτων των παιχτών, σε διάφορα επίπεδα ποιότητας, σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, για να υποστηρίξει τη ροή των TVMs στους χρήστες.

3D Media QoE: Η εφαρμογή του εικονικού δικτύου είναι υπεύθυνη για τις μετρήσεις των QoS/QoE, στο επίπεδο εφαρμογής, σχετικά με την εφαρμογή TI, των παιχτών και των θεατών. Στο επίπεδο MANO καθορίζει την οργάνωση των άλλων VNFs, την λειτουργικότητα του QoS prioritization και του Traffic steering, για τη βελτίωση του QoE των χρηστών.

vReplay: Η εφαρμογή vReplay λειτουργεί μόνο όταν ζητηθεί κάποιο highlight, το οποίο είναι αποθηκευμένο στο κόμβο vBuffer και μπορεί να προβληθεί και off-line.

Γενικές λειτουργίες πολυμέσων [26]

vBuffer: Η εικονική εφαρμογή vBuffer αποθηκεύει τα τελευταία X λεπτά της κατάστασης του παιχνιδιού και τα 3D ολογράμματα. Το buffer υποστηρίζει και άλλες VNFs, όπως vRender και vReplay.

Λειτουργίες επιπέδου δικτύου [26]

QoS Prioritisation: Η εφαρμογή ελέγχει τη κίνηση στα μονοπάτια μέσω μηχανισμών, όπως τεχνικές προώθησης μέσω διαφόρων κλάδων ουράς και μέσω κράτησης εύρους ζώνης για κυκλοφορία υψηλής προτεραιότητας. Προτεραιότητα απαιτείται, όταν το δίκτυο δεν έχει την κατάλληλη απόδοση, όπως μείωση των καθυστερήσεων ή του jitter στους συνδέσμους.

Jitter (wikipedia): Είναι η απόκλιση από την πραγματική περιοδικότητα ενός πιθανώς περιοδικού σήματος, σε σχέση με ένα σήμα ρολογιού αναφοράς. Στις εφαρμογές ανάκτησης ρολογιού ονομάζεται jitter χρονισμού. Το Jitter είναι ένας σημαντικός και συνήθως ανεπιθύμητος παράγοντας στο σχεδιασμό σχεδόν όλων των επικοινωνιακών ζεύξεων [29].

Traffic Steering: Ασχολείται με τη δρομολόγηση της κυκλοφορίας σε μονοπάτια που φτάνουν την χωρητικότητα της επιτρεπόμενης ροής μιας εφαρμογής. Αν είναι ανεπαρκές το QoS prioritization, τότε είναι αναγκαίο νέο μονοπάτι. Για πολλαπλή δρομολόγηση χρησιμοποιείται το source routing ή ο ενσωματωμένος ελεγκτής του SDN, όπου τα μονοπάτια ρυθμίζονται δυναμικά.

Multicast: Παραδίδει το ίδιο περιεχόμενο σε πολλούς παραλήπτες αποτελεσματικά.

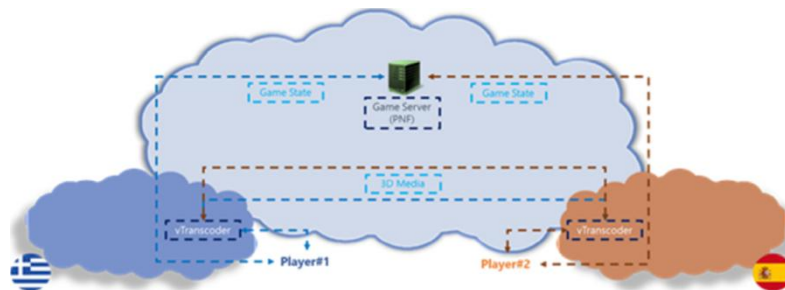
3.6.5 Γραφήματα Προώθησης VNF (VNF-FGs)

Οι παραπάνω φυσικές και εικονικές εφαρμογές θα χρησιμοποιηθούν σε VNF-FGs, τα οποία αλληλεπιδρούν με τα networking και media VNF. Στα παρακάτω παραδείγματα VNF, οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τη ροή δεδομένων μεταξύ των στοιχείων, ενώ τα στιγμιότυπα VNF βασισμένα σε γεγονότα παρουσιάζονται ως συμπαγείς γραμμές που δείχνουν στα παραγόμενα VNF. Η πολυπλοκότητα τους αποσυντίθεται σε:

- Επίπεδο δεδομένων VNFs, παρουσιάζοντας τις συνδέσεις και τη ροή δεδομένων
- Επίπεδο ελέγχου VNFs, παρουσιάζοντας τις αλληλεπιδράσεις στο MANO επίπεδο
- Διαδικτυακά VNF-FGs, παρουσιάζοντας τα απαραίτητα διαδικτυακά στοιχεία και συνδέσεις τους που απαιτούνται για την εφαρμογή media

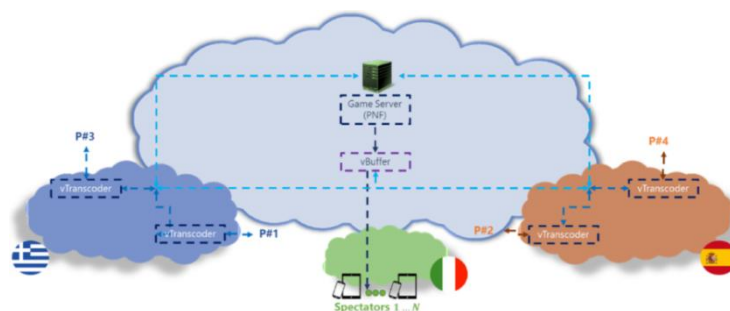
3.6.5.1 Παράδειγμα VNF-FGs: Application Data Plane

Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζει τη ροή δεδομένων και τα media components [26]. Κάθε χρήστης έχει ένα transcoding στοιχείο, για αν διευκολύνει τη ζωντανή μετάδοση. Οι τρισδιάστατες μορφές δρομολογούνται μεταξύ των παιχτών, ενώ η ροή του παιχνιδιού ακολουθεί μια κεντροποιημένη ροή και server είναι υπεύθυνος, για τον συγχρονισμό τους. Το cloud edge παράγεται από ένα ISP, ανάλογα με την τοποθεσία του χρήστη. Το στοιχείο transcoding ρυθμίζεται και inter και intra cloud, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και λανθάνοντος χρόνου.



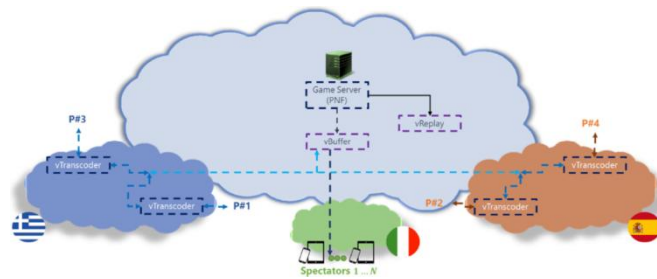
Σχήμα 3.5: Δύο γεωγραφικά απομακρυσμένοι παίχτες συμμετέχουν σε μια συνεδρία εφαρμογής TI media που δημιουργείται μέσω cloud-based server. Η κίνηση του τρισδιάστατου ολογράμματος των παικτών κατευθύνεται απευθείας μεταξύ τους, ενώ η παγκόσμια κατάσταση του παιχνιδιού συγχρονίζεται μέσω του φυσικού διακομιστή [26].

Η εφαρμογή media μπορεί να υποστηριχθεί από N ασύρματους θεατές [26].

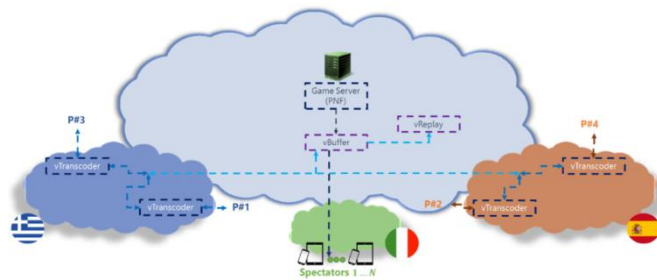


Σχήμα 3.6: Πολλοί θεατές παρακολουθούν τη συνεδρία του TI παιχνιδιού, οποιαδήποτε στιγμή [26].

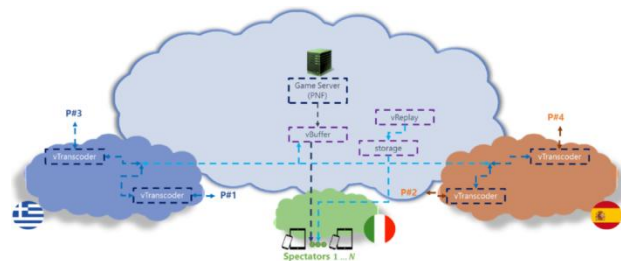
Στο στοιχείο vBuffer αποθηκεύεται ένα στιγμιότυπο του παιχνιδιού και το στοιχείο vReplay λαμβάνει το πιο πρόσφατο και το επεξεργάζεται [26]. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία, το στιγμιότυπο αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων και οι θεατές ενημερώνονται.



Σχήμα 3.7: Το συγκεντρωτικό στοιχείο επεξεργασίας αρχικοποιείται με game events [26].



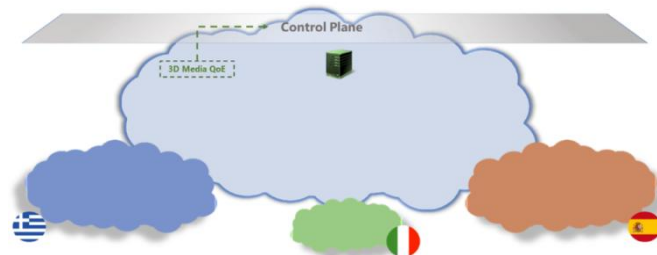
Σχήμα 3.8: Το στοιχείο vReplay λαμβάνει τα πιο πρόσφατα δεδομένα από στοιχείο vBuffer [26].



Σχήμα 3.9: Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία, το στιγμιότυπο αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων και οι θεατές ενημερώνονται [26].

3.6.5.2 Παράδειγμα VNF-FGs: Application Control and Management Plane

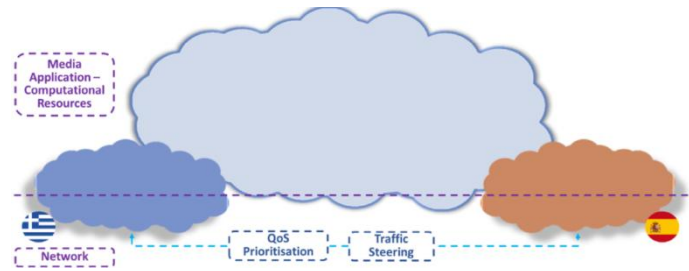
Η εφαρμογή μπορεί να αντιδρά σε μια κακή ποιότητα δικτύου με καλύτερη θέαση [26].



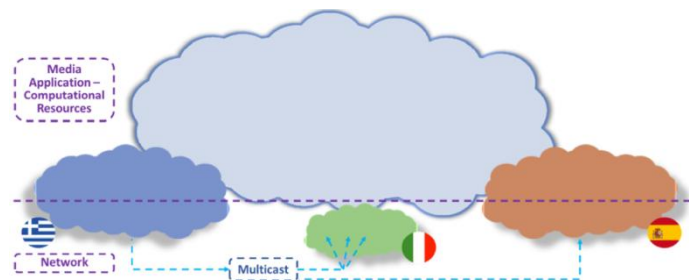
Σχήμα 3.10: Τα επίπεδα QoS, κάθε συνεδρία, παρακολουθούνται, σύμφωνα με τις μετρήσεις που προσφέρονται στο επίπεδο MANO [26].

3.6.5.2 Παράδειγμα VNF-FGs: Network Plane

Ανάλογα με τους χρήστες και τις ανάγκες, το δίκτυο προσαρμόζεται [26].



Σχήμα 3.11: Ο ρόλος των QoS Prioritization and Traffic Steering στο δικτυακό μονοπάτι [26].

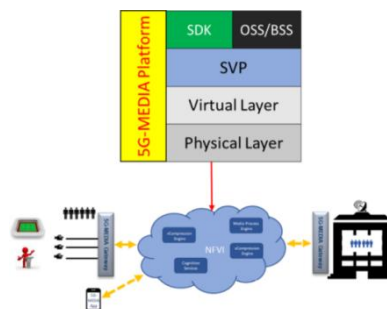


Σχήμα 3.12: Ο ρόλος του network multicast για τη κατανομή των 3D media ροών σε πολλούς χρήστες [26].

3.7 Περίπτωση Χρήσης 2: Mobile Contribution, Remote and Smart Production in Broadcasting

Οι τηλεοπτικοί σταθμοί, λόγω των υψηλών οικονομικών απαιτήσεων, αναζητούν οικονομικές και γρήγορες μεθόδους παραγωγής, γνωστές ως *έξυπνες παραγωγές* (smart production). Στη δεύτερη περίπτωση χρήσης θα αναλυθεί η υποκατηγορία από τις έξυπνες παραγωγές, η *απομακρυσμένη παραγωγή* (remote production) [26].

Αντί, οι τηλεοπτικοί παραγωγοί να χρησιμοποιούν μεγάλες ομάδες τεχνικών και εξοπλισμού, για να καλύψουν εξωτερικές παραγωγές, οι παραγωγές τους γίνονται απομακρυσμένα και το κέντρο ελέγχου βρίσκεται μέσα στον εκπεμπόμενο (broadcaster) [26]. Η τεχνολογία 5G προσφέρει χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, αξιοπιστία και πιο ευέλικτες, ad-hoc λύσεις. Οι δημοσιογράφοι και οι ρεπόρτερ θα μπορούν, να μεταδίδουν ζωντανά οποιοδήποτε συμβάν ή συνέντευξη, χωρίς να το εγγράψουν πρώτα, λόγω του προηγμένου οπτικοακουστικού υλικού. Στο σχήμα 3.13 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική της περίπτωσης χρήσης 2.



Σχήμα 3.12: Επισκόπηση της περίπτωσης χρήσης «Remote and Smart Production» σύμφωνα με την αρχιτεκτονική 5G-MEDIA.

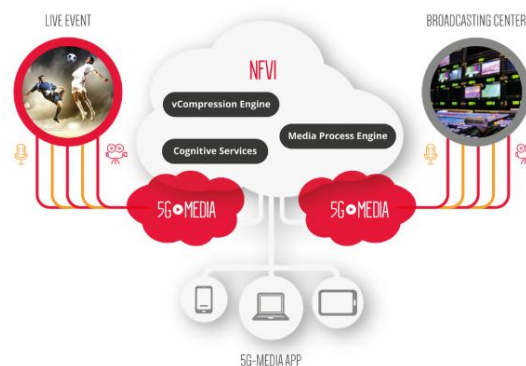
3.7.1 Συμμετέχοντες

Συμμετέχον		Ρόλος	Πλεονέκτημα
End user	A) audience	Καταναλώνουν/παράγουν περιεχόμενο και αλληλεπιδρούν με τον broadcaster μέσω της εφαρμογής 5G-MEDIA	Εμπλουτισμένο και πρόσθετο υλικό γίνεται πλέον διαθέσιμο. Μέσω διαδικτύου το κοινό συμμετέχει ανεβάζοντας δικό του υλικό (user-generated content)
	B) broadcast engineer/ reporter	Υπεύθυνοι για τη παραγωγή και τον έλεγχο εξοπλισμού/VNFs	Χρησιμοποιούν, κουβαλάνε λιγότερο εξοπλισμό, λόγω των VNFs. Οι δυνατότητες του broadcaster είναι περισσότερες γιατί δεν απομακρύνεται από το studio
	Γ) broadcaster	Είναι υπεύθυνος για όλη τη παραγωγή, π.χ. αποφασίζει τι εγγράφεται / μεταδίδεται που και πότε, οργανώνει τον εξοπλισμό και το προσωπικό	Μειώνεται το κόστος της παραγωγής γιατί χρησιμοποιεί λιγότερο προσωπικό / εξοπλισμό και καλύτερα. Η «μακροσκελής» παραγωγή εμπλουτίζει και μειώνει το κόστος της εκπομπής
Service Provider		Σύνδεση των ρεπόρτερ με το studio μέσω edge και κεντρικών cloud πόρων (media-specific VNFs), με υψηλό bandwidth και μικρές καθυστερήσεις. Επιτρέπει στους θεατές να μοιράζονται περιεχόμενο	Παρέχει στο χρήστη τη βέλτιστη συνδεσιμότητα με το studio του broadcaster και user-generated content με upload ή live-streaming
Application/Service/ Function Developer		Αναπτύσσει και ενσωματώνει 5G-MEDIA υπηρεσίες ή λειτουργίες, αξιοποιώντας τα SVP και NFVI	Παρέχει επαρκείς πόρους για την εγκατάσταση των VNFs, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα και τη βιωσιμότητα της υποδομής. Τα NFVIs υποστηρίζουν στατικά, κεντροποιημένα περιβάλλοντα cloud και δυναμικές και σχετικά με την κινητικότητα απαιτήσεις σε υποδομές τύπου edge. Τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα ικανοποιούν περισσότερους πελάτες, χρησιμοποιούν καλύτερη υποδομή

		και ελέγχουν το κόστος
Service Virtualisation Platform Operator	Υπεύθυνος για τη λειτουργία και τη συντήρηση ενός ασφαλούς, επεκτάσιμου και αποτελεσματικού SVP για τις υπηρεσίες 5G-MEDIA. Υπεύθυνος για την ανάπτυξη, λειτουργία και τον έλεγχο των 5G-MEDIA VNFs και υπηρεσιών. Αναπτύσσεται είτε σε ενοικιαζόμενη υποδομή είτε είναι ένα με τον Infrastructure Owner.	Αναπτύσσει γρήγορα και εφαρμόζει συγκεκριμένες λειτουργίες δικτύου για την επεξεργασία οπτικοακουστικού περιεχομένου.

Πίνακας 3.2: Ρόλοι των συμμετεχόντων και πλεονεκτήματα στη περίπτωση χρήσης 2 [26].

3.7.2 Σενάρια



Σχήμα 3.13: Επισκόπηση σεναρίων της περίπτωσης χρήσης «Remote and Smart Production».

Σενάριο 1: Remote Production [26]

Ο ποδοσφαιρικός αγώνας του γερμανικού πρωταθλήματος Bundesliga καλύπτεται από το δημόσιο γερμανικό ραδιοτηλεοπτικό σταθμό. Το τηλεοπτικό συνεργείο συνδέει τον εξοπλισμό στο 5G NR, για να πιστοποιηθούν, να ρυθμίσουν τα αντίστοιχα εργαλεία 5G-MEDIA και να αρχίσει η μετάδοση. Η PNF gateway είναι υπεύθυνη, για τη μετατροπή SDI-to-IP signal, τη πολυπλεξία των σημάτων και την πρόσβαση στο δίκτυο με καλώδιο, WiFi ή LTE. Η επεξεργασία των οπτικοακουστικών ροών γίνεται στα *vCompression Engine VNFs* και αναπτύσσονται στο edge cloud/NFVI κοντά στο γήπεδο και στον broadcaster.

Το λαμβανόμενο σήμα περνάει από άλλη PNF gateway για περαιτέρω επεξεργασία. Όταν ξεκινήσει η εγγραφή από τις τρεις κάμερες, τα σήματα A/V μεταδίδονται στο control room του broadcaster, όπου βρίσκεται ο σκηνοθέτης, οι A/V mixers, ο τεχνικών γραφικών και βίντεο. Μόνο το συνεργείο βρίσκεται στο στάδιο, το control room παρακολουθεί τις κάμερες σε πολλές οθόνες και παράλληλα ελέγχει το συνεργείο. Το τελικό σήμα αποφασίζεται από το control room και το συνεργείο.

Στο control room, ο τεχνικός ρυθμίζει την ποιότητα του σήματος και το QoE. Το *Cognitive Network Optimizer* προσαρμόζει δυναμικά τα VNFs και χρησιμοποιούνται τα εργαλεία *QoS Priorisation* και *Traffic Steering*. Επίσης, ο σκηνοθέτης λαμβάνει συμπιεσμένα και κωδικοποιημένα τα σήματα, μέσω του *vCompression Engine*. Τέλος, για να παραχθεί το τελικά εκπεμπόμενο σήμα, στέλνεται στο *Media Process Engine* του edge cloud/NFVI και μετά στην εφαρμογή *Cognitive Service*, για να προσθέσει περισσότερες πληροφορίες, όπως υπότιτλους (speech-to-text).

Σενάριο 2: Mobile Contribution [26]

Ένας δημοσιογράφος χρειάζεται να καλύψει ένα συμβάν, αλλά δεν έχει το τηλεοπτικό συνεργείο μαζί του. Όμως, έχει εγκατεστημένη στο κινητό του την εφαρμογή 5G-MEDIA, η οποία του επιτρέπει, να μεταδώσει εικόνα και ήχο σε πραγματικό χρόνο. Όταν ανοίξει την εφαρμογή, συνδέεται στο 5G NR και μετά στο δελτίο ειδήσεων του τηλεοπτικού σταθμού. Η επεξεργασία των οπτικοακουστικών ροών γίνεται στα *vCompression Engine VNFs* και αναπτύσσονται στο edge cloud/NFVI κοντά στο χώρο μετάδοσης και στον broadcaster. Με το εργαλείο *Cognitive Network Optimizer* προσαρμόζει δυναμικά τα VNFs και διασφαλίζεται η καλύτερη ποιότητα.

Στη πλευρά της λήψης, η *vCompression Engine* αποκωδικοποιεί και αποσυμπιέζει τα δεδομένα και με την εφαρμογή *Cognitive Service*, για να προσθέσει περισσότερες πληροφορίες, όπως αναγνώριση προσώπου (face recognition, image recognition), όταν αναγνωρίσει κάποιο διάσημο και βοηθά το σκηνοθέτη και το κοινό να τον δουν.

3.7.3 Σκοπός της περίπτωσης χρήσης

Όπως έχει αναφερθεί και στην πρώτη περίπτωση χρήσης και σε αυτή τη περίπτωση χρήσης θα πρέπει, να υπάρχει υψηλό bandwidth, χαμηλό latency για τη live μετάδοση και καλύτερη εμπειρία στους χρήστες [26]. Για να μην χρησιμοποιηθούν μισθωμένες γραμμές και ειδικό hardware, θα αντικατασταθούν από ευέλικτες, ad-hoc και οικονομικές λύσεις. Αυτά είναι τα VNFs με (ημι-)αυτόνομες έξυπνες παραγωγές στις απομακρυσμένες τοποθεσίες. Αυτές οι πολυμεσικές υπηρεσίες θα μειώσουν την πολυπλοκότητα για το χρήστη και θα διασφαλιστεί η λειτουργία των QoS και QoE. Οι *vCompression Engines* θα συμπιέζουν και θα κωδικοποιούν το οπτικοακουστικό περιεχόμενο, για να καλύψουν μικρότερος εύρος ζώνης και καλύτερη μετάδοση. Οι *Cognitive Services* θα εμπλουτίζουν το περιεχόμενο με επιπλέον πληροφορίες, όπως έχει αναφερθεί. Τέλος, ο CNO θα ενεργοποιήσει λειτουργίες MANO στο επίπεδο δικτύου, μέσω API, για να ρυθμίσει τις εφαρμογές traffic steering, QoS prioritization και να αυξήσει την απόδοση του δικτύου. Οι λειτουργίες του FaaS θα χρησιμοποιηθούν για τα στιγμιότυπα των *Cognitive Service VNFs*, στη συνεισφορά περιεχομένου.

3.7.4 Περιγραφή των VNFs και PNFs

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα VNFs και τα PNFs των διαφόρων επιπέδων της αρχιτεκτονικής δικτύου, τα οποία αναφέρθηκαν.

Λειτουργίες επιπέδου εφαρμογής [26]

vCompression Engine: Είναι VNF και συμπιέζει, (από-)κωδικοποιεί A/V σήματα. Απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ και buffering.

Media Process Engine (MPE): Είναι VNF και εναλλάσσει σήματα A/V. Απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ, buffering/frame αποθήκευση και συγχρονισμό σημάτων. Το στοιχείο MPE τοποθετείται μετά τη μηχανή vCompression, γιατί πρέπει να είναι συγκεκριμένης μορφής, όπως JPEG2000¹¹, για να γίνει επεξεργάσιμο. Το MPE έχει δύο ρόλους, να εναλλάσσει βίντεο (video switcher), πριν από τη μηχανή vCompression και με βοηθητικά σήματα λειτουργεί ως broadcast router, πριν από το Cognitive Services.

Cognitive Services: Είναι VNF και επιτρέπει τον εμπλουτισμό περιεχομένου με επιπλέον πληροφορίες, όπως speech-to-text και face recognition, βασισμένες σε τεχνικές deep learning.

5G-MEDIA Gateway: Είναι PNF και είναι SDI-to-IP / IP-to-SDI έξοδος. Μεταφέρει βίντεο, ήχο, μεταδεδομένα και αποτελεί σύνδεση του κέντρου μετάδοσης και του edge cloud.

Λειτουργίες επιπέδου δικτύου [26]

QoS Prioritisation: Η εφαρμογή ελέγχει τη κίνηση στα μονοπάτια μέσω μηχανισμών, όπως τεχνικές προώθησης μέσω διαφόρων κλάδων ουράς και μέσω κράτησης εύρους ζώνης για κυκλοφορία υψηλής προτεραιότητας. Προτεραιότητα απαιτείται, όταν το δίκτυο δεν έχει την κατάλληλη απόδοση, όπως μείωση των καθυστερήσεων ή του jitter στους συνδέσμους.

Traffic Steering: Ασχολείται τη δρομολόγηση της κυκλοφορίας σε μονοπάτια που φτάνουν την χωρητικότητα της επιτρεπόμενης ροής μιας εφαρμογής. Αν ανεπαρκές το QoS prioritization, τότε είναι αναγκαίο νέο μονοπάτι. Για πολλαπλή δρομολόγηση χρησιμοποιείται το source routing ή ο ενσωματωμένος ελεγκτής του SDN, όπου τα μονοπάτια ρυθμίζονται δυναμικά.

Traffic classification: Επιθεωρεί την κίνηση και ενεργοποιεί τον μηχανισμό δρομολόγησης της κυκλοφορίας σε επίπεδο εφαρμογής. Τα δεδομένα συλλέγονται και συγκεντρώνονται από τους μηχανισμούς που ελέγχουν τα QoS/QoE, για να καταναλωθούν από τον CNO και να διαλέξει την κατάλληλη διαδρομή.

Security Functions: Παρέχει λειτουργίες για προστασία του δικτύου, όπως το firewall και υπηρεσίες, όπως πρόσβαση μόνο εξουσιοδοτημένων μελών σε υπηρεσίες, εφαρμογές, στη πλατφόρμα και στο δίκτυο.

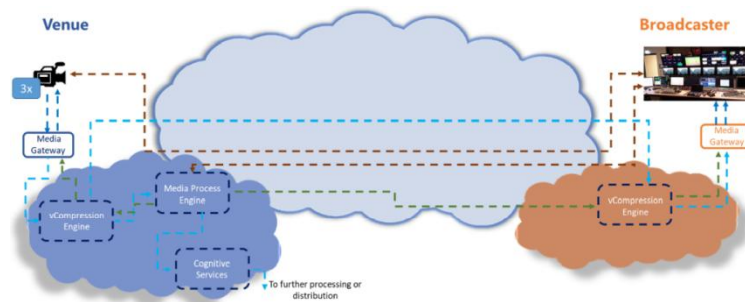
3.7.5 Γραφήματα Προώθησης VNF (VNF-FGs)

Οι παραπάνω φυσικές και εικονικές εφαρμογές θα χρησιμοποιηθούν σε VNF-FGs, τα οποία αλληλεπιδρούν με τα networking και media VNF. Στα παρακάτω παραδείγματα VNF, οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τη ροή δεδομένων μεταξύ των στοιχείων, ενώ τα στιγμιότυπα VNF βασισμένα σε γεγονότα παρουσιάζονται ως συμπαγείς γραμμές που δείχνουν στα παραγόμενα VNF. Απαιτούνται μικρές καθυστερήσεις, υψηλό εύρος ζώνης για όλα τα σήματα βίντεο και μικρές καθυστερήσεις για όλα τα σήματα ελέγχου.

¹¹ https://en.wikipedia.org/wiki/JPEG_2000

3.7.5.1 Παράδειγμα VNF-FG: Application Data Plane

Στο σχήμα 3.14, το VNF-FG δείχνει τη ζωντανή μετάδοση από το χώρο διεξαγωγής (venue) προς τον broadcaster και αντίστροφα. Τα σήματα συμπιέζονται και κωδικοποιούνται μέσω των vCompression Engines σε κάθε σημείο αντίστοιχα [26]. Οι Media Gateways (PNF) μετατρέπουν τα σήματα IP σε SDI signals και αντίστροφα. Τα σήματα ελέγχου (control signals), όπως ο έλεγχος της κάμερας, οι φωνητικές εντολές, tally, ανταλλάσσονται συνεχώς. Ο MPE είναι ένας switcher που εναλλάσσει τα σήματα και ελέγχεται από τον σκηνοθέτη στον broadcaster, σύμφωνα με τις λαμβανόμενες ροές. Το τελικό σήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω επεξεργασία στο Cognitive Services. Τέλος, το εκπεμπόμενο συμπιεσμένο σήμα μεταδίδεται στον broadcaster και στο venue.



Υπόμνημα:

SDI Video Traffic

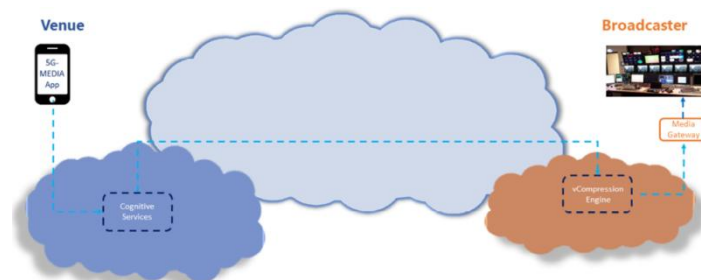
IP Video Traffic – Preview

IP Video Traffic – Live Signal

Control Data Traffic

Σχήμα 3.14: Remote Production με vCompression Engine, Media Process Engine και Cognitive Services [26].

Στο σχήμα 3.15, το VNF-FG δείχνει τη ζωντανή μετάδοση από το χώρο διεξαγωγής (venue), που καλύπτεται με smartphone, προς τον broadcaster και αντίστροφα [26]. Από τον αποστολέα, τα σήματα συμπιέζονται και κωδικοποιούνται, μέσω της εφαρμογής 5G-MEDIA και μέσω του vCompression Engine στον broadcaster. Η βελτιστοποίηση του δικτύου και της μετάδοσης εφαρμόζεται δυναμικά στο επίπεδο δικτύου, σύμφωνα με απαιτήσεις της ροής για την αποστολή του καλύτερου αποτελέσματος στον broadcaster. Τέλος, το σήμα περνά από το Cognitive Services, πριν αποσταλεί στον broadcaster.



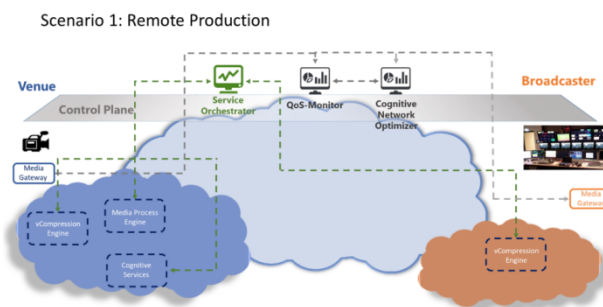
Υπόμνημα:

IP Video Traffic – Live Signal

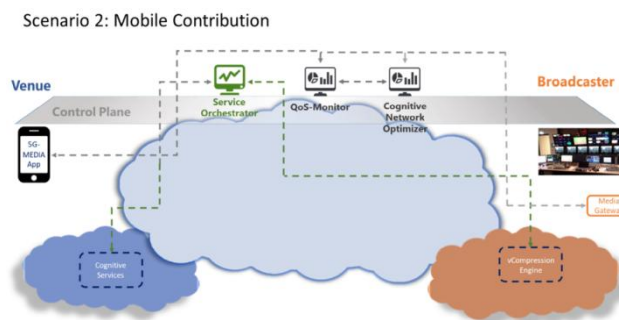
Σχήμα 3.15: Mobile Content Contribution με vCompression Engine και Cognitive Services [26].

3.7.5.2 Παραδείγματα VNF-FG: Application Control and Management Plane

Στο 5G MEDIA SVP, αναπτύσσονται διαφορετικά εργαλεία ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας, το οποίο πρέπει να εξυπηρετηθεί [26]. Στο 5G MEDIA Service MAPE, υπάρχει ο Orchestrator και είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των υπηρεσιών/VNFs των διαφόρων σεναρίων, όπως location-based service provisioning/allocation, service chaining κλπ. Επίσης, ο CNO είναι υπεύθυνος για τη βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων του δικτύου και τον υπολογισμό των μονοπατιών, καθορίζει τη προτεραιότητα στο video traffic κλπ. Ο CNO είναι συνδεδεμένος με το QoS-Monitor, το οποίο παρακολουθεί το δίκτυο, την τήρηση προκαθορισμένων / εγγυημένων επιπέδων QoS και βοηθά το CNO να προσαρμόσει τους πόρους ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου.



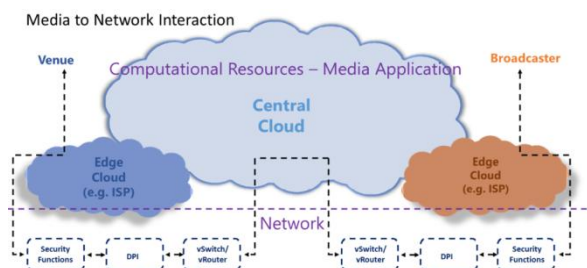
Σχήμα 3.16: Αλληλεπίδραση με λειτουργίες MANO / επιπέδου ελέγχου στο σενάριο 1 [26].



Σχήμα 3.17: Αλληλεπίδραση με λειτουργίες MANO / επιπέδου ελέγχου στο σενάριο 2 [26].

3.7.5.3 Παράδειγμα VNF-FG: Network Plane

Στο επίπεδο δικτύου, θα υπάρχουν (εικονικές) δικτυακές λειτουργίες, για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η βελτιστοποίηση των συνδέσεων, ώστε να μεταφερθεί το σήμα [26]. Λειτουργίες ασφάλειας, όπως firewall, αυθεντικοποίηση εγγυώνται την ασφάλεια των χρηστών και του σήματος, να ανιχνεύονται τα πακέτα, να αντλούνται δεδομένα σχετικά με το QoS. Τέλος, οι εφαρμογές QoS Prioritization, Traffic Steering θα χρησιμοποιηθούν για την προσαρμογή των μονοπατιών / ροών του δικτύου.



Σχήμα 3.18: Η συνεργασία των εφαρμογών στο επίπεδο δικτύου στη περίπτωση χρήσης 2: *Remote and Smart Production* [26].

3.8 Περίπτωση Χρήσης 3: Ultra-high Definition (UHD) over Content Distribution Networks (CDN)

Στη τρίτη περίπτωση χρήσης θα εξεταστεί η πρόσβαση σε UHD media υπηρεσίες από κινητές ή σταθερές συσκευές και ο χρήστης να κινείται μέσα στο 5G δίκτυο. Συγκεκριμένα, πως το UHD περιεχόμενο από τον Media Service Provider (MSP) θα εξυπηρετεί τους χρήστες εν κινήσει και πως ο MSP θα κατασκευάζει κατανομημένες υπηρεσίες από το SDN, για να τις προσφέρει στους χρήστες μέσω του 5G NR [26].

3.8.1 Συμμετέχοντες

Συμμετέχον		Ρόλος	Πλεονέκτημα
End User		Δοκιμάζει τη προσωποποιημένη UHD media streaming	Επωφελείται από τις προσωποποιημένες media streaming υπηρεσίες
Service Provider	α) VoD	Προσφέρει υπηρεσία UHD video on demand εν κινήσει (my screen follows me)	Αξιολογείται η βιωσιμότητα μιας υπηρεσίας UHD σε δίκτυα 5G με βάση το vCDN και στατικό περιεχόμενο
	β) Broadcaster	Προσφέρει μετάδοση περιεχομένου UHD media από ζωντανές εκδηλώσεις ή άλλες τοποθεσίες	Αξιολογείται η βιωσιμότητα μετάδοσης μιας υπηρεσίας UHD σε δίκτυα 5G
Application/Service/ Function Developer		Προσφέρει την υπηρεσία Over The Top (OTT) ¹² για ενσωματωμένο VoD στη πλατφόρμα 5G MEDIA	Συντονίζει και βελτιώνει τις εφαρμογές OTT ώστε το VoD να λειτουργεί σε δίκτυα 5G
Service Virtualisation Platform Operator		Προσφέρει στην υποδομή software defined virtual CDN και στην υπηρεσία virtual streaming	Προετοιμασία υποδομής για να υποδεχθεί υπηρεσίες UHD media

Πίνακας 3.3: Ρόλοι των συμμετεχόντων και πλεονεκτήματα στη περίπτωση χρήσης 3 [26].

3.8.2 Σενάρια

Σενάριο 1: My Screen Follows-me [26]

¹² https://en.wikipedia.org/wiki/Over-the-top_media_service

Ο χρήστης μετακινείται μέσα στο 5G NR, χωρίς να συναντά κανένα εμπόδιο κατά τη προβολή περιεχομένου είτε σε σταθερά σημεία, όπως το σπίτι, είτε με κινητές συσκευές, όπως tablets, smartphones. Το περιεχόμενο θα είναι διαθέσιμο για οποιαδήποτε συσκευή, όπως smartphones, smart TVs. Caches και transcoders βρίσκονται κοντά στο επίπεδο του χρήστη. Η ρύθμιση και οι μηχανισμοί του δικτύου προσαρμόζονται δυναμικά, μέσω των SDN και NFV tools/orchestrators, εξασφαλίζοντας τα απαιτούμενα επίπεδα QoS, για το UHD streaming (4k/8k).

Παράδειγμα αυτού του σεναρίου είναι μια οικογένεια 3 μελών και ο καθένας έχει διαφορετικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια της μέρας. Μέσω εφαρμογή ενός τηλεοπτικού σταθμού, π.χ. του RTVE, την RTVE-Go μπορούν να παρακολουθήσουν οποιοδήποτε πρόγραμμα τους ενδιαφέρει, ταυτόχρονα, σε οποιοδήποτε σημείο, σταθερό ή σε κίνηση, χωρίς να επηρεάζει ο ένας τη προβολή του άλλου και από τις μεταβολές του δικτύου.

Σενάριο 2: I-Director [26]

Σε αυτό το σενάριο, οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση ταυτόχρονα στο ίδιο περιεχόμενο και αυτό είναι πρόκληση για τους διαχειριστές (operators), ως προς ποιότητα και το κόστος.

Για παράδειγμα, σε ένα αθλητικό γεγονός οι θεατές παρακολουθούν τον αγώνα. Παράλληλα, μέσω της εφαρμογής “I-Director”, μπορούν να λάβουν πληροφορίες σχετικά με τους παίχτες και τα στατιστικά του αγώνα. Επίσης, κατά τη διάρκεια του αγώνα, μπορούν να ξανά παρακολουθήσουν το προηγούμενο δευτερόλεπτο, το οποίο χάσανε ή υπήρξε παράβαση.

3.8.3 Σκοπός της περίπτωσης χρήσης

Στη περίπτωση χρήσης «UHD over CDN» πρέπει το bandwidth να είναι υψηλό, για το streaming ανάμεσα από τις υπηρεσίες, όπως origin, replicas, transcoder, viewpoint servers και στους χρήστες, για να περνάει μέσα από το γεμάτο μηχανισμούς σύνθεσης και τις virtual λειτουργίες του επιπέδου NFV MANO [26]. Ο CNO ρυθμίζει τις θέσεις των VNFs, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του δικτύου και μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Το QoE monitoring και ο CNO επιτρέπουν την αλλαγή και την αυτόματη προσαρμογή των media υπηρεσιών, ανάλογα με τις κατανεμημένες ροές, οι οποίες είναι βασισμένες στις end-to-end ποιοτικές μετρήσεις και πολιτικές των VNFs και ρυθμίζουν τα caches ανάμεσα στο core και edge cloud. Οι λειτουργίες του FaaS θα χρησιμοποιηθούν για την επιλογή συγκεκριμένων στιγμιότυπων και την ενεργοποίηση, π.χ. νέων transcoding nodes στο edge, για όσους χρήστες δεν κωδικοποιήθηκαν.

3.8.4 Περιγραφή των VNFs και PNFs

Παρακάτω παρουσιάζονται τα VNFs και τα PNFs των διαφόρων επιπέδων της αρχιτεκτονικής δικτύου.

Λειτουργίες επιπέδου εφαρμογής [26]

UHD Streaming server: είναι ο αρχικός server μέσα στο vCDN domain. Είναι ο root server για τα vCaches/vTranscoder και αποτελείται από τις λειτουργίες Transcoding unit, User preference and profiling, Media Catalogue access.

Media library: είναι η εφαρμογή που συλλέγει, οργανώνει και διαμοιράζει media on-demand περιεχόμενο, το οποίο ζητείται από τους end users.

Content personalization server: προσφέρει διαφορετικές ροές στο τελικό χρήστη, ανάλογα με την γωνία λήψης και τα audio track.

Stats collector: παρακολουθεί συγκεκριμένες παραμέτρους στο επίπεδο εφαρμογής για όλα τα nodes στα vCaches/vTranscoder. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται από τον CNO, για να προσαρμόσει τις παραδοτέες υπηρεσίες, ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών και τη κατάσταση των vCaches/vTranscoder.

Application layer traffic steering: μοιράζει τα εισερχόμενα μηνύματα στα vCaches και vTranscoder στο vCDN domain και αποφασίζει ποιο vCaches/vTranscoder ταιριάζει καλύτερα στην υπηρεσία που ζητάει ο χρήστης. Το traffic steering, στο επίπεδο εφαρμογής, ρυθμίζεται από τον CNO.

Γενικές λειτουργίες πολυμέσων [26]

Edge Transcoding unit, Edge Cache: βρίσκονται κοντά στο τελικό χρήστη, μειώνουν τις καθυστερήσεις και προσφέρουν καλύτερο QoS/ QoE.

Λειτουργίες επιπέδου δικτύου [26]

Frontend/Backend security functions: για παράδειγμα τα vFirewall, vDDoS, vIPS, προστατεύουν τα δεδομένα τα χρήστη.

QoS Prioritisation: Η εφαρμογή ελέγχει τη κίνηση στα μονοπάτια μέσω μηχανισμών, όπως τεχνικές προώθησης μέσω διαφόρων κλάδων ουράς και μέσω κράτησης εύρους ζώνης για κυκλοφορία υψηλής προτεραιότητας. Προτεραιότητα απαιτείται, όταν το δίκτυο δεν έχει την κατάλληλη απόδοση, όπως μείωση των καθυστερήσεων ή του jitter στους συνδέσμους.

Traffic Steering: Ασχολείται τη δρομολόγηση της κυκλοφορίας σε μονοπάτια που φτάνουν την χωρητικότητα της επιτρεπόμενης ροής μιας εφαρμογής. Αν ανεπαρκές το QoS prioritization, τότε είναι αναγκαίο νέο μονοπάτι. Για πολλαπλή δρομολόγηση χρησιμοποιείται το source routing ή ο ενσωματωμένος ελεγκτής του SDN, όπου τα μονοπάτια ρυθμίζονται δυναμικά.

Traffic classification: Επιθεωρεί την κίνηση και ενεργοποιεί τον μηχανισμό δρομολόγησης της κυκλοφορίας σε επίπεδο εφαρμογής. Τα δεδομένα συλλέγονται και συγκεντρώνονται από τους μηχανισμούς που ελέγχουν τα QoS/QoE, για να καταναλωθούν από τον CNO και να διαλέξει την κατάλληλη διαδρομή.

QoS Monitor: συλλέγει και ενοποιεί τις πληροφορίες/στατιστικά στο δικτυακό επίπεδο. Τα δεδομένα αυτά καταναλώνονται από τον CNO, για πού θα παραδοθεί η υπηρεσία.

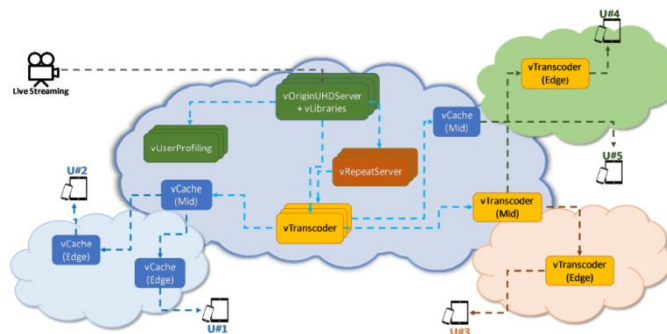
3.8.5 Γραφήματα Προώθησης VNF (VNF-FGs)

Οι παραπάνω φυσικές και εικονικές εφαρμογές θα χρησιμοποιηθούν σε VNF-FGs, τα οποία αλληλεπιδρούν με τα networking και media VNF. Στα παρακάτω παραδείγματα VNF, οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τη ροή δεδομένων μεταξύ των στοιχείων, ενώ τα στιγμιότυπα VNF, βασισμένα σε γεγονότα, παρουσιάζονται ως συμπαγείς γραμμές που δείχνουν στα παραγόμενα VNF. Απαιτούνται μικρές καθυστερήσεις, υψηλό εύρος ζώνης, για όλα τα σήματα βίντεο και μικρές καθυστερήσεις, για όλα τα σήματα ελέγχου.

3.8.5.1 Παράδειγμα VNF-FG: Application Data Plane

Ο χρήστης, ο οποίος παρακολουθεί το περιεχόμενο στη συσκευή του, συνδέεται με τους edge vCache ή vTranscoder, σύμφωνα με το είδος του περιεχόμενου, όπως VoD, στιγμιότυπα από επανάληψη ή live streaming, λαμβάνουν τα διαπιστευτήρια των χρηστών [26]. Τα vCaches και vTranscoder αναπτύσσονται ιεραρχικά, ανάλογα με την περιοχή που βρίσκονται, όπως edge/access, metro region. Τα edge vCache ή vTranscoder συνδέονται με τα mid vCache ή vTranscoder στο core network. Εκεί υπάρχει ο vOriginServers και ο vTranscoder, τα οποία ταξινομούν σε πίνακα τα αιτήματα των χρηστών και μεταδίδουν τα σήματα από το live streaming.

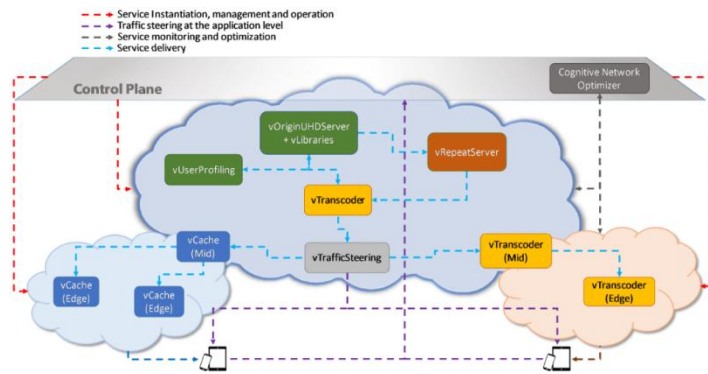
Η υπηρεσία vRepeatServer προβάλλει στο χρήστη τη ζητούμενη γωνία λήψης και το στιγμιότυπο από το βίντεο. Αυτή θα εφαρμοστεί στο επίπεδο FaaS, μέσω των χρηστών *Inputs* (on-demand ή ασύγχρονα) και μέσω του workflow στο *Actions*, για την ανάκτηση του βίντεο από την υπηρεσία vLibraries [26].



Σχήμα 3.19: UHD streaming over CDN: οι εικονικές λειτουργίες και οι συνδέσεις τους στο data plane [26].

3.8.5.2 Παραδείγματα VNF-FG: Application Control and Management Plane

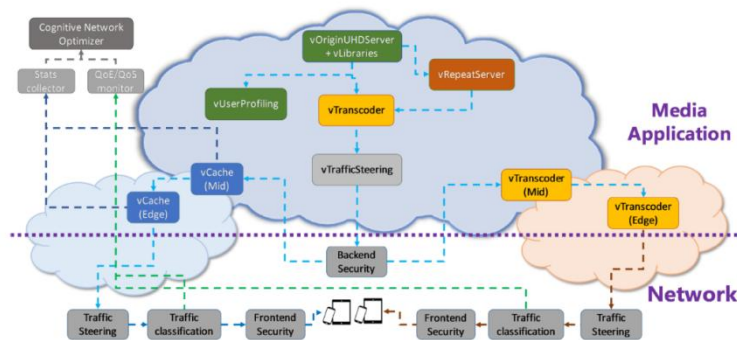
Το επίπεδο ελέγχου MANO είναι υπεύθυνο για το traffic steering των αιτημάτων των χρηστών και προσφέρει μια DNS υπηρεσία μαζί με τα στατιστικά και τον έλεγχο των υπηρεσιών QoE/QoS [26]. Τα δύο τελευταία επεξεργάζονται από τον CNO και προσφέρουν καλύτερη εμπειρία QoE/QoS στους χρήστες. Επίσης, δρομολογεί τα δεδομένα από τους mid vCache/vTranscoder στους edge vCache/vTranscoder και αντίστροφα.



Σχήμα 3.20: UHD streaming over CDN: αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ETSI MANO control και orchestration layer [26].

3.8.5.3 Παράδειγμα VNF-FG: Network Plane

Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια των χρηστών στο επίπεδο δικτύου μεταφέρονται μέσω frontend/backend security VNFs, π.χ. vFirewall, vDDoS, vIPS [26]. Παράλληλα μέσω των μηχανισμών του Traffic Classification, ανιχνεύονται τα πακέτα, τα οποία κατανάλωσε ο χρήστης και εξετάζουν τα στατιστικά στοιχεία σχετικά με το QoE/QoS. Τα QoS Prioritization και Traffic Steering VNFs είναι υπεύθυνα για τη σύνδεση των διαδικτυακών nodes, για να παραδοθεί η υπηρεσία στα επιλεγμένα μονοπάτια.



Σχήμα 3.21: UHD streaming over CDN: αλληλεπιδράσεις μεταξύ των media και network layer[26].

3.9 Τα αναμενόμενα πλεονεκτήματα από τις τρεις περιπτώσεις χρήσης του project 5G-MEDIA στον καθιερωμένο τομέα των Media

Τα οφέλη είναι [26]:

1. Η αποκεντροποίηση του network caching, της επεξεργασίας πολυμέσων, της εκτέλεσης των εφαρμογών και των αντίστοιχων υπηρεσιών, του μονοπωλίου της αγοράς και η καλύτερη εκμετάλλευση των φυσικών δικτυακών πόρων,
2. Ποιο είναι το καλύτερο open interface/protocol για media streaming, για τον έλεγχο / παρακολούθηση πολλαπλών συσκευών και προηγμένων δικτυακών υπηρεσιών για τα μοντέλα σπίτι-σε-περιοχή (House-to-District) και περιοχή-σε-περιοχή (District-to-District),
3. Το καλύτερο QoS/QoE για τους τελικούς χρήστες, σύμφωνα με το είδος του περιεχομένου, το οποίο αποθηκεύεται κοντά στην υποδομή τους,

4. Να βελτιώνονται οι δυνατότητες και να μειώνονται οι δικτυακοί φυσικοί πόροι, λόγω της ευέλικτης αρχιτεκτονικής,
5. Η δημιουργία νέων αγοραστικών ευκαιριών για τις ΜμΕ,
6. Η σύγκριση μεταξύ του κόστους και της απόδοσης, με τη χρήση εμπορικού εξοπλισμού, για υπολογιστή και δίκτυο, π.χ. x86 και
7. Η ασφάλεια, η ιδιωτική και έμπιστη κατανομή UHD media περιεχομένου, το οποίο μεταδίδεται και αποθηκεύεται προσωρινά μέσα στο 5G NR.

Κεφάλαιο 4^ο: Παρουσίαση εφαρμογών

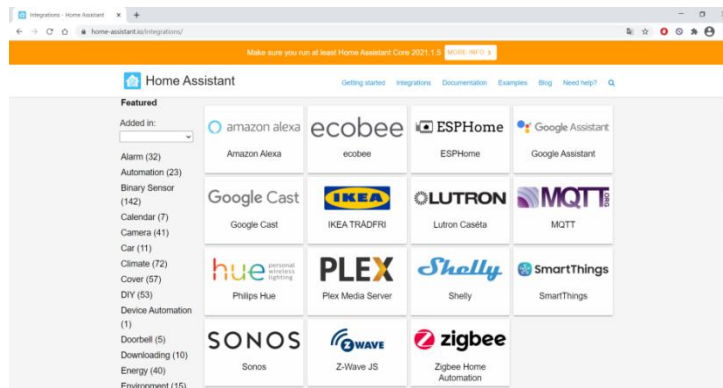
4.1 Δημιουργία τοπολογιών με IoT

4.1.1 Ορισμός IoT

«Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (αγγλικά: *Internet of things*) αποτελεί το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας συσκευών, οικιακών συσκευών, αυτοκινήτων καθώς και κάθε αντικειμένου που ενσωματώνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων. Απλούστερα, η φιλοσοφία του IoT είναι η σύνδεση όλων των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους (τοπικό δίκτυο) ή με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο (παγκόσμιο ιστό).» (Πηγή: Wikipedia [30])

4.1.2 Εφαρμογή Home Assistant

Υπάρχει πληθώρα εφαρμογών που ασχολούνται με τη δημιουργία μιας τοπολογίας με IoTs, μια από αυτές είναι το *Home Assistant*¹³. Το Home Automation είναι μια web εφαρμογή, η οποία εγκαθίσταται και τρέχει σε ένα Raspberry Pi μέσω του Hass.io. Το Hass.io είναι open source, το οποίο εγκαθιστάτε σε οποιοδήποτε ενσωματωμένο σύστημα και μπορεί να εγκατασταθούν διάφορα add-ons, όπως φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 4.1: Τα διαθέσιμα *adds-on* στο Home Assistant.

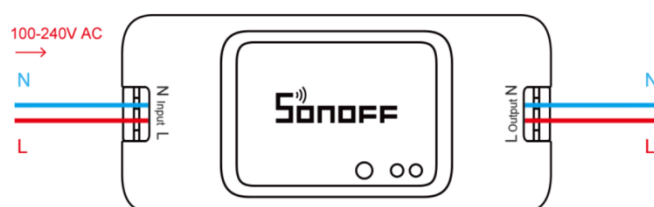
¹³ <https://www.home-assistant.io/>

4.1.3 Sonoff¹⁴

Το Sonoff είναι προϊόν της εταιρείας ITEAD. Είναι IoT συσκευή, η οποία συνδέεται μέσω WiFi και στέλνει τα δεδομένα της στην εφαρμογή της εταιρείας eWeLink μέσω του Amazon AWS global server. Υπάρχουν διάφορες συσκευές της εταιρείας, οι οποίες κάνουν διάφορες λειτουργίες. Για παράδειγμα λειτουργούν ως «έξυπνες» πρίζες, λεντοταινίες, διακόπτες κλπ. Στη παρούσα διπλωματική θα παρουσιαστεί το SONOFF BASICZBR3.

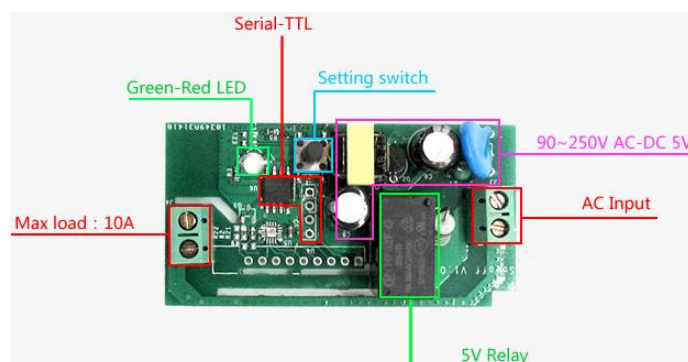
4.1.3.1 SONOFF BASICZBR3

Το Sonoff Basic είναι ένας διακόπτης, ο οποίος μέσω του κινητού μπορεί να ανοίγει και να κλείνει το φως ή μια συσκευή.

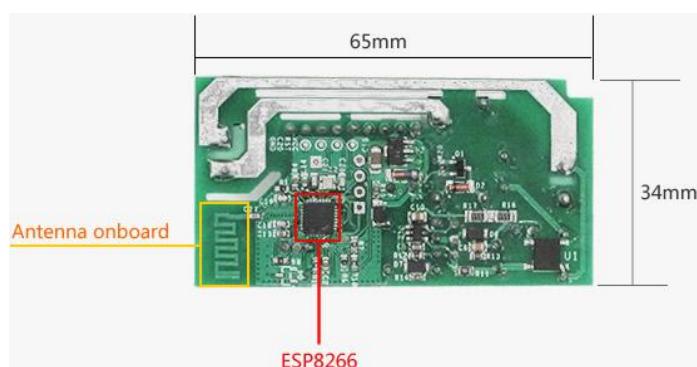


Σχήμα 4.2: Συνδεσμολογία του Sonoff Basic.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα εξαρτήματα της συσκευής.



Σχήμα 4.3: Μπροσινή πλευρά.



Σχήμα 4.4: Πίσω πλευρά.

Εξαρτήματα

¹⁴ <https://sonoff.tech/>

Το ESP8266 είναι ένας 32 bit μικροελεγκτής, ο οποίος διαχειρίζεται τα WiFi πακέτα.

Το Tasmota είναι ένα firmware για συσκευές με μικροελεγκτή ESP8266 για συσκευές όπως τα Sonoff, το οποίο προσφέρει διαδικτυακό και OTA (Over The Air) firmware αναβαθμίσεις και υποστηρίζει αισθητήρες, οι οποίοι ελέγχονται μέσω HTTP, Serial, MQTT και KNX.

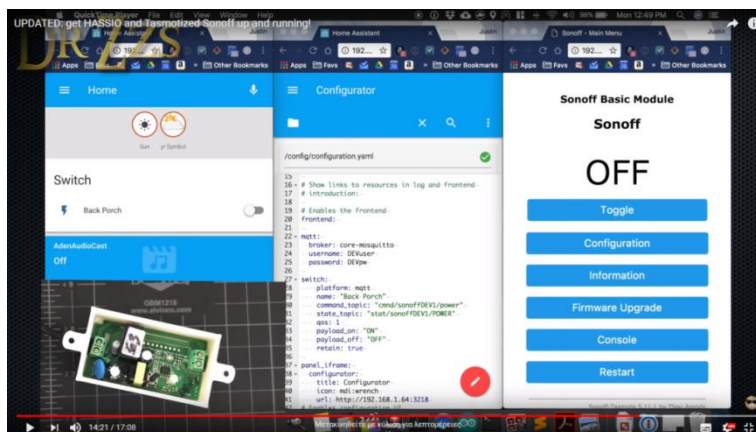
Δημιουργήθηκε μέσω των Arduino IDE, PlatformIO και είναι project του Theo Arends από τον Ιανουάριο 2017. Αυτό έγινε για να μπορεί ο ESP8266, να υποστηρίζει και αισθητήρες εκτός της εταιρείας ITEAD.

Το MQTT είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας των IoTs συσκευών.

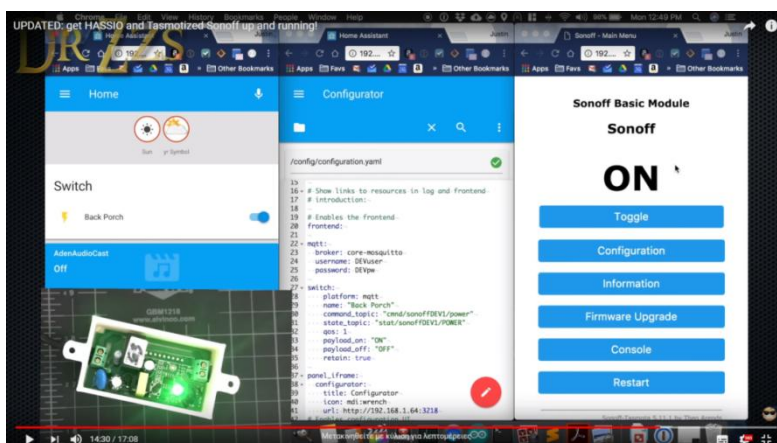
Παράδειγμα υλοποίησης

Στο Sonoff Basic Module μπορούμε να ανάψουμε/κλείσουμε το led με 3 διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος είναι από το κουμπί πάνω στη πλακέτα, ο δεύτερος από το web UI του, που δημιουργείται από το firmware Tasmota και ο τρίτος από τη home page του Home Assistant (HA).

Σύμφωνα με τα σχήματα 4.5,4.6, στο δεύτερο παράθυρο, φαίνεται ο configurator του Home Assistant, σε αυτόν γράφονται όλα τα entities των modes, τα οποία χρησιμοποιούνται στη τοπολογία του IoT. Άρα στην οντότητα “switch” έχουν γραφτεί οι εντολές, που πρέπει να εκτελεστούν στο συγκεκριμένο mode για να ανοιγοκλείσει το led του mode. Στο πρώτο παράθυρο, φαίνεται η home page του Home Assistant με το entity “Switch” στη κατάσταση “Off”. Στο τρίτο παράθυρο, φαίνεται το web interface του mode με firmware Tasmota και από εδώ μπορούμε να το ρυθμίσουμε. Για να αλλάξουμε τη κατάσταση του mode, μπορούμε να πατήσουμε είτε το κουμπί στο web UI είτε το κουμπί στη home page του HA.



Σχήμα 4.5: Παράδειγμα υλοποίησης της εντολής «OFF».



Σχήμα 4.6: Παράδειγμα υλοποίησης της εντολής «ON».

4.2 Επίδειξη πραγματικού συστήματος

4.2.1 Σκοπός του project

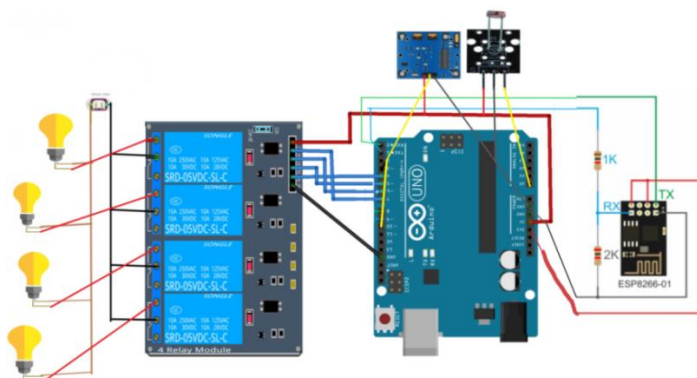
Η υλοποίηση έγινε στο πλαίσιο του εργαστηρίου στο μάθημα «Διαδίκτυο των Αντικειμένων», με θέμα «Έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών» στο οποίο με τη χρήση μιας πλακέτας Arduino Uno, μιας φωτοαντίστασης, ενός αισθητήρα κίνησης και ενός wifi module (ESP8266), ελέγχονται 4 καταναλώσεις των 220V/10A. Συγκεκριμένα, οι δύο καταναλώσεις ελέγχονται από τους αισθητήρες και η κατάσταση λειτουργίας αυτών εμφανίζεται στο κινητό του χρήστη. Οι άλλες 2 καταναλώσεις θα ελέγχονται από το κινητό του χρήστη.

Σκοπός του project είναι να χρησιμοποιηθεί σε υλοποιήσεις για Smart Home.

4.2.2 Συνδεσμολογία

Με τη παρούσα συνδεσμολογία ελέγχονται καταναλώσεις μονοφασικές, ισχύος μέχρι 2,2KW. Τα ελεγχόμενα φορτία μπορεί να είναι: φορτία κίνησης (π.χ. ανεμιστήρας –αντλία –πλυντήριο κ.λπ.) φορτία φωτισμού, φορτία θέρμανσης (π.χ. λέβητας –θερμάστρα), φορτία κλιματισμού (π.χ. κλιματιστική μονάδα).

Παρουσιάζεται το schematic diagram, στο σχήμα 4.7, στο οποίο οι ελεγχόμενες καταναλώσεις έχουν σχεδιαστεί ενδεικτικά ως λαμπτήρες και έχουν υλοποιηθεί ως ρευματοδότες που τροφοδοτούνται από ένα φως, το οποίο αντιστοιχεί στην πηγή ρεύματος. Στο σχήμα 4.8 φαίνεται η φυσική υλοποίηση του project.



Σχήμα 4.7: schematic diagram.



Σχήμα 4.8: physical diagram.

Η εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε, για να υλοποιηθεί, είναι η RemoteXY. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται επίδειξη του συστήματος.

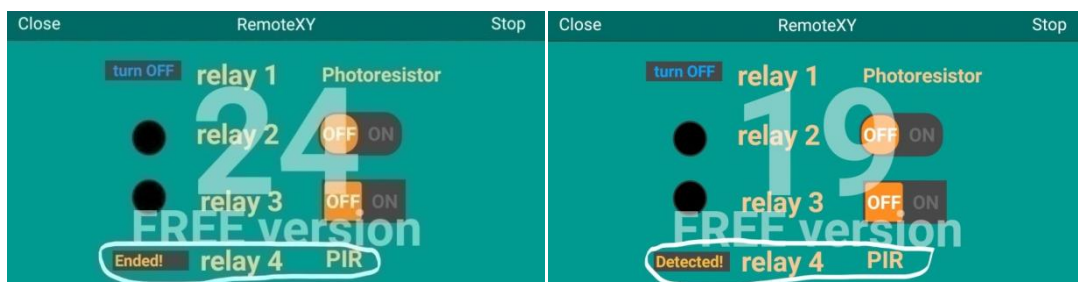
4.2.3 Επίδειξη συστήματος

Για την 1η πρίζα:

Όταν ανιχνεύεται κίνηση ο αισθητήρας, τότε κλείνει την επαφή 1 του relay και επομένως δεν διαρρέεται ρεύμα από την πρίζα 1, αλλιώς παραμένει ανοιχτή.



Σχήμα 4.9: Λειτουργία "on/off" πρώτης πρίζας με χρήση αισθητήρα κίνησης.



Σχήμα 4.10: Εμφάνιση μηνύματος στην εφαρμογή του κινητού.

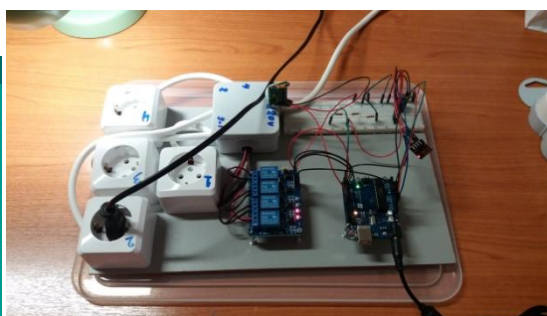
Για την 2^η και 3^η πρίζα:

Αυτή η επαφή ελέγχεται από το κινητό, δηλαδή όταν είναι κλειστός ο διακόπτης, δεν διαρρέεται ρεύμα στη πρίζα 2.



Σχήμα 4.11: Λειτουργία “off” δεύτερης πρίζας με χρήση εικονικού διακόπτη.

Όταν είναι ανοιχτός ο διακόπτης, διαρρέεται ρεύμα στη πρίζα 2.



Σχήμα 4.12: Λειτουργία “on” δεύτερης πρίζας με χρήση εικονικού διακόπτη.

Η 3^η επαφή ελέγχεται πάλι από το κινητό, δηλαδή όταν είναι κλειστός ο διακόπτης, δεν διαρρέεται ρεύμα στη πρίζα 3.



Σχήμα 4.13: Λειτουργία “off” τρίτης πρίζας με χρήση εικονικού διακόπτη.

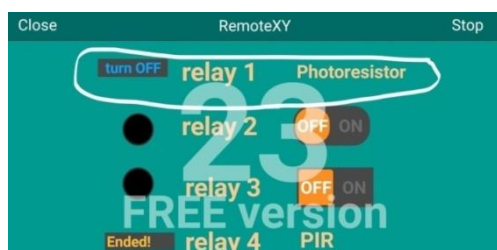
Όταν είναι ανοιχτός ο διακόπτης, διαρρέεται ρεύμα στη πρίζα 3.



Σχήμα 4.14: Λειτουργία “on” τρίτης πρίζας με χρήση εικονικού διακόπτη.

Για την 4η πρίζα:

Όταν υπάρχει φως στο χώρο, η πρίζα 4 είναι κλειστή.



Σχήμα 4.13: Λειτουργία “off” τρίτης πρίζας με χρήση αναλογικής φωτοαντίστασης.

Όταν δεν υπάρχει φως στο χώρο, η πρίζα 4 είναι ανοιχτή.



Σχήμα 4.13: Λειτουργία “on” τρίτης πρίζας με χρήση αναλογικής φωτοαντίστασης.

4.2.4 Τροποποίηση της λειτουργίας του

Η αλλαγή που θα μπορούσε να γίνει στην προηγούμενη υλοποίηση, είναι στη σύνδεση του συστήματος. Αντί η ανταλλαγή μηνυμάτων να γίνεται μέσω WiFi, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η σύνδεση 4G ή 5G. Επίσης, με την προσθήκη κατάλληλων ρελέ, τα ελεγχόμενα φορτία μπορεί να είναι τριφασικά ανεξάρτητου ισχύος.

4.3 Πλατφόρμες για τη τεχνολογία LTE

4.3.1 Mosaic5G

Τι είναι; [38]

Ο οργανισμός Mosaic5G, ιδρύθηκε το 2016, είναι μια μη κερδοσκοπική πρωτοβουλία, η οποία αποτελείται από μια κοινότητα βιομηχανικών και ακαδημαϊκών συντελεστών, για την ανάπτυξη λογισμικού ανοιχτού κώδικα, ώστε να υλοποιήσει το όραμα του δικτύου 5G στις εξής κατευθύνσεις: έλεγχος και προγραμματισμό στα δικτυακά control και user επίπεδα, ενορχήστρωση υπηρεσιών με RAN και CN plugins, plug-and-play διαδικτυακές εφαρμογές δικτύου και SDK πλατφόρμες, ανοικτά σύνολα δεδομένων, αναλύσεις και big data από τις τηλεπικοινωνίες. Η Mosaic5G σκοπεύει επίσης να προσφέρει μια ανοιχτή συνεργασία μεταξύ της κοινότητας μελών της και να ανοίξει κανάλια επικοινωνίας με τους αρμόδιους φορείς τυποποίησης.



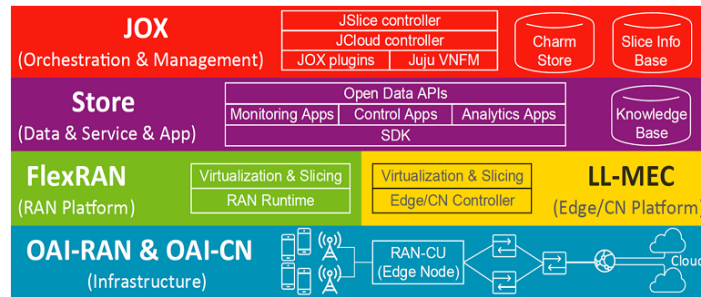
Σχήμα 4.14: Mosaic5G

Σκοπός [38]

Το Mosaic5G δημιουργήθηκε για να αναπτύξει, να προωθήσει και να μοιραστεί ένα οικοσύστημα πλατφορμών ανοιχτού κώδικα και περιπτώσεων χρήσης για την έρευνα συστημάτων 4G-5G και τη γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων με μοχλούς SDN, NFV και MEC. Μπορεί να επιτευχθεί σημαντική ευελιξία, αποτελεσματικότητα και καινοτομία μέσω της πολιτικής ανοιχτού κώδικα για τις πλατφόρμες, τα σύνολα δεδομένων και τα ευρήματα (αποτελέσματα, σχεδιασμός, χρήση).

Ποια είναι η σχέση μεταξύ του Mosaic5G και του OpenAirInterface; [38]

Οι πλατφόρμες Mosaic-5G εφαρμόζουν ένα σύνολο εκτεταμένων APIs και πρωτόκολλα ελέγχου στην κορυφή του OpenAirInterface RAN και CN για να επιτρέπουν την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τον προγραμματισμό της κάθε μονάδας RAN και CN από τον controller-domain μέσω των APIs. Το Mosaic-5G παρέχει την πλατφόρμα FlexRAN ως real-time ελεγκτή για τον τομέα RAN και τις πλατφόρμες LL-MEC ως ελεγκτή χαμηλής καθυστέρησης για τους τομείς Edge και Core. Στο σχήμα 4.15, φαίνεται η αρχιτεκτονική του δικτύου που χρησιμοποιεί η Mosaic5G.



Σχήμα 4.15: Αρχιτεκτονική Mosaic5G [38]

4.3.2 OpenAirInterface

Είναι μια γαλλική μη κερδοσκοπική οργάνωση ("Fonds De Dotation") και η αποστολή της OpenAirInterface™ Software Alliance (OSA) είναι η παροχή λογισμικού και εργαλείων για την Ασύρματη Έρευνα και Ανάπτυξη Προϊόντων 5G [39].



Σχήμα 4.16: Logo OpenAirInterface [39]

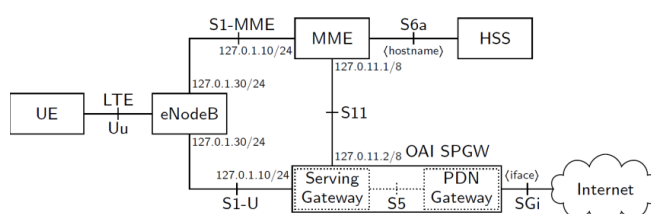
Γιατί χρειάζεται ο ανοιχτός κώδικας (Open Source) για το 5G; [39]

Η τρέχουσα γενιά του υλικού / λογισμικού για το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (RAN) αποτελείται από μεγάλο αριθμό ιδιόκτητων στοιχείων που καταπνίγουν την καινοτομία και αυξάνουν το κόστος για τους φορείς εκμετάλλευσης να αναπτύξουν νέες υπηρεσίες / εφαρμογές σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο κυψελοειδές δίκτυο. Το λογισμικό ανοιχτού κώδικα που εκτελείται σε επεξεργαστές γενικού σκοπού (όπως το x86, ARM) μπορεί να απλοποιήσει σημαντικά την πρόσβαση στο δίκτυο, να μειώσει το κόστος, να αυξήσει την ευελιξία, να βελτιώσει την ταχύτητα της καινοτομίας και να επιταχύνει το χρόνο που απαιτείται για την εισαγωγή νέων υπηρεσιών. Στο πλαίσιο της βιομηχανίας για την ανάπτυξη εννοιών λογισμικού που καθορίζονται από το λογισμικό (SDN) για να ανοίξουν κατάλληλα interfaces για τον έλεγχο του υλικού / λογισμικού RAN. Ταυτόχρονα, το open-source έχει επιφέρει πολύ σημαντικό αντίκτυπο στα άκρα των σημερινών δικτύων, δηλαδή στα τερματικά που οφείλονται στο οικοσύστημα Android και στην υποδομή του cloud, εν μέρει λόγω του οικοσυστήματος OpenStack. Πιστεύουν ότι η υλοποίηση ανοικτού κώδικα στοίβας πλήρους πραγματικού χρόνου (eNB, UE και core network) σε επεξεργαστές γενικής χρήσης όταν συνδυαστεί με SDN, NFV και OpenStack, προσφέρει σημαντική απόδοση στον σχεδιασμό RAN τόσο από πλευράς καινοτομίας όσο και κόστους .

Τι παρέχει το OpenAirInterface (OSA); [39]

Το OSA παρέχει επί του παρόντος ένα πρότυπο συμμόρφωσης με ένα υποσύνολο Release 10 LTE για UE, eNB, MME, HSS, SGW και PGW σε βασικούς υπολογιστικούς εξοπλισμούς που βασίζονται στο Linux (αρχιτεκτονικές Intel x86 PC / ARM). Το λογισμικό διανέμεται ελεύθερα υπό τους όρους που καθορίζονται από το μοντέλο άδειας OSA. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τον τυποποιημένο εργαστηριακό εξοπλισμό RF που

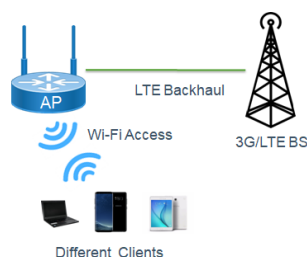
διατίθεται σε πολλά εργαστήρια (π.χ. πλατφόρμες National Instruments / Ettus USRP και PX1e), εκτός από το εξειδικευμένο υλικό RF που παρέχεται από την EURECOM για την υλοποίηση αυτών των λειτουργιών σε επαρκή βαθμό ώστε να επιτρέπεται η λειτουργικότητα σε πραγματικό χρόνο με εμπορικές συσκευές. Ορισμένοι βιομηχανικοί χρήστες έχουν ήδη ασχοληθεί με συστήματα βασισμένα στο OpenAirInterface™ (OAI) που ενσωματώνονται με εξοπλισμό απομακρυσμένης ραδιοφωνικής κεφαλής και διαθέτουν επίδειξη σε μεγάλες εμπορικές εκθέσεις (Mobile World Congress Asia 2014, Mobile World Congress Βαρκελώνη 2013, IMIC 2013). Ο πρωταρχικός μελλοντικός στόχος είναι η παροχή μιας αναφοράς ανοικτού κώδικα η οποία ακολουθεί τη διαδικασία τυποποίησης 3GPP που ξεκινάει από το Rel-13 και την εξελικτική πορεία προς το 5G και είναι ελεύθερα διαθέσιμο για πειραματισμούς στον εξοπλισμό του εργαστηριακού εξοπλισμού. Στο σχήμα 4.16, φαίνεται η αρχιτεκτονική LTE.



Σχήμα 4.17: Αρχιτεκτονική LTE

4.4 Παρουσίαση Μετρήσεων LTE Access Points

Στο εργαστηριακό τμήμα του ΟΤΕ πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις WiFi μέσω τερματικών συσκευών gateway 4G, για να αναλυθεί η ποιότητα του σήματος από μια κεραία τεχνολογίας LTE και η λειτουργικότητα των διάφορων τερματικών συσκευών.



Σχήμα 4.18: Αρχιτεκτονική δικτύου LTE

4.4.1 Συνθήκες εργαστηρίου

Δοκιμές throughput

- Speedtest της Ookla (<http://www.speedtest.net/>).
- nPerf (<http://www.nperf.com/>)

Γενικές Δοκιμές

- Αυτόματη σύνδεση στο δίκτυο της COSMOTE
- Υπηρεσία 4G
- Υπηρεσία 3G
- Επίσκεψη 5 σελίδων μεγάλης επισκεψιμότητας
- Video streaming

- Αυτόματο APN
- Τηλεφωνική κλήση μέσω του CPE (όπου υποστηρίζεται)

Test Clients

Lenovo T560 Notebook
 • Intel Chipset 8260
 • Built-in 2x2 adapter
 • Dual band 2.4G/5G
 • 802.11ac
 • Max 867Mbps



Samsung Galaxy S8
 • Built-in 2x2 adapter
 • Dual band 2.4G/5G
 • 802.11ac
 • Max 867Mbps



Samsung Galaxy Tab A6
 • Built-in 2x2 adapter
 • Dual band 2.4G/5G
 • 802.11ac
 • Max 867Mbps



4.4.2 Αποτελέσματα Δοκιμών

Στο σχήμα 4.19, παρατηρούμε ότι το throughput των συσκευών με σύνδεση WiFi, από δίκτυο 4G της Cosmote είναι πάρα πολύ μεγάλο, γιατί φτάνει τα 50Mbps. Ενώ στη σύνδεση WiFi, από το δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας της Cosmote φτάνει μέχρι τα 6Mbps.

D-Link DWR-921

Total Throughput (Mbps)	2.4 GHz		5 GHz		Test On		Streaming		Browsing		2.4 GHz		5 GHz		Test On		Streaming		Browsing		
	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	
43,4	-	Ookla	ok	ok		41,4	-	Ookla	ok	ok	34,7	-	Ookla	ok	ok	40,6	-	nperf	ok	ok	
37,6	-	nperf				43,7	-	nperf													
Maximum Distance Test: 10m (2.4 GHz)																					

Alcatel HH70VH

Total Throughput (Mbps)	2.4 GHz		5 GHz		Test On		Streaming		Browsing		2.4 GHz		5 GHz		Test On		Streaming		Browsing		
	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	
58,3	50,7	Ookla	ok	ok		56,1	57,8	Ookla	ok	ok	57,3	62,3	Ookla	ok	ok	60,7	67,1	nperf	ok	ok	
56,8	54,1	nperf				62,1	67,7	nperf													
Maximum Distance Test: 10m (5 GHz) and 18m (2.4 GHz)																					

D-Link DWR-932

Total Throughput (Mbps)	2.4 GHz		5 GHz		Test On		Streaming		Browsing		2.4 GHz		5 GHz		Test On		Streaming		Browsing		
	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	
45,7	-	Ookla	ok	ok		66,5	-	Ookla	ok	ok	52,1	-	Ookla	ok	ok	52,9	-	nperf	ok	ok	
53,4	-	nperf				62,7	-	nperf													
Maximum Distance Test: 14m (2.4 GHz)																					

Huawei B535-232

Total Throughput (Mbps)	Lenovo T560					Samsung Galaxy S8					Samsung Galaxy Tab A6				
	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing
51.2	45.17	Ookla	ok	ok		70.0	60.1	Ookla	ok	ok	58.5	57.7	Ookla	ok	ok
53.22	68.23	nperf				57.75	58.76	nperf			64.05	60.22	nperf		
Maximum Distance Test: 30 m (2.4 GHz, 5GHz)															

Huawei B315s-22

Total Throughput (Mbps)	Lenovo T560					Samsung Galaxy S8					Samsung Galaxy Tab A6				
	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing
44.9	-	Ookla	ok	ok		49.2	-	Ookla	ok	ok	49.93	-	Ookla	ok	ok
46.84	-	nperf				48.9	-	nperf			50.04	-	nperf		
Maximum Distance Test: 40m (2.4 GHz)															

Huawei E5576-320

Total Throughput (Mbps)	Lenovo T560					Samsung Galaxy Tab A6					Samsung Galaxy S8				
	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing	2.4 GHz	5 GHz	Test On	Streaming	Browsing
44.2	-	Ookla	ok	ok		39.7	-	Ookla	ok	ok	38.26	-	Ookla	ok	ok
37.38	-	nperf				50.06	-	nperf			40.65	-	nperf		
Maximum Distance Test: 30m (2.4 GHz)															

Σχήμα 4.19: Αποτελέσματα δοκιμών

Κεφάλαιο 5: Η ανάπτυξη του 5G NR στην Ευρώπη και τα μελλοντικά σενάρια

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η ανάπτυξη του δικτύου 5G στην Ελλάδα και στην Ευρώπη. Επίσης, λόγω της παραπληροφόρησης, που υπήρξε στην αρχή της πανδημίας του κορωνοϊού SARS-CoV-2 και μέχρι σήμερα, θα διατυπωθεί η άποψη του ΠΟΥ, σχετικά με την επικινδυνότητα ή όχι αυτής της τεχνολογίας. Τέλος, θα γίνει αναφορά και στο μελλοντικό σενάριο, 6G NR.

5.2 Κατάσταση στην Ευρώπη

5.2.1 Ευρωπαϊκή Ένωση

Από τις 14 Σεπτεμβρίου 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΠ) ενέκρινε την ανάπτυξη των υποδομών και υπηρεσιών του 5G NR, σε όλη την Ενιαία Ψηφιακή Αγορά (Digital Single Market), μέχρι το 2020 [42]. Στόχος της Επιτροπής και του 5G-PPP είναι:

- Να προωθήσει τις τεχνολογίες 5G σε όλα τα μέλη της ΕΕ μέχρι το 2018 και εμπορικά μέχρι το 2020,
- Να εγκρίνουν ζώνες φάσματος (spectrum bands) άνω των 6 GHz,
- Να αναπτυχθούν κατάλληλα τα μεγάλα αστικά κέντρα και οι οδικοί άξονες,
- Να προωθήσει πανευρωπαϊκές δοκιμές ως καταλύτες για τη μετατροπή της τεχνολογικής καινοτομίας σε επιχειρηματική λύση,
- Να δημιουργήσει ένα ταμείο, το οποίο στηρίζεται από τη βιομηχανία και να υποστηρίξει το 5G και
- Να δημιουργήσει πρότυπα.

Τα αναμενόμενα παγκόσμια έσοδα από τις τεχνολογίες 5G για τους παρόχους θα είναι έως 225 εκατ. € ετήσια μέχρι το 2025 [42]. Επίσης, σύμφωνα με το Παρατηρητήριο 5G της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1,3 δισ. άνθρωποι θα έχουν συνδεθεί στο 5G NR έως το τέλος του 2025. Με εξαίρεση τη Νότια Κορέα και την Κίνα, όπου η διάδοση του δικτύου 5G είναι αλματώδης. Ωστόσο, στις περισσότερες χώρες το δίκτυο βρίσκεται υπό κατασκευή.

5.2.2 Ρυθμιστικό Πλαίσιο και Συχνότητες

Ο Ευρωπαϊκός Κώδικας Ηλεκτρονικής Επικοινωνίας (European Electronic Communications Code – EECC) επιτρέπει τη χρήση ραδιοκυμάτων, μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, η οποία εκπέμπεται από τα κινητά τηλέφωνα και τους base stations [41]. Η συγγραφή του κώδικα έγινε σύμφωνα με επιστημονικά άρθρα στα Η/Μ πεδία. Η ΕΕ διαβεβαιώνει ότι, τα δίκτυα 5G δεν προκαλούν περισσότερες Η/Μ εκπομπές, από αυτές που επιτρέπονται και δεν υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Επίσης, σύμφωνα με τον ICNIRP¹⁵, οι συχνότητες 26GHz, 3.6GHz και 700MHz της τεχνολογίας 5G, η έκθεση στο Η/Μ πεδίο δεν είναι μεγαλύτερη από τα τρέχοντα δίκτυα 4G και σε σχέση με τα υπόλοιπα τρέχοντα δίκτυα 2G, 3G, οι κεραίες είναι μικρότερες.

¹⁵ <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf>

Η ΕΠ αποφάσισε να εναρμονίσει τις συχνότητες 26GHz, 3.6GHz και 700MHz, στο πλαίσιο του 5G Action Plan [43]. Εναρμόνιση είναι οι εναρμονιστικές τεχνικές, για να διασφαλιστεί η χρήση του φάσματος από πολλαπλά δίκτυα 5G, μειώνοντας τους κινδύνους παρεμβολών και διασφαλίζοντας συμβατότητα με τις υφιστάμενες ραδιοφωνικές υπηρεσίες, όπως δορυφορικές, εντός των παραπάνω συχνοτήτων και των παρακείμενων ζωνών τους.

Τέλος, και η Cosmote διαβεβαιώνει ότι «στη ίδια κατηγορία ανήκει το ηλιακό φως, το μαγνητικό πεδίο της γης τα πεδία που δημιουργούνται από τις ηλεκτρικές συσκευές, αλλά και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σημάτων» [46].



Σχήμα 5.1: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα, Πηγή: Cosmote.

5.2.3 Δείκτη Ετοιμότητας 5G

Ο Δείκτη Ετοιμότητας 5G (Europe 5GReadiness Index¹⁶) της εταιρείας inCITES Consulting είναι μια ιστοσελίδα στην οποία καταγράφεται η ανάπτυξη και η υιοθέτηση των τεχνολογιών 5G στις 38 ευρωπαϊκές χώρες [44]. Αποτελείται από έξι κριτήρια, με τριανταπέντε υποκατηγορίες, γιατί όσο περισσότερα κριτήρια έχει, τόσο γρηγορότερα θα γίνει η υλοποίηση του δικτύου 5G. Οι κατηγορίες είναι οι Υποδομές και Τεχνολογία (Infrastructure and Technology), Ρυθμιστικό Πλαίσιο και Πολιτική (Regulation and Policy), Προφίλ Χώρας (Country Profile), Καινοτομία (Innovation Landscape), Ζήτηση (Demand) και Ανθρώπινο Κεφάλαιο (Human Capital).

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία, η πιο αναπτυγμένη χώρα στον τομέα του 5G είναι η Φιλανδία [44]. Στη δεύτερη θέση είναι η Ελβετία και στην τρίτη θέση είναι η Γερμανία. Την υπόλοιπη δεκάδα συμπληρώνουν οι βόρειες χώρες, στην οποία υπάρχουν και οι υπόλοιπες Σκανδιναβικές χώρες, που ως γνωστόν οι ασύρματες επικοινωνίες εκεί είναι αρκετά αναπτυγμένες. Αυτές είναι η Δανία, η Σουηδία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ολλανδία, η Νορβηγία, το Λουξεμβούργο και η Αυστρία. Στην υπόλοιπη Ευρώπη είναι πολύ χαμηλά τα ποσοστά ανάπτυξης της ασύρματης επικοινωνίας 5G, κυρίως στις Βαλκανικές χώρες.

Δυστυχώς, η Ελλάδα βρίσκεται στη 30^η θέση από τις 39 χώρες στην Ευρώπη, στην ανάπτυξη του δικτύου 5G [44]. Είναι τελευταία σε σχέση με τις υπόλοιπες μεσογειακές χώρες και από τις πρώτες στα Βαλκάνια. Σε όλες τις παραπάνω κατηγορίες, η Ελλάδα βρίσκεται τελευταία, εκτός από τη κατηγορία Ανθρώπινο Κεφάλαιο, στην οποία καταλαμβάνει την 5^η θέση.

¹⁶ <https://www.incites.eu/europe-5g-readiness-index#>

5.2 Κατάσταση στην Ελλάδα

Στις 30 Δεκεμβρίου 2020, οι τρεις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας (Cosmote, Vodafone, Wind) και οι εκπρόσωποι του κράτους υπέγραψαν συμβάσεις μίσθωσης για τις τέσσερις ραδιοσυχνότητες του 5G NR [45]. Μέχρι στιγμής είναι διαθέσιμο σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο, Λάρισα, Βόλος, Ιωάννινα, Χανιά, Τρίκαλα, Χαλκίδα, Κατερίνη, Σέρρες, Αλεξανδρούπολη, Ξάνθη, Λαμία, Καλαμάτα και Ρόδος και χρησιμοποιείται μόνο από πιστοποιημένες συσκευές με συνδεσιμότητα 5G με ταχύτητα έως 1Gbps [49]. Μέχρι το τέλος του 2021, οι πάροχοι φιλοδοξούν να επιτύχουν πληθυσμιακή κάλυψη άνω του 50% και με επιδόσεις κοντά στα 10 Gbps [45]. Η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) προβλέπει ότι σε τρία χρόνια η κάλυψη πρέπει να φτάνει στο 60% της χώρας και σε έξι χρόνια το 94%. Σύμφωνα με τον πρόεδρο και διευθύνων σύμβουλος του Ομίλου ΟΤΕ κ. Μιχάλης Τσαμάζ, «για να ολοκληρωθεί η ψηφιακή σύγκλιση της Ελλάδας είναι απαραίτητα να καλυφθούν οι προϋποθέσεις της εγκατάστασης ικανού δικτύου κεραιών ειδικά για το 5G, αλλά και οπτικών ινών για τη σταθερή τηλεφωνία.»

Το 2025, οι συνδέσεις 5G θα πλησιάσουν τα 3 εκατ., το οποίο αντιστοιχεί στο 18% των συνολικών συνδέσεων κινητών επικοινωνιών, σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση του ευρωπαϊκού think tank IDATE DigiWorld [48]. Επιπλέον, τα έσοδα εκτιμώνται σε 260 εκατ. € και αντιστοιχίζονται στο 15% των συνολικών εσόδων από υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών. Οι τομείς που θα ωφεληθούν είναι η ψυχαγωγία, οι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, ο αγροτικός τομέας και οι έξυπνες πόλεις.

5.2.1 Επενδύσεις

Οι τρεις εταιρείες έχουν καταβάλει ποσά της τάξης των 123-130 εκατ. € έκαστη για το δικαίωμα χρήσης των συχνοτήτων [45]. Οι επενδύσεις της Cosmote φτάνουν τα 2 δις €, ενώ η Vodafone και η Wind από 500 εκατ. € έκαστη. Ο υπουργός Ψηφιακής Διακυβέρνησης, Κυριάκος Πιερρακάκης, κάνει λόγο για 69.000 θέσεις εργασίας και δημιουργία προστιθέμενης αξίας 12,4 δις. € για τον εθνικό προϋπολογισμό έως το 2030, χάρη στις παραγωγικές δυνατότητες οι οποίες απελευθερώνονται χάρη στις τεχνολογίες 5G.

Το Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης διοχετεύει τα 93 εκατ. ευρώ στο «Ταμείο Φαιστός», το οποίο αντιστοιχεί στο 25% των 372,3 εκατ. ευρώ, όσα τα έσοδα από την παραχώρηση των συχνοτήτων στους τρεις παρόχους [45]. Συγκεκριμένα, το «Ταμείο Φαιστός» έχει ως σκοπό τις επενδύσεις σε επιχειρήσεις, οι οποίες εδρεύουν στην Ελλάδα ή σε άλλο κράτος της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή σε τρίτη χώρα, υπό την προϋπόθεση ότι δραστηριοποιούνται στην έρευνα και ανάπτυξη προϊόντων και υπηρεσιών που λειτουργούν σε υποδομές 5G (ή σχετικές με αυτές) στην Ελλάδα, ενδεικτικά στους κλάδους μεταφορών/εφοδιαστικής (logistics), μεταποίησης, βιομηχανίας, αγαθών και δικτύων κοινής ωφέλειας, υγείας, τουρισμού, πληροφόρησης και μέσων ενημέρωσης [47].

5.3 Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας

Σύμφωνα με τον ΠΟΥ, στις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, δεν έχει υπάρξει αρνητική επίδραση στη υγεία από την έκθεση στις ασύρματες τεχνολογίες [50]. Τα συμπεράσματα έχουν εξαχθεί από μελέτες σε όλο το ραδιοφάσμα, αλλά λίγες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για το 5G NR. Τα επίπεδα έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες από τις

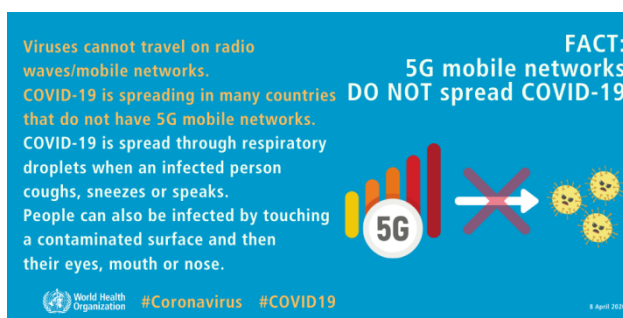
τρέχουσες τεχνολογίες έχουν ως αποτέλεσμα αμελητέα αύξηση της θερμοκρασίας στο ανθρώπινο σώμα. Καθώς αυξάνεται η συχνότητα, υπάρχει λιγότερη διείσδυση στους ιστούς του σώματος και η απορρόφηση της ενέργειας περιορίζεται στην επιφάνεια του σώματος (δέρμα και μάτι). Υπό την προϋπόθεση ότι η συνολική έκθεση παραμένει κάτω από τις διεθνείς οδηγίες, δεν αναμένονται συνέπειες για τη δημόσια υγεία. Τέλος, ο ΠΟΥ θα διεξάγει περισσότερες έρευνες για τους πιθανούς κινδύνους, που μπορεί να προκαλούν οι συχνότητες του 5G NR στην υγεία.

Λόγω της μεγάλης έξαρσης του Covid-19 σε όλο τον κόσμο, υπήρξαν πολλές θεωρίες συνωμοσίας, για ότι το ασύρματο δίκτυο 5G είναι υπεύθυνο για την δημιουργία του ιού. Ο ΠΟΥ διαβεβαιώνει ότι

«Viruses cannot travel on radio waves/mobile networks. COVID-19 is spreading in many countries that do not have 5G mobile networks. COVID-19 is spread through respiratory droplets when an infected person coughs, sneezes or speaks. People can also be infected by touching a contaminated surface and then their eyes, mouth or nose.» [51],

το οποίο μεταφράζεται ως,

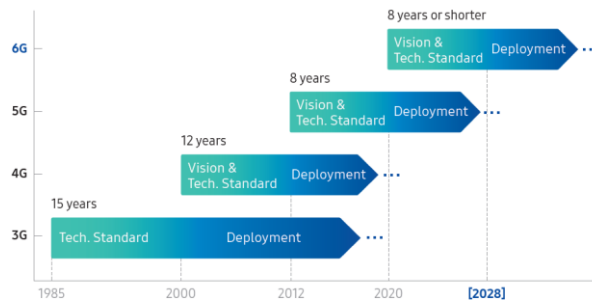
«Οι ιοί δεν μεταφέρονται σε ραδιοκύματα / δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Ο COVID-19 εξαπλώνεται σε πολλές χώρες που δεν έχουν δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G. Ο COVID-19 εξαπλώνεται μέσω σταγονιδίων, όταν ένα μολυσμένο άτομο βήχει, φτερνίζεται ή μιλάει. Οι άνθρωποι μπορούν επίσης να μολυνθούν αγγίζοντας μια μολυσμένη επιφάνεια και στη συνέχεια τα μάτια, το στόμα ή τη μύτη τους.»



Σχήμα 5.2: Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G ΔΕΝ διαδίδουν τον COVID-19, Πηγή: WHO.

5.4 6G NR

Το 2021, εκτός από την εμπορευματοποίηση του 5G, θα ξεκινήσει η έρευνα τόσο σε ακαδημαϊκό, όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο για το 6G [52]. Κύριο χαρακτηριστικό της κινητής τηλεφωνίας 6G είναι *υπερ-συνδεσιμότητα* (hyper-connectivity) του ανθρώπου με τα πάντα. Η εταιρεία Samsung έχει δημοσιεύσει μια έρευνα σχετικά με τις τεχνολογίες, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη νέα γενεά. Με βάση αυτή αναφέρονται τα παρακάτω.



Σχήμα 5.3: Χρονοδιάγραμμα υλοποίησης των διαφόρων γενεών [52].

5.4.1 Megatrends και 6G

Τα τέσσερα megatrends, στα οποία θα βασιστεί η ανάπτυξη του 6G NR είναι η διασύνδεση των μηχανών (connected machines), η χρήση του AI στις ασύρματες επικοινωνίες (use of AI for the wireless communication), το «άνοιγμα» των κινητών επικοινωνιών (openness of mobile communications) και η συμβολή στην επίτευξη κοινωνικών στόχων (contribution for achieving social goals).

Connected Machines [52]

Ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών αναμένεται να φτάσει τα 500 δις, μέχρι το 2030, το οποίο είναι 59 φορές μεγαλύτερο από τον αναμενόμενο παγκόσμιο πληθυσμό (8.5 δις).



Σχήμα 5.4: Η εξέλιξη των κινητών και συνδεδεμένων συσκευών [52].

Στο πίνακα 5.1 παρατηρούμαι ότι ο άνθρωπος έχει πολλές περιορισμούς σε όλες τις αισθήσεις του, ενώ οι μηχανές στα σενάρια για το 6G δεν θα έχουν.

	Human	Machine
Maximum Resolution	1/150° (Smartphone display 290 ppi at 30 cm)	
Latency Perception	<100 ms	
Audible Frequency	250-2,000 Hz	Exceeds Human Limitations!
Visible Wavelength	280-780 nm	
Viewing Angle	Azimuth 200°, Zenith 130°	

Πίνακας 5.1: Σύγκριση ικανοτήτων αντίληψης ανθρώπου-μηχανής [52].

AI for the wireless communication [52]

Παρόλα τα προσφερόμενα οφέλη της AI, δεν χρησιμοποιήθηκε στο δίκτυο επικοινωνίας του 5G. Στο 6G, όμως, λόγω των πολλών εφαρμογών με τεχνολογία AI, μπορεί να ενσωματώσει την AI σε ασύρματα δίκτυα και υπηρεσίες. Και αν χρησιμοποιηθεί κατά τη σύνθεση του δικτύου 6G, αυτό θα έχει καλύτερη απόδοση, λιγότερο κόστος και παροχή περισσότερων υπηρεσιών.

Openness of Mobile Communications [52]

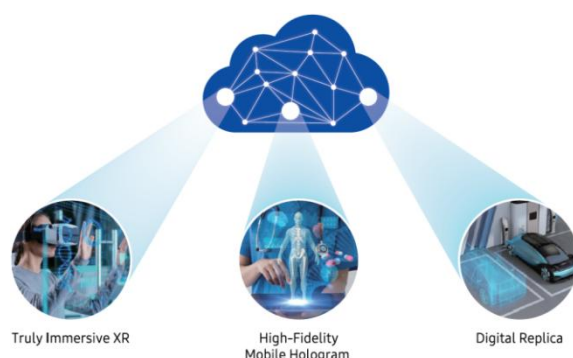
Η βελτίωση των CPU, GPU επέτρεψαν υλοποιήσεις σε δίκτυα, όπως στο core network και στους BS, να είναι βασισμένες σε ανοιχτό κώδικα (open source) στο 5G. Αυτή η χρήση θα πρέπει να παραμείνει και να ενισχυθεί από τους παρόχους. Δύο από αυτά που έχουν δημιουργηθεί είναι η συμμαχία open radio access network (O-RAN), η οποία σκοπεύει στη παροχή ανοιχτού και έξυπνο δικτύου ραδιοπρόσβασης (RAN) και η open network automation platform (ONAP), η οποία διαχειρίζεται το δίκτυο και την αυτοματοποίηση μέσω μιας open-sourced κοινής αρχιτεκτονικής.

Social Goals and Mobile Communications [52]

Οι κινητές επικοινωνίες 6G θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των SDG¹⁷ του ΟΗΕ και θα συμβάλουν σημαντικά στην ποιότητα και τις ευκαιρίες της ανθρώπινης ζωής.

5.4.2 6G Services

Εκτός από τις υπηρεσίες του 5G, όπως eMBB, URLLC, mMTC στο 6G θα αναπτυχθούν και χρησιμοποιηθούν άλλες τρεις βασικές υπηρεσίες οι truly immersive extended reality (XR), high-fidelity mobile hologram και digital replica.



Σχήμα 5.5: Τρεις βασικές υπηρεσίες 6G: truly immersive XR, high-fidelity mobile hologram, and digital replica [52].

Truly Immersive XR [52]

Το XR είναι ένας συνδυασμός των τεχνολογιών VR, AR και mixed reality (MR) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα πεδία, όπως στη ψυχαγωγία, ιατρική, εκπαίδευση, βιομηχανία. Βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο και για τέτοιου τύπου τεχνολογίες θα πρέπει να υπάρχουν και τα κατάλληλα εξαρτήματα, όπως hand-held components για την υποστήριξη του κινητού και ενεργού λογισμικού. Επίσης, δεν είναι stand-alone συσκευές, λόγω της

¹⁷ <https://sdgs.un.org/goals>

περιορισμένης υπολογιστικής ισχύς. Αλλά η Samsung θεωρεί, με τον διαχωρισμό του φόρτου εργασίας, μπορούν λειτουργήσουν.



Σχήμα 5.6: Truly Immersive XR [52].

High-Fidelity Mobile Hologram [52]

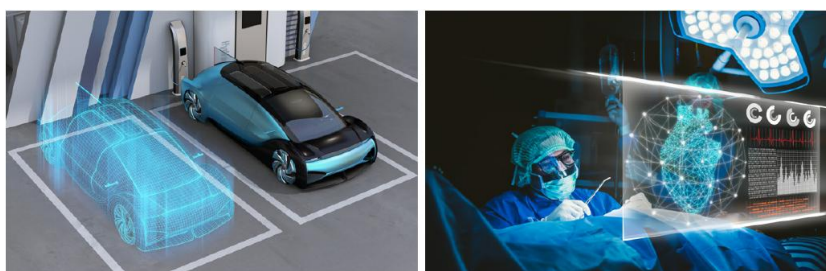
Το ολόγραμμα είναι μια τεχνολογία νέας γενιάς που μπορεί να παρουσιάσει χειρονομίες και εκφράσεις του προσώπου μέσω μιας ολογραφικής οθόνης. Η απεικόνιση ολογράμματος μέσω κινητής συσκευής (μέγεθος 1μm rixel σε οθόνη 6,7 ιντσών, δηλ. 11,1 Gigapixel) απαιτεί τουλάχιστον 0,58 Tbps. Επιπλέον, η υποστήριξη ενός ολογράμματος ανθρώπινου μεγέθους απαιτεί τεράστιο αριθμό rixel (π.χ., απαιτώντας αρκετά Tbps). Η AI μπορεί να συμπιέσει, να εξάγει και να ρεντάρει τα δεδομένα των ολογραμμάτων. Το εμπορικό μέγεθος των οθονών αυτών θα φτάσει τα 7.6 δις δολάρια μέχρι το 2023.



Σχήμα 5.7: Απεικόνιση 3D ολογράμματος μέσω κινητής συσκευής [52].

Digital Replica [52]

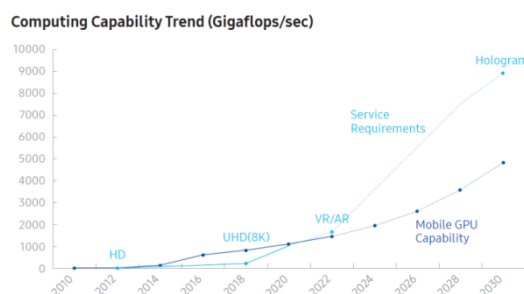
Μέσω προηγμένων αισθητήρων, της AI και των τηλεπικοινωνιών θα αναπαρίστανται ψηφιακά αντίγραφα φυσικών αντικειμένων, όπως άνθρωποι, συσκευές, αντικείμενα, τοπία από τον εικονικό κόσμο. Θα ονομάζονται *digital twin*. Στο περιβάλλον του 6G, οι χρήστες, από οποιοδήποτε μέρος, θα μπορούν αλληλεπιδρούν με τα *digital twins* σε πραγματικό χρόνο μέσω γυαλιών VR ή οθόνης ολογράμματος. Το εμπορικό μέγεθος των *digital twins* θα φτάσει τα 26 δις δολάρια μέχρι το 2025.



Σχήμα 5.8: Digital replica [52].

5.4.3 Τεχνικές Απαιτήσεις

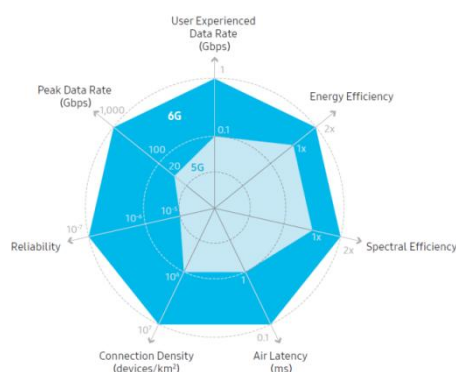
Σύμφωνα με έρευνα της Samsung, εκτός από την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών, θα πρέπει να βελτιώνεται παράλληλα η υπολογιστική ισχύ των κινητών συσκευών [52]. Επίσης, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας δεν είναι αρκετή για να υποστηρίξει τις απαιτήσεις και την ανάπτυξη των multimedia υπηρεσιών.



Σχήμα 5.9: Υπολογιστική ισχύς: απαιτήσεις VS ικανότητα [52].

Performance Requirements [52]

Η φασματική απόδοση (spectral efficiency) θα πρέπει να είναι διπλάσια του 5G NR, το air latency να είναι μικρότερο από 100μs, το E2E latency μικρότερο από 1ms και το jitter μικρότερο του 1ms. Με τις παραπάνω απαιτήσεις, το latency των χρηστών μπορεί να είναι μικρότερο των 10ms, το οποίο λέγεται motion-to-photon latency, απαραίτητο για τις υπηρεσίες XR. Η αξιοπιστία (reliability) βελτιώνεται κατά 100 φορές σε σχέση με το 5G NR, για να είναι το ποσοστό σφάλματος 10^{-7} . Στο 6G NR οι συνδεδεμένες συσκευές θα φτάνουν τις 10^7 ανά km^2 και είναι 10 φορές μεγαλύτερη από τη πυκνότητα (density) του 5G NR. Η ενεργειακή απόδοση (energy efficiency) των συσκευών και των δικτύων θα διπλασιαστεί στο 6G NR, σε σχέση με το 5G NR.

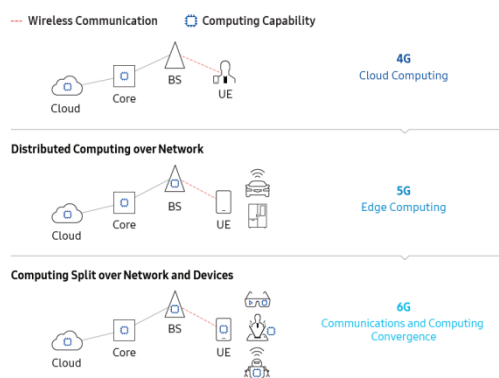


Σχήμα 5.10: Σύγκριση performance requirement μεταξύ 5G και 6G [52].

Architectural Requirements [52]

Σύμφωνα με το σχήμα 5.11, ο υπολογισμός (computing) των υπηρεσιών στο 4G γίνεται στο cloud. Στο 5G, το computing μεταφέρθηκε πιο κοντά στο χρήστη, έγινε μέσω MEC server στο core network ή στο BS, για να μειωθούν οι καθυστερήσεις. Στο 6G θα πρέπει να συγκλίνουν οι επικοινωνίες (communications) με το computing, ώστε οι συσκευές να

χρησιμοποιούν άφθονη υπολογιστική ισχύ και να ενσωματωθεί η AI, η οποία θα λέγεται «native AI».



Σχήμα 5.11: Αρχιτεκτονική εξέλιξη μεταξύ των επικοινωνιών και computing [52].

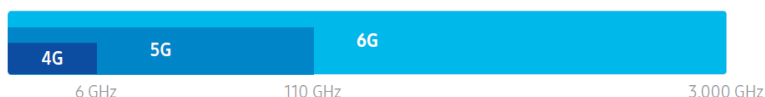
Trustworthiness Requirements [52]

Στο 6G, με τη προστασία του υλικού παρέχεται ασφαλής λειτουργία του κώδικα και ασφάλεια στα διαπιστευτήρια. Η προσέγγιση «Secure-by-design» ασφαλίσει οποιοδήποτε hardware/software. Διασφαλίζεται ότι το σύστημα εντοπίζει πώς και πότε το σύστημα AI αποκτά πρόσβαση σε οποιονδήποτε κώδικα, training data κ.λπ. που σχετίζονται με προσωπικές πληροφορίες, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ασφαλώς το σύστημα AI ενάντια στην εχθρική μηχανική μάθηση (adversarial machine learning). Θα υπάρχουν μηχανισμοί για την ασφαλή χρήση του τεράστιου όγκου πληροφοριών που αφορά επαγγελματίες και χρήστες και διασφάλιση της ιδιωτικότητάς τους.

5.4.4 Τεχνολογίες

Terahertz Technologies [52]

Για να χρησιμοποιηθούν όλες οι παραπάνω υπηρεσίες, είναι αναπόφευκτο ότι οι κινητές επικοινωνίες θα χρησιμοποιήσουν ζώνες στα terahertz (THz), όπως 0.1-10 THz στο μέλλον. Η ζώνη των THz προσφέρει μεγάλο εύρος ζώνης και πολλά κανάλια με εύρος ζώνης δεκάδες GHz. Σύμφωνα με το σχήμα 5.12, οι συχνότητες που θα χρησιμοποιηθούν στο 6G αναμένεται να φτάσουν τα 3,000 GHz.



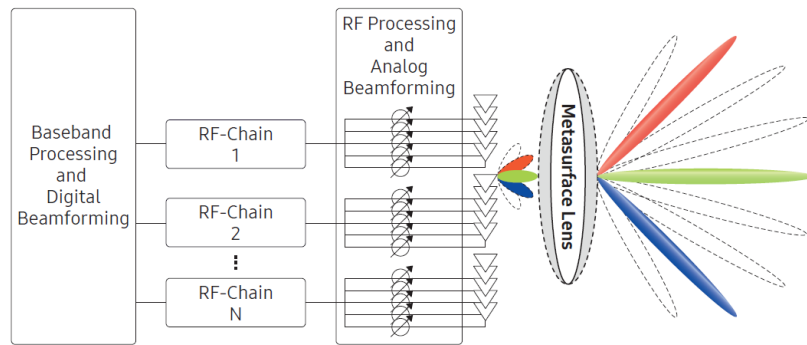
Σχήμα 5.12: Τα φάσματα ανά γενιά [52].

Novel Antenna Technologies [52]

Για να αντιμετωπιστεί η δυσκολία μετάδοσης (propagation) στη ζώνη των THz, θα ενισχυθεί η MIMO τεχνολογία, η οποία υποστηρίζει τη ζώνη των mmWave στο 5G, με περισσότερες κεραιές. Τα είδη των κεραιών είναι δύο.

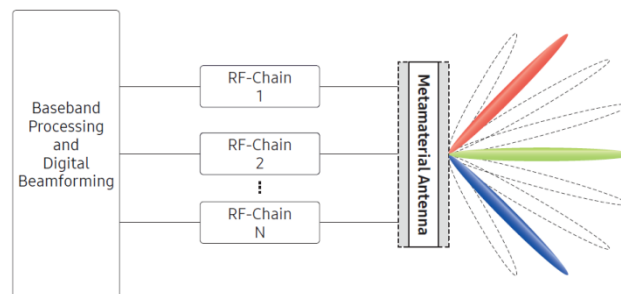
Metamaterial¹⁸ based Antenna and RF Front-End: Οι προσεγγίσεις για τη χρήση των μεταύλικών κεραιών είναι τρεις.

1. Οι metasurface lens ως δομή αλλαγή φάσης εφαρμόζεται σε σήμα που εκπέμπεται από μια συστοιχία κεραιών. Η κατεύθυνση της δέσμης προσαρμόζεται μέσω τάσης DC και οι φακοί οξύνουν το σχήμα της δέσμης.



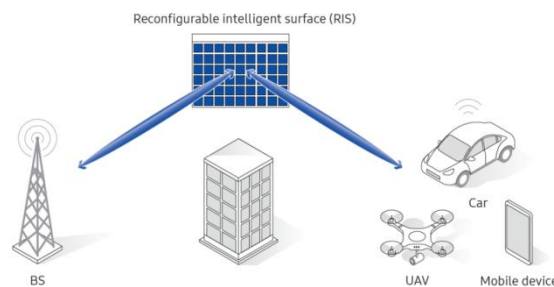
Σχήμα 5.13: metasurface lens [52].

2. Η μεταύλική κεραία ως συντονισμένη κεραία για να εκπέμπει από μόνη της δέσμες κατευθύνσεων. Σε αντίθεση με τις metasurface lens, δεν απαιτεί ξεχωριστή συστοιχία κεραιών με μετατοπιστές φάσης.



Σχήμα 5.14: Metamaterial antenna [52].

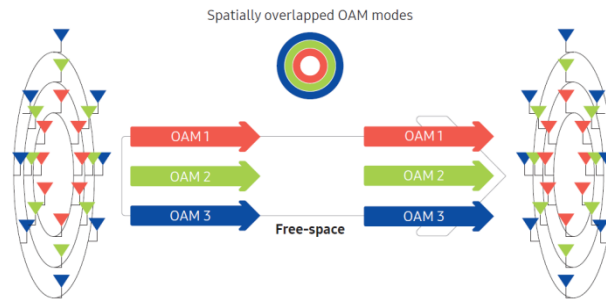
3. Η Reconfigurable intelligent surface (RIS) παρέχει μονοπάτι διάδοσης, χωρίς διάδοση LoS.



Σχήμα 5.15: Επικοινωνία μέσω RIS μεταξύ ενός BS και ενός κινητού χρήστη, όπου η διαδρομή LoS είναι αποκλεισμένη [52].

¹⁸ <https://en.wikipedia.org/wiki/Metamaterial>

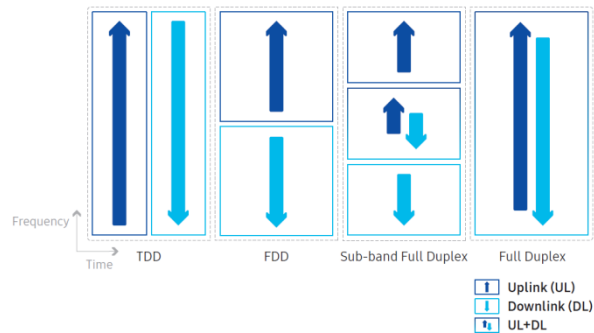
Orbital Angular Momentum: Στην περίπτωση των Η/Μ κυμάτων, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι μπορούν να δημιουργηθούν ταυτόχρονα διαφορετικά OAM χρησιμοποιώντας μια διάταξη κεραίας για εκπομπή. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολυπλεξία πολλαπλών σημάτων (ή επιπέδων) χρησιμοποιώντας διαφορετικά OAM για την αύξηση του ρυθμού δεδομένων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ασύρματα backhaul, σε μέρη που οι τεχνολογίες MIMO δεν μπορούν να εγκατασταθούν και κυριαρχεί το LoS.



Σχήμα 5.16: OAM πολυπλεξία με διαφορετικά OAM [52].

Evolution of Duplex Technology [52]

Στα σημερινά κυψελοειδή συστήματα, μια ζώνη έχει ένα σταθερό duplex σχήμα δηλαδή είτε FDD είτε TDD. Αν παρακαμφθεί η αρχή της «αμοιβαίας απόκλισης», το duplex σχήμα θα προσαρμοστεί με δυναμικό τρόπο όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.17. Αυτό θα βελτιώσει τη φασματική απόδοση καθώς και την ευελιξία του λειτουργικού συστήματος.



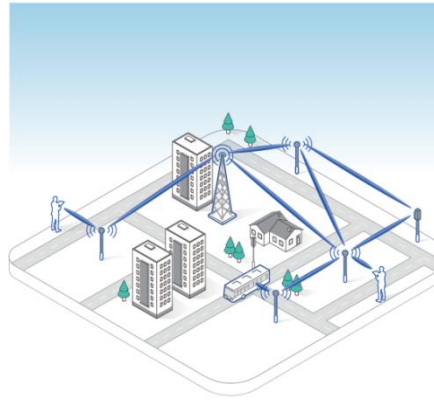
Σχήμα 5.17: Δυναμική λειτουργία των duplex modes [52].

Evolution of Network Topology [52]

Οι νέες τεχνολογίες θα εφαρμοστούν στην τοπολογία, με τους παρακάτω τρόπους.

Για τη mesh τοπολογία:

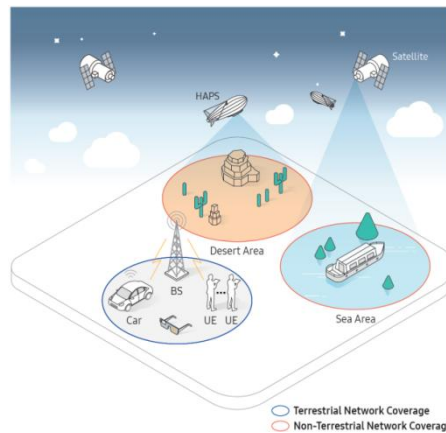
Αυτοματοποιημένα θα προσθέτουν, θα ρυθμίζουν και θα διαμορφώνουν καινούργιες δικτυακές οντότητες στα BS, ασύρματα. Αυτό θα δημιουργήσει mesh τοπολογίες, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.18, οι οποίες είναι πιο ευέλικτες και το δίκτυο γίνεται πιο προσαρμοστικό. Τα κυψελοειδή δίκτυα κινητής τηλεφωνίας θα έχουν ενισχυμένη την mobile υποστήριξη και ενισχυμένη service continuity.



Σχήμα 5.18: Τοπολογία δικτύου τύπου mesh [52].

Για τη μη επίπεδα τοπολογία:

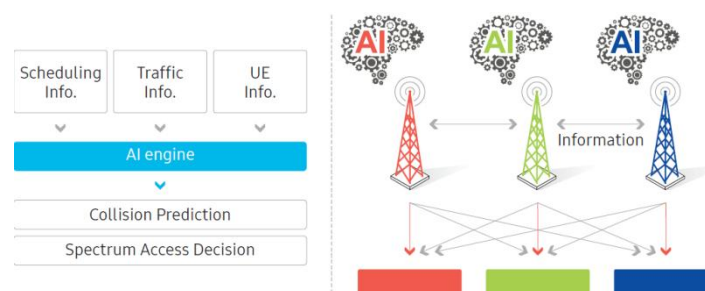
Μια άλλη τοπολογία που έχει μεγάλη εξέλιξη είναι η τοπολογία με τη χρήση μη επίπεδων δικτυακών μέσων (non-terrestrial network (NTN) components), όπως δορυφόροι και HAPS¹⁹, σε τοποθεσίες που δεν υπάρχει επίπεδο δίκτυο.



Σχήμα 5.19: Τοπολογία δικτύου κινητής τηλεφωνίας που περιλαμβάνει μη επίπεδα συστήματα [52].

Spectrum Sharing [52]

Τα φάσματα, τα οποία έχει αγοράσει ο κάθε κάτοχος, συνήθως υπο-χρησιμοποιούνται. Θα μπορούσε να επιτραπεί η ευκαιριακή χρήση των μη χρησιμοποιούμενων φασμάτων από τρίτους, ειδικά των συχνοτήτων κάτω από 6GHz. Επομένως, η κατανομή του φάσματος θα μπορούσε να γίνεται δυναμικά μέσω AI.

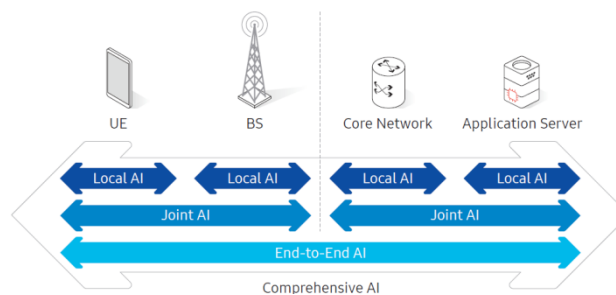


¹⁹ <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/High-altitude-platform-systems.aspx>

Σχήμα 5.20: «Έξυπνη» κατανομή φάσματος [52].

Comprehensive AI [52]

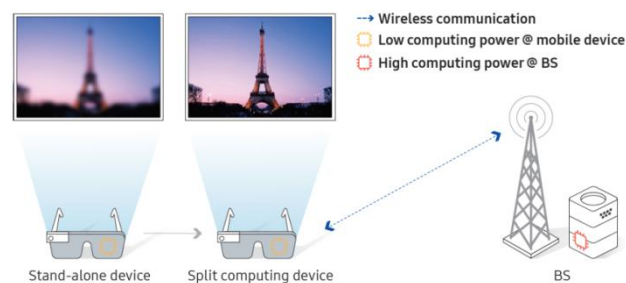
Στη αρχιτεκτονική δικτύου από το 5G έχουμε τέσσερα μέρη τα UE, BS, core network και application server. Για να γίνει καλύτερη διαμοίραση των πόρων θα χρησιμοποιηθεί και θα χωριστεί η εφαρμογή της AI, σε τρία επίπεδα το Local AI, Joint AI και E2E AI. Το Local AI χρησιμοποιείται σε κάθε στοιχείο, ώστε να βελτιστοποιηθεί η διαμόρφωση(modulation), η κωδικοποίηση πηγής και καναλιού. Το Joint AI θα βελτιστοποιεί τη συνεργασία μεταξύ των UE, BS και των core network, application server και θα εξυπηρετείται το handover στα μελλοντικά δίκτυα. Τέλος, το E2E AI βελτιστοποιεί ολόκληρο το σύστημα επικοινωνίας και καθίσταται δυνατή η αναγνώριση ή η πρόβλεψη ανωμαλιών στη λειτουργία του δικτύου και προτείνει διορθωτικές ενέργειες.



Σχήμα 5.21: Σύστημα «Comprehensive AI» [52].

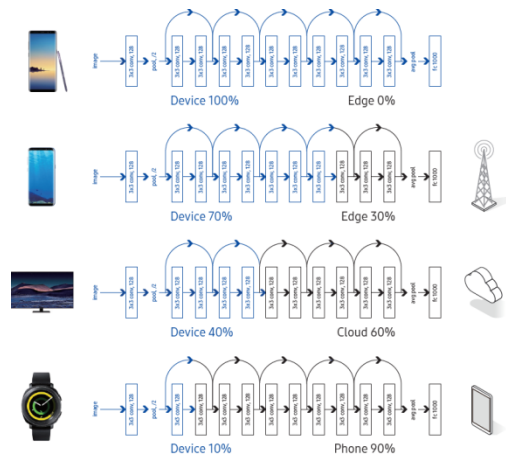
Split Computing [52]

Με την έννοια του *Split Computing*, εννοούμε τον διαχωρισμό των υπολογιστικών πόρων από τη συσκευή σε χαμηλότερα επίπεδα του δικτύου. Για παράδειγμα, στα γυαλιά VR η επεξεργασία της εικόνας δεν θα γίνεται αποκλειστικά στον επεξεργαστή τους, αλλά θα μοιράζεται ο φόρτος εργασίας και στον BS, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.22.



Σχήμα 5.22: *Split Computing* [52].

Στο σχήμα 5.23 παρουσιάζονται άλλα παραδείγματα διαμοίρασης των υπολογιστικών πόρων.



Σχήμα 5.23: Παραδείγματα *Split Computing* από άλλες συσκευές [52].

High-Precision Network [52]

Στο δίκτυο υψηλής ακρίβειας (HPN) είναι σημαντικός ο ντεντερμινιστικός λανθάνοντας χρόνος E2E, όταν συνδυάζεται με μαζική συνδεσιμότητα που υποστηρίζεται τόσο από πρωτόκολλα ραδιοζεύξεων (radio link) όσο και από πρωτόκολλα πάνω από ραδιοσύνδεση. Τα βασικά χαρακτηριστικά του HPN είναι multi-pathing, multi-homing και dynamic mobility. Το multi-pathing επιτρέπει τη χρήση πολλαπλών εναλλακτικών διαδρομών δικτύου και έτσι προσφέρει αξιόπιστη και βέλτιστη χρήση πόρων εύρους ζώνης. Το Multi-homing είναι η δυνατότητα της συσκευής να συνδέεται μέσω πολλαπλών διεπαφών. Το information-centric networking (ICN), είναι μια λύση non-IP, επικεντρώνεται στο περιεχόμενο και επιτρέπει τη δυνατότητα multi-pathing, την κινητικότητα των τελικών χρηστών και τη βέλτιστη χρήση του εύρους ζώνης δικτύου, καθώς τα δεδομένα και το περιεχόμενο μπορούν να αποθηκευτούν στην προσωρινή μνήμη και να εξυπηρετηθούν από ενδιάμεσους δρομολογητές.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αναφέρθηκαν τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα, τα οποία προσφέρονται από το δίκτυο νέας γενεάς 5G σε κάθε τομέα. Ειδικά στον τομέα των M&E, οι τεχνολογίες 5G προσφέρουν στον χρήστη διαδραστικές εφαρμογές, πλούσιο περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας και άμεση πρόσβαση σε οποιοδήποτε περιεχόμενο. Στο τέλος, επισημάνεται από τον ΠΟΥ και την ΕΕ, ότι οι συχνότητες, 26GHz, 3.6GHz και 700MHz, του δικτύου 5G δεν είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία και το 6G, το οποίο θα ξεκινήσει το 2021 θα φέρει ακόμα περισσότερες αλλαγές και δυνατότητες στην κοινωνία και τους χρήστες.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι τεχνολογίες 5G είναι πολύ σημαντικές για να αναβαθμιστεί η αυτοκινητοβιομηχανία, η βιομηχανία, η υγεία, η δημόσια ασφάλεια και οι πόλεις. Ο τομέας των Media προσφέρει ήδη αρκετές δυνατότητες στους χρήστες και το 5G θα τους προσφέρει ακόμα πιο συναρπαστικές εμπειρίες, με τα 3D replicas στα βιντεοπαιχνίδια, την ζωντανή παρακολούθηση και μετάδοση εκδηλώσεων, γεγονότων από οποιοδήποτε μέρος της Γης σε UHD.

Τέλος, λόγω της πανδημίας, αναγκάστηκε όλος ο κόσμος να εργάζεται από το σπίτι του και παρουσιάστηκαν αρκετά προβλήματα στα υπάρχοντα δίκτυα με τη μεγάλη ζήτηση περιεχομένου. Επομένως, η δημιουργία του δικτύου 5G είναι αναγκαία, γιατί μπορεί να υποστηρίξει παρόμοιες καταστάσεις.

Βιβλιογραφία

- [1] Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών, Συγγραφείς: Αθανάσιος Κανάτας, Φίλιππος Κωνσταντίνου, Γεώργιος Πάντος, 1-4, 20-30, 41-42, Εκδόσεις Παπασωτηρίου 2013
- [2] Ζυγούρης, Π. (2015). EDGE, 3G, 4G, H+, κλπ: Τι είναι και τι σημαίνουν οι ενδείξεις στο κινητό; ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ (11-11-2018). <https://tinyurl.com/y4klr53w> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 20-7-2020.
- [3] Φωτογραφία: https://www.researchgate.net/figure/LTE-Advanced-network-architecture_fig2_257878114
- [4] Ertico, European Commission, 5GPPP (2015). 5G Automotive Vision, 5GPPP
- [5] 5GPPP. VISION AND MISSION (2014). <https://5g-ppp.eu/about-us/> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 3-12-2020.
- [6] Samsung Newsroom Malaysia (2021). 5G Is Now, Part 1: 2018, the Year of 5G (28-02-2018). <https://news.samsung.com/my/5g-is-now-part-1-2018-the-year-of-5g> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 30-1-2021.
- [7] GSMA. (2017). GSMA An Introduction to Network Slicing. London: GSMA Association
- [8] Craven, C. (2020). How 5G SDN Will Bolster Networks (31-10-2017). <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-sdn/> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 3-12-2020.
- [9] Craven, C. (2020). How 5G NFV Will Enable the 5G Future (16-10-2017). <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-nfv/> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 3-12-2020.
- [10] Lam, T., Hu, T., Changbo, Z. (2020) 5G smart cities whitepaper, China: Deloitte, China Unicom
- [11] Wikipedia. (2021). Content delivery network https://en.wikipedia.org/wiki/Content_delivery_network Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 16-1-2021.
- [12] Lourenço, M., Marinos, L. (2019). ENISA threat landscape for 5G Networks - November 2019. Europe: ENISA
- [13] GSMA. (2020). GSMA The mobile economy 2020. 3,5-7,13. London: GSMA Association
- [14] 5GPPP. 5G AND VERTICALS (2014). <https://5g-ppp.eu/verticals/> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 02-03-2021.
- [15] Haerick, W., Gupta, M. (2015). 5G and the Factories of the Future, 5GPPP
- [16] Geurtz, A., Herzog, U. (2016) 5G and Media & Entertainment, New European Media, 5GPPP

- [17] Thrybom, L., ABB, Kapovits, A. (2015). 5G and Energy, Belgium, 5GPPP
- [18] Gavras, A. (2015) 5G and e-Health, Belgium: 5GPP
- [19] Φωτογραφία: https://www.pngitem.com/middle/ThJRhoo_pillar-of-industry-4-0-hd-png-download/
- [20] Φωτογραφία: <https://iot5.net/5-benefits-of-connected-health-iot-system/>
- [21] Li, J., Nagalapur, K.K., Hammarberg, P., Negusse, S. (2020). This is how 5G NR for public safety could save lives. Ericsson (8-5-2020). <https://www.ericsson.com/en/blog/2020/5/how-5g-for-public-safety-could-save-lives>
Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 3-12-2020
- [22] Kadia, H. (2020). 5G and Public Safety – Top 10 Use Cases enabling First Responders to SAVE MORE LIVES (4-4-2020). <https://tecknexus.com/5g-and-public-safety-top-10-use-cases-enabling-first-responders-to-save-more-lives/> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 3-12-2020
- [23] Σύνδεσμος Επιχειρήσεων και Βιομηχάνων (ΣΕΒ) (2019). Βιομηχανία 4.0 – Η ευκαιρία δεν πρέπει να χαθεί (19 Δεκεμβρίου 2019). Αθήνα: Βιομηχανικό Συνέδριο – ΣΕΒ – Σύγχρονες Επιχειρήσεις, Σύγχρονη Ελλάδα
- [24] Deutsche Telekom Group (2017). SMART SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE CITIES. Germany: Deutsche Telekom AG
- [25] Rizou, S. (2018). Technical approach. 5G-MEDIA (22-6-2018). <http://www.5gmedia.eu/5g-media/technical-approach/> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 14-1-2021
- [26] UCL. (επιμ.) (2018). Programmable edge-to-cloud virtualization fabric for the 5G Media industry - D2.2: 5G-MEDIA Requirements and Use Case Refinement. EU: Horizon 2020 European Union Funding for Research & Innovation
- [27] SiLO. (επιμ.) (2018). Programmable edge-to-cloud virtualization fabric for the 5G Media industry - D2.3: 5G-MEDIA Platform Architecture. EU: Horizon 2020 European Union Funding for Research & Innovation
- [28] SiLO. (επιμ.) (2020). Programmable edge-to-cloud virtualization fabric for the 5G Media industry - D2.4: Final Report on Architecture, Requirements and Specification. EU: Horizon 2020 European Union Funding for Research & Innovation
- [29] Wikipedia (9-1-2021). Jitter. <https://en.wikipedia.org/wiki/Jitter> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 12-1-2021
- [30] Βικιπαίδεια (29-2-2020). Διαδίκτυο των πραγμάτων. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF_%CF%84%CF%89%CE%BD_%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 17-6-2020

- [31] Home Assistant (19-10-2017). <https://www.home-assistant.io> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 17-6-2020
- [32] DrZzs (2016). UPDATED: get HASSIO and Tasmotized Sonoff up and running! <https://www.youtube.com/watch?v=c2IUIUnxjUY> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 13-3-2018
- [33] Sonoff (2020). <https://sonoff.tech/product/wifi-diy-smart-switches/basicr2> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 7-7-2020
- [34] *ITead (2016). Sonoff Smart Home Solution. <https://www.itead.cc/wiki/> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 20-12-2017
- [35] Albert (2018). What is Tasmota?. IoT with us It's easy. (10-11-2018). <https://www.iotwithus.com/what-is-tasmota/> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 7-7-2020
- [36] Wikipedia (16-6-2020). ESP8266. <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 7-7-2020
- [37] Dr. Stanford-Clark, A., Nipper A., MQTT.org (1999) <http://mqtt.org> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 7-7-2020
- [38] Mosaic5G (2016). <http://mosaic-5g.io> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 7-7-2020
- [39] OpenAirInterface (2014). <https://www.openairinterface.org> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 7-7-2020
- [40] Παρουσιάσεις μετρήσεων από τον όμιλο ΟΤΕ (2019)
- [41] Radio Spectrum Policy (Unit B.4). (2021). Electromagnetic fields and 5G. European Commission. (13-01-2021). <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/electromagnetic-fields-and-5g> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (26-01-2021)
- [42] Future Connectivity Systems (Unit E.1). (2021) 5G for Europe Action Plan. European Commission. (21-01-2021). <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/5g-europe-action-plan> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (26-01-2021)
- [43] DG CONNECT. (2021). European Commission to harmonise the last pioneer frequency band needed for 5G deployment. European Commission. (16-05-2019). <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-commission-harmonise-last-pioneer-frequency-band-needed-5g-deployment> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (26-01-2021)
- [44] Επιχειρώ. (2021) 29η μεταξύ 38 ευρωπαϊκών χωρών η Ελλάδα στον Δείκτη Ετοιμότητας 5G. [epixeiro.gr. \(19-02-2019\). https://www.epixeiro.gr/article/114504](https://www.epixeiro.gr/article/114504) Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (27-01-2021)

- [45] Τσακίρογλου, Β. (2021). Η Ελλάδα έχει πλέον 5G (και ας μην ξέρει τι είναι). Πρώτο Θέμα. (09-01-2021). <https://www.protothema.gr/technology/article/1082473/i-ellada-ehei-pleon-5g-kai-as-min-xerei-ti-einai> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (28-01-2021)
- [46] Cosmote. (2021). Κινητή τηλεφωνία και Ασφάλεια. ΟΤΕ Όμιλος Εταιρειών. (28-01-2021) <https://www.cosmote.gr/cs/cosmote/gr/kiniti-kai-asfaleia.html> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (28-01-2021)
- [47] Λιλιοπούλου, Μ. (2021). Πιερρακάκης: 5G από τα μέσα του 2021 στην Ελλάδα. Έθνος. (16-09-2020). https://www.ethnos.gr/tehnologia/124134_pierrakakis-5g-apo-ta-mesa-toy-2021-stin-ellada Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (28-01-2021)
- [48] Newsroom. (2021). 5G: Πότε γίνεται ο διαγωνισμός - Ποιοι είναι οι διεκδικητές. Έθνος. (13-12-2020). https://www.ethnos.gr/tehnologia/137260_5g-pote-ginetai-o-diagonismos-poioi-einai-oi-diekdikites Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (28-01-2021)
- [49] Δελεβέγκος, Δ. (2021). Η Vodafone προχώρησε στην ενεργοποίηση του δικτύου 5G. Η Καθημερινή. (07-01-2021). <https://www.kathimerini.gr/economy/561217834/i-vodafone-prochorise-stin-energopoiisi-toy-diktyoy-5g/> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (28-01-2021)
- [50] WHO. (2021). Radiation: 5G mobile networks and health. WHO. (27-02-2020). <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/radiation-5g-mobile-networks-and-health> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (28-01-2021)
- [51] WHO. (2021). Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public: Mythbusters. WHO. (23-10-2020). <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters#5g> Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: (28-1-2021)
- [52] Samsung Research. (2021). 6G The Next Hyper Connected Experience for All. Samsung.
- [53] Twitter, 5G Barcelona (2019), <https://twitter.com/5GBarcelona/status/1189150444398043136>