



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ &
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

«Πτυχιακή Εργασία»

Μελέτη και ανάλυση της τεχνολογίας των δικτύων 5G

Όνομα Σπουδαστή

Άννα Χαραλαμπία Τσαλαμανδρή

ΑΜ: 11852

Επιβλέπον Καθηγητής: Αγγέλης Κωνσταντίνος

Άρτα
Σεπτέμβριος 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνά την τεχνολογία δικτύων πέμπτης γενιάς (5G). Σήμερα, περισσότερο από κάθε άλλη φορά και με αφορμή την ολοένα και μεγαλύτερη διείσδυση του Internet of Things στην καθημερινότητά μας οι ανάγκες για μεγάλο εύρος ζώνης, κινητικότητα, ασφάλεια στη μετάδοση και μεγάλες ταχύτητες ανταλλαγής δεδομένων δεν μπορούν να υποστηριχθούν από την υπάρχουσα υποδομή και τις τεχνολογίες του δικτύου επικοινωνιών. Η τεχνολογία πέμπτης γενιάς υπόσχεται να καλύψει όλα αυτά τα κενά. Την περίοδο που η παρούσα πτυχιακή εργασία συγγράφεται βρισκόμαστε στο κατώφλι έναρξης του 5G με πολλές προτάσεις για την υποδομή, τα πρωτόκολλα με τα οποία θα λειτουργεί η συγκεκριμένη τεχνολογία καθώς και τη συνολική αρχιτεκτονική μέσω της οποίας θα συνδυαστούν όλα αυτά μαζί. Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μέσα από βιβλιογραφικές αναφορές η ιστορική αναδρομή των τηλεπικοινωνιακών δικτύων ξεκινώντας από την τεχνολογία 0G έως και την τεχνολογία τέταρτης γενιάς 4G, ώστε αφενώς να γίνει κατανοητή η προϋπάρχουσα τεχνολογία και αφετέρου να γίνει αντιληπτή η αναγκαιότητα δημιουργίας των δικτύων πέμπτης γενιάς.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιέχει και την προβληματική μας η οποία δεν είναι άλλη από το να σκιαγραφίσουμε την τεχνολογία 5G, αναλύοντας τις προτάσεις αρχιτεκτονικής, υποδομής και γενικότερα του μοντέλου υλοποίησης της τεχνολογίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στο διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things). Με αυτό τον τρόπο γίνεται απολύτως σαφής ο λόγος δημιουργίας την τεχνολογίας πέμπτης γενιάς 5G, ο τρόπος λειτουργίας της και ποια κενά καλύπτει στην καθημερινότητά μας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της προβληματικής μας, τα οποία συγκλίνουν στο ότι αν και τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα στη διάρκεια της ιστορίας τους καταγράφουν μία δεκαετή πορεία μέχρι να αναβαθμιστούν, το δίκτυο 5G ήρθε για να μείνει για αρκετό καιρό. Πρωτοποριακή τεχνολογία, υποδομή που αλλάζει τα δίκτυα όπως τα ξέραμε μέχρι σήμερα και νέες δυνατότητες στους χρήστες των οποίων η καθημερινότητα θα αναβαθμιστεί σημαντικά.

Τα στοιχεία για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, αντλήθηκαν, με δευτερογενή έρευνα αρχείων, από τις βιβλιοθήκες των ΤΕΙ Ηπείρου, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, ίδρυμα Ευγενίδου, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, την Πολυτεχνική σχολή Πατρών και από διαδικτυακές πηγές οι οποίες αναφέρονται στην βιβλιογραφία.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Τεχνολογία και υποδομή δικτύων πέμπτης γενιάς (5G)

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Fronthaul & Backhaul, SDN, NFV, MIMO, mmWave, IoT, OFDM

ABSTRACT

This thesis investigates fifth generation (5G) network technology. Today, more than ever, and with the increasing penetration of the Internet of Things in our daily lives, the needs for high bandwidth, mobility, security of transmission and high data exchange speeds cannot be supported by the existing infrastructure and technologies of the communications network. Fifth generation technology promises to fill all these gaps. At the time this thesis is being written, we are currently at the 5G startup threshold with a lot of infrastructure proposals, protocols that the technology will work on, and overall architecture through which they will be combined. The work contains four chapters.

The first chapter presents bibliographical references on the historical overview of telecommunications networks ranging from 0G to fourth generation 4G technology in order to understand the pre-existing technology and seeing the need of creating the fifth generation networks.

The second chapter contains our issues which are nothing more than an outline of 5G technology analyzing the architecture infrastructure and technology implementation proposals in general.

The third chapter makes extensive reference to the Internet of Things. In this way the reason for the creation of 5G technology the way it works and what gaps it covers in our day-to-day life are made very clear.

The final chapter presents the conclusions of our problem which converge that: although telecommunications networks have recorded a decade-long course of upgrades throughout their history the 5G network has come to stay for long time. Innovative technology infrastructure that changes networks as we know them today and new capabilities for users whose daily lives will be significantly upgraded.

The data for the preparation of the present work were obtained through secondary archive research from the libraries of Technological Educational Institute of Epirus, The Western Greece University of Applied Sciences, Eugenides Foundation, National and Kapodistrian University of Athens, School of engineering at Patras University and from online sources cited in the literature.

SUBJECT AREA: 5th Generation Network Technology and Infrastructure (5G)

KEYWORDS: Fronthaul & Backhaul, SDN, NFV, MIMO, mmWave, IoT, OFDM

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	2
Abstract.....	3

Κεφάλαιο 1. Ιστορική αναδρομή 0G – 4G

1.1 Τεχνολογία πριν τα Κυψελωτά Δίκτυα (0G)	6
1.1.1 Κινητό τηλεφωνικό σύστημα (Mobile Telephone System).....	6
1.1.2 Βελτιωμένη υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας (Improved Mobile Telephone Service)	6
1.2 Τεχνολογία Πρώτης Γενιάς (1G)	7
1.2.1 AMPS (Advanced Mobile Phone System).....	8
1.2.2 NMT (Nordic Mobile Telephony).....	9
1.3 Τεχνολογία Δεύτερης Γενιάς (2G).....	10
1.3.1 GSM.....	11
1.3.2 GPRS.....	11
1.3.3 EDGE & IMT – Single Carrier (IMT-SC)	12
1.3.4 Σύγκριση του GPRS με την EDGE	13
1.4 Τεχνολογία Τρίτης Γενιάς (3G)	14
1.5 Τεχνολογία Τέταρτης Γενιάς (4G).....	17
1.5.1 MIMO	18
1.5.2 OFDM	19

Κεφάλαιο 2. Τεχνολογία Πέμπτης Γενιάς (5G)

2.1 Τι είναι η τεχνολογία Πέμπτης Γενιάς (5G).....	20
2.2 Αρχιτεκτονική 5G.....	21
2.2.1 Αρχιτεκτονική Fronthaul & Backhaul.....	22
2.2.2 Αρχιτεκτονικές SDN & NFV	25
2.2.2.1 Τι είναι το SDN	25
2.2.2.2 Δομή του SDN.....	26
2.2.2.3 Πλεονεκτήματα χρήσης του SDN.....	27
2.2.2.4 Τι είναι το NFV (Network Functions Virtualization)	27
2.2.2.5 Σύνδεση SDN & NFV.....	28
2.2.3 Αρχιτεκτονική Μικροκυματικής ζώνης (mmWave).....	29
2.2.3.1 Προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα mmWave	29
2.3 Πρότυπα τεχνολογίας πέμπτης γενιάς (5G).....	31
2.3.1 Διεθνής Κινητές Τηλεπικοινωνίες 2020 (International Mobile Telecommunications IMT 2020)	31
2.3.2 World Radiocommunication Conference WRC-19 & ρυθμίσεις φάσματος.....	32

2.4	Χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων για την ανάπτυξη της τεχνολογίας πέμπτης γενιάς.....	33
2.4.1	SPEED-5G	33
2.4.2	CHARISMA	34
2.4.3	5G MiEdge	34
2.4.4	5G Crosshaul	35
2.4.5	MassLOC	36
2.4.6	5G AURA	37
2.4.7	WiVi 2020.....	38
2.4.8	SPOTLIGHT	39
2.4.9	FIWIN5G (Fiber – Wireless Integrated Networks for 5th Generation delivery – H2020).....	40
2.4.10	mmMagic.....	40
2.4.11	5G – XHAUL	42
2.5	Νομοθετικό πρόγραμμα της ευρωπαϊκής ένωσης για το 5G	43

Κεφάλαιο 3. Πως το 5G θα αναβαθμίσει το Internet of Things (IoT)

3.1	Τι είναι το Internet of Things	46
3.2	Η ιστορία του IoT.....	46
3.3	Αρχιτεκτονική του IoT	48
3.3.1	Μοντέλα Επικοινωνίας IoT	48
3.3.1.1	Μοντέλο Device to Device	48
3.3.1.2	Μοντέλο Device to Cloud	49
3.3.1.3	Μοντέλο Device to Gateway	50
3.3.1.4	Μοντέλο Back – End Data – Sharing	51
3.4	Εφαρμογές IoT.....	52
3.4.1	Έξυπνο σπίτι & έξυπνα κτήρια	53
3.4.2	Έξυπνες πόλεις	54
3.4.3	Internet of Medical Things (IoMT)	55
3.4.4	Internet of Things στη βιομηχανία.....	57
3.5	Πώς συνδέεται το 5G με το Internet of Things	58
3.5.1	Μοντέλο NFV	59
3.5.2	Μοντέλο ετερογενών δικτύων	59
	Συμπεράσματα	60
	Βιβλιογραφία	61

1. Ιστορική αναδρομή 0G – 4G

1.1 Τεχνολογία πριν τα Κυψελωτά Δίκτυα (0G)

Η ανάγκη για υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας άρχισε να εμφανίζεται στις πρώτες δεκαετίες του 1900 με τις αναλογικές ραδιοεπικοινωνίες να παίζουν σημαντικό ρόλο στην καθημερινότητα για την επικοινωνία κυρίως πλοίων και τρένων της εποχής. Η τάση για δημιουργία πραγματικών τηλεφωνικών συνδέσεων και συσκευών εντάθηκε μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο από πολλές χώρες ταυτόχρονα. Τα πρώτα συστήματα μηδενικής παραγωγής (0G) δεν άργησαν να εμφανιστούν. Χρησιμοποιούσαν τεχνολογία Push to Talk (PtT), το κινητό τηλεφωνικό σύστημα (MTS), την υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας (IMTS) και τα προηγμένα κινητά τηλεφωνικά συστήματα (AMTS). Τα συστήματα αυτά υποστήριζαν μερικές κλήσεις ταυτόχρονα και ήταν πολύ ακριβά γι' αυτό ήταν τοποθετημένα συνήθως σε οχήματα.

1.1.1 Κινητό τηλεφωνικό σύστημα (Mobile Telephone System)

Το MTS χαρακτηρίζεται ως το πρόδρομο πρωτόκολλο κινητής τηλεφωνίας το οποίο στην ουσία ήταν ένας πίνακας εισερχόμενων κλήσεων. Όταν κάποιος μας καλούσε μέσω PSTN, η κλήση καθοδηγούνταν άμεσα στο τηλέφωνό μας. Αν εμείς πραγματοποιούσαμε μια εξερχόμενη κλήση, καλούσαμε αρχικά τον πάροχο ο οποίος μας ζητούσε τον αριθμό κλήσης και στη συνέχεια μας καθοδηγούσε στον αριθμό αυτό.

Στις 2 Οκτωβρίου 1946, η Motorola, πραγματοποίησε τις πρώτες κλήσεις προς το Illinois Bell Phone Company του Σικάγο. Η υπηρεσία διέθετε μικρό αριθμό διαθέσιμων ραδιοσυχνοτήτων και έτσι σύντομα αντιμετώπισε ζητήματα μέγιστης χωρητικότητας στις ραδιοσυχνότητές της.

1.1.2 Βελτιωμένη υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας (Improved Mobile Telephone Service)

Το MTS σύστημα αντιμετώπισε σύντομα προβλήματα που σχετίζονταν με τη μέγιστη χωρητικότητά του λόγω του μικρού αριθμού διαθέσιμων ραδιοσυχνοτήτων. Έτσι, αντικαταστάθηκε από τη βελτιωμένη υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας (IMTS) το 1964. Το IMTS ήταν προ – κυψελοειδές ραδιοσύστημα VHF / UHF που συνδεόταν με PSTN. Προσέφερε δυνατότητα απευθείας κλήσης και όχι σύνδεση μέσω “ζωντανού” παρόχου.

Το πρωτότυπο Bell System των Η.Π.Α και των καναδικών κινητών τηλεφώνων περιλαμβάνει τρεις ζώνες συχνοτήτων:

- VHF Low (35 – 44 MHz, 9 κανάλια)
- VHF High (152 – 158 MHz, 11 κανάλια στις Η.Π.Α και 13 στον Καναδά)
- UHF (454 – 460 MHz, 12 κανάλια)

Εκτός των καναλιών του συστήματος Bell, άλλα επτά κανάλια VHF και δώδεκα κανάλια UHF παραχωρήθηκαν σε μη καλωδιακές εταιρείες με την ονομασία RCCs (Radio Common Carriers).

Ένας πάροχος μπορούσε να προσφέρει υπηρεσία σε μία, δύο ή και στις τρεις ζώνες συχνοτήτων. Οι πάροχοι αυτοί ήταν επιρρεπείς στη συμφόρηση του δικτύου και σε παρεμβολές λόγω του ότι ένας ραδιοφωνικός σταθμός που ήταν πιο κοντά στο τερματικό θα συγχρονιζόταν στο κανάλι εξαιτίας της συχνότητας του σήματός του. Αυτό αντιμετωπίστηκε αργότερα από τα κυβελωτά δίκτυα μειώνοντας την περιοχή που καλύπτεται από έναν σταθμό βάσης και αυξάνοντας τον αριθμό των κελιών. Και αυτό όμως δεν είναι ιδανική λύση καθώς χρειάζονται αρκετοί σταθμοί βάσης για να καλύψουν μια συγκεκριμένη περιοχή. Για το λόγο αυτό τα IMTS και MTS συστήματα είναι κυρίως εγκατεστημένα σε αραιοκατοικημένες και δυσπρόσιτες περιοχές.

Η IMTS τεχνολογία περιόρισε το συνολικό αριθμό των συνδρομητών. Στη δεκαετία του '70 και του '80 η λίστα αναμονής για να αποκτήσει κάποιος κινητή τηλεφωνική υπηρεσία έφτανε τα τρία έτη. Αυτοί οι συνδρομητές περίμεναν άλλους να αποσυνδεθούν έτσι ώστε να αποκτήσουν αριθμό κινητού τηλεφώνου και υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας. Αυτό οδήγησε σε αυξημένες πωλήσεις παραγωγή ποσοτήτων τηλεφώνων που στηρίζονταν στην IMTS τεχνολογία με αποτέλεσμα οι κινητές μονάδες να κοστίζουν αρκετά (έως και \$4000). Τα κανάλια δεν ήταν πάντοτε διαθέσιμα συνεπώς και ο χρόνος ομιλίας ήταν ακριβός (\$0,70 – \$1,20 / λεπτό).

Όταν καλύφθηκε το όριο του αριθμού πελατών στις IMTS και MTS υπηρεσίες επενδύθηκαν κεφάλαια για το σχεδιασμό και δημιουργία κυβελοειδών δικτύων. Στόχος πλέον ήταν τα δορυφορικά συστήματα και υπηρεσίες να είναι πιο προσιτά και οι κυβερνητικές επενδύσεις να προσαρμοστούν στην επέκταση των δικτύων.

1.2 Τεχνολογία Πρώτης Γενιάς (1G)

Με τον όρο 1G, περιγράφεται η πρώτη γενιά ασύρματης κυβελοειδούς τεχνολογίας. Είναι αναλογικά πρότυπα τηλεπικοινωνιών της δεκαετίας του '80 τα οποία αντικαταστάθηκαν στην πορεία από τις 2G ψηφιακές τηλεπικοινωνίες το οποίο είναι και βασική τους διαφορά.

Παρόλο που και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν ψηφιακή σηματοδότηση για να συνδέσουν τους πύργους ραδιοσυχνοτήτων με το υπόλοιπο τηλεφωνικό σύστημα, η ίδια η φωνή κατά τη διάρκεια μιας κλήσης κωδικοποιείται σε ψηφιακά σήματα στο 2G ή 1G διαμορφώνεται σε υψηλότερες συχνότητες (> 150 MHz).

Το πρώτο αυτοματοποιημένο δίκτυο κυψελοειδούς μορφής 1G ξεκίνησε στη μητροπολιτική περιοχή του Τόκιο το 1979 απ' τη Nippon Telegraph and Telephone (NTT). Στην επόμενη πενταετία, το δίκτυο της NTT κάλυψε ολόκληρο τον πληθυσμό της Ιαπωνίας καθιστώντας το, το πρώτο παγκοσμίως δίκτυο 1G.

Το 1981, ξεκίνησε το Nordic Mobile Phone (NMT) δίκτυο ταυτόχρονα στη Δανία, Φιλανδία, Νορβηγία και στη Σουηδία. Το NMT ήταν το πρώτο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με διεθνή περιαγωγή. Στις 3 Οκτωβρίου 1983 ξεκίνησε στις Η.Π.Α. το πρώτο δίκτυο 1G που ονομαζόταν Ameritech με έδρα το Σικάγο χρησιμοποιώντας τη συσκευή Motorola DynaTAC.

1.2.1 AMPS (Advanced Mobile Phone System)

Το προηγμένο σύστημα κινητού τηλεφώνου (AMPS) αναπτύχθηκε από τη Bell Labs και βασίζεται στο αναλογικό πρότυπο συστήματος. Το 1960 ο John F. Mitchell ως μηχανικός της Motorola για τα προϊόντα κινητής τηλεφωνίας καθοδήγησε την ανάπτυξη και προώθηση του πρώτου τηλεειδοποιητή με τη χρήση τρανζίστορ ενώ ταυτόχρονα η ομάδα του ανέπτυξε τη φορητή κυψελοειδή τηλεφωνία. Ενώ η Motorola εργαζόταν προς αυτή την κατεύθυνση, η Bell Labs επεξεργάστηκε από το 1968 – 1973 το σύστημα AMPS το οποίο ήταν και πρώτο πρότυπο κυψελοειδούς δικτύου στις Η.Π.Α.. Το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο κινητό τηλέφωνο δεν άργησε να έρθει. Ήταν το DynaTac 8000x. λίγο αργότερα, το 1992 παρουσιάστηκε το πρώτο smartphone που ονομαζόταν IBM Simon και χρησιμοποιούσε το σύστημα AMPS.

Ως τεχνολογία το AMPS είναι όπως προαναφέρθηκε μια κυψελοειδής τεχνολογία πρώτης γενιάς που χρησιμοποιεί διαφορετικά κανάλια για κάθε συζήτηση (FDMA). Ως αποτέλεσμα αυτής της πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας, το εύρος ζώνης που απαιτούνταν για πολλούς χρήστες που επικοινωνούσαν ήταν τεράστιο. Όμως τα κέντρα κυψέλης στην AMPS εκχωρούσαν ευέλικτα κανάλια στα φορητά ακουστικά με βάση την ισχύ του σήματος. Με αυτό τον τρόπο τους επιτρεπόταν να χρησιμοποιήσουν ξανά την ίδια συχνότητα σε διαφορετικές τοποθεσίες χωρίς παρεμβολές. Έτσι, υποστηρίχθηκε η επικοινωνία μεγάλου αριθμού τηλεφώνων σε μια γεωγραφική περιοχή. Ως αναλογικό πρότυπο είχε ευαισθησία στο θόρυβο και δεν μπορούσε να προστατευθεί από τις υποκλοπές.

Η AMPS λειτουργούσε στη ζώνη κυψελών 850 KHz με κανάλια διπλής όψης αποτελούμενα επίσης από δύο συχνότητες. Κάθε κυψέλη χρησιμοποιούσε διαφορετικές συχνότητες από τους γείτονές της για να μην υπάρχει θόρυβος. Κάθε κανάλι AMPS είχε εύρος ζώνης 30 KHz για ένα μονό σύνολο και 60 KHz για κάθε διπλό κανάλι.

1.2.2 NMT (Nordic Mobile Telephony)

Το NMT είναι το πρώτο πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Ξεκίνησε ως υπηρεσία την 1^η Οκτωβρίου 1981 για να λύσει το πρόβλημα συμφόρησης των χειροκίνητων δικτύων κινητής τηλεφωνίας στις σκανδιναβικές τηλεπικοινωνιακές μονάδες. Βασίζεται στην αναλογική τεχνολογία 1G με δύο μοντέλα, το NMT-450 και το NMT-900. Τα 450 και 900 μετά το όνομα NMT εκπροσωπούν τις ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούσαν. Τα αρχικά συστήματα NMT σχεδιάστηκαν για να ενσωματωθούν στον κορμό ενός αυτοκινήτου. Οι χώρες που το υιοθέτησαν εκτός των σκανδιναβικών χωρών ήταν οι χώρες της Βαλτικής, της Ελβετίας, της Ουγγαρίας, της Πολωνίας, της Βουλγαρίας, της Ρουμανίας, της Σλοβακίας, της Σλοβενίας, της Σερβίας, της Τουρκίας, της Κροατίας, της Βοσνίας και της Ρωσίας. Η δημιουργία ψηφιακών κινητών δικτύων όπως το GSM μείωσε τη δημοτικότητά του χωρίς όμως να του στερήσει ένα μεγάλο πλεονέκτημα έναντι του GSM που είναι το εύρος ζώνης και είναι χρήσιμο σε μεγάλες αλλά αραιοκατοικημένες περιοχές.

Τεχνολογικά, κάθε κυψέλη σε ένα NMT δίκτυο βρίσκεται στο διάστημα από 2-30 Km. Σε μικρότερη εμβέλεια το δίκτυο εξυπηρετεί περισσότερους καλούντες ταυτόχρονα. Η NMT τεχνολογία χρησιμοποιεί αμφίδρομη μετάδοση. Ένα άλλο πλεονέκτημα που είχε ήταν η αυτόματη εναλλαγή και παράδοση της κλήσης κάτι που δεν συνέβαινε με τις περισσότερες προηγούμενες τηλεφωνικές υπηρεσίες όπως για παράδειγμα στο Φιλανδικό ARP.

Το NMT υποστήριζε επιπλέον τη λειτουργία μεταφοράς δεδομένων DMS (Data & Message Service) η οποία χρησιμοποιούσε το κανάλι σηματοδότησης του δικτύου για μεταφορά δεδομένων. Η DMS ήταν η πρόδρομος υπηρεσία ανταλλαγής μηνυμάτων του SMS και του GSM που διατιθόταν μόνο στα Ρωσικά, τα Πολωνικά και Βουλγάρικα δίκτυα NMT.

1.3 Τεχνολογία Δεύτερης Γενιάς (2G)

Η συντομογραφία 2G αντιπροσωπεύει την κυψελοειδή τεχνολογία δεύτερης γενιάς. Κυκλοφόρησε στο εμπόριο με το πρότυπο GSM το 1991 στη Φιλανδία απ' την Telenokia και τη Siemens για τον Φιλανδικό πάροχο Radiolinja (σήμερα Elisa)¹. Τα πλεονεκτήματα των 2G δικτύων έναντι των 0G και 1G είναι τα εξής:

- Οι τηλεφωνικές συνομιλίες κρυπτογραφούνται ψηφιακά
- Τα 2G δίκτυα λειτουργούσαν σε καλύτερο φάσμα κάτι που επέτρεψε μεγαλύτερο ποσοστό ασύρματης διείσδυσης
- Εισήχθησαν υπηρεσίες δεδομένων για κινητά όπως για παράδειγμα υπηρεσίες SMS / MMS που ήταν ψηφιακά κρυπτογραφημένες και μόνο ο τελικός δέκτης μπορούσε να τα λάβει και να τα αποκωδικοποιήσει.

Στην Αμερική οι υπηρεσίες 2G αναφέρονται ως PCS (Personal Communication Service). Υπάρχουν δύο κατηγορίες τεχνολογιών 2G. Οι TDMA και οι CDMA αναλόγως του τύπου πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιείται. Τα πρότυπα που εφαρμόζονται στα δίκτυα 2G είναι:

- GSM (Εφαρμόζεται τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης TDMA) αρχικώς στην Ευρώπη και έπειτα στο μεγαλύτερο μέρος παγκοσμίως εκτός της βόρειας Αμερικής.
- PDC (Εφαρμόζεται τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης TDMA) μόνο στην Ιαπωνία για λογαριασμό του JDC (Japanese Digital Cellular)
- iDen (Εφαρμόζεται τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης TDMA) το οποίο το χρησιμοποιεί η Nextel στις Η.Π.Α. και η Tellus Mobility στον Καναδά.
- IS-136 ή Digital AMPS² (Εφαρμόζεται τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης TDMA). Ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένη στην Αμερική αλλά πολλοί επέλεξαν τελικά τα GSM / GPRS και CDMA2000.

Μετά την προώθηση του 2G, οι προηγούμενες τεχνολογίες ασύρματων δικτύων όπως για παράδειγμα τα αναλογικά ραδιοφωνικά σήματα αντικαταστάθηκαν με ψηφιακά.

Με την υπηρεσία ραδιοσυχνοτήτων GPRS, η 2G τεχνολογία προσφέρει μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς 50Kbit/s ενώ με την EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) 1Mbit/s.

Στα χρόνια που ακολούθησαν οι συνδρομητές GSM αυξήθηκαν πολύ. Χαρακτηριστικά, στην πρώτη δεκαετία χρήσης της GSM τεχνολογίας, οι

¹ url: https://techblog.gr/mobile/20-years-gsm-1st-july-1991-4772/?route=product%2Fproduct&product_id=2520

² url: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_AMPS

χρήστες ξεπέρασαν τα 500 εκατομμύρια. Σήμερα, σε περίπου 838 GSM δίκτυα 234 χωρών υπάρχουν 4,5 δισεκατομμύρια συνδρομητές.³

1.3.1 GSM

Το GSM πρότυπο δεύτερης γενιάς χρησιμοποιεί κοινόχρηστο φάσμα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου το οποίο αναπτύχθηκε και εκδίδεται από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI). Ενώ αναπτύχθηκε για να περιγράψει πρωτόκολλα για ψηφιακά κυψελοειδή δίκτυα δεύτερης γενιάς που χρησιμοποιούνται από κινητές συσκευές, δεν περιλαμβάνει τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης CDMA του συστήματος καθολικής πρόσβασης για κινητά τηλέφωνα (UMTS) 3G και πρότυπα τεχνολογίας πολλαπλής προσπέλασης (OFDMA) 4G LTE που εκδίδονται από το 3GPP.

Το GSM χρησιμοποιεί τη Γενική Υπηρεσία Ραδιοσυχνοτήτων (GPRS) για μετάδοση δεδομένων και ήταν το πρώτο που καθόρισε ένα κοινό πρότυπο για την Ευρώπη στην ασύρματη δικτύωση. Ωστόσο, οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κρυπτογραφίες GPRS διακόπηκαν δημόσια το 2011.

Βασικό τεχνικό χαρακτηριστικό του GSM είναι η μονάδα ταυτοποίησης συνδρομητή (SIM) η οποία είναι μια αποσπώμενη κάρτα που περιέχει πληροφορίες συνδρομής και τηλεφωνικό κατάλογο του χρήστη.

1.3.2 GPRS

Η Υπηρεσία Πακέτου Ραδιοσυχνοτήτων (GPRS) είναι υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας προσαρμοσμένη στα GSM συστήματα των κυψελοειδών επικοινωνιών 2G και 3G. Περιγράφεται από μεταβλητή απόδοση ανάλογη του αριθμού χρηστών που λειτουργούν με την υπηρεσία ταυτόχρονα λόγω του ότι έχουν προστεθεί σ' αυτή τομείς μεταγωγής πακέτων επιπροσθέτως στον τομέα μεταγωγής κυκλώματος.

Η 2G τεχνολογία που συνδυάζεται με την GPRS περιγράφεται με τον όρο 2.5G, τεχνολογία δηλαδή ενδιάμεση της 2G και της 3G η οποία επιτρέπει μεταφορά δεδομένων μέτριας ταχύτητας και χρησιμοποιεί κανάλια πολλαπλής πρόσβασης που δεν δεσμεύονται. Η 2.5G τεχνολογία εξέλιξε τα δίκτυα CDMA2000 τα οποία επέτρεψαν στο ίδιο κύκλωμα να χρησιμοποιείται από διαφορετικούς χρήστες.

³ url: https://techblog.gr/mobile/20-years-gsm-1st-july-1991-4772/?route=product%2Fproduct&product_id=2520

Το GPRS δίκτυο επιτρέπει στις τεχνολογίες 2G, 3G και WCD MA τη μεταφορά IP πακέτων στο διαδίκτυο. Τα πρωτόκολλα που υποστηρίζει το GPRS είναι:

- Το πρωτόκολλο διαδικτύου IP
- Το PtP πρωτόκολλο (Point to Point)
- X.25 συνδέσεις

Οι υπηρεσίες που προσφέρει το GPRS είναι οι εξής:

- Μηνύματα SMS / MMS
- Απρόσκοπτη πρόσβαση στο διαδίκτυο
- Push to Talk μέσω κυψελοειδούς δικτύωσης
- Instant Messaging (IM)
- Εφαρμογές μέσω WAP
- Υπηρεσίες Point to Point μέσω διαδικτύου
- Υπηρεσίες Point to Multiple Point

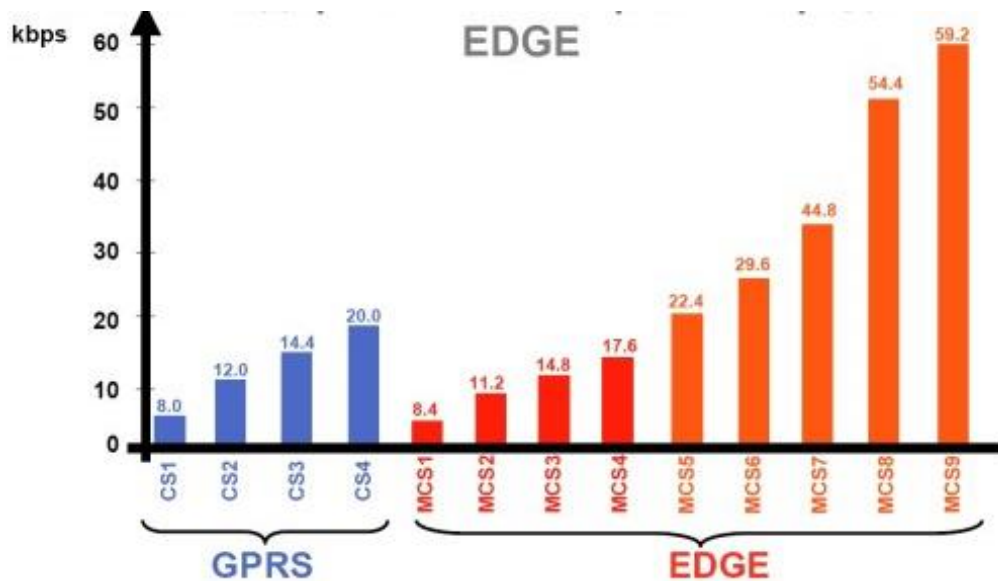
1.3.3 EDGE & IMT – Single Carrier (IMT-SC)

Η EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) είναι η ενδιάμεση τεχνολογία (2G – 3G) που παρέχει στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που υποστηρίζουν αυτή την τεχνολογία την απαιτούμενη χωρητικότητα και ταχύτητα ώστε να επιτραπεί η χρήση τους στην παροχή υπηρεσιών τρίτης γενιάς. Η EDGE παρέχοντας υψηλές ταχύτητες ανά ραδιοφωνικό κανάλι τριπλασίασε τη χωρητικότητα και την απόδοση σε σχέση με μια σύνδεση GSM / GPRS. Με αυτό τον τρόπο έγινε εφικτή η υπηρεσία τηλεδιάσκεψης, η υπηρεσία αναπαραγωγής video σε πραγματικό χρόνο και η πλοήγηση στο διαδίκτυο με μεγάλες ταχύτητες.

Τεχνικά, η EDGE, για να αυξήσει το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων στο GSM χρησιμοποιεί το φορέα του δικτύου στα 200KHz έτσι ώστε να αυξήσει την ταχύτητα σε συνδυασμό βέβαια με την αλλαγή του τρόπου διαμόρφωσης των δεδομένων που μεταφέρονται. Με τον τρόπο αυτό κωδικοποιεί εκ νέου τα κανάλια για να επιτευχθεί η αποστολή δεδομένων και φωνής τόσο με τεχνολογίες μεταγωγής πακέτων όσο και κυκλωμάτων.

Η EDGE δεν λειτουργεί αυτόνομα αλλά συνεργατικά με το GPRS. Για το τελευταίο υπάρχουν τέσσερις επιλογές κωδικοποίησης (CS1, CS2, CS3 και CS4). Για το EGPRS υπάρχουν εννέα επιλογές κωδικοποίησης διαμόρφωσης (Modulation Coding Schemes). Οι πρώτες τέσσερις (MCS1 – MCS4) εκμεταλλεύονται τη διαμόρφωση GMSK ενώ οι υπόλοιπες (MCS5 – MCS9) τη διαμόρφωση 8PSK. Η σύγκριση ταχυτήτων της EDGE και του GPRS φαίνεται

στο σχήμα 1. Το GPRS φθάνει μέχρι τα 20 Kbps ταχύτητα ενώ η EDGE αγγίζει τα 59,2Kbps.



Σχήμα 1: Σύγκριση ταχυτήτων GPRS και EDGE. Πηγή: <http://mobiletoppings-en.blogspot.com/2011/04/gprs-and-egprs-edge-myth-and-reality-as.html>

1.3.4 Σύγκριση του GPRS με την EDGE

Η μετάδοση της πληροφορίας στο GPRS πραγματοποιείται περίπου μέχρι τα 160Kbps. Με την EDGE οι ταχύτητες φθάνουν τα 384Kbps. Αυτό δίνει τη δυνατότητα σε υπηρεσίες πολυμέσων και υπηρεσίες πραγματικού χρόνου να εκτελούνται. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1) οι διαφορές των GPRS και EDGE είναι εμφανής.

Comparison between GPRS & EDGE

	GPRS	EDGE
Modulation	GMSK	GMSK & 8-PSK
Symbol rate	270 ksym/s	270 ksym/s
Modulation bit rate	270kbps	810kbps
Radio Data rate/time slot	22.8 kbps	69.2 kbps
User data rate/time slot	20kbps (CS-4)	59.2kbps (MCS-9)
User data rate(8 time slots)	160kbps	473.6kbps

Πίνακας 1. Διαφορές ανάμεσα στο GPRS και στην EDGE.

Πηγή: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-EDGE-and-GPRS>

Άξιο παρατήρησης είναι το γεγονός ότι ενώ το Symbol Rate και των δύο υπηρεσιών είναι ίδιο, το modulation rate σχεδόν τριπλασιάζεται στην EDGE την ίδια χρονική στιγμή. Αυτό συμβαίνει γιατί το GPRS για διαμόρφωση δεδομένων χρησιμοποιεί το μοντέλο GMSK (Gaussian pre-filtered minimum shift keying) τη Γκαουσιανή μέθοδο για την εκθετική μείωση λάθους κατά τη μεταφορά δεδομένων αλλά επιτρέπει τη μεταφορά ενός bit ανά παλμό στο διαδίκτυο. Η τεχνολογία EDGE αντίστοιχα χρησιμοποιεί τη μέθοδο 8PSK (8 phase shift keying modulation) για να μετατρέψει, διαμορφώσει και αποδιαμορφώσει τα δεδομένα σε οκτώ βήματα με αποτέλεσμα να μεταφέρονται τρία bit δεδομένων σε κάθε μοναδικό παλμό δικτύου. Έτσι εξηγείται και η τριπλάσια χωρητικότητά της μιας σε σχέση με την άλλη υπηρεσία.

1.4 Τεχνολογία Τρίτης Γενιάς (3G)

Με τον όρο 3G περιγράφεται η Τρίτη γενιά ασύρματης τεχνολογίας κινητών τηλεπικοινωνιών. Δημιουργήθηκε από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) τη δεκαετία του 1980. Οι τεχνικές προδιαγραφές του 3G αναπτύχθηκαν στα επόμενα δεκαπέντε έτη με την ονομασία IMT-2000. Το φάσμα στο οποίο δρα το 3G είναι μεταξύ 400MHz και 3GHz.

Το πρώτο εμπορικό δίκτυο 3G δημιουργήθηκε στην Ιαπωνία το 1998 – 2001 απ’ την NTT DoCoMo με την ονομασία FOMA. Διατέθηκε το Μάιο του 2001 ως δοκιμαστική έκδοση του w-CDMA. Στην Ευρώπη, το πρώτο εμπορικό δίκτυο ανοίχθηκε για τις επιχειρήσεις από την Telenor το Δεκέμβριο του 2001.

Το 3G ήταν το πρώτο δίκτυο που εισήγαγε τον όρο ασύρματη ή κινητή ευρυζωνική σύνδεση λόγω της ταχύτητάς του και της διασυνδεσιμότητας συσκευών για την περιήγηση στο διαδίκτυο. Την ίδια περίοδο εξελίχθηκαν ταυτόχρονα και οι κινητές συσκευές όπως για παράδειγμα τα έξυπνα τηλέφωνα αλλά και το λογισμικό τους κάτι που δεν θα μπορούσε να είχε επιτευχθεί με το παλαιό δίκτυο 2G να εξυπηρετεί τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών. Έτσι, το 3G βρήκε πολύ εύκολα εφαρμογή στην ασύρματη τηλεφωνία, την πρόσβαση στο διαδίκτυο, τις βιντεοκλήσεις και την τηλεόραση.

Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων υπολογίζεται για τις πρώτες κυκλοφορίες 3G στα 2Mbit/s ενώ για τις μεταγενέστερες ακόμα μεγαλύτερο ρυθμό από τα 2Mbit/s προσφέροντας έτσι αδιάλειπτη πρόσβαση στα δεδομένα. Οι κατηγορίες – πρότυπα των 3G δικτύων είναι τα εξής:

- UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service). Προσφέρθηκε στο κοινό το 2001. Βασίστηκε στην W-CDMA τεχνολογία και τυποποιήθηκε από το 3GPP πρότυπο. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην Ευρώπη, την Ιαπωνία, την Κίνα και σε άλλες περιοχές υποδομής GSM (2G). Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν μεικτή τεχνολογία UMTS και GSM.
- CDMA2000. Το πρότυπο αυτό είναι ακόλουθος του CDMA –IS95 (2G). Προσφέρθηκε το 2002 από την 3GPP2 κυρίως στη Βόρεια Αμερική και τη Νότια Κορέα. Οι τεχνολογίες μετάδοσης που χρησιμοποιούνται στο CDMA2000 εκτός των άλλων περιλαμβάνουν το 1xRTT, το 1xEV-DO και το 1xEV-DV. Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν μεικτή τεχνολογία CDMA2000 και IS-95.
- TD-SCDMA. Το πρότυπο αυτό αναπτύχθηκε στη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας από τις εταιρείες Datang και Siemens. Χρησιμοποιεί το S-CDMA κανάλι σε πολλαπλές χρονικές στιγμές. Είναι ιδανικό για πυκνοκατοικημένες περιοχές με μικρή κινητικότητα εντός των κυψελών δικτύων.
- Wideband CDMA. Το πρότυπο αυτό λειτουργεί στη ζώνη των 2.100MHz υποστηρίζοντας ταχύτητες 384Kbit/s σε WAN δίκτυα και 2Mbit/s σε Lan δίκτυα.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των 3G δικτύων είναι αρκετά. Το εύρος ζώνης που προσφέρει το 3G και η εξέλιξη των κινητών συσκευών δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας υπηρεσιών όπως:

- GPS (Global Positioning). Υπηρεσίες εύρεσης θέσεως.
- Βιντεοκλήσεις
- Υψηλές ταχύτητες ασύρματης μεταφοράς δεδομένων με άμεση και απρόσκοπτη σύνδεση στο διαδίκτυο με ταχύτητες που φθάνουν τα 384 Kbit/s. Με τον τρόπο αυτόν γίνεται άμεση η χρήση πολυμεσικών εφαρμογών. Για παράδειγμα, ένα MMS σε δίκτυο 2G χρειάζεται περίπου 60'' για μετάδοση και λήψη ενώ στο 3G δίκτυο μόνο 10''.
- Video streaming. Το μεγάλο εύρος ζώνης επιτρέπει σε πραγματικό χρόνο κινούμενες εικόνες και ήχο σε υψηλή ανάλυση. Έτσι, είναι πλέον εφικτές λειτουργίες τηλεϊατρικής, τηλεδιάσκεψης, κινητής τηλεόρασης και βίντεο κατά παραγγελία.

Το 3G αποτελεί ένα ασφαλές σύστημα επικοινωνίας καθώς ακολουθεί έξι διαφορετικά βήματα προστασίας απορρήτου για τα διακινούμενα δεδομένα:

1. **Network access security.** Απαρτίζεται από αλγόριθμους προστασίας των συνδρομητών κατά την πρόσβαση στα δίκτυα 3G. Η προστασία αφορά στην υποκλοπή και το θόρυβο στις συχνότητες επικοινωνίας.
2. **Network domain security.** Είναι η προστασία των σημείων επικοινωνίας στους κόμβους του δικτύου από επιθέσεις και υποκλοπές.
3. **User domain security.** Το επίπεδο ασφαλείας αυτό αποτρέπει τους μη εξουσιοδοτημένους χρήστες τερματικών 3G στους σταθμούς βάσης του δικτύου UMTS.
4. **Application domain security.** Πρωτόκολλα που εξασφαλίζουν το απόρρητο των δεδομένων που διακινούνται ανάμεσα στις εφαρμογές χρήστη του διαδικτύου.
5. **Security Information.** Είναι ένα σύστημα που παρακολουθεί την εύρυθμη λειτουργία των προηγούμενων συστημάτων απορρήτου και ειδοποιεί συνδρομητές και διαχειριστές του δικτύου αν κάποιο επίπεδο σταματήσει να λειτουργεί.
6. **Frequency Hopping.** Με αυτή την προστασία η συχνότητα επικοινωνίας αλλάζει αρκετές φορές κάθε δευτερόλεπτο με αποτέλεσμα αν κάποιος υποκλέψει τη συχνότητα επικοινωνίας ακόμα και αν “έσπαγε” τον αλγόριθμό κρυπτογράφησης δεν θα μπορούσε να επέμβει παρά για μερικά κλάσματα του δευτερολέπτου.

1.5 Τεχνολογία Τέταρτης Γενιάς (4G)

Η τέταρτη γενιά (4G) ευρυζωνικών κυψελοειδών δικτύων παρέχει δυνατότητες εναρμονισμένες με τα πρότυπα που θέτει ο Διεθνής Τηλεπικοινωνιακός Σύνδεσμος Ραδιοεπικοινωνίας (ITU-R) και ονομάζονται International Advanced Mobile Telecommunications. Τα πρότυπα αυτά ωθούν τα 4G δίκτυα να δουλεύουν με 100Mbit/s ταχύτητα δεδομένων για επικοινωνίες υψηλής κινητικότητας και 1Gbit/s για επικοινωνίες χαμηλής κινητικότητας (π.χ. πεζούς χρήστες).

Το Σεπτέμβριο του 2009 κατατέθηκαν στη διεθνή ένωση τηλεπικοινωνιών (ITU), οι προτάσεις για 4G δικτύωση στις οποίες στηρίζονται όλες οι τεχνολογίες:

- LTE Advanced τυποποιημένο από το 3GPP
- 802.16m τυποποιημένο από το IEEE (WiMAX)

Το LTE Advanced (Long Term Evolution Advanced), ήταν υποψήφιο κατά το πρότυπο IMT-Advanced, το οποίο υπέβαλε το φθινόπωρο του 2009 η 3GPP στην IYU-T. Στόχος του ήταν να υπερβεί τις απαιτήσεις της ITU. Το LTE Advanced είναι απλώς μια αναβάθμιση του υπάρχοντος LTE κυρίως για εμπορικούς σκοπούς. Χρησιμοποιεί πρόσθετο φάσμα και πολυπλεξία για να επιτυγχάνει υψηλότερη ταχύτητα δεδομένων. Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη χωρητικότητα του συστήματος και να βελτιώσει την ταχύτητα των δεδομένων, λειτουργεί με συντονισμένη μετάδοση πολλαπλών σημείων.

Το πρότυπο 802.16e WiMAX γνωστό και ως WiBro, δεν πληρούσε τις απαιτήσεις IMT Advanced για τα 4G δίκτυα καθώς προσέφερε μέγιστες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων στα 128Mbit/s κατερχόμενης ζεύξης και 56Mbit/s με 20MHz ευρεία καναλιών. Στην έκδοση WiMAX 2.1 το πρότυπο ενημερώθηκε έτσι ώστε να μην είναι συμβατό με το προηγούμενο μοντέλο αλλά με το LTE-TDD συνδυάζοντας έτσι το WiMAX με το LTE.

Η εξέλιξη του 802.16e σε 802.16m ;h Wireless MAN – Advanced εκπλήρωσε τα κριτήρια IMT-Advanced των 1Gbit/s για σταθερή λήψη και 100Mbit/s για κινητή λήψη. Εκτός όμως από τα κριτήρια του IMT, το 802.16m είχε και τους εξής στόχους:

- Αύξηση της ραδιοκάλυψης κατά 20 – 30 %
- Μεγαλύτερη φασματική απόκριση με λειτουργίες MIMO πολλαπλών χρηστών με επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας και κυκλικό πρόθεμα 1/16.
- Αύξηση της χωρητικότητας εφόσον τα κανάλια δεν χρειάζεται να έχουν το ίδιο εύρος ζώνης και να βρίσκονται στην ίδια ζώνη συχνοτήτων.

- Μείωση του χρόνου καθυστέρησης για βελτίωση εφαρμογών πραγματικού χρόνου π.χ. VoIP.
- Εξοικονόμηση ενέργειας με λειτουργίες Sleep Mode και Idle Mode.

Όλα τα υποψήφια συστήματα των 4G δικτύων είχαν και έχουν κάποια βασικά χαρακτηριστικά:

A) Τεχνικές μετάδοσης φυσικού στρώματος

1. MIMO για υψηλή φασματική απόδοση
2. Συχνότητα εξισορρόπησης τομέα OFDM και SC-FDE
3. Στατική πολυπλεξία περιοχών πεδίου φάσματος OFDM και FDMA
4. Κωδικοί διόρθωσης σφαλμάτων βασικού στροβίλου Turbo για ελαχιστοποίηση του θορύβου στην πλευρά λήψης

B) Προγραμματισμός αναλόγως καναλιού για επαναχρησιμοποίηση του χρονικά μεταβαλλόμενου καναλιού

Γ) προσαρμογή σύνδεσης

Δ) Mobile IP για λειτουργίες κινητικότητας

Ε) IP-Based FemtoCells οι οποίοι είναι κόμβοι σύνδεσης σε σταθερή ευρυζωνική δικτύωση.

Η διαφορά τελικά με τα προηγούμενα συστήματα είναι ότι στα δίκτυα 4G δεν υποστηρίζεται τηλεφωνία με μεταγωγή κυκλωμάτων.

1.5.1 MIMO

Στο ραδιόφωνο η πολλαπλή είσοδος και έξοδος (multiple input multiple output) βοηθάει στον πολλαπλασιασμό της χωρητικότητας μιας ραδιοζεύξης χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό κεραιών για εκπομπή και λήψη πολλαπλής διάδοσης. Η τεχνολογία MIMO είναι δομικό στοιχείο των προτύπων IEEE (WiFi), HSPA+(3G), WiMAX (4G) και LTE(4G). Σήμερα η τεχνική MIMO χρησιμοποιείται στην αποστολή και λήψη περισσότερων από ένα σημάτων δεδομένων την ίδια χρονική στιγμή στο ίδιο ραδιοφωνικό κανάλι.

Το MIMO διαφέρει από τις τεχνικές έξυπνης κεραίας που ενισχύουν την απόδοση ενός σήματος δεδομένων όπως η πολυμορφία. Ο τρόπος λειτουργίας του MIMO είναι ο εξής:

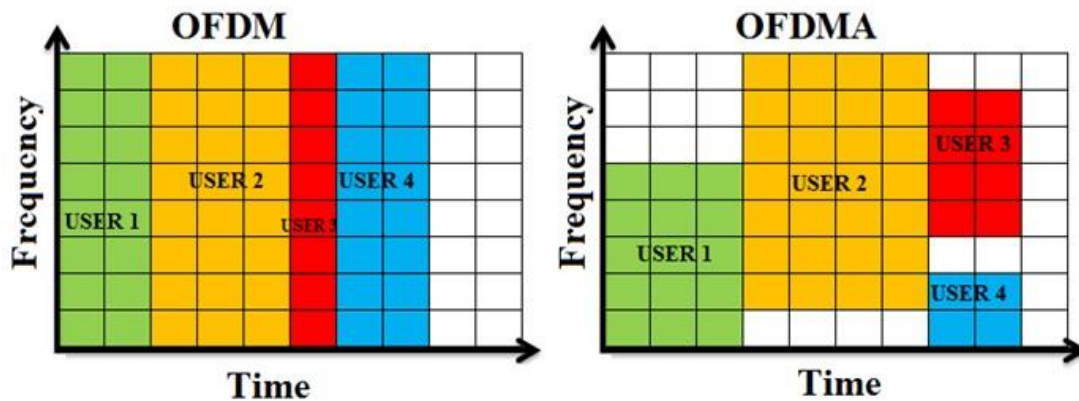
- Precoding. Δημιουργεί πολλαπλές ροές σχηματοποίησης δέσμης
- Χωρική πολυπλεξία (SM). Κάνει όλη την απαραίτητη χωρική πολυπλεξία στον πομπό χωρίζοντας ένα σήμα υψηλής συχνότητας σε πολλαπλά ρεύματα χαμηλότερης συχνότητας και κάθε ρεύμα

μεταδίδεται σε διαφορετική κεραία εκπομπής στο ίδιο κανάλι συχνότητων

- Κωδικοποίηση πολυμορφίας. Χρησιμοποιεί αυτού του είδους την κωδικοποίηση όταν δεν υπάρχει γνώση καναλιού στον πομπό.

1.5.2 OFDMA

OFDMA ονομάζεται η ορθογώνια πολλαπλή διαίρεση συχνότητας η οποία είναι μεταγενέστερη έκδοση πολλαπλών χρηστών της ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) της ψηφιακής διαμόρφωσης πολυπλεξίας. Η πολλαπλή πρόσβαση του OFDMA πραγματοποιείται με την εκχώρηση υποσυνόλων υποφορέων σε μονομονόμενους χρήστες. Αυτός ο μηχανισμός επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση χαμηλού ρυθμού δεδομένων από διαφορετικούς χρήστες χωρίς τη χρήση παλμικού φορέα υψηλής ισχύος. Το OFDMA είναι ιδανικό για τα ευρυζωνικά ασύρματα δίκτυα εξαιτίας της επεκτασιμότητας και της χρήσης πολλών κεραιών (MIMO) καθώς και της δυνατότητας να επωφεληθεί από την επιλογή της συχνότητας του καναλιού.

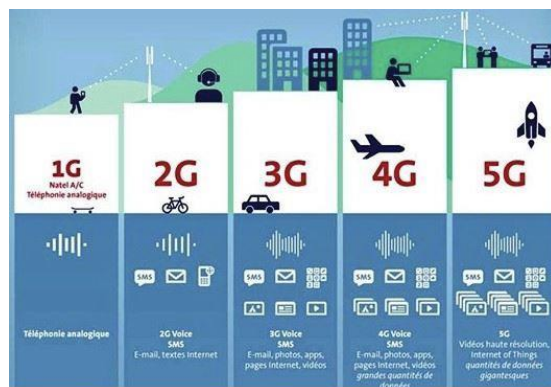


Εικόνα 2. Διαφορές OFDM και OFDMA. Πηγή: <https://www.differencebetween.com/difference-between-ofdm-and-vs-ofdma/>

2. Τεχνολογία Πέμπτης Γενιάς (5G)

2.1 Τι είναι η τεχνολογία Πέμπτης Γενιάς (5G)

Όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 1, κάθε γενιά κινητής τεχνολογίας προσπαθεί να καλύψει τεχνολογικές ανάγκες που προκύπτουν μεταξύ των υφιστάμενων τεχνολογιών και των προκατόχους τους (Εικόνα 1). Για παράδειγμα, η μετάβαση του 2G σε 3G επέτρεψε την πραγματοποίηση του κινητού διαδικτύου (Mobile Internet) στις συσκευές των χρηστών.



Εικόνα 1. Η εξέλιξη των κινητών τεχνολογιών μέχρι σήμερα.

Πηγή: <https://medium.com/@jathomson/investing-in-5g-technology-79903bc520db>

Μέχρι σήμερα, το δίκτυο 4G δεν είναι σε θέση να χειριστεί όλη την ποσότητα δεδομένων που απαιτείται για τη διαχείριση λειτουργιών όπως το Internet of Things (IoT), μεγάλες ποσότητες δεδομένων (Big Data), εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα (AR / VR). Το 5G λοιπόν είναι η νέα γενιά τεχνολογίας ασύρματου δικτύου η οποία θα πολλαπλασιάσει την ταχύτητα της διαδικτυακής σύνδεσης των χρηστών σε σχέση με το 4G. Επίσης, θα διαθέτει επιπλέον χωρητικότητα (capacity) κάτι που θα επιτρέψει την ταυτόχρονη σύνδεση περισσότερων συσκευών στο ίδιο δίκτυο⁴. Όλα αυτά θα οδηγήσουν σε αδιάλειπτη και απρόσκοπτη σύνδεση μεταξύ των συσκευών και των διακομιστών επικοινωνίας τους.

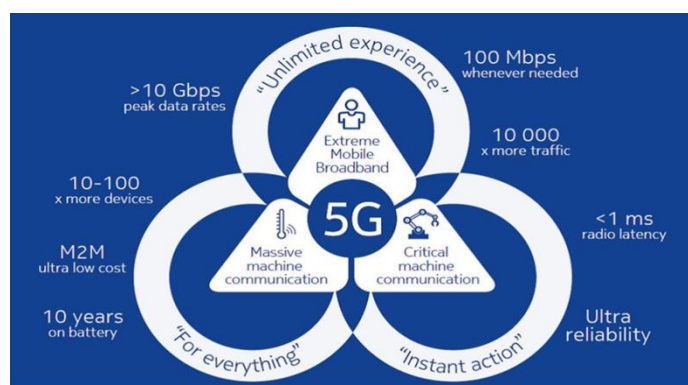
Για να επιτευχθούν αυτά, η 5G τεχνολογία θα πρέπει να μεταδίδεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων αυξημένης συχνότητας κάτι το οποίο με τη σειρά του σημαίνει μεγαλύτερο εύρος ζώνης και ταχύτητα. Όμως, τα ηλεκτρομαγνητικά αυτά κύματα δεν μπορούν να περάσουν από όλες τις δομές (π.χ. κτήρια, παράθυρα) και όσο απομακρύνονται από την πηγή τους εξασθενούν. Αυτό απαιτεί από τις εταιρείες παροχής ασύρματου δικτύου την εγκατάσταση αρκετών χιλιάδων νέων συσκευών αναμετάδοσης για την υποστήριξη του 5G. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι και μετά την επίσημη κυκλοφορία του 5G που αναμένεται το τρέχον έτος 2020, η τεχνολογία 4G δεν θα αντικατασταθεί αλλά θα λειτουργεί συμπληρωματικά.

4 <http://www.kathimerini.gr/945932/article/teχνologia/diadiktyo/ti-einai-to-5g-kai-pote-erxetai>

2.2 Αρχιτεκτονική 5G

Οι απαιτήσεις για κάλυψη των αναγκών από την 5G τεχνολογία οριοθετήθηκαν από της εταιρείες που μελετάνε την κατασκευή των 5G δικτύων σε οκτώ ταυτόχρονους⁵ πυλώνες (βλ. Εικόνα 2):

1. 1 – 10 Gbps συνδέσεις στα τερματικά του ίδιου χώρου
2. 1ms καθυστέρηση σε end to end σημεία
3. 1000x εύρος ζώνης ανά μονάδα περιοχής
4. 10 – 100x συνδεδεμένες συσκευές
5. 99,999% διαθεσιμότητα δικτύου
6. 100% κάλυψη
7. 90% μείωση στην ενέργεια δικτύου που χρησιμοποιείται
8. Πάνω από δέκα έτη, κύκλο ζωής των μπαταριών για μηχανήματα κατανάλωσης χαμηλής ενέργειας.



Εικόνα 2. Το όραμα για τα 5G δίκτυα από τη Nokia⁶

Τα προηγούμενα στοιχεία απαιτήσεων δεν είναι υποχρεωτικό να ικανοποιηθούν όλα ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, στα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό η λανθάνουσα κατάσταση και η αξιοπιστία παίζουν σημαντικό ρόλο σε σχέση με ένα video streaming που οι απαιτήσεις αξιοπιστίας είναι δευτερεύουσας σημασίας. Επίσης, στο video streaming υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για μεγάλους ρυθμούς δεδομένων ενώ στα οχήματα χαμηλότεροι ρυθμοί είναι ανεκτοί.

Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η τεχνολογία 5G δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην ποιότητα και τα ποσοστά των δεδομένων. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη υποστήριξης στην κίνηση των δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Το ποσοστό των δεδομένων μετριέται με τους εξής τρόπους:

- **Συνολικός ρυθμός δεδομένων:** Είναι η συνολική ποσότητα δεδομένων που μπορεί να εξυπηρετήσει το δίκτυο (Bit/sec / area).

⁵ <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download>

⁶ <https://www.strategyanalytics.com/strategy-analytics/blogs/advanced-semiconductors/2017/01/27/what-if-they-build-5g-and-no-one-comes>

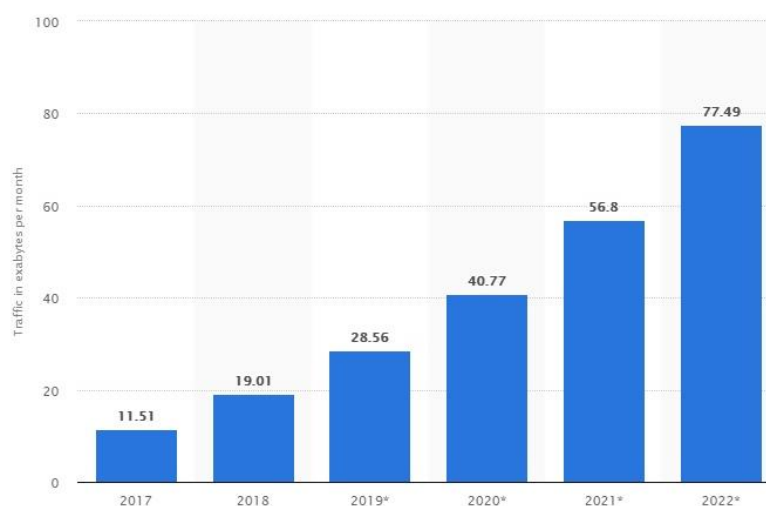
Αυτά τα bit/sec/area πρέπει να είναι αυξημένα στο 5G σε σχέση με το 4G κατά χίλιες φορές.

- **Edge rate:** Αλλιώς ονομάζεται και χειρότερο πέντε τοις εκατό ποσοστό και είναι ο χειρότερος ρυθμός δεδομένων που ένας χρήστης μπορεί να λάβει μέσα στην εμβέλεια ενός δικτύου. Το 5G στοχεύει σε ρυθμούς 100 Mbps – 1 Gbps που για το 95% των χρηστών είναι δύσκολο να επιτευχθεί ακόμα και αν αναπτυχθεί τεχνολογικά καθώς τα σημερινά 4G κυμαίνονται γύρω από το 1Mbps.
- **Peak rate:** Το Peak rate είναι το αντίθετο του Edge rate, δηλαδή ο καλύτερος ρυθμός δεδομένων που ο χρήστης μπορεί να λάβει.

2.2.1 Αρχιτεκτονική Fronthaul & Backhaul

Η βιομηχανία κινητής τηλεφωνίας προσπαθεί να βρεί τη χρυσή τομή στις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις στον όγκο των διακινούμενων δεδομένων και στην ποιότητα απόδοσης των δεδομένων αυτών. Για να το πετύχει αυτό δεν θα πρέπει απλά να αναβαθμιστεί η υφιστάμενη τεχνολογία αλλά να σχεδιαστούν εξ' ολοκλήρου τα νέα συστήματα.

Σε πρόσφατη δημοσιευμένη έρευνα από την εταιρεία STATISTA, η παγκόσμια κίνηση κινητών δεδομένων το 2017 ανερχόταν σε 11,51 Exabytes ανά μήνα ενώ το 2022 προβλέπει το ποσό αυτό να έχει σχεδόν επταπλασιαστεί στο 77,49 Exabytes ανά μήνα (βλ. εικόνα 3)⁷. Συνεπώς, τα δίκτυα πέμπτης γενιάς θα απαιτήσουν λύσεις fronthaul και backhaul ανάμεσα στο δίκτυο ραδιοπρόσβασης (RAN) και του πυρήνα ικανών πακέτων έτσι ώστε να εξυπηρετήσουν τον μεγάλο όγκο των διακινούμενων δεδομένων πληρώντας ταυτόχρονα τις νέες απαιτήσεις υπηρεσιών 5G οικονομικά και αποδοτικά.



⁷ <https://www.statista.com/statistics/271405/global-mobile-data-traffic-forecast/>

Το δίκτυο μεταφοράς δεδομένων είναι υπεύθυνο για τη σύνδεση μεταξύ του RAN και πυρήνα πακέτων που μεταδίδονται ενώ ο τελευταίος μεταφέρει τη σύνδεση στο δημόσιο διαδίκτυο. Γενικά, η εξέλιξη της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης θεωρείται από πολλούς πιο σημαντική σε σχέση με τις αλλαγές στην αρχιτεκτονική του δικτύου μεταφοράς δεδομένων κάτι το οποίο δεν είναι απολύτως σωστό. Τα συστήματα DAS, οι ραδιοφωνικές κεφαλές RRH και οι BS μικρών κελιών με λειτουργίες διαχωρισμού μεταξύ ραδιοφώνου και κέντρων δεδομένων θα υπάρχουν στις τεχνολογίες πέμπτης γενιάς θέτοντας ταυτόχρονα διαφορετικές απαιτήσεις στο δίκτυο μεταφοράς δεδομένων.

Με τον όρο Fronthaul περιγράφουμε τη σύνδεση μεταξύ του ραδιοφωνικού πύργου και της μονάδας βάσης (BBU). Για να επιτευχθεί αυτή η σύνδεση χρησιμοποιείται το πρότυπο **Common Public Radio Interface** (CPRI). Με τον όρο Backhaul, περιγράφουμε τη σύνδεση ενός σταθμού βάσης και του δικτύου κορμού του ενσύρματου δικτύου. Τα Fronthaul, Backhaul και άλλες παρεμφερείς αρχιτεκτονικές χρειάζονται για την ανάπτυξη υποδομών δικτύου που θα παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες χαμηλών καθυστερήσεων στα συστήματα πέμπτης γενιάς (5G).

Μια υβριδική αρχιτεκτονική που βρίσκεται σε εξέλιξη είναι το **5G-Crosshaul** το οποίο στοχεύει σε ένα ενοποιημένο δίκτυο 5G μέσω των Fronthaul και Backhaul, το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία ενός ενοποιημένου περιβάλλοντος διαχείρισης πολλαπλών χρηστών και υπηρεσιών. Το δίκτυο μεταφοράς δεδομένων 5G-Crosshaul θα αποτελείται από διακόπτες υψηλής χωρητικότητας και συνδέσμους μετάδοσης όπως για παράδειγμα οπτικές ίνες, χαλκό υψηλής χωρητικότητας, mmWave που θα διασυνδέουν RRH's (Remote Radio Head), 5GPoAs, μικρά Data Centers και κέντρα βασικών δικτύων ενός ή πολλαπλών παρόχων υπηρεσιών ή διαδικτύου. Το συγκεκριμένο δίκτυο θα διασυνδέει τις λειτουργίες του δικτύου ραδιοεπικοινωνίας 5G με το κεντρικό δίκτυο που φιλοξενείται σε κόμβους cloud μέσω:

- Τεχνολογίας ελέγχου που χρησιμοποιεί κατάλληλο μοντέλο για ενοποίηση των επιπέδων ελέγχων (Crosshaul Control Infrastructure, XCI)
- Ενοποιημένου μοντέλου που απαρτίζεται από τεχνολογίες μετάδοσης μεγάλης χωρητικότητας και αρχιτεκτονικές μεταγωγών προκαθορισμένης καθυστέρησης (Crosshaul Packet Forwarding Element, XFE).

Τα δομικά στοιχεία του 5G-Crosshaul δοκιμάζονται στο Βερολίνο μέχρι να επικυρωθούν τα τελικά συστατικά στοιχεία της τεχνολογίας⁸. Όσο αφορά την κινητικότητα των δεδομένων στο 5G-Crosshaul διενεργούνται πειράματα

⁸ <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8001984>

σε τρένα υψηλής ταχύτητας στην Ταϊβάν. Οι στόχοι 5G-Crosshaul KPI που θα αξιολογηθούν θα περιλαμβάνουν και αύξηση της χωρητικότητας δικτύου κατά 20%, καθυστέρηση μικρότερη του ενός ms και μείωση του συνολικού κόστους κτήσης (Total Cost Ownership TCO) το λιγότερο κατά 30%⁹.

Όπως είναι κατανοητό, βασικό ρόλο στην αρχιτεκτονική και την υποδομή του δικτύου θα παίζει το επίπεδο δικτύου 5G με οικονομικά αποδοτικό τρόπο που θα περιορίζει τα αυξανόμενα OPEX και CAPEX έξοδα των παρόχων. Το 5G-Crosshaul θα μπορούσε να προσφέρει αυξανόμενα κέρδη μέσω του νέου λογισμικού τόσο στο δίκτυο μεταφοράς όσο και από την εξοικονόμηση κόστους του κέντρου δεδομένων των NFV και CRAN. Επίσης, η καλύτερη ενεργειακή απόδοση επιτρέπει τη δυναμική ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των τομέων δικτύου επιτρέποντας έτσι την εκ νέου μίσθωση πολλαπλών θέσεων και την κοινή χρήση δικτύου. Συνδυάζοντας όλα αυτά τα στοιχεία πιθανώς οδηγούμαστε στην παράμετρο που θέτουν τα 5G για οικονομικότερα δίκτυα¹⁰.

Τελικά, το Fronthaul και το Backhaul περιγράφουν ένα ενιαίο ευέλικτο δίκτυο που υποστηρίζει διαφορετικές λειτουργίες μεταξύ κεραίας και πυρήνα πακέτου. Κάτι παρόμοιο γίνεται με την εξέλιξη της Εικονοποίησης Δικτυακών Λειτουργιών (Network Function Virtualization, NFV) και του Cloud Ran (CRAN) τα οποία ρυθμίζουν τα κέντρα δεδομένων ώστε να υποστηρίζουν λειτουργικές διαφορές που αναπτύσσονται στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιείται η κινητικότητα των χρηστών από τη δομή και επιτρέπει τη δυναμική κατανομή των πόρων του δικτύου σε περιοχές με αυξημένη κινητικότητα (Hotspots). Για να γίνει αυτό απαιτούνται:

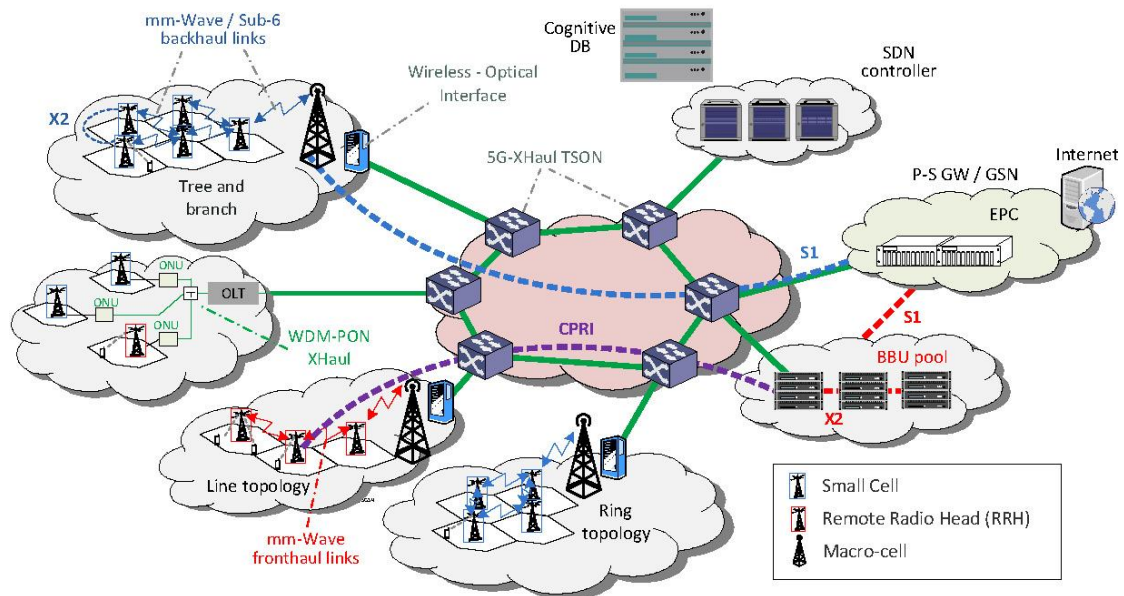
- Point to multipoint πομποδέκτες, μεγάλης χωρητικότητας, χαμηλής καθυστέρησης, οι οποίοι θα συνλειτουργούν με συστήματα χαμηλότερων από 6GHz συχνοτήτων
- Δίκτυο οπτικών ινών για αποδοτικότερη χρήση του εύρους ζώνης
- Τομέας πρόβλεψης της ζητούμενης κίνησης δεδομένων στο χώρο και το χρόνο με δυνατότητα διαμόρφωσης των στοιχείων του τρέχοντος δικτύου.

Από τη μεριά της Ελλάδας, η COSMOTE συμμετέχει στο ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο 5G-XHaul, για την ανάπτυξη συγκεκριμένης δικτυακής υποδομής Fronthaul & Backhaul, ικανής να διασυνδέσει ευέλικτα μικρές κυψέλες με το δίκτυο κορμού, μέσω οπτικών και ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης. Η περιοχή που θα δοκιμαστούν οι εν λόγω δοκιμές θα είναι το Μπρίστολ στο Ηνωμένο Βασίλειο¹¹.

⁹ <http://5g-crosshaul.eu/>

¹⁰ <https://www.rcrwireless.com/20161115/sponsored/fusion-fronthaul-backhaul-means-5g>

¹¹ <https://www.5g-xhaul-project.eu/index.html>



Εικόνα 4. 5G-XHaul network Deployment. Πηγή: 5GPPP

2.2.2 Αρχιτεκτονικές SDN & NFV

2.2.2.1 Τι είναι το SDN

Το SDN είναι μια δικτυακή αρχιτεκτονική στην οποία η δρομολόγηση των πακέτων δεδομένων κατευθύνεται από ένα κεντρικό σημείο διαχείρισης που ονομάζεται Controller. Όλες οι υφιστάμενες δομές δικτύων διαχωρίζονται ανάλογα με τη λειτουργία τους σε τρεις κατηγορίες¹²:

- **Management Plane:** είναι οι υπηρεσίες που προσφέρουν διαχείριση και επίβλεψη στη λειτουργία του εξοπλισμού από την απλή πρόσβαση με ένα Command Line Interface (CLI) μέχρι την χρήση εξειδικευμένων εφαρμογών όπως το Netflow.
- **Data Plane:** είναι οι διεπαφές ή οι πόρτες που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά και λήψη πακέτων όπου για την επεξεργασία τους χρησιμοποιούνται οι ανάλογοι πίνακες (Routing, TCAM, Forwarding Information Base)
- **Control Plane:** αναφέρεται στη λήψη αποφάσεων για την επεξεργασία των πακέτων καθώς και τη δημιουργία των απαραίτητων πινάκων στους οποίους θα βασιστεί το Data Plane για τη δρομολόγησή τους.

Η τελευταία κατηγορία είναι το σημείο του εξοπλισμού το οποίο λαβάνονται οι αποφάσεις για τη βέλτιστη δρομολόγηση, την αποφυγή

¹² Ηλίας Κ. Σχισμένος, Διπλωματική εργασία «SDN Τεχνολογία, τα δίκτυα στη νέα εποχή», Χαροκόπιο Πανεπιστήμιο, σελ 12-15, Σεπτέμβριος 2016.

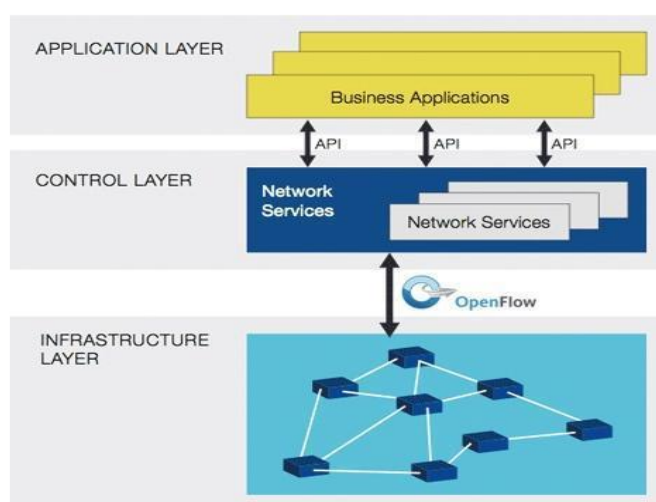
βρόχων, το failover και την ανάκτηση λειτουργίας σε περιπτώσεις σφαλμάτων. Στο SDN δίκτυο το control plane αφαιρείται από τις αρμοδιότητες του εξοπλισμού και μεταφέρεται στον κεντρικό controller.

2.2.2.2 Δομή του SDN

Τα SDN δίκτυα αποτελούνται από:

- SDN Applications: Είναι οι εφαρμογές εκείνες που επικοινωνούν με τους SDN Controllers μέσω ενός Application Programming Interface (APIs) για να πληροφορηθούν για τη δομή και τη συμπεριφορά του δικτύου. Με την πληροφορία αυτή σχηματίζουν εικόνα της τοπολογίας δικτύου και πιθανών αλλαγών που μπορεί να συμβούν.
- SDN Controller: Παίρνει τις εντολές από τις εφαρμογές και τις δρομολογεί στις συσκευές. Επίσης, πληροφορείται για την κατάσταση δικτύου και για διάφορα συμβάντα από τις συσκευές έτσι ώστε να τις προωθήσει στις εφαρμογές.
- SDN Network Devices: Είναι οι δικτυακές συσκευές προωθούν τα πακέτα στο δίκτυο έτσι όπως τους ορίζει ο SDN Controller.

Τα APIs της SDN αρχιτεκτονικής αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως Northbound και Southbound interfaces. Η Northbound διεπαφή είναι η επικοινωνία των εφαρμογών με τον controller και η Southbound διεπαφή είναι η επικοινωνία μεταξύ controller και devices. Οι δομές αυτές δεν απαιτείται να βρίσκονται στον ίδιο φυσικό χώρο. Για την επικοινωνία όμως μεταξύ controller και εξοπλισμού απαιτείται η χρήση του πρωτοκόλλου Openflow το οποίο μεταφέρει μηνύματα χωρίς να ενδιαφέρεται για το λογισμικό που διαθέτει.



Εικόνα 5. Αρχιτεκτονική SDN.

Πηγή: <https://northboundnetworks.com/>

2.2.2.3 Πλεονεκτήματα χρήσης του SDN

Μερικά από τα πλεονεκτήματα από τη χρήση SDN δικτύων σε σχέση με τα κοινά δίκτυα είναι τα εξής:

- ✓ Κεντρική διαχείριση: Ο controller διαχειρίζεται το δίκτυο ενώ ταυτόχρονα έχει γνώση της τοπολογίας του
- ✓ Just In Time δίκτυα: Νέες εφαρμογές και λειτουργίες προστίθενται στον εξοπλισμό με τη χρήση open source εργαλείων.
- ✓ Μείωση CAPEX εξόδων: Με το διαχωρισμό control plane και λογισμικού το κόστος μιας δικτυακής συσκευής υψηλής απόδοσης μεταφέρεται στον controller.
- ✓ Μείωση OPEX εξόδων: Μειώνοντας το κόστος των συσκευών που πρέπει να ρυθμιστούν μειώνεται αυτομάτως και το κόστος ανθρώπινου δυναμικού
- ✓ Μεγαλύτερη αξιοπιστία δικτύου: Λιγότερη ανθρώπινη παρέμβαση στον εξοπλισμό μειώνει την πιθανότητα λάθους άρα αυξάνει την αξιοπιστία στο δίκτυο.
- ✓ Υψηλή διαθεσιμότητα: Με την κεντρική διαχείριση του controller μπορούν να προβλεφθούν σφάλματα και να διορθωθούν έγκαιρα χωρίς να υπάρξει απώλεια τη δικτυακή τοπολογία.

2.2.2.4 Τι είναι το NFV (Network Functions Virtualization)

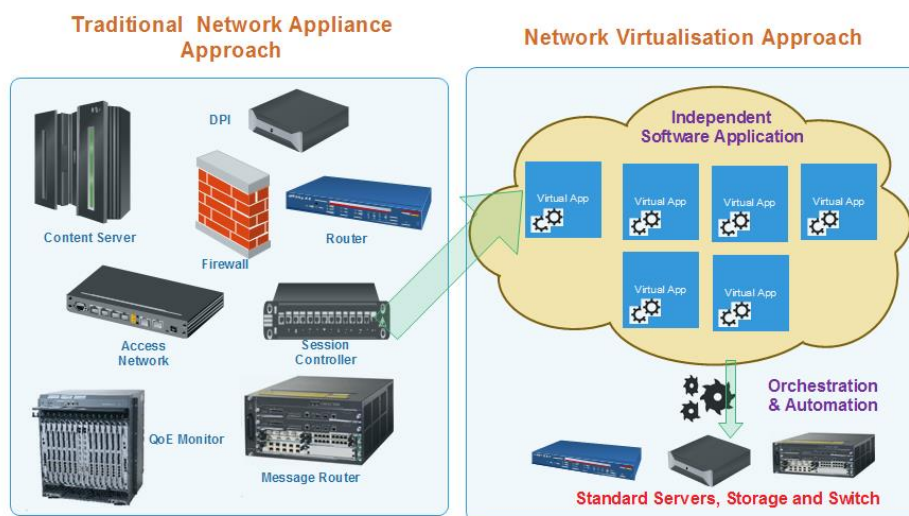
Το NFV ή αλλιώς η εικονοποίηση λειτουργιών δικτύου είναι μια νέα υπηρεσία δικτύου η οποία παρακάμπτει τη μετάφραση διεύθυνσης δικτύου (Network Address Translation), το firewall, την ανίχνευση επιθέσεων, την υπηρεσία ονόματος τομέα (DNS) και την προσωρινή αποθήκευση από τις ιδιόκτητες συσκευές έτσι ώστε να μπορούν να συνεργάζονται με το λογισμικό.

Δημιουργήθηκε με σκοπό να αποσυνδέσει το φυσικό εξοπλισμό δικτύου από τις λειτουργίες που ενσωματώνονται πάνω του και να δώσει στοιχεία δικτύωσης έτσι ώστε να υποστηριχθεί η κατασκευή εικονικών διακομιστών, εικονικών χώρων αποθήκευσης και άλλων δικτύων. Για τη λειτουργία του χρησιμοποιείται η διαθέσιμη τεχνολογία εικονοποιημένης πληροφορικής. Είναι συμβατή με κάθε λειτουργία επεξεργασίας δεδομένων, επιπέδου ελέγχων σε ενσύρματες και ασύρματες υποδομές δικτύου. Το NFV είναι ικανό να μειώσει το μέγεθος του ιδιόκτητου υλικού στο οποίο λειτουργούν οι υπηρεσίες δικτύου. Μερικά από τα πλεονεκτήματα του NFV παρουσιάζονται παρακάτω¹³:

- Μείωση των CapEx εξόδων μειώνοντας την ανάγκη για αγορά επιπλέον υλικού

¹³ <https://www.sdxcentral.com/networking/nfv/definitions/whats-network-functions-virtualization-nfv/>

- Μείωση των OpEx εξόδων μέσω της ελαχιστοποίησης των απαιτήσεων σε χώρο, ισχύ και ενέργειας από την ψύξη του εξοπλισμού κάνοντας πιο απλή την ανάπτυξη και διαχείριση των υπηρεσιών δικτύου.
- Μικρότερος χρόνος ανάπτυξης υπηρεσιών δικτύωσης με μικρότερο ρίσκο επένδυσης προσφέροντας στους παρόχους τη δυνατότητα έρευνας και ανάπτυξης νέων υπηρεσιών που θα προσαρμόζονται στις απαιτήσεις των πελατών.
- Είναι ευέλικτο. Επιτρέπει την παροχή υπηρεσιών μέσω του λογισμικού του σε οποιονδήποτε διακομιστή και οποιονδήποτε βιομηχανικό εξοπλισμό.



Πηγή: <http://www.techplayon.com/network-function-virtualization-nfv-architecture/>

Εικόνα 6. Τι είναι το NFV.

2.2.2.5 Σύνδεση SDN & NFV

Η SDN και το NFV είναι δύο τεχνολογίες που η μία συμπληρώνει την άλλη. Καθε μία δίνει μια νέα προσέγγιση στο σχεδιασμό, ανάπτυξη και διαχείριση του δικτύου καθώς και των προσφερόμενων υπηρεσιών του. Όπως προαναφέρθηκε, η SDN διαχωρίζει τα δίκτυα ελέγχου και προώθησης του δικτύου και παρέχει μια κεντρική άποψη του κατακευκτισμένου δικτύου για αποτελεσματικότερη εντοπιστική και αυτοματοποίηση των υπηρεσιών δικτύου. Το NFV στοχεύει στην βελτιστοποίηση των ίδιων των υπηρεσιών δικτύου αποσυνδέοντας βασικές λειτουργίες του δικτύου από τους ιδιόκτητους εξοπλισμούς υλικού έτσι ώστε να τρέχουν σε λογισμικό επιταχύνοντας την καινοτομία και την παροχή υπηρεσιών¹⁴.

¹⁴ Γιώργος Παυλόπουλος "Προτεινόμενη αρχιτεκτονική δικτύων 5G", Εργασία στο μάθημα "Ευρυζωνικές τεχνολογίες", Πολυτεχνικής σχολής Πατρών, τμήμα Μηχανολόγων μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστών και πληροφορικής, σελ. 20-26, 2018

Εν ολίγης, το SDN συμβάλλει στην αυτοματοποίηση των δικτύων που επιτρέπει αποφάσεις βασισμένες σε πολιτικές οργάνωσης της κίνησης του δικτύου προς το NFV το οποίο με τη σειρά του εξασφαλίζει ότι οι δυνατότητες του δικτύου ευθυγραμμίζονται με τα εικονικά περιβάλλοντα που υποστηρίζουν.

Οι δύο αυτές τεχνολογίες είναι συμπληρωματικές αλλά μπορούν να εφαρμοστούν και αυτούσιες καθώς οι αρχιτεκτονικές NFV & SDN προέρχονται από διαφορετικά SDO's (Standard Developing Organizations) και δεν έχουν συνδυαστεί σε μία ενιαία.

2.2.3 Αρχιτεκτονική Μικροκυματικής ζώνης (mmWave)

Ένα από τα βασικά ζητήματα που καλείται να λύσει η τεχνολογία πέμπτης γενιάς είναι αυτά που σχετίζονται με το μεγάλο εύρος ζώνης που απαιτείται (μεγαλύτερο των 30GHz). Για την παροχή ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών έχουν προταθεί φασματικές περιοχές των οποίων τα σήματα έχουν μήκος κύματος της τάξης του χιλιοστού ή αλλιώς mmWave (millimetre wavelength) τα οποία αφενός έχουν το απαιτούμενο εύρος ζώνης (30GHz – 300 GHz) και αφετέρου δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα συμφόρησης όπως στις μικροκυματικές συχνότητες.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή δράσης των mmWave's από 59-62GHz που υπάρχει ελεύθερο εύρος τιμών παγκοσμίως αλλά λόγω των απωλειών διάδοσης του σήματος εξαιτίας της μείωσης του σήματος από φυσικά εμπόδια (για παράδειγμα κτήρια, απορρόφηση από τον ατμοσφαιρικό αέρα, τη βροχή και την υγρασία), η περιοχή κάλυψης από την κυψέλη μειώνεται πάρα πολύ. Τα χιλιοστομετρικά κύματα δρουν σε μήκη κύματος από 1-10mm.

Για να προσπεραστούν αυτά τα εμπόδια έχουν δημιουργηθεί μικρές σε μέγεθος κεραίες οι οποίες οδηγούν στο μοντέλο χρήσης massive MIMO σε eNB/AP για να ενισχυθεί η χωρητικότητα. Επιπλέον η δυναμική δέσμη των κεραιών αυτών μειώνει τις υψηλότερες απώλειες διαδρομής των συχνοτήτων mmWave. Η αρχιτεκτονική της μικροκυματικής ζώνης των δικτύων πέμπτης γενιάς υποστηρίζει την αρχιτεκτονική backhaul έως 400 μέτρα με πολλαπλά Gigabit και την πρόσβαση κινητής τηλεφωνίας έως 300 μέτρα.

2.2.3.1 Προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα mmWave

Στην παρούσα αρχιτεκτονική δικτύου υπάρχουν στενές και επικεντρωμένες δέσμες με μικρότερες γωνίες κίνησης κάτι το οποίο

διαφοροποιεί τον τρόπο μετάδοσης και την ευαισθησία στις ακτίνες οι οποίες δεν κατευθύνονται σωστά. Για να μην τέμνονται οι ακτίνες διάδοσης έχει τοποθετηθεί μπλοκάρισμα το οποίο επηρεάζει το εισερχόμενο κύμα και δημιουργεί παρεμβολές. Μία άλλη δυσκολία είναι η εγκατάσταση συσχετίσεων μεταξύ χρηστών και σταθμών βάσης. Κάθε χρήστης θα πρέπει να σκανάρει διαφορετικές γωνίες για να βρει στενή ακτίνα ή να στενεύει μια φαρδιά και άτονη ακτίνα σταδιακά. Για να λυθούν αυτά τα προβλήματα εφαρμόζεται η τεχνική της “Μαλακής Κυψέλης” στην οποία χρησιμοποιούνται οι συχνότητες mmWave για μετάδοση δεδομένων από σταθμούς βάσης μικρών κυψελών ενώ ο έλεγχος πραγματοποιείται από μακρινούς σταθμούς βάσης σε μικροκυματικές συχνότητες¹⁵. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζονται σταθερές συνδέσεις, αξιόπιστος έλεγχος με ταυτόχρονη γρήγορη μετάδοση δεδομένων σε συνδέσεις μικρής εμβέλειας mmWave.

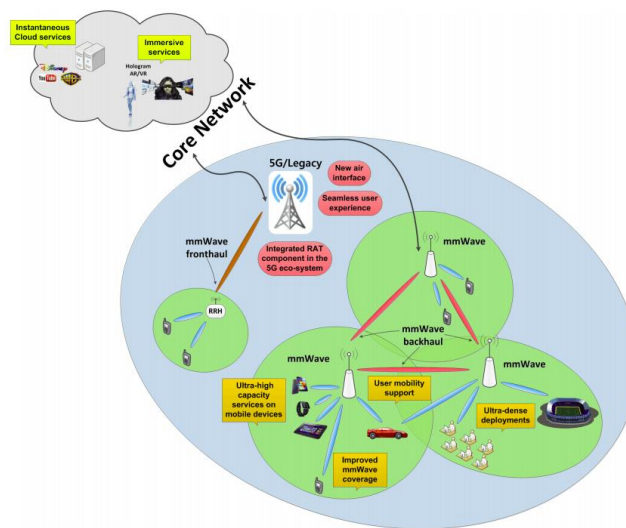
Ένα άλλο θέμα που προκύπτει και δεν έχει λυθεί ακόμα παρά την πρόοδο που έχουν σημειώσει τα συστήματα mmWave WiFi, είναι θέματα υλικού. Ένα από αυτά είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας των μετατροπών αναλογικών και ψηφιακών σημάτων έτσι ώστε να δημιουργούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Για το λόγο αυτό χρειάζονται μεγάλες κεραίες και υψηλούς σε ευαισθησία δέκτες ώστε να ελέγχουν τις χαμένες συνδέσεις και πλήρως ψηφιακούς διαμορφωτές ακτίνων σε κάθε κεραία κάτι που πρακτικά δεν μπορεί να υλοποιηθεί. Για το λόγο αυτό οι δομές που υποστηρίζουν κεραίες οι οποίες μοιράζονται μετατροπείς A/D & D/A (Analog to Digital & Digital to Analog) παραμένουν^{16 17 18}.

15 B. T and Heath R. W., “Analysis of millimeter wave cellular networks with overlaid microwave communication,” in ASILOMAR Conf. Sig. Sys. Comput., Pacific Grove CA. USA, 2014.

16 X. Zhang, A. F. Molisch, and S. Y. Kung, “Variable-phase-shift-based RF-baseband codesign for MIMO antenna selection,” IEEE Trans. Signal Process., vol. 53, no. 11, pp. 4091–4103, 2005

17 J. Wang et al., “Beam codebook based beamforming protocol for multi-Gbps millimeter-wave WPAN systems,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 27, no. 8, pp. 1390–1399, 2009.

18 V. Venkateswaran and A. J. Van Der Veen, “Analog beamforming in MIMO communications with phase shift networks and online channel estimation,” IEEE Trans. Signal Process., vol. 58, no. 8, pp. 4131–4143, 2010



Εικόνα 7. Παράδειγμα Αρχιτεκτονικής δικτύων mmWave.

Πηγή: <https://5g-mmmagic.eu/project/>

2.3 Πρότυπα τεχνολογίας πέμπτης γενιάς (5G)

2.3.1 Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες 2020 (International Mobile Telecommunications IMT 2020)

Η διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union) είναι ένας οργανισμός που ανήκει στο Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών και είναι αρμόδιος για τη ρύθμιση, τυποποίηση, το συντονισμό και την ανάπτυξη των διεθνών τηλεπικοινωνιών εναρμονίζοντας της εθνικές πολιτικές κάθε χώρας. Διανέμοντας το παγκόσμιο ραδιοφάσμα και αναπτύσσοντας τις τεχνικές προδιαγραφές των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων έτσι ώστε να υπάρχει απρόσκοπτη και αδιάλειπτη πρόσβαση στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα έχει την υποχρέωση να διασυνδέει όλους τους ανθρώπους του κόσμου.

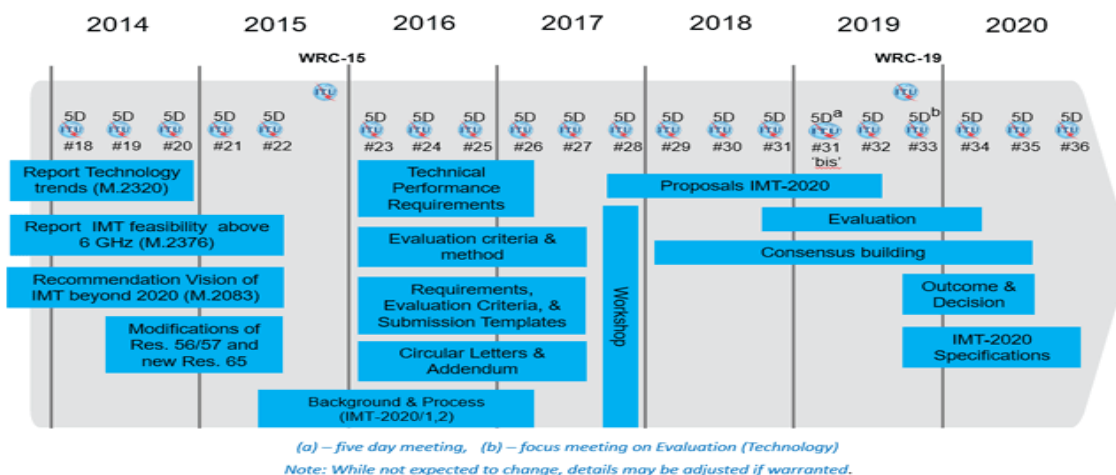
Το 2012, η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών άρχισε να εργάζεται πάνω στην ανάπτυξη του προτύπου IMT 2020, ξεκινώντας με αυτό τον τρόπο την ερευνητική δραστηριότητα για την προτυποποίηση των συστημάτων πέμπτης γενιάς. Η ITU έθεσε σαν στόχο, η τεχνολογία 5G να έχει αναπτυχθεί πλήρως μέσα στο 2020 έτσι ώστε να ενταχθεί σταδιακά παγκοσμίως. Επίσης, η ITU έχει αποφασίσει να χρησιμοποιήσει στα 5G δίκτυα τα ίδια πλαίσια και διεργασίες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στα IMT 2000 και IMT Advanced των τεχνολογιών 3G και 4G αντιστοίχως επωφελούμενοι με αυτό τον τρόπο από την προϋπάρχουσα τεχνογνωσία.

2.3.2 World Radiocommunication Conference WRC-19 & ρυθμίσεις φάσματος

Οι παγκόσμιες διασκέψεις ραδιοεπικοινωνιών (WRC) διεξάγονται κάθε τρία έως τέσσερα χρόνια. Καθήκον της WRC είναι να επανεξετάσει και αν χρειάζεται, να αναθεωρήσει τους κανονισμούς ραδιοεπικοινωνιών, τη διεθνή συνθήκη που διέπει τη χρήση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων και τις γεωστατικές δορυφορικές και μη γεωστατικές δορυφορικές τροχιές. Οι αναθεωρήσεις γίνονται βάσει ημερήσιας διάταξης που καθορίζεται από το Συμβούλιο ITU, το οποίο λαμβάνει υπόψη του, τις συστάσεις που διατυπώθηκαν από προηγούμενες διεθνείς διασκέψεις ραδιοεπικοινωνιών.

Το γενικό πεδίο εφαρμογής της ατζέντας των παγκόσμιων διασκέψεων ραδιοεπικοινωνιών καθορίζεται τέσσερα έως έξι χρόνια εκ των προτέρων, με την τελική ημερήσια διάταξη που καθορίστηκε από το Συμβούλιο ITU δύο έτη πριν από τη διάσκεψη, με τη συνδρομή της πλειοψηφίας των κρατών μελών¹⁹.

Σημείο σταθμός για την προτυποποίηση της τεχνολογίας 5G όπως φαίνεται και στο χρονοδιάγραμμα της IMT 2020 (βλ. Εικόνα 8) είναι το World Radiocommunication Conference -19 (28 Οκτωβρίου – 22 Νοεμβρίου 2019, Αίγυπτος).



Εικόνα 8. Χρονοδιάγραμμα & διαδικασίες για το IMT-2020 στο ITU-R

Πηγή: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>

Στο WRC-19 εκτός των υπολοίπων πιθανόν συζητήθηκαν και θέματα αποτελεσματικότερης χρήσης του συνόλου του διαθέσιμου φάσματος

¹⁹ <https://www.itu.int/en/ITU-R/conferences/wrc/Pages/default.aspx>

απελευθερώνοντας επιπλέον φάσμα (παγκοσμίως 500MHz – 1GHz εύρος ζώνης) έτσι ώστε υποστηριχθεί η αύξηση δυναμικότητάς του. Ένα άλλο θέμα προς συζήτηση ήταν η διαθεσιμότητα ανά περιοχή και νομό να είναι επαρκής ενώ ταυτόχρονα μεγάλη πρόκληση συνεχίζει να είναι ο ρυθμός μετάδοσης στα 10 Gbps για κάθε τελικό χρήστη και η συνεργασία νέων και παλιών μπαντών για το σχεδιασμό των 5G συστημάτων.

2.4 Χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων για την ανάπτυξη της τεχνολογίας πέμπτης γενιάς.

2.4.1 SPEED-5G

Βασικός σκοπός του SPEED-5G είναι η έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογιών που θα μειώνουν το κόστος υποδομής και εγκατάστασης. Στις σημερινές εγκαταστάσεις οι πόροι του ασύρματου δικτύου στερούνται ενός δυναμικού ελέγχου κάτι που δημιουργεί ασύμμετρη χρήση του φάσματος οδηγώντας σε συμφόρηση στη χωρητικότητα. Το SPEED-5G λύνει αυτά τα ζητήματα μέσω Extended Dynamic Spectrum Access, διαχείριση πόρων δηλαδή είτε μέσω αύξησης της πυκνότητας των σταθμών βάσης, είτε μέσω ορθολογικής κατανομής της κυκλοφορίας σε ετερογενείς ασύρματες τεχνολογίες, είτε μέσω διαβάθμισης της κίνησης στο διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων.

Το έργο συνολικά επικεντρώνεται στις τεχνικές διαχείρισης πόρων και στις τεχνολογίες πρόσβασης των μέσων προς αντιμετώπιση της αύξησης της πυκνότητας.

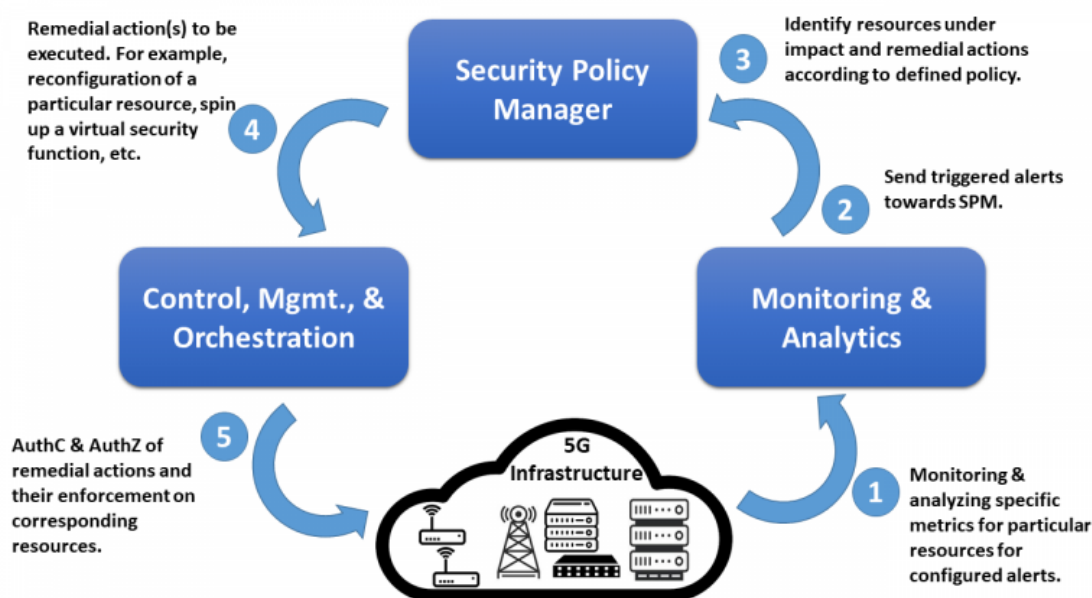


Εικόνα 9. Σενάρια του ερευνητικού προγράμματος SPEED-5G

Πηγή: <https://speed-5g.eu/2015/12/16/use-cases-and-scenarios-for-5g/>

2.4.2 CHARISMA

Το ερευνητικό πρόγραμμα CHARISMA ασχολείται με την ασφάλεια των δικτύων 5G και με τη χαμηλή καθυστέρηση. Για να το επιτύχει αυτό δημιουργεί κατάλληλα σχήματα end to end και Cross Layers ασφάλειας στο φυσικό επίπεδο ενώ κοντά στους τελικούς χρήστες εφαρμόζει την τεχνική του offloading. Χρησιμοποιεί την αρχιτεκτονική mmWave για να φτάσει ταχύτητες 10 Gbps στην ασύρματη πρόσβαση και 100 Gbps μέσω οπτικών OFDM-PON. Κάνοντάς το αυτό προσπαθεί να αναπτύξει μεθόδους περεταίρω απόδοσης των δικτύων 5G.



Εικόνα 10. Ερευνητικό πρόγραμμα Charisma για την ασφάλεια δικτύων 5G

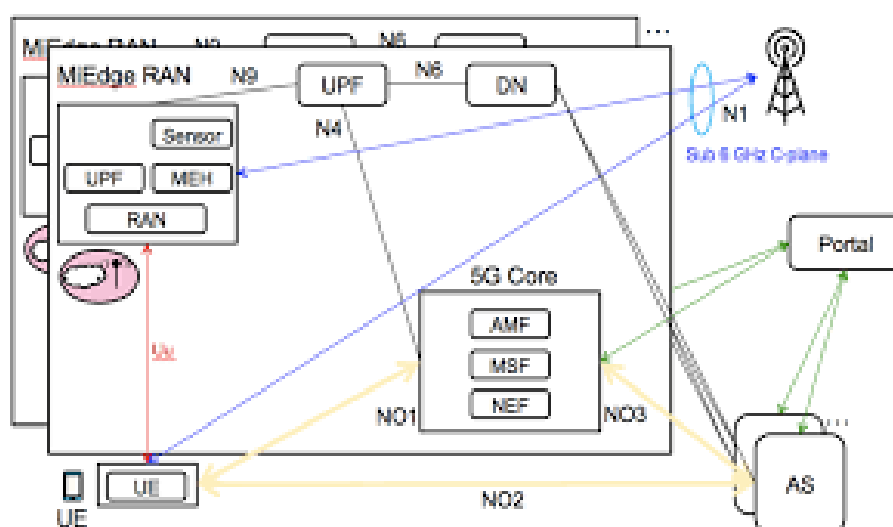
Πηγή: <http://www.charisma5g.eu/index.php/security-2/>

2.4.3 5G MiEdge

Σε προηγούμενη ενότητα αναφέρθηκαν οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα mmWave συστήματα στα 5G δίκτυα και ταυτόχρονα η τεχνολογία Mobile Edge Computing φαίνεται να είναι η τεχνολογία που θα βοηθήσει να δημιουργηθούν εφαρμογές που θα καθορίζουν λόγω της μικρής τους καθυστέρησης χώρο και πόρους προς το δίκτυο αποφεύγοντας τη μικρή χωρητικότητα των Backhaul δικτύων.

Το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα “παντρεύει” τα mmWave και MEC έτσι ώστε το ένα να συμπληρώνει το άλλο. Το MiEdge, επίσης, προσπαθεί να αναπτύξει ένα νέο επίπεδο ελέγχου του δικτύου σύμφωνα με το οποίο συλλέγονται στοιχεία από τους χρήστες του δικτύου και δημιουργείται μία πρόβλεψη των αιτήσεων κυκλοφορίας έτσι ώστε να κατανεμηθούν οι πόροι κατάλληλα. Το επίπεδο αυτό ονομάζεται RAN-C.

Το συγκεκριμένο ερευνητικό πρόγραμμα θα κάνει επισήμως δοκιμές του 5G στην πόλη του Βερολίνου και στο Ολυμπιακό στάδιο του Τόκιο μέσα στο 2020.



Εικόνα 11.

Αρχιτεκτονική 5G MiEdge

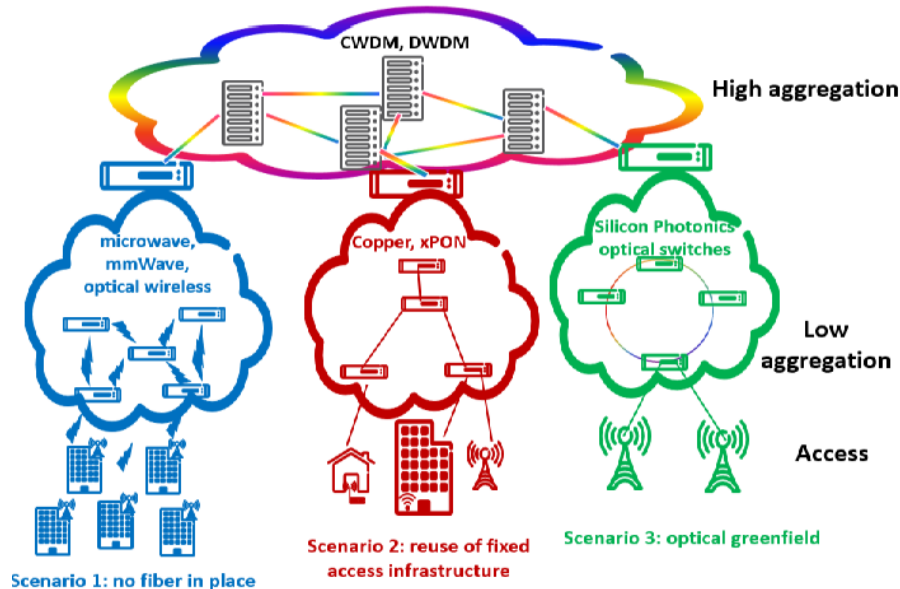
Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8403583>

2.4.4 5G Crosshaul

Το ερευνητικό πρόγραμμα του 5G Crosshaul ασχολείται με την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου δικτύου τεχνολογίας 5G βασισμένο στο Fronthaul & Backhaul έτσι ώστε να εξυπηρετεί αποδοτικά την ολοένα και αυξανόμενη κυκλοφορία των κινητών δεδομένων. Για να το επιτύχει αυτό επιτρέπει μια συγκεκριμένη αναδιαμόρφωση των στοιχείων δικτύωσης σε ένα πολλαπλής μίσθωσης ενιαίο περιβάλλον διαχείρισης. Αποτελείται από μεταγωγείς υψηλής χωρητικότητας, ίνες, χαλκό υψηλής χωρητικότητας, mmWave, μονάδες τεχνολογίας cloud και σημεία που περιλαμβάνουν κόμβους βασικών δικτύων. Οι λειτουργίες που θα εκτελεί είναι:

- Η υλοποίηση δομής ελέγχου (Υποδομή Crosshaul XCI)

- Η υλοποίηση της ενοποίησης δεδομένων μέσω μετάδοσης υψηλών χωρητικότητας και δημιουργίας νέας αρχιτεκτονικής στους μεταγωγείς με προκαθορισμένη καθυστέρηση (5G Crosshaul XFE).



Εικόνα 12. 5G-Crosshaul deployment scenarios

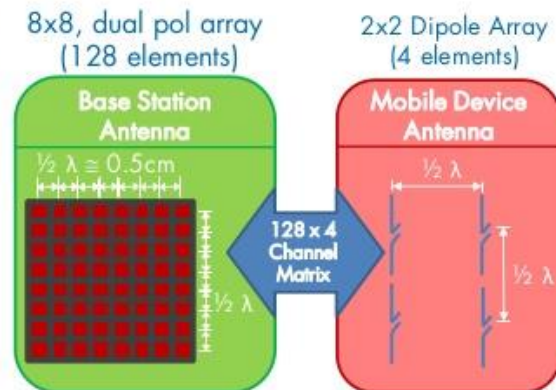
Πηγή: <https://www.semanticscholar.org/paper/Towards-a-unified-fronthaul-backhaul-data-plane-for-Cavaliere-Iovanna/582d188e985fe2a31be02cb399a051538b77b028>

2.4.5 MassLOC

Το ερευνητικό πρόγραμμα MassLOCK (Massive MIMO Localization for 5G Networks), έχει ως στόχο την αύξηση του αριθμού των χρηστών με μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων καταναλώνοντας τη μικρότερη δυνατή ενέργεια. Για να το πετύχει αυτό έχει προτείνει την εγκατάσταση μαζικών συστημάτων MIMO έτσι ώστε να επιτευχθεί βελτίωση στο μέγεθος της φασματικής και της ενεργειακής απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα, στους σταθμούς βάσης των κυψελών πρέπει να τοποθετηθούν συστοιχίες κεραιών που θα περιλαμβάνουν επιπλέον κεραιές (Βλ. εικόνα 13).

30 GHz Massive MIMO Scenario

- Define 128-element Massive MIMO Base Station antenna
 - 64-element array (8x8)
 - Dual Polarization (2x elements)
 - Frequency: 30 GHz
 - $\frac{1}{2} \lambda$ Spacing (0.5 cm)
- Mobile devices still uses 4-element array
- Channel matrix: 128 x 4 (512 total pairs)



Εικόνα 13. Massive MIMO Scenario
Πηγή: REMCOM

Τα οφέλη από μία τέτοια τεχνολογία είναι:

- Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω της εστίασης ενέργειας σε πιο μικρά τμήματα της κυψέλης αυξάνοντας παράλληλα τις αποδόσεις του δικτύου
- Μείωση του χρόνου καθυστέρησης
- Μείωση στοχευμένων παρεμβολών.

Τελικώς, αυτό που επιδιώκει το παρόν ερευνητικό πρόγραμμα είναι ο καθορισμός των μηχανικών απαιτήσεων που θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία κεραιών που θα εξυπηρετούν όλα τα προαναφερθέντα.

2.4.6 5G AURA

Τα 5G δίκτυα σχεδιάζονται με κατάλληλες αρχιτεκτονικές δικτύου που θα υποστηρίζουν κατά βάση το λογισμικό και τις υπηρεσίες νέφους. Το 5G Aura σύμφωνα με τον Mark Evans, CEO της εταιρείας O2 στη Μεγάλη Βρετανία είναι μία άλλη ευκαιρία για τους πελάτες να χρησιμοποιήσουν διεπαφές φωνής²⁰. Είναι δηλαδή ένα λογισμικό το οποίο μέσω της φωνής:

- Αντιλαμβάνεται τι λέει ο χρήστης
- Έχει τη δυνατότητα εκμάθησης
- Καταλαβαίνει τις προτιμήσεις των πελατών απ' τη φωνητική ανταλλαγή πληροφοριών και προβλέπει τι θέλουν.

²⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=ZeHGmlbdRLU>

Με αυτό τον τρόπο είναι σε θέση να προτείνει στον χρήστη καθημερινά πράγματα σύμφωνα πάντα με τις προτιμήσεις του²¹. Για παράδειγμα, αν κάποιος έχει αναφερθεί ή έχει συγκεκριμένο αποτύπωμα στο διαδίκτυο για ένα συγκρότημα και το συγκρότημα αυτό διοργανώσει κάποια συναυλία στην περιοχή δραστηριοποίησης του χρήστη τον ενημερώνει για αυτό το γεγονός. Είναι ένα είδος δηλαδή προσωπικού ψηφιακού βοηθού. Το 5G Aura στην ουσία θα βελτιστοποιήσει τις δυνατότητες των 5G δικτύων.

2.4.7 WiVi 2020

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από μεγάλη άνοδο των επικοινωνιών Machine to Machine (M2M) και των εφαρμογών που σχετίζονται με το Internet of Things. Κατ' επέκταση υπάρχει μεγάλη άνοδος στην κίνηση δεδομένων του διαδικτύου. Στο σύντομο μέλλον, τα δίκτυα θα πρέπει να υποστηρίζουν διαφορετικές εφαρμογές με πληθώρα στις απαιτήσεις ποιότητας (Quality of Service - QoS), χαμηλή έως μέση καθυστέρηση (π.χ. στα βίντεο πραγματικού χρόνου και υψηλής ευκρίνειας). Οι προκλήσεις αυτές δεν έχουν αντιμετωπιστεί ακόμα αλλά γίνεται προσπάθεια βελτίωσης της αρχιτεκτονικής των ασύρματων δικτύων με έμφαση στην ευέλικτη φασματική συνύπαρξη και συμπύκνωση των υπαρχόντων ασύρματων υποδομών με ετερογενείς τεχνολογίες ραδιοεπικοινωνίας (Radio Access Technologies - RATs), τη συνύπαρξη κίβελονιδών κινητών με Wi-Fi τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του δικτύου.

Την ίδια στιγμή το δίκτυο που βασίζεται στο λογισμικό (Software Defined Networking - SDN) έρχεται να προσφέρει ένα κεντρικά ελεγχόμενο και προγραμματιζόμενο μονέλο δικτύου που κάθεται πάνω στη φυσική υποδομή και επιτρέπει άμεση προσαρμογή χωρίς περιορισμούς που προκαλούνται από τα παραδοσιακά δίκτυα²². Το SDN εστιάζει στη δυναμική διαχείριση πόρων, στη μεταγωγή, δρομολόγηση και προώθηση των πακέτων. Από την άλλη πλευρά, το να τοποθετούνται οι εφαρμογές των χρηστών στο επίκεντρο, επιτρέπει στο δίκτυο που καθορίζεται από εφαρμογές (Application Defined Networking - ADN) να ασχολείται με τη δρομολόγηση και εναλλαγή των αιτήσεων για διαβίβαση των συνεδριών. Κάθε μοντέλο αντικατοπτρίζει το SDN στα επίπεδα των εφαρμογών (4-7 του μοντέλου του OSI). Συνθέτοντας όλα αυτά τα κομμάτια δημιουργήθηκε το έργο WiVi 2020 το οποίο έχει σαν στόχο του μέσω της συνεργασίας ακαδημαϊκής γνώσης και βιομηχανίας να απαντήσει σε τρία βασικά ζητήματα:

²¹ <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/o2-aura-artificial-intelligence-ai-customer-service-voice-recognition-a7602716.html>

²² https://cordis.europa.eu/result/rcn/220285_en.pdf

1. Πώς αμφότεροι θα επωφεληθούν από τη συνύπαρξη διαφορετικών τεχνολογιών ραδιοσυχνοτήτων μέσω της ευελιξίας στη χρήση του ραδιοφάσματος και της κίνησης δεδομένων μέσω πολλαπλών συσκευών ραδιοσυχνοτήτων.
2. Έρευνα στις αρχιτεκτονικές και σχεδιασμός για βελτιστοποίηση εσωτερικής ετερογενούς ραδιοεπικοινωνίας των δικτύων που βασίζονται στο λογισμικό και υποστηρίζουν υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας.
3. Πως θα βελτιστοποιηθεί ο προγραμματισμός των πόρων και η κίνηση δεδομένων στα εικονικά δίκτυα που βασίζονται στα Application Defined Networks.

2.4.8 SPOTLIGHT

Η ζήτηση στη κίνηση δεδομένων εν κινήσει αυξάνεται με γεωμετρικό ρυθμό καθημερινά. Για να το αντιμετωπίσουν αυτό οι πάροχοι, οι τεχνικοί δικτύων και τα διάφορα ερευνητικά προγράμματα στοχεύουν στην ανάπτυξη τεχνολογιών ραδιοεπικοινωνίας (RATs) οι οποίες ενισχύουν τη χωρητικότητα στη δομή του φυσικού επιπέδου χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα χιλιοστομετρικών κυμάτων ή μέσω πυκνότητας της τοπολογίας του δικτύου²³. Επίσης, προσπαθούν να μετατοπίσουν την επεξεργασία της βασικής ζώνης από την πυκνή δομή του δικτύου σε ένα κεντρικό σημείο όπου θα διενεργούνται συντονισμένες διαχειρίσεις των πόρων. Αυτό συμβαίνει γιατί σήμερα το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας περιλαμβάνει ετερογενή καλυμμένα και απομονωμένα σημεία σύνδεσης τα οποία χειρίζονται τις λειτουργίες που απαιτούνται στην κίνηση των δεδομένων. Για να ξεπεραστούν οι απαιτήσεις που έχουν τεθεί στην κίνηση δεδομένων του δικτύου στην 5G τεχνολογία, δημιουργήθηκε το ερευνητικό πρόγραμμα SPOTLIGHT που στοχεύει στη δημιουργία ενός πλήρως ολοκληρωμένου και πολυεπιστημονικού δικτύου ερευνητών πρώτης φάσης (ESRs) που θα αναλύσει, θα σχεδιάσει και θα βελτιστοποιήσει τις επιδόσεις της νέας αρχιτεκτονικής που προτείνεται στη νέα δομή του κινητού δικτύου.

Το SPOTLIGHT έχει ανατεθεί σε τέσσερα πανεπιστήμια (Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστήμιο Καταλονίας, Πανεπιστήμιο Γιορκ, Πολυτεχνική σχολή Μιλάνου), σε ένα ερευνητικό κέντρο (Iquadrat Informatica SL - IQU) και πέντε ιδιωτικές εταιρείες (Eurecom – ECM, Ericsson AB – EAB, NEC Europe LTD, MTN Cyprus Ltd, Nessos SA – NES,

²³ <http://gain.di.uoa.gr/spotlight/>

CTTC) σε οκτώ χώρες της Ευρωπαϊκής ένωσης (Ελλάδα, Ιταλία, Γερμανία, Ισπανία, Σουηδία, Κύπρος, Γαλλία, Ηνωμένο Βασίλειο)²⁴.

2.4.9 FIWIN5G (Fiber – Wireless Integrated Networks for 5th Generation delivery – H2020)²⁵

Το ευρωπαϊκό δίκτυο κατάρτισης έχει ως στόχο να δημιουργηθεί μια πρώιμη γενιά ερευνητών οι οποίοι θα οδηγήσουν την Ευρώπη στην πρώτη θέση ανάπτυξης στο μέλλον συσκευών και συστημάτων δικτύου που υποστηρίζουν την τεχνολογία 5G. Για να το πετύχει αυτό έχει δημιουργήσει διεπιστημονικές ομάδες οι οποίες συνεργάζονται, ανταλλάσσουν γνώση και προωθούν τη σύγκλιση ασύρματων και οπτικών συσκευών. Για παράδειγμα, ενσωματώνουν το δίκτυο οπτικών ινών και των ραδιοφωνικών δικτύων με συχνότητες mm-wave έτσι ώστε να παράξουν ευρυζωνικές υπηρεσίες fronthaul / backhaul και να ενεργοποιήσουν κλιμακούμενα και διοικησιμα δίκτυα χωρίς πολύπλοκη δομή διεπαφής και πολλαπλά επικαλυμμένα πρωτόκολλα.

Το FIWIN5G έχει ως σκοπό την παροχή στους μεταπτυχιακούς και διδακτορικούς φοιτητές όλων των απαραίτητων εφοδίων και εργαλείων έτσι ώστε να αντιμετωπίσουν όλες αυτές τις απαιτητικές ανάγκες.

2.4.10 mmMagic

Το ερευνητικό πρόγραμμα mmMagic έχει σκοπό να σχεδιάσει και να αναπτύξει νέες ιδέες για την τεχνολογία κινητής ραδιοεπικοινωνίας (RAT) στην περιοχή 6 – 100 GHz που θα περιλαμβάνει και νέα κυματομορφή, δομή πλαισίου, τεχνικών σχηματισμού προσαρμοστικών και συνεργατικών ακτίνων παρακολούθησης της κινητικότητας των χιλιοστομετρικών κυμάτων. Αυτή η νέα τεχνολογία κινητής ραδιοεπικοινωνίας θεωρείται ο κινητήριος μοχλός του συνολικού συστήματος 5G multi – RAT.

Η αρχιτεκτονική που θα σχεδιαστεί από το ερευνητικό πρόγραμμα mmMagic θα βασίζεται στις βελτιωμένες καινοτόμες λειτουργίες διασύνδεσης του έργου και θα έχει ως σκοπό την απρόσκοπτη και ευέλικτη ενσωμάτωση με άλλες ραδιοεπικοινωνίες 5G και LTE. Επίσης, προβλέπονται οι δυνατότητες αυτοεξυπηρετούμενου Backhauling και Fronthauling δημιουργώντας μια ολιστική, κλιμακούμενη και οικονομικά βιώσιμη ολοκληρωμένη λύση 5G για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών των χειριστών επιτρέποντας για

²⁴ <http://gain.di.uoa.gr/spotlight/participants.html>

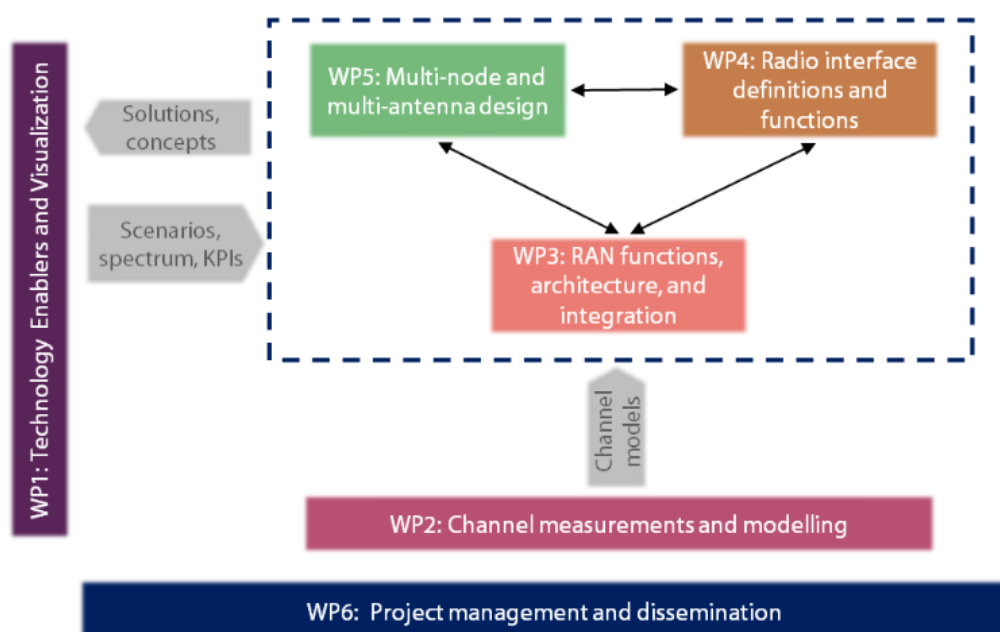
²⁵ <https://cordis.europa.eu/project/rcn/193906/factsheet/de>

παράδειγμα τηλεοπτική μετάδοση εικόνας και βίντεο υψηλής ευκρίνειας, εικονική πραγματικότητα και εξαιρετικά μεγάλη ανταπόκριση των υπηρεσιών νέφους στις υπηρεσίες 5G των χρηστών κινητών τηλεφώνων.

Το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα θα εκτελέσει εκτεταμένες μετρήσεις σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης, στο φάσμα συχνοτήτων 6 – 100 GHz αναπτύσσοντας παράλληλα κατάλληλα μοντέλα καναλιών. Το έργο φιλοδοξεί να προετοιμάσει το έδαφος για τη δημιουργία ευρωπαϊκών προτύπων 5G που αποτελεί σημείο αναφοράς της συνεργασίας ευρώπης με τον υπόλοιπο κόσμο και η οποία θα βασίζεται στην αρχιτεκτονική τα βασικά συστατικά και το φάσμα για τα συστήματα 5G που λειτουργούν πάνω από 6 GHz²⁶.

Η δομή του έργου αποτελείται από παράλληλες δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σε έξι διαφορετικά πακέτα εργασίας, πέντε τεχνικά και ένα διαχείρισης και διάδοσης των έργων. Τα τεχνικά πακέτα εργασίας ασχολούνται:

1. με τον καθορισμό των αναγκών των χρηστών και των συνεπειών των ρυθμιστικών περιορισμών (Πακέτο εργασίας 1. Επικεφαλής η Intel Mobile Communications GmbH)
2. με τις μετρήσεις καναλιών και τη μοντελοποίηση (Πακέτο εργασίας 2. Επικεφαλής ο Fraunhofer Heinrich – Hertz institut)
3. με την καθοδήγηση από τις λύσεις και τα δίκτυα μεγάλων εταιρειών στον τομέα των τηλεπικοινωνιών (Πακέτο εργασίας 3 - 5. Τεχνογνωσία Nokia, Huawei Technologies Dusseldorf GmbH, Samsung Electronics (UK) Ltd, αντίστοιχα).



Εικόνα 14. Δομή προγράμματος mmMagic.

Πηγή: <https://5g-mmmagic.eu/>

²⁶ <https://5g-mmmagic.eu/project/>

2.4.11 5G – XHAUL

Τα μικρά κελιά, τα δίκτυα πρόσβασης C-RAN, τα δίκτυα που καθορίζονται από το λογισμικό SDN και η λειτουργία NFV είναι οι βασικοί παράγοντες που ανταποκρίνονται στη ζήτηση ευρυζωνικών συνδέσεων χαμηλού κόστους και ευέλικτων υλοποιήσεων. Τα μικρά κελιά σε συνδυασμό με τα C-RAN, SDN, NFV θέτουν αυστηρές απαιτήσεις στο δίκτυο μεταφοράς δεδομένων. Ταυτόχρονα, απαιτούνται για τη δημιουργία δυναμικών αρχιτεκτονικών fronthaul και backhaul ευέλικτες ασύρματες λύσεις παράλληλα με τις οπτικές διασυνδέσεις υψηλής χωρητικότητας.

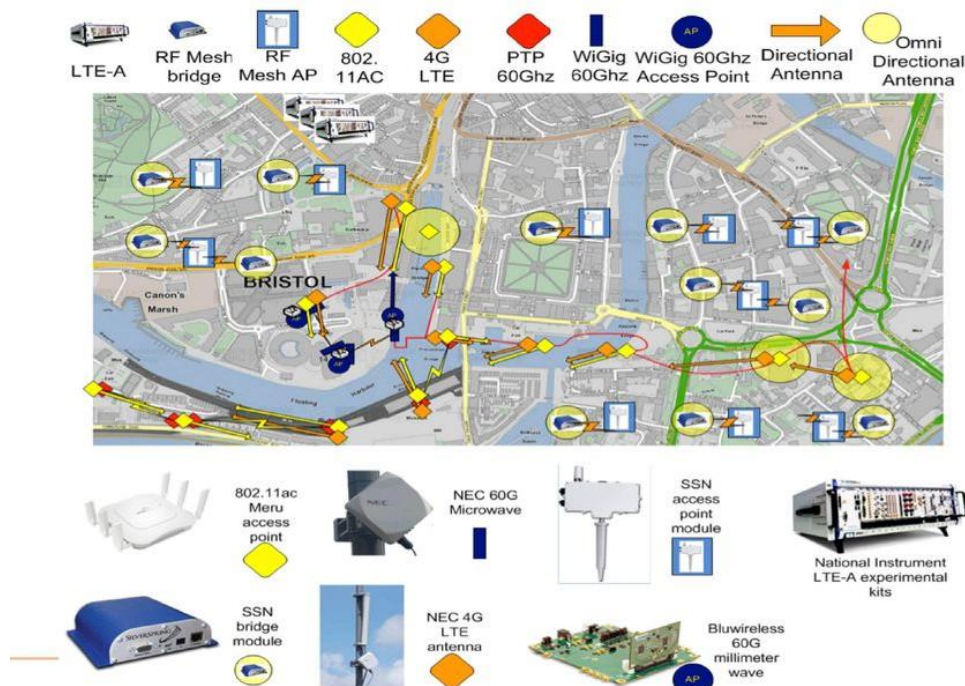
Το ερευνητικό πρόγραμμα 5G – XHAUL προτείνει μία τεχνολογική σύγκλιση οπτικού και ασύρματου δικτύου που θα συνδέει ευέλικτα τα μικρά κελιά στο κεντρικό δίκτυο. Αξιοποιώντας την κινητικότητα των χρηστών, η λύση αυτή επιτρέπει τη δυναμική κατανομή των πόρων δικτύου σε καθορισμένα και διαθέσιμα σημεία. Για να αναπτυχθούν αυτά αναπτύσσονται²⁷:

- πομποδέκτες mmWave υψηλής χωρητικότητας, χαμηλής καθυστέρησης και δυναμικά προγραμματιζόμενοι από σημείο σε πολλαπλό σημείο που συνεργάζονται με υποσυστήματα των 6 GHz
- Δίκτυο οπτικών μέσων που προσφέρει ελαστικό εύρος ζώνης και συνεργάζεται με προηγμένα παθητικά οπτικά δίκτυα.
- Ένα κέντρο γνωστικού ελέγχου το οποίο μπορεί να προβλέψει την κυκλοφοριακή ζήτηση σε χώρο και χρόνο στο δίκτυο δίνοντάς του τη δυνατότητα ανασυγκρότησης των στοιχείων του δικτύου.

Οι τεχνολογίες 5G – XHAUL θα δοκιμαστούν σε ένα πιλοτικό κέντρο σε όλη την πόλη του Ντρίστολ (στο Ηνωμένο Βασίλειο). Έτσι, θα αξιολογηθούν τα νέα οπτικά και ασύρματα στοιχεία καθώς και η απόδοση από άκρο σε άκρο.

²⁷ <https://5g-ppp.eu/5g-xhaul/>

5G-XHAUL CITY WIDE TESTBED IN BRISTOL



Εικόνα 15. Δοκιμή 5G – XHAUL στο Bristol

Πηγή: <https://docplayer.net/14765864-Introduction-and-mm-wave-work-presenter-daniel-camps-i2cat-bristol-5g-city-testbed-with-5g-xhaul-extensions.html>

2.5 Νομοθετικό πρόγραμμα της ευρωπαϊκής ένωσης για το 5G ²⁸

Η αναθεώρηση των κανόνων για τις τηλεπικοινωνίες ανακοινώθηκε στη στρατηγική ψηφιακής ενιαίας αγοράς της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σκοπός της επανεξέτασης του πλαισίου για τις τηλεπικοινωνίες είναι η εδραίωση της ενιαίας αγοράς τηλεπικοινωνιών, η οποία υποστηρίζεται από επενδύσεις σε υποδομές, και η μεταρρύθμιση του κανονιστικού πλαισίου για τις ηλεκτρονικές επικοινωνίες που χρονολογείται από το 2009. Όπως αναφέρεται στην κυρίαρχη ανακοίνωση «Προς μια ευρωπαϊκή κοινωνία των gigabit», στις 14 Σεπτεμβρίου 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε τρεις νέες νομοθετικές προτάσεις και ένα μη νομοθετικό μέτρο. Οι τρεις νομοθετικές προτάσεις περιλαμβάνουν:

²⁸ European Parliament, <http://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-connected-digital-single-market/file-5g-action-plan>

- έναν νέο ευρωπαϊκό κώδικα ηλεκτρονικών επικοινωνιών για την αύξηση των επενδύσεων σε υποδομές.
- μια νομοθετική πρόταση (Wifi4EU), για την αύξηση των ελεύθερων σημείων πρόσβασης WiFi για τους πολίτες
- νομοθετική πρόταση για την ενίσχυση του ρόλου των εθνικών ρυθμιστικών αρχών και του οργανισμού BEREC.

Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε ένα μη νομοθετικό μέτρο στην ανακοίνωσή της «5G για την Ευρώπη: σχέδιο δράσης», το οποίο προβλέπει ένα κοινό χρονοδιάγραμμα της ΕΕ για μια συντονισμένη εμπορική έναρξη του εμπορίου 5G το 2020, καθώς και κοινή συνεργασία με τα κράτη μέλη και τους ενδιαφερόμενους φορείς της βιομηχανίας να εντοπίσουν και να διαθέσουν ζώνες φάσματος για το 5G, να οργανώσουν πανευρωπαϊκές δοκιμές 5G από το 2018, να προωθήσουν κοινά παγκόσμια πρότυπα 5G και να ενθαρρύνουν την υιοθέτηση εθνικών οδικών χαρτών ανάπτυξης 5G σε όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει θέσει τρεις σχετικούς στρατηγικούς στόχους συνδεσιμότητας για το 2025:

- Όλοι οι κύριοι κοινωνικοοικονομικοί οδηγοί, όπως τα σχολεία, τα πανεπιστήμια, τα ερευνητικά κέντρα, οι κόμβοι μεταφορών, όλοι οι πάροχοι δημόσιων υπηρεσιών όπως τα νοσοκομεία και οι διοικήσεις, καθώς και οι επιχειρήσεις που βασίζονται σε ψηφιακές τεχνολογίες, θα πρέπει να έχουν πρόσβαση σε εξαιρετικά υψηλού επιπέδου gigabit συνδεσιμότητα upload/download 1 gigabit δεδομένων ανά δευτερόλεπτο).
- Όλα τα ευρωπαϊκά νοικοκυριά, αγροτικά ή αστικά, θα πρέπει να έχουν πρόσβαση στη συνδεσιμότητα που προσφέρει ταχύτητα λήψης τουλάχιστον 100 Mbps (megabit ανά δευτερόλεπτο), η οποία μπορεί να αναβαθμιστεί σε Gbps (gigabit ανά δευτερόλεπτο).
- Όλες οι αστικές περιοχές καθώς και οι μεγάλοι δρόμοι και οι σιδηρόδρομοι πρέπει να έχουν αδιάλειπτη κάλυψη 5G. Ως ενδιάμεσος στόχος, το 5G θα πρέπει να διατίθεται στο εμπόριο σε τουλάχιστον μία σημαντική πόλη σε κάθε κράτος μέλος της ΕΕ μέχρι τα τέλη του 2020.

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, στο ψήφισμά του με τίτλο «Προς μια ψηφιακή πράξη για την ενιαία αγορά», ζήτησε από την Επιτροπή να προτείνει κανόνες κατάλληλους για την ψηφιακή εποχή, οι οποίοι θα ενισχύσουν τις επενδύσεις, τον ανταγωνισμό και την καινοτομία για τις υπερπόντιες υπηρεσίες και τις επιχειρήσεις τηλεπικοινωνιών προς όφελος Καταναλωτές.

Την 1η Ιουνίου 2017, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε το ψήφισμα «Σύνδεση στο Διαδίκτυο για την ανάπτυξη, την ανταγωνιστικότητα και τη συνοχή: ευρωπαϊκή κοινωνία gigabit και 5G». Εκφράζει την ικανοποίησή της

για τη στρατηγική της Επιτροπής και υποστηρίζει τους στόχους της, ζητώντας παράλληλα ένα σαφές χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης 5G, συμπεριλαμβανομένης μιας τεχνολογικά ουδέτερης προσέγγισης που αντιμετωπίζει το ψηφιακό χάσμα, καθώς και μια φιλόδοξη στρατηγική χρηματοδότησης 5G, συμπεριλαμβανομένων δυνητικών και υφιστάμενων κονδυλίων της ΕΕ. Ζητεί επίσης ένα κανονιστικό περιβάλλον φιλικό προς τις επενδύσεις για θεμιτό ανταγωνισμό, μια συνεκτική ευρωπαϊκή στρατηγική για το ραδιοφάσμα με βελτιωμένο συντονισμό στην κατανομή του ραδιοφάσματος και απαιτεί την επιτάχυνση των προσπαθειών τυποποίησης του 5G για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Υπογραμμίζει επίσης τις θετικές κοινωνικές επιπτώσεις που θα έχει το 5G στην Ευρώπη για βελτίωση της μάθησης, της υγείας, του πολιτισμού, της συνοχής και των νέων ευκαιριών απασχόλησης. Για το σκοπό αυτό, ζητεί επίσης την ανάπτυξη και τη βελτίωση των ψηφιακών δεξιοτήτων. Τέλος, η έκθεση ζητεί από την Επιτροπή να υποβάλει στο Κοινοβούλιο ετήσια έκθεση σχεδίου δράσης 5G, η οποία περιλαμβάνει την πρόοδο και τις συστάσεις.

Στις 28 Ιουνίου 2016, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε μια ατζέντα που υποστηρίζει την ανάπτυξη σταθερής και ασύρματης ευρυζωνικής σύνδεσης μεγάλης χωρητικότητας σε ολόκληρη την Ευρώπη για την τόνωση της μελλοντικής ανταγωνιστικότητας. Στις 2 Δεκεμβρίου 2016 στο Συμβούλιο Μεταφορών, Τηλεπικοινωνιών και Ενέργειας, οι υπουργοί εξέφρασαν την υποστήριξή τους στους στόχους συνδεσιμότητας στο πλαίσιο της τηλεπικοινωνίας, επανεξέτασαν τις προτάσεις και συμφώνησαν σχετικά με την ανάγκη να συνεργαστούν για την επίτευξή τους, μεταξύ άλλων και για το 5G.

Στις 4-5 Δεκεμβρίου 2017, το Συμβούλιο Μεταφορών, Τηλεπικοινωνιών και Ενέργειας (υπό την εσθονική Προεδρία) υπέγραψε χάρτη πορείας 5G, ο οποίος καθορίζει ακριβείς προθεσμίες για την εναρμόνιση του φάσματος που απαιτείται για την ανάπτυξη του 5G.

Την 1η Μαρτίου 2018, επετεύχθη συμφωνία για το ραδιοφάσμα για 5G μεταξύ των ομάδων διαπραγμάτευσης του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου στο πλαίσιο των συζητήσεων τριμερούς διαλόγου για τον κώδικα ηλεκτρονικών επικοινωνιών. Το Κοινοβούλιο ενέκρινε τη συμφωνία στην ολομέλεια στις 14 Νοεμβρίου 2018 και το Συμβούλιο ενέκρινε τον κώδικα ηλεκτρονικών επικοινωνιών στις 4 Δεκεμβρίου.

Άλλες πτυχές του σχεδίου δράσης 5G, όπως παρουσιάζονται λεπτομερώς παραπάνω, σχετικά με τους στρατηγικούς στόχους συνδεσιμότητας για το 2025, βρίσκονται σε εξέλιξη. Το παρατηρητήριο 5G που δημιουργήθηκε από την Επιτροπή παρέχει μια καλή ενημέρωση για αυτά. Στις 12 Μαρτίου 2019 Το Κοινοβούλιο ενέκρινε στην Ολομέλεια ψήφισμα που ζητεί τη λήψη μέτρων σε επίπεδο ΕΕ σχετικά με τις απειλές για την ασφάλεια που συνδέονται με την αυξανόμενη τεχνολογική παρουσία της Κίνας στην ΕΕ. Οι ευρωβουλευτές καλούν την Επιτροπή και τα κράτη μέλη να παράσχουν οδηγίες σχετικά με τον τρόπο αντιμετώπισης των απειλών στον κυβερνοχώρο

και των τρωτών σημείων κατά την προμήθεια εξοπλισμού 5G και τη χάραξη στρατηγικής για τη μείωση της εξάρτησης της Ευρώπης από την ξένη τεχνολογία στον κυβερνοχώρο και να εργαστούν σε ένα σύστημα πιστοποίησης που να διασφαλίζει ότι η ανάπτυξη 5G στην ΕΕ πληρεί τα υψηλότερα πρότυπα ασφαλείας.

3. Πως το 5G θα αναβαθμίσει το Internet of Things (IoT)

3.1 Τι είναι το Internet of Things

Το *ίντερνετ των πραγμάτων* (Internet of Things - IoT) είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας πολλών και διαφορετικών συσκευών ή κάθε αντικειμένου που περιλαμβάνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και είναι ικανό να συνδεθεί σε δίκτυο ώστε η διασύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων να είναι επιτρεπτή. Σε γενικές γραμμές το IoT είναι η σύνδεση ή, η δυνατότητα σύνδεσης όλων των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους. Για παράδειγμα, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ένα έξυπνο σπίτι. Ο ιδιοκτήτης του σπιτιού (χρήστης των ηλεκτρονικών συσκευών του σπιτιού) ανοίγει το GPS του κινητού του και αυτομάτως αυτό στέλνει μήνυμα σε μία κεντρική μονάδα του σπιτιού ότι ο ιδιοκτήτης σε λίγο θα φτάσει στην οικία του. Η κεντρική μονάδα, στέλνει μηνύματα ρύθμισης της φωτεινότητας και της θερμότητας του σπιτιού στους ανάλογους αισθητήρες. Όταν ο ιδιοκτήτης φθάνει σπίτι και παίρνει κάτι από το ψυγείο, η συσκευή ενημερώνει για την έλλειψη πλέον του προϊόντος αυτού από το ράφι έτσι ώστε να σταλεί σε κάποιο supermarket την επομένη παραγγελία έτσι ώστε να αναπληρωθούν τα προϊόντα που έχουν καταναλωθεί.

3.2 Η ιστορία του IoT²⁹

Ο Kevin Ashton, συνιδρυτής του Auto-ID Center στο MIT, ανέφερε για πρώτη φορά το διαδίκτυο των πραγμάτων σε μια παρουσίαση που έκανε στην Procter & Gamble (P & G) το 1999. Θέλοντας να φέρει την RFID στην προσοχή της P & G ανώτερος διευθυντής, ο Ashton κάλεσε την παρουσίασή του "Internet of Things" για να ενσωματώσει τη δροσερή νέα τάση του 1999: το Διαδίκτυο. Το βιβλίο του καθηγητή του MIT, Neil Gershenfeld, όταν τα

²⁹ Μιχάλης Χατζής, Εμμανουήλ Κουτσουλάφτης, Νίκος Μαϊτός, «Η εξέλιξη του IoT μέσω του VR/AR και πώς διασφαλίζεται μέσω του blockchain», εργασία μαθήματος κινητές & ασύρματες επικοινωνίες μεταπτυχιακού Οικονομικής & Διοίκησης τηλεπικοινωνιακών δικτύων, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2019, Σελ 38-40.

πράγματα αρχίζουν να σκέφτονται, εμφανίζεται επίσης το 1999, δεν χρησιμοποίησε τον ακριβή όρο, αλλά παρείχε ένα σαφές όραμα για το πού κατευθύνθηκε το IoT.

Το IoT εξελίχθηκε από τη σύγκλιση των ασύρματων τεχνολογιών, των μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS), των μικροσυντηρήσεων και του διαδικτύου. Η σύγκλιση συνέβαλε στη διάσπαση των σιλό μεταξύ επιχειρησιακής τεχνολογίας (OT) και τεχνολογίας της πληροφορίας (IT), επιτρέποντας την ανάλυση μη δομημένων δεδομένων που δημιουργήθηκαν από μηχανές για γνώση που οδηγεί σε βελτιώσεις.

Παρόλο που η Ashton ήταν η πρώτη αναφορά στο διαδίκτυο των πραγμάτων, η ιδέα των συνδεδεμένων συσκευών ήταν γύρω από τη δεκαετία του '70, κάτω από το ενσωματωμένο διαδίκτυο και τους διάχυτους υπολογιστές.

Η πρώτη συσκευή στο διαδίκτυο, για παράδειγμα, ήταν μια μηχανή οπτάνθρακα στο πανεπιστήμιο Carnegie Mellon στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Χρησιμοποιώντας τον ιστό, οι προγραμματιστές θα μπορούσαν να ελέγξουν την κατάσταση του μηχανήματος και να καθορίσουν εάν θα τους περιμένει ένα κρύο ποτό εάν αποφασίσουν να κάνουν το ταξίδι στο μηχανήμα.

Το IoT εξελίχθηκε από την επικοινωνία μηχανής προς μηχανή (M2M), δηλ. Μηχανές που συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός δικτύου χωρίς ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Το M2M αναφέρεται στη σύνδεση μιας συσκευής με το σύννεφο, τη διαχείριση και τη συλλογή δεδομένων.

Λαμβάνοντας το M2M στο επόμενο επίπεδο, το IoT είναι ένα δίκτυο αισθητήρων με δισεκατομμύρια έξυπνες συσκευές που συνδέουν άτομα, συστήματα και άλλες εφαρμογές για τη συλλογή και την ανταλλαγή δεδομένων. Ως θεμέλιο, το M2M προσφέρει τη συνδεσιμότητα που επιτρέπει την IoT.

Το διαδίκτυο των πραγμάτων είναι επίσης μια φυσική επέκταση του SCADA (εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων), μια κατηγορία προγραμμάτων εφαρμογής λογισμικού για τον έλεγχο της διαδικασίας, τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από απομακρυσμένες τοποθεσίες έως τον έλεγχο του εξοπλισμού και των συνθηκών. Τα συστήματα SCADA περιλαμβάνουν εξαρτήματα υλικού και λογισμικού. Το υλικό συλλέγει και τροφοδοτεί δεδομένα σε έναν υπολογιστή που έχει εγκατεστημένο λογισμικό SCADA, όπου στη συνέχεια επεξεργάζεται και παρουσιάζει εγκαίρως. Η εξέλιξη του SCADA είναι τέτοια ώστε τα συστήματα SCADA της τελευταίας γενιάς αναπτύχθηκαν σε συστήματα IoT πρώτης γενιάς.

Ωστόσο, η ιδέα του οικοσυστήματος του Διαδικτύου δεν ήρθε στην πραγματικότητα μέχρι τα μέσα του 2010, όταν εν μέρει η κυβέρνηση της Κίνας δήλωσε ότι θα καθιστούσε το Διαδίκτυο ως στρατηγική προτεραιότητα στο πενταετές πρόγραμμά της.

3.3 Αρχιτεκτονική του IoT

Προϋπόθεση για να μπορέσουμε να συνεχίσουμε να μιλάμε για δομές IoT είναι η ύπαρξη μιας κοινής γλώσσας επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και γενικότερα της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στο IoT. Για να δωθεί λύση σε αυτό το πρόβλημα συστάθηκε ομάδα ερευνητών από βιομηχανικές εταιρείες και ερευνητικά ιδρύματα το 2009 έτσι ώστε να θέσουν τις βάσεις και την κοινή αρχιτεκτονική δημιουργώντας το έργο IoT - A υπό την εποπτεία της Ευρωπαϊκής επιτροπής.

Από τεχνική άποψη, οι έταιροι κατάλαβαν ότι η υπάρχουσα τεχνολογία δεν καλύπτει την επέκταση όλης αυτής της ανάπτυξης στο IoT τόσο από άποψη επικοινωνίας των διαφορετικών συσκευών μεταξύ τους όσο και από τα διαφορετικά μοντέλα διακυβέρνησης και των διαφορετικών νομοθεσιών ανά περιοχή. Ένα κοινό πρωτόκολλο που θα ταίριαζε σε όλους όπως το πρωτόκολλο IP είναι σαφές ότι δεν καλύπτει όλες αυτές τις ανάγκες συνεπώς θα έπρεπε να δημιουργηθεί ένας άλλος κοινός τόπος.

Το IoT – A κατέληξε στο ότι δεν πρέπει να εφαρμοστεί μία νέα προσέγγιση αλλά να στηριχθεί στην υφιστάμενη κατάσταση συλλέγοντας τα κοινά χαρακτηριστικά και δημιουργώντας το IoT Αρχιτεκτονικό Μοντέλο Αναφοράς (ARM). Στη διαδικασία αυτή, τελικοί χρήστες διαμόρφωσαν νέες απαιτήσεις για το IoT οι οποίες συνυπολογίζονται στο νέο αρχιτεκτονικό μοντέλο.

3.3.1 Μοντέλα Επικοινωνίας IoT

3.3.1.1 Μοντέλο Device to Device

Σε αυτό το μοντέλο επικοινωνίας, δύο ή περισσότερες συσκευές συνδέονται μεταξύ τους άμεσα χωρίς τη χρήση κάποιου τρίτου μέρους όπως για παράδειγμα κάποιου server. Το μοντέλο Device to Device συχνά χρησιμοποιεί τα IP, Bluetooth, 40 Z-Wave, SigBee42 πρωτόκολλα για επικοινωνήσουν οι συσκευές. Ένα τέτοιο μοντέλο βρίσκει εφαρμογή σε συστήματα οικιακού αυτοματισμού στα οποία απαιτούνται για επικοινωνία μικρά πακέτα δεδομένων με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα διασύνδεσης του φωτός όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1 με κάποιο διακόπτη που μπορεί να είναι και εφαρμογή στο κινητό του χρήστη.



Εικόνα 3.1: Παράδειγμα μοντέλου Device to Device

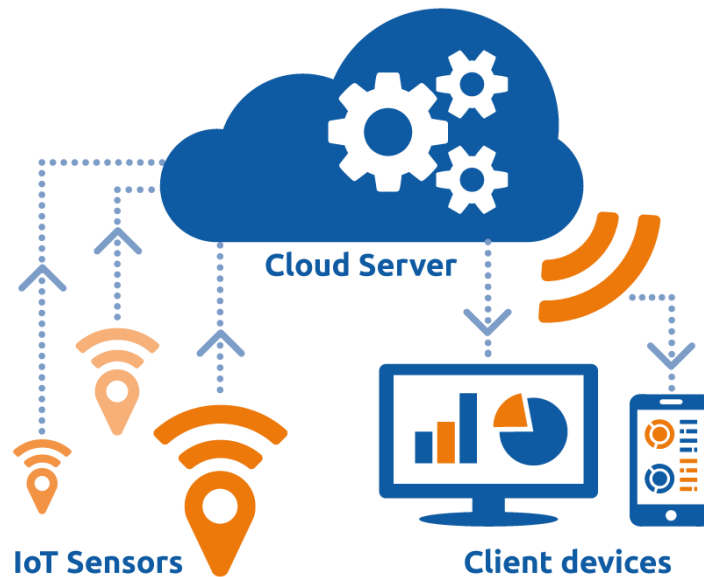
Πηγή: <http://www.inetservicescloud.com/the-four-internet-of-things-connectivity-models-explained/>

3.3.1.2 Μοντέλο Device to Cloud

Σε αυτό το μοντέλο, η συσκευή συνδέεται με μια υπηρεσία νέφους έτσι ώστε να υπάρχει ροή δεδομένων από και προς τη συσκευή ή τις συσκευές που διασυνδέονται. Συνήθως, η επικοινωνία αυτή γίνεται μέσω συνδέσεων Ethernet ή Wi-Fi και του πρωτοκόλλου IP, των διάφορων επιπλέον μερών με την υπηρεσία cloud.

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της εταιρείας Samsung με το προϊόν Samsung SmartThings Hub το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αυτοματοποιήσει το σπίτι του ελέγχοντας τα φώτα, τις κλειδαριές, τα βύσματα, τους θερμοστάτες, τις κάμερες και τα ηχεία από έναν κεντρικό κόμβο (Εφαρμογή – Harmony ή Smart Lutron) στο οποίο έχει πρόσβαση μέσω του έξυπνου κινητού του.

Συχνά βέβαια σε αυτού του είδους τα μοντέλα δημιουργούνται θέματα διαλειτουργικότητας καθώς είναι αβέβαιο αν συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών μπορούν να συνεργαστούν από μία καθολική εφαρμογή. Συνήθως κάθε κατασκευαστής δημιουργεί την εφαρμογή που διασυνδέει τις δικές του συσκευές (Vendor lock – in).

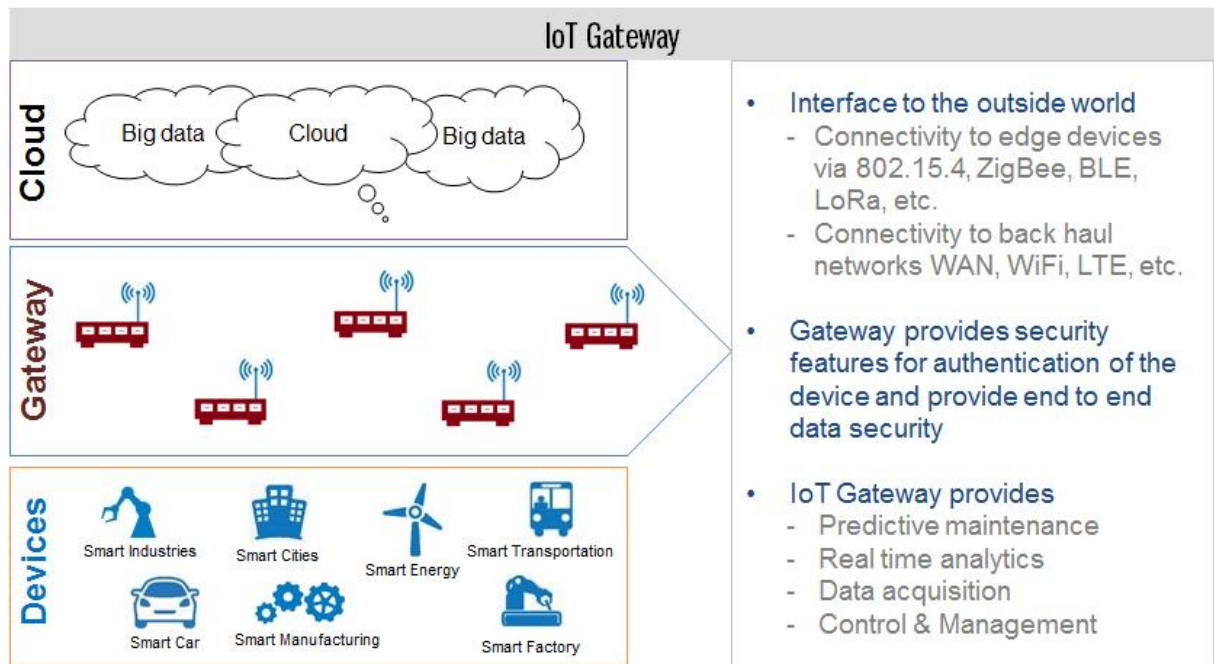


Εικόνα 3.2: Παράδειγμα μοντέλου Device to Cloud
 Πηγή: <https://www.compass.ie/cloud-lot-mobile/>

3.3.1.3 Μοντέλο Device to Gateway

Το Gateway είναι είτε μία συσκευή είτε κάποιο λογισμικό το οποίο διασυνδέει το νέφος με τα διάφορα τερματικά όπως αισθητήρες και έξυπνες συσκευές. Ό,τι δεδομένο κινείται μεταξύ νέφους και συσκευών περνάει από το Gateway προσφέροντας με αυτό τον τρόπο ακόμα ένα επίπεδο ασφάλειας μέσω των ελέγχων που πραγματοποιεί. Οι έλεγχοι αφορούν για παράδειγμα το πλήθος των δεδομένων που στέλνουν οι αισθητήρες ανά δευτερόλεπτο τα οποία περνούν από στάδιο προεπεξεργασίας, ανάλυσης, συμπίεσης και μετά διαβιβάζονται στο νέφος. Το σίγουρο είναι ότι εφόσον το Gateway ελέγχει την πληροφορία που μετακινείται και στις δύο κατευθύνσεις προστατεύει τα δεδομένα από διαρροές και άλλες κακόβουλες πράξεις μέσω κρυπτοαπογραφίσεων, ανίχνευσης παραβιάσεων, γεννητριών τυχαίων αριθμών υλικού και κρυπτοκινητήρων.

Παραδείγματα που χρησιμοποιούν το μοντέλο Device to Gateway είναι τα έξυπνα τηλέφωνα τα οποία διαχειρίζονται IoT συσκευές και οι Personal Fitness Trackers συσκευές οι οποίες συνδέονται με εφαρμογές έξυπνων τηλεφώνων έτσι ώστε να συνδεθούν με το νέφος.

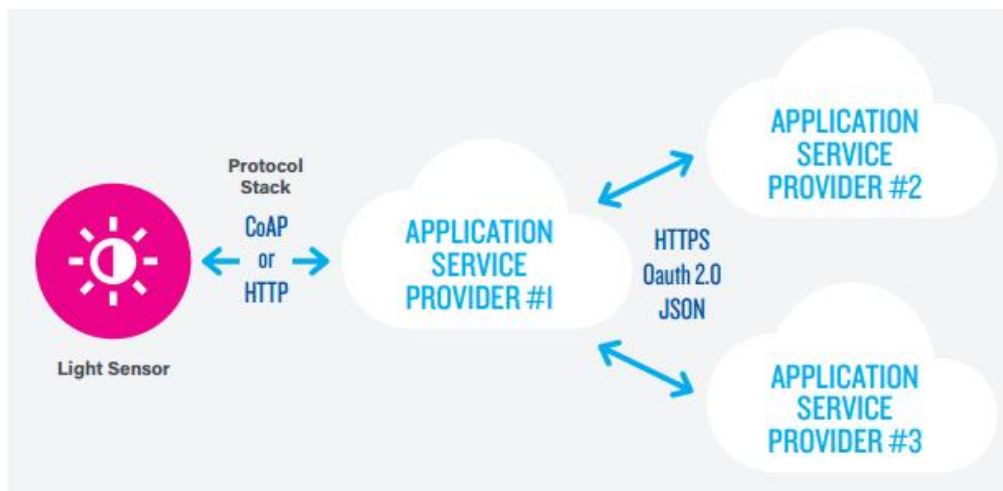


Εικόνα 3.3: Παράδειγμα μοντέλου Device to Gateway

Πηγή: <http://www.open-silicon.com/iot-gateway-soc-platform/>

3.3.1.4 Μοντέλο Back – End Data – Sharing

Με το μοντέλο Back – End Data – Sharing οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να εξεγάγουν και να αναλύσουν τα δεδομένα μιας έξυπνης συσκευής από μία υπηρεσία νέφους σε συνδυασμό με πληροφορία από άλλες πηγές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του μοντέλου είναι κάποιος χρήστης ο οποίος συλλέγει και αναλύει δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας που αντλούνται από τους αισθητήρες μίας εγκατάστασης. Συχνά τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μία ενδοιάμεση Stand – Alone βάση δεδομένων. Επίσης, το συγκεκριμένο μοντέλο διευκολύνει τη φορητότητα καθώς οι χρήστες μετακινούν δεδομένα καθώς εναλλάσσουν IoT συσκευές αδιάλειπτα.

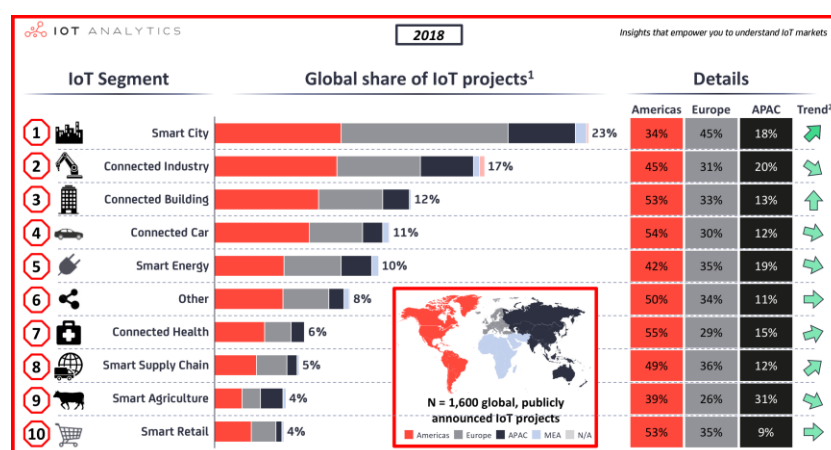


Εικόνα 3.: Παράδειγμα μοντέλου Back – End Data Sharing

Πηγή: <https://www.supinfo.com/articles/single/4235-internet-of-things>

3.4 Εφαρμογές IoT

Με το 5G προ των πυλών δεν μπορεί κάποιος να γνωρίζει ποιες εφαρμογές θα δημιουργηθούν έτσι ώστε να καλυφθούν ανάγκες των χρηστών σήμερα και στο μέλλον. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις εφαρμογές του IoT που χρησιμοποιούνται ήδη και είναι αναγνωρισμένες. Σύμφωνα με μία έρευνα στον ιστότοπο IoT analytics³⁰, παρουσιάζονται οι δέκα πιο δημοφιλείς εφαρμογές του IoT για το 2018 με ανάλογη σειρά δημοτικότητας. Η ερευνητική ομάδα, για τρεις μήνες, ερεύνησε δείγμα 1600 έργων που αναφέρονται σε IoT εφαρμογές και κατέληξε στο συγκεκριμένο ταξινομημένο χάρτη.



Εικόνα 4. Οι δέκα πιο δημοφιλείς εφαρμογές του IoT

Πηγή: <https://iot-analytics.com/wp/wp-content/uploads/2018/01/Overview-IoT-Enterprise-Projects-List-2018-Edit.png>

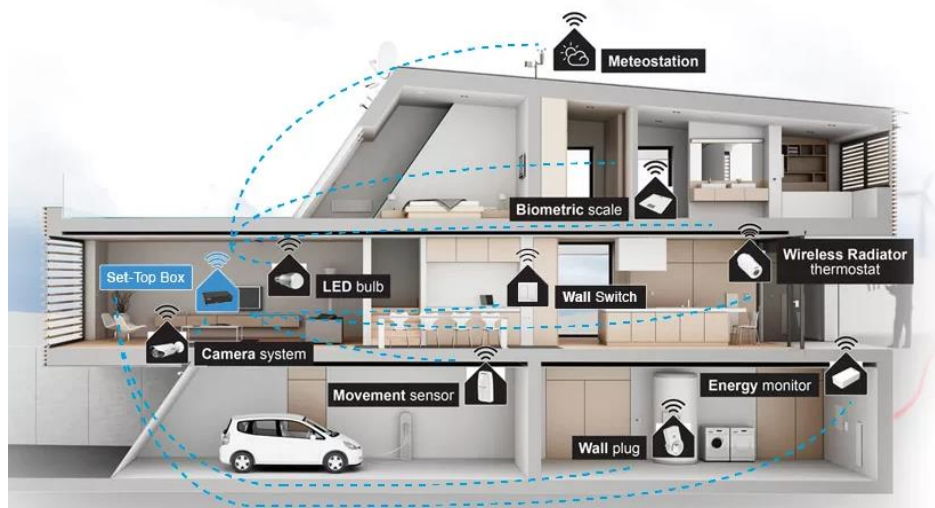
³⁰ <https://iot-analytics.com/top-10-iot-segments-2018-real-iot-projects/>

3.4.1 Έξυπνο σπίτι & έξυπνα κτήρια

Ένα έξυπνο σπίτι είναι το σύνολο των αυτοματισμών μέσω των οποίων ο χρήστης εκτελεί τις περισσότερες λειτουργίες της κατοικίας του προσαρμοσμένες στις ανάγκες και τις επιθυμίες του και τις οποίες ελέγχει από ένα κινητό μέσο (για παράδειγμα έξυπνο τηλέφωνο, τάμπλετ). Ο έλεγχος πραγματοποιείται από οποιοδήποτε σημείο εφόσον υπάρχει διασύνδεση με το διαδίκτυο.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα λειτουργίας ενός έξυπνου σπιτιού είναι το εξής: σε ένα έξυπνο σπίτι όπου οι χρήστες είναι ενήλικες και παιδιά, τα παιδιά παρακολουθούν προγράμματα σε μια smart tv, ο θερμοστάτης διατηρεί τη θερμοκρασία του σπιτιού στους 22° C και εκτρέπει ενέργεια από τα δωμάτια που είναι κενά. Οι γονείς τους με φωνητικές εντολές στον κεντρικό οικιακό υπολογιστή απενεργοποιούν τα φώτα ή κλειδώνουν το σπίτι. Σε κάποιο σημείο του σπιτιού, το έξυπνο ψυγείο στέλνει μια παραγγελία για τα ψώνια της επόμενης μέρας. Το σύνολο αυτών των υπηρεσιών προέρχονται από μια κεντρική μονάδα που χειρίζεται τα δεδομένα αισθητήρων που συλλέγονται από το έξυπνο σπίτι.

Σαφώς και από μία τέτοια τεχνολογία η οποία συλλέγει, επεξεργάζεται, αποθηκεύει δεδομένα προσωπικής φύσεως προκύπτουν θέματα ασφαλείας και αυτό γιατί η συγκεκριμένη τεχνολογία βασίζεται στο ασύρματο router και το τοπικό Wi-Fi. Τη στιγμή που μιλάμε έχει δημιουργηθεί το πρωτόκολλο ασφαλείας WPA3 το οποίο σε συνδυασμό με το νέο Wi-Fi 6 θα αντιμετωπίσει τα κενά ασφαλείας της ασύρματης δικτύωσης.



Εικόνα 5. SmartHome

Πηγή: http://www.antiktech.com/photos/original/xsmarthome-schema_c9bb6e83b28e5a2b03766524b150f23a.png.pagespeed.ic.-9fcEQd1uQ.webp

3.4.2 Έξυπνες πόλεις³¹

Στη βιβλιογραφία δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος όρος της έξυπνης πόλης. Έχουν γίνει κατά καιρούς αποδεκτοί διάφοροι ορισμοί. Μερικοί από αυτούς παρουσιάζονται παρακάτω.

Οι Hall, Bowerman, Braverman, Taylor, Todosow το 2000, όρισαν την έξυπνη πόλη την πόλη που παρακολουθεί και ενσωματώνει όλες τις κρίσιμες υποδομές της όπως τους δρόμους, τις γέφυρες, τον υπόγειο σιδηρόδρομο, τα αεροδρόμια, τα λιμάνια, τις επικοινωνίες, την ύδρευση, την ενέργεια και τα μεγάλα κτήρια προκειμένου να βελτιστοποιήσει καλύτερα τους πόρους της προγραμματίζοντας τις δραστηριότητες της προληπτικής συντήρησής τους και παρακολουθώντας τις πτυχές της ασφάλειας μεγιστοποιώντας τις πτυχές της ασφάλειας μεγιστοποιώντας παράλληλα τις υπηρεσίες προς τους της πόλης της.

Ο Giffinger το 2007 όρισε την έξυπνη πόλη ως μια καλά οργανωμένη πόλη που δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην οικονομία, το περιβάλλον, τη διακυβέρνηση τη διαβίωση και τους ανθρώπους της. Κυρίως η έξυπνη πόλη προσδιορίζεται ως η αναζήτηση έξυπνων λύσεων που βελτιώνουν την ποιότητα των υπηρεσιών προς τους πολίτες.

Οι Harrison & Donnelly το 2011, όρισαν την έξυπνη πόλη ως την πόλη αυτή που συνδέει την υλική, κοινωνική, επιχειρηματική υποδομή και την υπομή πληροφορικής για να αξιοποιήσει τη συλλογική νοημοσύνη της πόλης.

Το 2015 δόθηκε από τους Llacuna, Llinas Frigola ένας άλλος ορισμός σύμφωνα με το οποίο οι έξυπνες πόλεις προσπαθούν να βελτιώσουν την αστική απόδοση με τη χρήση δεδομένων και πληροφοριών για την παροχή αποτελεσματικότερων υπηρεσιών προς τους πολίτες, τη βελτιστοποίηση και παρακολούθηση της υφιστάμενης υποδομής για την αύξηση της συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων οικονομικών παραγόντων και την ενθάρρυνση καινοτόμων οικονομικών μοντέλων τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα.

Ο κοινός τόπος σε όλους τους ορισμούς είναι ότι συνδέουν το ανθρώπινο και κοινωνικό κεφάλαιο, τις αστικές υποδομές και τις αστικές υπηρεσίες με τις τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνίας με σκοπό την αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου και την ανάπτυξη μιας βιώσιμης οικονομίας.

Η εικόνα 6 του υπουργείου ψηφιακής πολιτικής, τηλεπικοινωνιών και ενημέρωσης δείχνει τη λειτουργία μίας έξυπνης πόλης σύμφωνα με την οποία τα φωτιστικά σώματα έχουν αντικατασταθεί με νέας τεχνολογίας λαμπτήρες LED εξοικονομώντας τουλάχιστον 50% κατανάλωση ενέργειας. Με την

³¹ Πρόδρομος Παντελίδης. «Η έννοια της έξυπνης πόλης», Διπλωματική εργασία Σχολής Κοινωνικών και Ανθρωπιστικών Επιστημών, Τμήμα Οικονομικών Επιστημών, Μάθημα Εφαρμοσμένης Οικονομικής Στη Διοίκηση Επιχειρήσεων, 2017, σελ 5-7.

εγκατάσταση έξυπνων ελεγκτών φωτισμού, ελέγχονται απομακρυσμένα όλα τα συνδεδεμένα φωτιστικά σώματα προγραμματίζοντας την ώρα που θα ανάψουν και θα κλείσουν καθώς και θα αυξομειώσουν την έντασή τους ανάλογα με τον φωτισμό του περιβάλλοντος εξοικονομούν επιπλέον 20% της καταναλισκόμενης ενέργειας. Παρόμοια εξοικονόμηση επιτυγχάνεται με την έξυπνη διαχείριση υδάτων μέσω αισθητήρων, ελεγκτών πίεσης και μετρητών στο δίκτυο ύδρευσης που ανιχνεύουν διαρροές και παράνομες συνδέσεις. Στη φωτογραφία απεικονίζεται το σύστημα ελεγχόμενης στάθμευσης σύμφωνα με το οποίο ο οδηγός ενημερώνεται για διαθέσιμη θέση στάθμευσης μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 6: Έξυπνη πόλη

Πηγή: <http://www.mindigital.gr/index.php/41-ggsp/media/2070-eksypnes-poleis-arthro-g-g-psifiakis-politikis-steliou-ralli-sto-ape-be>

3.4.3 Internet of Medical Things (IoMT)

Το Internet of Medical Things περιγράφει την αλληλεπίδραση διαφόρων τερματικών για επεμβατικές λύσεις πάνω στον τομέα της υγείας σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, κάποιος ασθενής ο οποίος πάσχει από σακχαρώδη διαβήτη έχει μόνιμα εγκατεστημένο πάνω στο σώμα του ένα μετρητή ο οποίος λαμβάνει δεδομένα για την πορεία της ινσουλίνης στο αίμα, φτιάχνει ένα ατομικό ιστορικό του ασθενούς το οποίο αποστέλλεται σε κατάλληλη μορφή στον θεράπον ιατρό για να δώσει εκείνος με τη σειρά του την πιο ενδεδειγμένη για τον ασθενή θεραπεία. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η εξ αποστάσεως ιατρική με την οποία μπορούν να πραγματοποιηθούν επεμβάσεις σε ασθενείς χωρίς ο γιατρός να έχει φυσική παρουσία στο χώρο αλλά να ελέγχει την όλη διαδικασία από απόσταση.

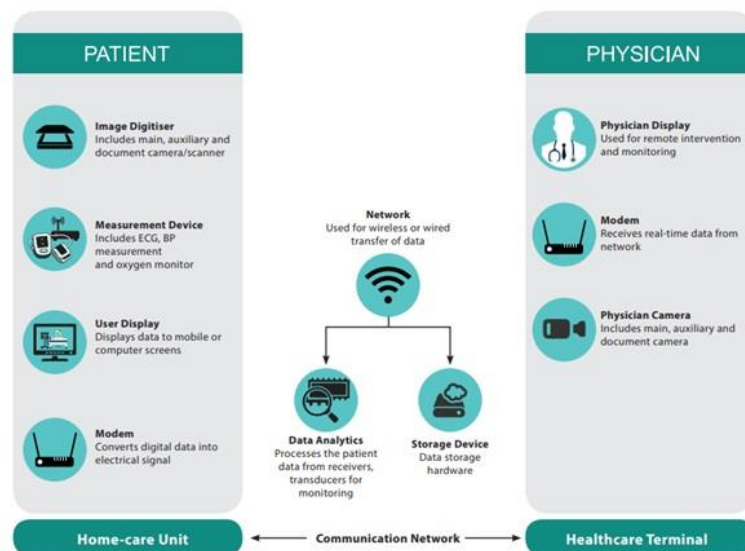
Αυτά βεβαίως είναι μερικά παραδείγματα της κατηγορίας IoMT τα οποία όμως δίνουν τεράστιες δυνατότητες μείωσης του υγειονομικού κόστους περίθαλψης ενώ παράλληλα αυξάνουν την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Ολόκληρο το σύστημα του IoMT έχει δομηθεί σε τρία επίπεδα. Τις τοπικές συσκευές, τη συνδεσιμότητα και διαχείριση των δεδομένων και τέλος την ανάλυση δεδομένων.

Στο πρώτο επίπεδο, οι τοπικές συσκευές περιέχουν συνήθως αισθητήρες που αντλούν δεδομένα από λειτουργικές παραμέτρους του ασθενούς, μετατροπείς που δημιουργούν ψηφιακές εισόδους, ελεγκτές που λαμβάνουν αποφάσεις την ίδια τη στιγμή της μέτρησης και συνδέσεις διαδικτύου για να ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλα τερματικά ή κεντρικούς εξυπηρετητές.

Στο δεύτερο επίπεδο δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη συλλογή δεδομένων και την αποθήκευσή τους σε προκαθορισμένες αποθήκες δεδομένων που βρίσκονται συνήθως στο cloud ή σε κάποιον σκληρό δίσκο ενσωματωμένο στις φορητές συσκευές. Ένα ιδιαίτερο θέμα που θίγεται σε αυτό το επίπεδο είναι το επίπεδο συνδεσιμότητας καθώς οι ιατρικές συσκευές δεν είναι στατικές αλλά κινητές. Συνεπώς, αυτή η κινητικότητα προκαθορίζεται σχεδόν πάντα από τους παρόχους που προσφέρουν υπηρεσίες ασύρματης δικτύωσης με το διαδίκτυο. Καθοριστικό σημείο προς αναφορά θα αποτελέσει το νέο δίκτυο 5G το οποίο θα προσφέρει αδιάλειπτη και απρόσκοπτη σύνδεση των ιατρικών συσκευών από οπουδήποτε.

Στο τρίτο επίπεδο της ανάλυσης δεδομένων και λύσεων, ένας διακομιστής συλλέγει δεδομένα από διάφορες συσκευές συνδεδεμένες με το δίκτυο. Ο συγκεκριμένος διακομιστής έχει ενσωματωμένους αλγόριθμους οι οποίοι αναλύουν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο παρέχοντας ταυτόχρονα προτάσεις³².

³² <https://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/ic.2011.0036>



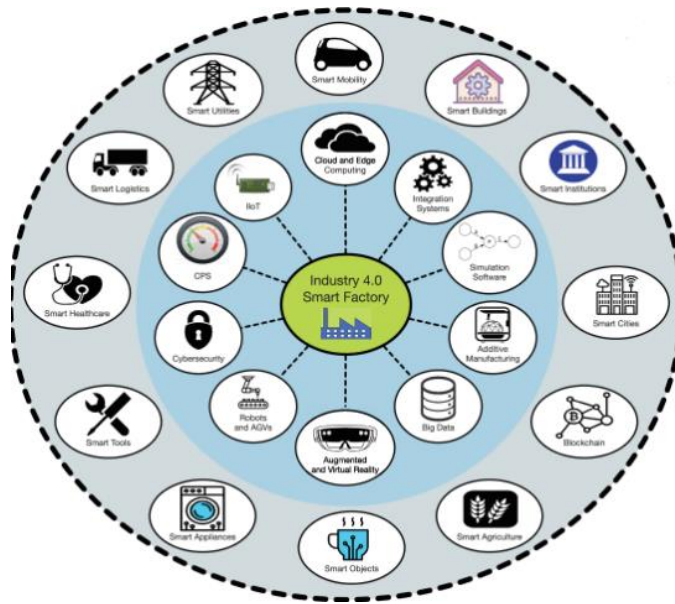
Εικόνα 7: Πώς λειτουργεί το Internet of Medical Things
 Πηγή: <https://www.octalsoftware.co.uk/blog/iomt-future-of-healthcare/>

3.4.4 Internet of Things στη βιομηχανία

Μια από τις προκλήσεις της βιομηχανίας είναι η δημιουργία κάθετων δικτύων που συνδέουν με ευφυή τρόπο τα συστήματα παραγωγής με τις ομάδες σχεδιασμού, τους προμηθευτές και το σημείο πώλησης. Για να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο πρέπει να συλλέγονται πληροφορίες από μηχανές και προϊόντα σε ένα έξυπνο εργοστάσιο. Τα τελευταία, είναι πλήρως συνδεδεμένα και κάνουν χρήση σταθερών ροών δεδομένων από λειτουργίες και συστήματα παραγωγής. Σε αυτά τα σενάρια βασικό ρόλο στον εντοπισμό και παρακολούθηση των αντικειμένων είναι η προσθήκη ετικετών τύπου γραμμωτού κώδικα, QR κώδικα καθώς και RFID ετικετών. Η τελευταία πάντως τάση είναι οι έξυπνες ετικέτες με ενσωματωμένη τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας, ενεργειακά αποδοτικές οθόνες και αισθητήρες. Αυτό επιτρέπει τον εξ αποστάσεως εντοπισμό των αντικειμένων ενεργοποιώντας συγκεκριμένα γεγονότα ή εκτελώντας μια σειρά ενεργειών.

Σε γενικές γραμμές, οι πιθανές αλληλεπιδράσεις και συσχετίσεις που μπορούν να δημιουργηθούν είναι αμέτρητες και βιομηχανικά σενάρια όπως τα αντικείμενα να επικοινωνούν μεταξύ τους με εργαλεία, μηχανές, απομακρυσμένους υπολογιστές ή εργαζόμενους είναι εφικτά³³.

³³ Tiago M. Fernández-Caramés, Paula Fraga-Lamas, «A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry|», Publisher: IEEE,



Εικόνα 8. Εφαρμογές του IoT στη βιομηχανία

Πηγή: https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8355491/fraga1-2833501-small.gif

3.5 Πώς συνδέεται το 5G με το Internet of Things

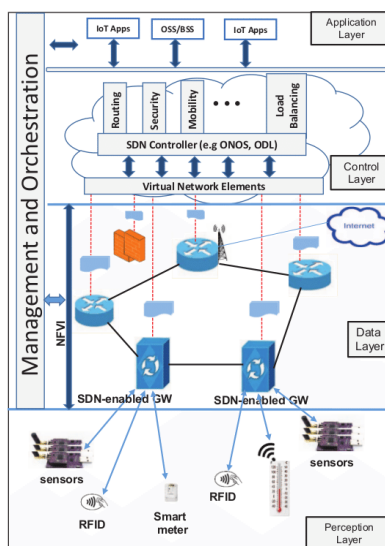
Μέχρι σήμερα στην τεχνολογία του IoT χρησιμοποιείται η τεχνολογία τέταρτης γενιάς (4G) ενώ ταυτόχρονα συνεχώς εξελίσσεται για να μπορεί να ανταποκριθεί στις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών. Για να μπορέσει να δουλέψει σωστά η αρχιτεκτονική του IoT προϋποθέτει να υπάρχουν ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων μεγαλύτερες των 25Mbps, με μικρές καθυστερήσεις στις αποκρίσεις αιτημάτων και στη διασύνδεση μεταξύ των συσκευών ενώ την ίδια στιγμή η ασφάλεια στη μεταφορά της πληροφορίας είναι πολύ σημαντική. Τέλος, οι συσκευές πρέπει να μην καταναλώνουν πολύ ενέργεια, να ανταπεξέρχονται σε όλα τα αιτήματα και να υποστηρίζουν την κινητικότητα.³⁴

Μέχρι στιγμής, όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική που θα ακολουθήσουν τα δίκτυα πέμπτης γενιάς αλλά αντίθετα έχουν προταθεί αρκετά μοντέλα που θα ικανοποιούν όλες τις δεσμεύσεις που έχουν θέσει δίκτυα αυτά. Μερικά από τα μοντέλα αυτά τυγχάνει να εξυπηρετούν και τις δομές του IoT.

³⁴ Li, S., Xu, L. D. & Zhao, S. 5G Internet of Things: A survey. J. Ind. Inf. Integr. 10, 1–9 (2018)

3.5.1 Μοντέλο NFV

Το NFV μπορεί και διαχωρίζει το φυσικό επίπεδο δικτύωσης σε πολλά διαφορετικά επίπεδα στα οποία διαφορετικές συσκευές δημιουργούν επί μέρους δίκτυα ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών και των εφαρμογών. Λόγω της της δομής του προσφέρει μεγαλύτερες ταχύτητες δικτύου, μεγαλύτερο εύρος ζώνης και επιφάνεια κάλυψης ώστε οι εφαρμογές και οι συσκευές να επικοινωνούν απρόσκοπτα και αδιάλειπτα.

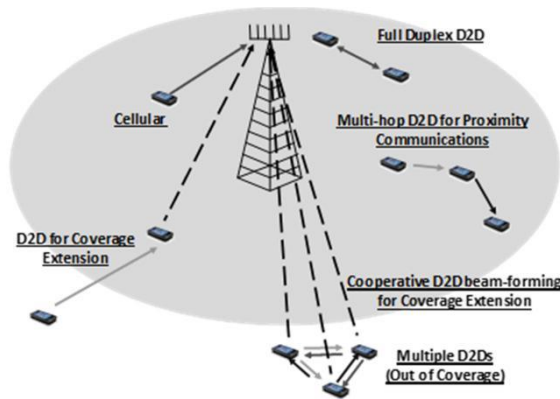


Εικόνα 9. Πώς λειτουργεί το NFV στο IoT

Πηγή: RessearchGate, https://www.researchgate.net/figure/Overview-of-SDN-NFV-and-IoT-usage-13_fig3_322404798

3.5.2 Μοντέλο ετερογενών δικτύων

Το μοντέλο των ετερογενών δικτύων υποστηρίζει τη δικτύωση μεταξύ συσκευών με διαφορετικό λογισμικό, λειτουργικό σύστημα ή πρωτόκολλο επικοινωνίας. Επίσης, συνδέει και ασύρματα δίκτυα που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης. Το μοντέλο αυτό προτάθηκε για να εξυπηρετηθούν τα αιτήματα κατά απαίτηση (on demand) των 5G & IoT εφαρμογών. Σε αυτού του είδους τα δίκτυα υποστηρίζεται και η σύνδεση των συσκευών μεταξύ τους (Device to Device) καθώς σε μικρές αποστάσεις προσφέρει μικρή κατανάλωση ενέργειας, εξομάλυνση φορτίου και καλύτερη ποιότητα μετάδοσης. Αυτά συμβαίνουν γιατί δεν απαιτούνται σταθμοί βάσης.



Εικόνα 10. Device to Device communications for 5G – IoT

Πηγή: <https://5gbook.org/2016/11/11/device-to-device-communications-for-5g-networks-utilizing-social-awareness/>

4. Συμπεράσματα

Τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G), προβλέπεται να είναι μία τεχνολογική επανάσταση αρκετά συγκρίσιμη με την δημιουργία του διαδικτύου. Διαδίκτυο παντού, συσκευές που επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν δεδομένα και πληροφορίες, γρήγορη πρόσβαση και έλεγχος των χρηστών από οπουδήποτε, εξέλιξη σε επιστήμες όπως τηλειατρική και βιομηχανία είναι μερικά από τα οφέλη που θα έχουν οι χρήστες της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Αν και δεν υπάρχει ακόμα συγκεκριμένη αρχιτεκτονική και μοντέλο που να περιγράφει τη δομή του δικτύου 5G καθώς επισήμως θα παρουσιαστεί στο εμπόριο μέσα στο 2020, έχουν προταθεί αρχιτεκτονικές δικτύωσης όπως το Fronthaul & Backhaul, το SDN & NFV και τέλος η mmWave δικτύωση που μπορούν να καλύψουν όλες τις προδιαγραφές που υπόσχονται να υλοποιήσουν τα δίκτυα πέμπτης γενιάς σε εύρος ζώνης, ταχύτητες και αδιάλλειπτη σύνδεση με υψηλές ταχύτητες δεδομένων.

Το τελευταίο στάδιο που βρίσκεται σε εξέλιξη, είναι η δημιουργία των πρωτοκόλλων ασφάλειας έτσι ώστε να καταστεί το δίκτυο 5G απόλυτα ασφαλές με την εξάλιψη τρωτών σημείων και τη δημιουργία επιπλέον ασφάλειας τόσο στο υλικό όσο και στο λογισμικό κομμάτι προσαρμοσμένο στις νομοθετικές διατάξεις κυρίως της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Τέλος, παρατηρούμε ότι στη διάρκεια ύπαρξης των τηλεπικοινωνιακών δικτύων υπάρχει ένας δεκαετής κύκλος ζωής του κάθε μοντέλου προτού υπάρξει κάποιο νέο το οποίο καλύπτει τα κενά του προηγούμενου. Χωρίς καμία αμφιβολία τολμάμε να προβλέψουμε με την παρούσα πτυχιακή εργασία, ότι το 5G δίκτυο είναι μια τεχνολογία που ήρθε για να μείνει για αρκετά μεγαλύτερο διάστημα σε σχέση με τους προκατόχους του αναβαθμίζοντας εξαιρετικά την καθημερινότητα των χρηστών του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιώργος Παυλόπουλος “Προτεινόμενη αρχιτεκτονική δικτύων 5G”, Εργασία στο μάθημα “Ευρυζωνικές τεχνολογίες”, Πολυτεχνικής σχολής Πατρών, τμήμα Μηχανολόγων μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστών και πληροφορικής, 2018
2. Δημήτριος Γ. Κυριακίδης, Διπλωματική εργασία «Δίκτυα Υποδομής και Τεχνολογίες Δικτύωσης για Συστήματα 5^{ης} γενιάς», Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, 2017
3. Ηλίας Κ. Σχισμένος, Διπλωματική εργασία «SDN Τεχνολογία, τα δίκτυα στη νέα εποχή», Χαροκόπιο Πανεπιστήμιο, Σεπτέμβριος 2016.
4. Μιχάλης Χατζής, Εμμανουήλ Κουτσουλάφτης, Νίκος Μαϊτός, «Η εξέλιξη του IoT μέσω του VR/AR και πώς διασφαλίζεται μέσω του blockchain», εργασία μαθήματος κινητές & ασύρματες επικοινωνίες μεταπτυχιακού Οικονομικής & Διοίκησης τηλεπικοινωνιακών δικτύων, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2019.
5. Σπανούδη Ευαγγελία, «Ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας κυψελοειδούς δικτύου 1G – 5G», Πανεπιστήμιο Πατρών, τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών υπολογιστών & Πληροφορικής, 2017
6. Παπασταθοπούλου Αλεξάνδρα, «Internet Of Things», Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, 2017
7. Πρόδρομος Παντελίδης. «Η έννοια της έξυπνης πόλης», Διπλωματική εργασία Σχολής κοινωνικών και ανθρωπιστικών επιστημών, Τμήμα οικονομικών επιστημών, Μάθημα Εφαρμοσμένης Οικονομικής Στη διοίκηση Επιχειρήσεων, 2017.
8. B. T and Heath R. W., “Analysis of millimeter wave cellular networks with overlaid microwave communication,” in ASILOMAR Conf. Sig. Sys. Comput., Pacific Grove CA. USA, 2014.
9. J. Wang et al., “Beam codebook based beamforming protocol for multi-Gbps millimeter-wave WPAN systems,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 27, no. 8, pp. 1390–1399, 2009.
10. Li, S., Xu, L. D. & Zhao, S. 5G Internet of Things: A survey. J. Ind. Inf. Integr. 10, 1–9 (2018)

11. Tiago M. Fernández-Caramés, Paula Fraga-Lamas, «A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry|», Publisher: IEEE
12. V. Venkateswaran and A. J. Van Der Veen, “Analog beamforming in MIMO communications with phase shift networks and online channel estimation,” IEEE Trans. Signal Process., vol. 58, no. 8, pp. 4131–4143, 2010
13. X. Zhang, A. F. Molisch, and S. Y. Kung, “Variable-phase-shift-based RF-baseband codesign for MIMO antenna selection,” IEEE Trans. Signal Process., vol. 53, no. 11, pp. 4091–4103, 2005

URL's

1. https://techblog.gr/mobile/20-years-gsm-1st-july-1991-4772/?route=product%2Fproduct&product_id=2520
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_AMPS
3. https://techblog.gr/mobile/20-years-gsm-1st-july-1991-4772/?route=product%2Fproduct&product_id=2520
4. <http://www.kathimerini.gr/945932/article/tecnologia/diaktyo/ti-einai-to-5g-kai-pote-erxetai>
5. <https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download>
6. <https://www.strategyanalytics.com/strategy-analytics/blogs/advanced-semiconductors/2017/01/27/what-if-they-build-5g-and-no-one-comes>
7. <https://www.statista.com/statistics/271405/global-mobile-data-traffic-forecast/>
8. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8001984>
9. <http://5g-crosshaul.eu/>
10. <https://www.rcrwireless.com/20161115/sponsored/fusion-fronthaul-backhaul-means-5g>
11. <https://www.5g-xhaul-project.eu/index.html>

12. <https://www.sdxcentral.com/networking/nfv/definitions/whats-network-functions-virtualization-nfv/>
13. <https://www.itu.int/en/ITU-R/conferences/wrc/Pages/default.aspx>
14. <http://www.itu.int/net/events/eventdetails.asp?eventid=14719>
15. <https://www.youtube.com/watch?v=ZeHGmlbdRLU>
16. <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/o2-aura-artificial-intelligence-ai-customer-service-voice-recognition-a7602716.html>
17. https://cordis.europa.eu/result/rcn/220285_en.pdf
18. <http://gain.di.uoa.gr/spotlight/>
19. <http://gain.di.uoa.gr/spotlight/participants.html>
20. <https://cordis.europa.eu/project/rcn/193906/factsheet/de>
21. <https://5g-mmmagic.eu/project/>
22. <https://5g-ppp.eu/5g-xhaul/>
23. <http://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-connected-digital-single-market/file-5g-action-plan>
24. <https://iot-analytics.com/top-10-iot-segments-2018-real-iot-projects/>
25. <https://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/ic.2011.0036>