



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

< ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ >

< ΙΟΤ ΚΑΙ 5G >

<ΜΠΟΥΡΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ>

A.M <1047180>

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2019

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: <ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ INTERNET OF THINGS>.....	1
1.1 <ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΤΟ ΙΟΤ ΚΑΙ ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ>	1
1.1.1 <ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΙΟΤ>.....	1
1.1.2 <ΘΕΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΙΟΤ>	2
1.2 <ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΟ ΙΟΤ?>	3
1.2.1 <ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΙΟΤ>	3
1.2.2 <ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΟ ΙΟΤ>	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: <ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ>	7
2.1 <ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ 5G ΔΙΚΤΥΟΥ>	7
2.1.1 <ΒΑΣΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ >.....	7
2.1.2 <ΘΕΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ >	8
2.2 <ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ 5G ΔΙΚΤΥΑ > ...	9
2.1.1 <ΚΥΜΑΤΑ ΣΕ MILLIMETERS >.....	9
2.1.2 <SMALL CELSS >	10

2.1.3 < MASSIVE MIMO >	11
2.1.4 < BEAMFORMING >.....	12
2.1.5 < FULL DUPLEX >	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: <ΣΥΝΔΕΣΗ ΙΟΤ ΜΕ 5G ΔΙΚΤΥΑ>	16
3.1 <ΠΩΣ ΤΟ 5G ΙΣΧΥΡΟΠΟΙΕΙ ΙΟΤ ΣΥΣΚΕΥΕΣ>.....	16
3.1.1 < ΕΝΑΡΜΟΝΙΣΗ ΙΟΤ ΚΑΙ 5G >	16
3.2 < ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΛΕΙΔΙΑ ΠΟΥ ΙΣΧΥΡΟΠΟΙΟΥΝ ΤΗΝ ΣΧΕΣΗ 5G-ΙΟΤ >	17
3.2.1 < ΑΡΧΙΤΕΚΤΝΙΚΗ 5G-ΙΟΤ >.....	17
3.2.2 < ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ-NFV >.....	18
3.2.3 < ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ >	19
3.3 <ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 5G - ΙΟΤ>	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: <ΕΠΙΛΟΓΟΣ>	21
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	23

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

- IoT: Internet of Things
- MIT: Massachusetts Institute of Technology
- RFID: Radio Frequency Identification
- LTE: Long-Term Evolution
- DoS: Denial-of-service attack
- GSM: Global System for Mobile Communications
- UMTS: Universal Mobile Telecommunications System
- LTE: Long Term Evolution
- MIMO: Multiple-Input and Multiple-Output
- SDN: Software-Defined Networking
- NFV: Network Function Virtualization
- D2D: Device-to-Device
- 3GPP: 3rd Generation Partnership Project

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: < ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ INTERNET OF THINGS >

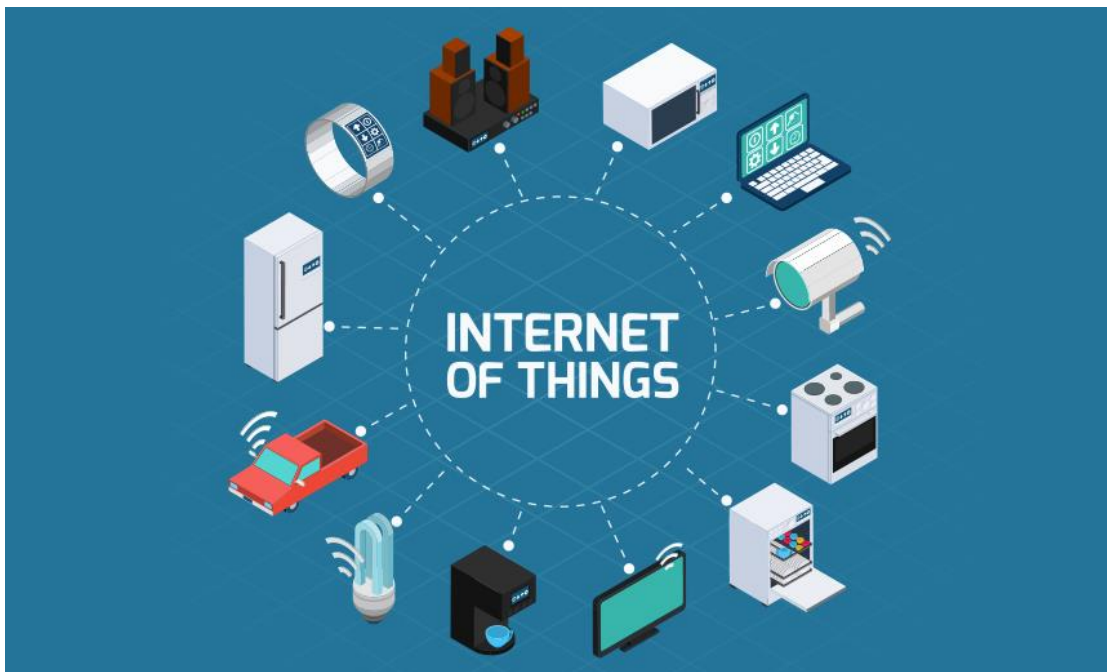
1.1 < Πως λειτουργει το IoT και ποια είναι η χρησιμότητα του >

1.1.1 <Ορισμός του IoT>

Το διαδίκτυο έχει φέρει την επανάσταση και ουσιαστικά έχει αλλάξει ριζικά τις ζωές των ανθρώπων. Πολλές λειτουργίες του έχουν κάνει τις ζωές μας εύκολες, μια από αυτές τις λειτουργίες είναι και το Internet of things.

Το Internet of things μπορεί να θεωρηθεί σαν μια επέκταση της σύνδεσης στο διαδίκτυο σε φυσικές συσκευές και αντικείμενα καθημερινής χρήσης. Αποτελεί ακόμα το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας συσκευών, οικιακών συσκευών, αυτοκινήτων καθώς και κάθε αντικείμενου που ενσωματώνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων. Απλούστερα, η φιλοσοφία του είναι η σύνδεση όλων των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους (τοπικό δίκτυο) ή με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο.

Το internet of things είναι μία από τις τρεις κορυφαίες τεχνολογικές εξελίξεις της επόμενης δεκαετίας και αποτελεί το επόμενο μεγάλο βήμα στον χώρο της τεχνολογίας. Ο όρος Internet of Things επινοήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990 από τον επιχειρηματία Kevin Ashton. Ο Ashton, ο οποίος είναι ένας από τους ιδρυτές του Auto-ID center στο MIT, ήταν μέρος μιας ομάδας που ανακάλυψε τον τρόπο να συνδέσει τα αντικείμενα με το Διαδίκτυο μέσω μιας ετικέτας RFID.¹



Εικόνα 1.1: Συσκευές που υπερετούν το IoT ²

1.1.2 <Θετικά και Αρνητικά στοιχεία του IoT>

Κάθε τεχνολογία έχει σκοπό να κάνει την ζωή των ανθρώπων εύκολη έτσι και το Internet of Things έχει μερικές θετικές πτυχές. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα είναι ότι γλιτώνει χρόνο από τον άνθρωπο καθώς κάποιες λειτουργίες επιτυγχάνονται αυτόματα χωρίς να χρειάζεται ανθρώπινη παρέμβαση. Παράλληλα ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι με την χρήση του Internet of Things, διάφορες συσκευές μπορούν να παρακολουθούν την κίνηση που υπάρχει σε δρόμους, την ποιότητα του αέρα να προειδοποιούν τους ανθρώπους για διάφορα θέματα μέσα στην πόλη, συμβάλλοντας στην ομαλή λειτουργία της. Τέλος το άτομο έχει την ικανότητα πλέον να χειρίζεται με μία συσκευή (κινητό τηλέφωνο) άλλες συσκευές, με αποτέλεσμα να είναι η ζωή του πιο εύκολη.³

Βέβαια εκτός από τα θετικά στοιχεία υπάρχουν και αρνητικές επιπτώσεις που είναι ανάγκη να αναλυθούν. Αρχικά με τον μεγάλο όγκο δεδομένων που μεταδίδεται υπάρχει κίνδυνος να χαθεί η ιδιωτικότητα των χρηστών, γιατί τα δεδομένα δεν γνωρίζουμε ακριβώς που στέλνονται και ποιοι τα χρησιμοποιούν. Επιπλέον όλες οι συσκευές συνδέονται στο διαδίκτυο και πραγματοποιούν αυτόματα χειρισμούς.

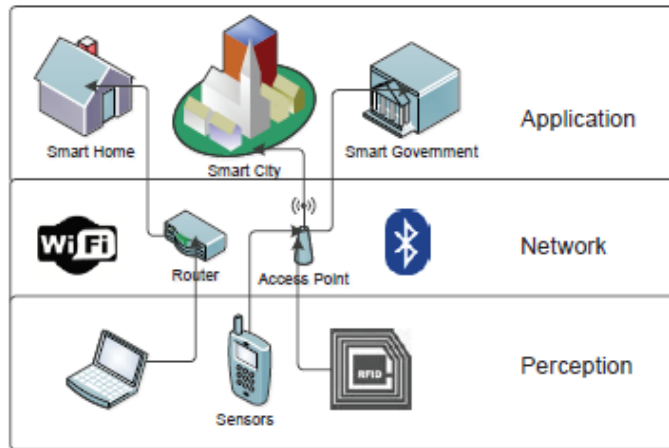
Υπάρχει περίπτωση κάποιοι να «σπάσουν» αυτές τις συσκευές και το άτομο να χάσει διάφορα προσωπικά δεδομένα αλλά και χρήματα. Τέλος στο να συνδεθούν όλες οι συσκευές και να χειρίζονται από μια, είναι όχι ακατόρθωτο αλλά περίπλοκο.⁴

1.2 < Υπαρχει ασφαλεια στο IoT?>

1.2.1 <Αρχιτεκτονική του IoT>

Το σημαντικότερο ερώτημα που δημιουργείται είναι αν τελικά υπάρχει ασφάλεια στο IoT. Η απάντηση σε αυτό είναι δύσκολη και θα πρέπει να αναλυθούν πολλοί παράγοντες. Αρχικά για να κατανοήσουμε καλύτερα την ασφάλεια χρειάζεται να αναλυθεί η αρχιτεκτονική του IoT. Αν και υπάρχουν πολλές διάφορες αρχιτεκτονικές η επικρατέστερη είναι αυτή που έχει τρία επίπεδα. Αυτά είναι το επίπεδο αντίληψης, το επίπεδο δικτύου και το επίπεδο εφαρμογής.⁵

Το πρώτο πεδίο που αλλιώς ονομάζεται και επίπεδο αισθητήρων, είναι υπεύθυνο για να βρίσκει ,να μαζεύει και να αναλύει τα δεδομένα που λαμβάνει από το περιβάλλον με την βοήθεια των αισθητήρων. Τέλος αυτά τα δεδομένα τα στέλνει στο επόμενο επίπεδο που είναι αυτό του δικτύου. Το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για την δρομολόγηση, την σύνδεση συσκευών και την μετάδοση δεδομένων σε διάφορες συσκευές IoT πάνω στο διαδίκτυο. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται με την βοήθεια του cloud αλλά και άλλων τεχνολογιών όπως το WiFi, το LTE, το Bluetooth. Τέλος στο επίπεδο εφαρμογής ουσιαστικά δημιουργείται το έξυπνο περιβάλλον και ελέγχεται η εμπιστευτικότητα των δεδομένων.⁵



Εικόνα 1.2: Περιγραφή Μοντέλου IoT⁵

1.2.2 <Ασφάλεια στο IoT>

Κάθε επίπεδο στο IoT είναι ευάλωτο από διάφορες απειλές που υπάρχουν στο περιβάλλον. Αυτές οι απειλές μπορεί να είναι ενεργές, δηλαδή να σταματήσει η λειτουργία της συσκευής ή μπορεί να είναι παθητικές, δηλαδή η συσκευή να είναι υπό παρακολούθηση κάποιου τρίτου προσώπου. Παρακάτω αναλύονται τα τρωτά σημεία κάθε επιπέδου ως προς την ασφάλεια του.

Αρχικά το επίπεδο αισθητήρων, είναι ευαίσθητο σε πολλές απειλές αφού αποτελείται από πολλούς αισθητήρες που σε συνδυασμό με την χωρητικότητά τους, αλλά και την υψηλή κατανάλωση ενέργειας έχουν περιορισμένες δυνατότητες. Επίσης η εμπιστευτικότητα σε αυτό το επίπεδο μπορεί εύκολα να κατακρευρηθεί, αφού υπάρχει περίπτωση ο επιτιθέμενος να αναλάβει τον έλεγχο κάποιων συσκευών αισθητήρων και να παρακολουθεί όλα τα δεδομένα που λαμβάνονται εκεί. Το επίπεδο δικτύου μπορεί να πέσει εύκολα θύμα επιθέσεων DoS, αλλά και άλλων επιθέσεων που υπονομεύουν την ιδιωτικότητα όπως η ανάλυση πακέτων, η υποκλοπή αυτών και η παθητική παρακολούθηση. Ακόμα τα πρωτόκολλα σύνδεσης συσκευών μεταξύ τους, δεν είναι ακέραια, με αποτέλεσμα να υπάρχουν κενά στην μεταφορά δεδομένων από μια συσκευή σε μία άλλη. Τέλος στο επίπεδο εφαρμογής είναι ανάγκη να βρεθεί

έναν τρόπο που η κάθε συσκευή θα ελέγχεται αποκλειστικά και μόνο από τον χρήστη και όχι από κάποιο τρίτο πρόσωπο.⁵

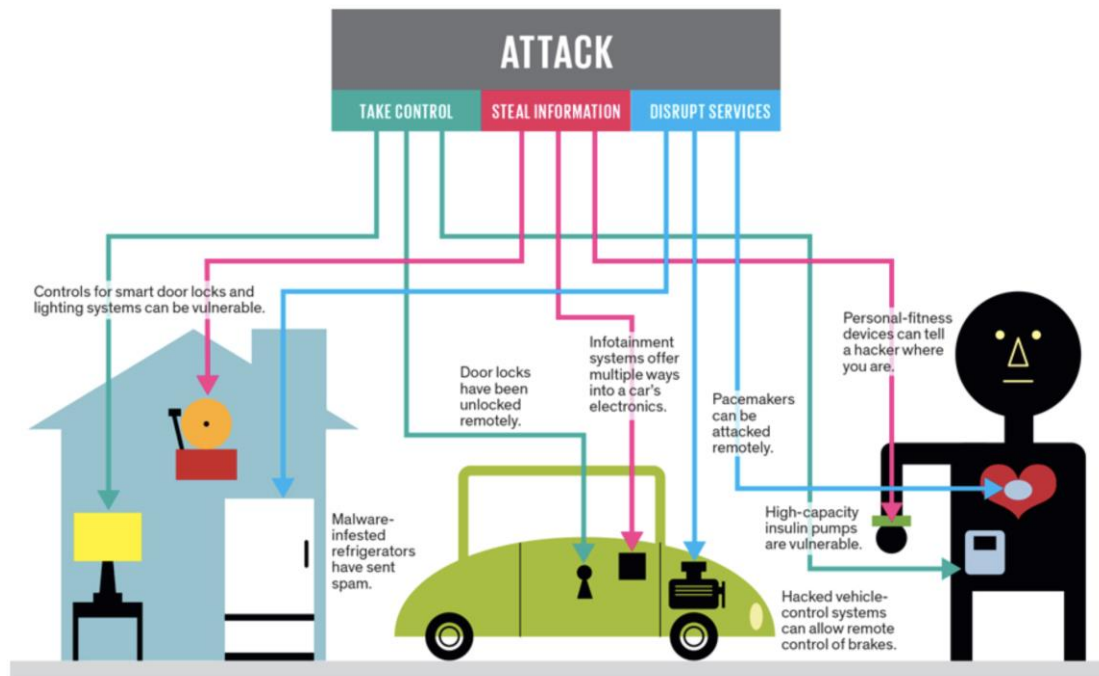


Illustration: J. D. King

Εικόνα 1.3: Ελέγχος διάφορων συσκευών από κακόβουλο υλικό⁶

Βέβαια έχει γίνει προσπάθεια τα τελευταία χρόνια να εξαλειφθούν όσο το δυνατόν περισσότερα τα ελαττώματα που υπάρχουν στην εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα του ΙοΤ. Όλο αυτό έγινε ώστε να μπορεί η παραπάνω τεχνολογία να εναρμονιστεί με τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ>

2.1 <Πλεονεκτήματα 5G Δικτύων>

2.1.1 <Βασική Λειτουργία των δικτύων 5^{ης} γενιάς>

Το 5G θεωρείται το 5ης γενιάς δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και παρέχει ευρυζωνική πρόσβαση. Ακολουθεί τα δίκτυα 2ης , 3ης , 4ης γενιάς και τα τις τεχνολογίες που τα απαρτίζουν όπως το GSM, UMTS, LTE, LTE Advanced. ⁷

Το δίκτυο 5ης γενιάς αποτελείται από ψηφιακά κυψελοειδή δίκτυα, στην οποία η περιοχή των υπηρεσιών του καλύπτεται από τους παρόχους και χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές ανάλογα με την γεωγραφία τους που λέγονται κελιά. Αναλογικά σήματα αναπαρίστανται σαν ήχοι ή εικόνες και γίνονται ψηφιακά ώστε να μεταδοθούν σε μια ακολουθία από bit για να είναι «κατανοητές» στις κινητές συσκευές. Οι συσκευές που υποστηρίζουν το 5G σε μια κυψέλη επικοινωνούν μέσω ραδιοκυμάτων με τοπικές κεραιές και έναν πομποδέκτη με χαμηλή ισχύ, πάνω από μια συχνότητα που καθορίζεται ανάλογα την περιοχή. Οι κεραιές συνδέονται με τα τηλεφωνικά δίκτυα και το διαδίκτυο με οπτικές ίνες ή ασύρματες διασυνδέσεις. Όπως συνέβαινε και στα δίκτυα παλαιότερης γενιάς έτσι και σε αυτή, όταν ο χρήστης περάσει από το ένα κελί στο άλλο η κινητή του συσκευή αυτόματα προσαρμόζεται στην κεραία του κοντινότερου κελιού. Οι νέες ασύρματες συσκευές 5G διαθέτουν επίσης δυνατότητα 4G LTE, καθώς τα νέα δίκτυα χρησιμοποιούν 4G για την αρχική σύνδεση με το κελί, καθώς και σε θέσεις όπου δεν υπάρχει πρόσβαση 5G. Τέλος το 5G μπορεί να υποστηρίξει έως και ένα εκατομμύριο συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, ενώ το 4G υποστηρίζει μόνο 4000 συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.⁷



Εικόνα 2.1: Logo του 5G από την 3GPP⁷

2.1.2 <Θετικά και αρνητικά στοιχεία των δικτύων 5^{ης} γενιάς>

Η τεχνολογία 5^{ης} γενιάς μπορεί να αλλάξει την ζωή των ανθρώπων προς τα καλύτερο αλλά και προς το χειρότερο, έτσι είναι ανάγκη να γνωρίζουμε τα θετικά που μπορεί να προσφέρει και τα αρνητικά που μπορεί να παρουσιάσει.

Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς θεωρούνται από πολλούς επαναστατικά, αρχικά ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που προσφέρει η τελευταία γενιά σε σχέση με τις προηγούμενες είναι η ταχύτητα. Η ταχύτητα αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό κάθε νεότερης γενιάς, καθώς κάθε νέα γενιά είναι γρηγορότερη από την προηγούμενη.⁸ Υπολογίζεται ότι ο ρυθμός που θα μεταφέρονται δεδομένα θα είναι μικρότερη από ένα millisecond (συγκριτικά με το 4G δίκτυο που έχει 70ms καθυστέρηση) αλλά και ότι η λήψη δεδομένων από τους χρήστες θα είναι περίπου 20Gbits/sec (σε σύγκριση με το 1Gbit/sec του 4G) ⁹. Επίσης θα υπάρχει χαμηλή καθυστέρηση και η κατανάλωση ενέργειας δεν θα είναι μεγάλη όσο γίνεται χρήση των δικτύων 5^{ης} γενιάς. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα να αυξηθεί ο μέσος όρος ζωής της μπαταρίας και πολλοί υπολογιστές να συνδέονται ταυτόχρονα με μεγάλες ταχύτητες. Ακόμα τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς θα μπορέσουν να αρχίσουν μια νέα αρχή στα έξυπνα σπίτια ή αντικείμενα, ώστε να κάνουν την ζωή των ανθρώπων ακόμα πιο εύκολη.⁸

Από την άλλη πλευρά στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει ότι δεν έχουν αρνητικές πτυχές. Αρχικά το 5G είναι ακόμα σε δοκιμαστική περίοδο και θα θέλει χρόνο να λυθούν προβλήματα με την ασφάλεια των

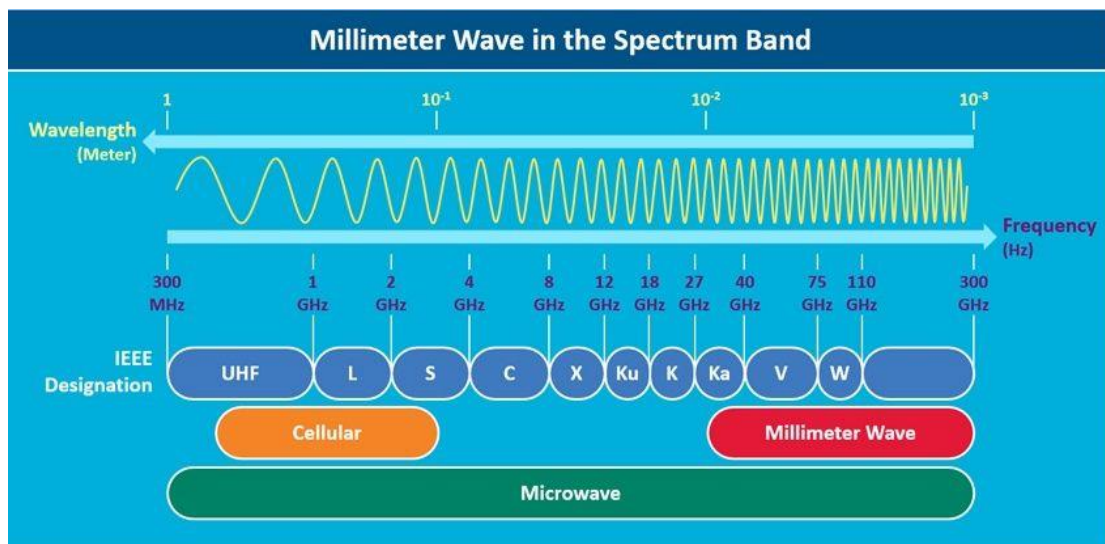
χρηστών αλλά και την ιδιοτικότητα τους. Επιπλέον αυτοί που θα θέλουν να κάνουν χρήση της 5^{ης} γενιάς θα πρέπει να προμηθευτούν και καινούργια κινητά τηλέφωνα που για πολλούς ανθρώπους μέσα στην κρίση αυτό μπορεί να θεωρηθεί πολυτέλεια. Τέλος η παραπάνω τεχνολογία βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο και υπάρχει περίπτωση να έχει διάφορα λάθη στην υλοποίηση του.¹⁰

2.2< Βασικές Τεχνολογίες των δικτύων 5^{ης} γενιάς>

Αν και το 5G δίκτυο είναι ακόμα σε δοκιμαστικό στάδιο και μπορεί να μην έχουν τελειοποιηθεί όλες οι τεχνολογίες, υπάρχουν μερικές από αυτές που έχουν αναπτυχθεί και έχουν κάνει να ξεχωρίζει από τα δίκτυα προηγούμενων γενεών. Αυτές είναι τα κύματα σε millimeters, τα small cells, το Massive MIMO, το Beamforming και το full duplex

2.2.1<Κύματα σε millimeters >

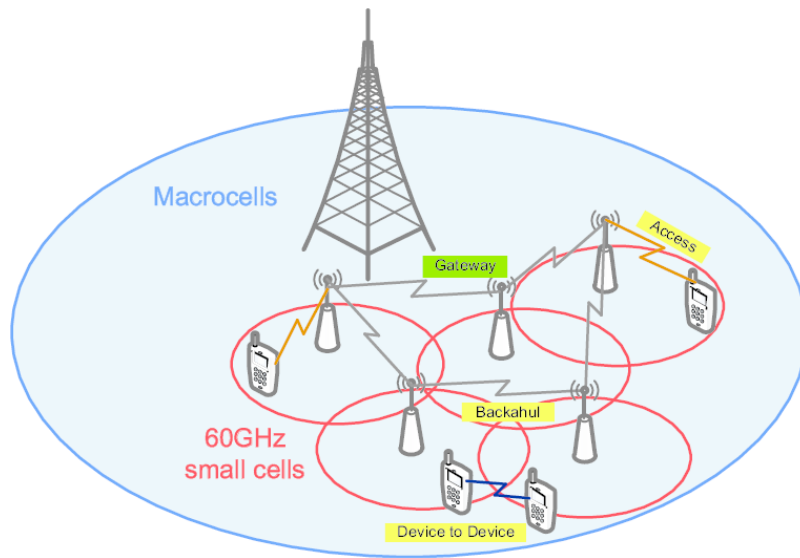
Τα σημερινά ασύρματα δίκτυα αντιμετωπίζουν προβλήματα, καθώς όλο και περισσότερες συσκευές καταναλώνουν πολλά δεδομένα και όλες αυτές παραμένουν στο ίδιο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιούν οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μικρότερο εύρος ζώνης για όλους, προκαλώντας αργή εξυπηρέτηση και μειωμένες συνδέσεις. Το 5G δίκτυο για να περιορίσει αυτό το πρόβλημα εκπέμπει σήματα σε ένα νέο φάσμα που δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας. Αυτό το φάσμα λέγεται κύματα σε millimeters και χρησιμοποιούνται σε δορυφορικές συσκευές αλλά και στα ραντάρ. Τα κύματα αυτά μεταδίδονται σε συχνότητες μεταξύ 30 έως 300 GHz, ενώ στο παρελθόν τα κινητά τηλέφωνα μεταδίδονταν σε συχνότητα κάτω από 6GHz. Ονομάζονται millimeters κύματα, γιατί το μήκος ποικίλει από 1 έως 10mm, σε σύγκριση με τα ραδιοκύματα που εξυπηρετούν τα σημερινά smartphones, τα οποία μετρούν δεκάδες εκατοστά σε μήκος. Βέβαια σε αυτά τα κύματα υπάρχει ένα μεγάλο μειονέκτημα και αυτό είναι ότι δεν μπορούν τα περάσουν μέσα από κτίρια και υπάρχει περίπτωση να εξασθενίσει το κύμα από το νερό της βροχής.⁹



Εικόνα 2.2: Millimeter κύμα στην ζώνη φάσματος¹¹

2.2.2 <Small Cells>

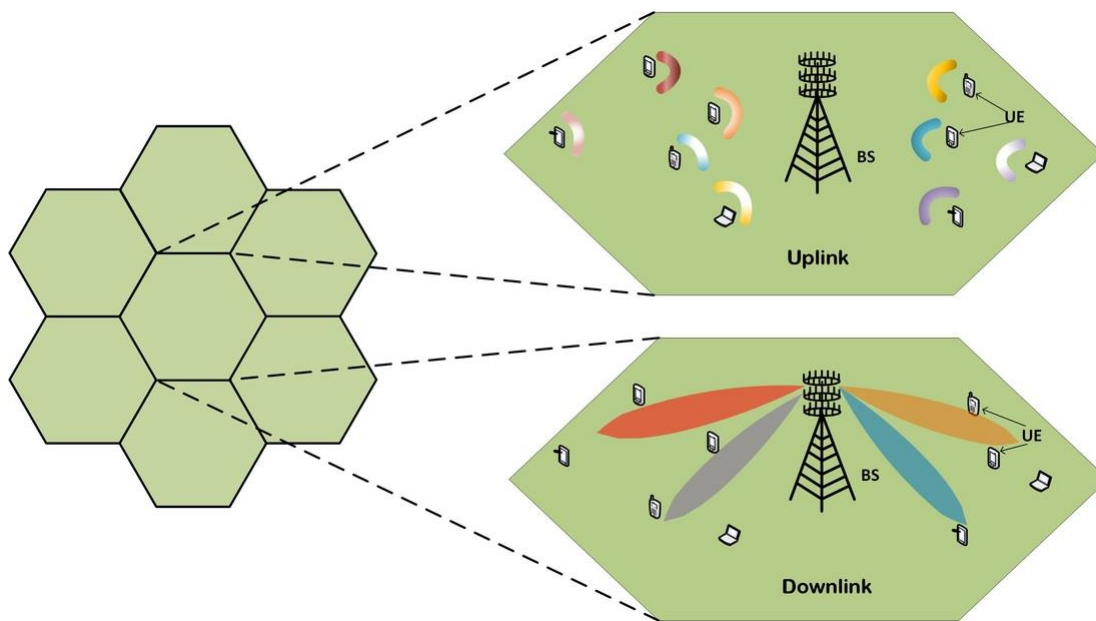
Για να λυθεί το παραπάνω πρόβλημα έχουν αναπτυχθεί τα small cells. Τα small cells είναι φορητοί μικροσκοπικοί σταθμοί που για να λειτουργήσουν απαιτούν ελάχιστη ενέργεια και μπορούν να τοποθετηθούν κάθε διακόσια πενήντα μέτρα μέσα στις πόλεις. Για να αποφευχθεί η πτώση των σημάτων τα φέρονται σήματα θα μπορούσαν να εγκατασταθούν σε χιλιάδες σημεία σε μια πόλη και θα λειτουργούν σαν ομάδα αναμετάδοσης, λήψης σημάτων από άλλους σταθμούς βάσης και αποστολή δεδομένων σε χρήστες σε οποιαδήποτε θέση. Αν και τα παραδοσιακά κυψελοειδή δίκτυα βασίζονται σε έναν αυξανόμενο αριθμό σταθμών βάσης, η επίτευξη επιδόσεων 5G θα απαιτήσει ακόμη μεγαλύτερη υποδομή. Οι κεραιές στα small cells θα είναι μικρότερες από τις παραδοσιακές κεραιές αν μεταδίδουν millimeters κύματα, με αποτέλεσμα να είναι πιο εύκολη η εγκατάσταση αυτών σε κτίρια. Αυτή η αλλαγή της αρχιτεκτονικής του δικτύου θα πρέπει να παρέχει αποτελεσματική χρήση του φάσματος. Έχοντας περισσότερους σταθμούς σημαίνει ότι οι συχνότητες αυτές μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν από άλλο σταθμό σε διαφορετική περιοχή. Εκτός βέβαια από την μεταφορά δεδομένων με millimeters κύματα οι σταθμοί βάσης 5G θα έχουν περισσότερες κεραιές για να εκμεταλλευτούν μια τεχνολογία που λέγεται Massive-MIMO.⁹



Εικόνα 2.3: Πυκνή ανάπτυξη small-cells στα 60Hz¹²

2.2.3 <Massive MIMO>

Οι σημερινοί σταθμοί βάσης 4ης γενιάς διαθέτουν δώδεκα θύρες για κεραιές που χειρίζονται όλη την κυψελοειδή κίνηση, (οκτώ για πομπούς και τέσσερις για δέκτες). Οι σταθμοί όμως των δικτύων 5ης γενιάς μπορούν να υποστηρίξουν περίπου εκατό θύρες, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι ένας σταθμός βάσης μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει σήματα από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Αυτή η τεχνολογία ονομάζεται Massive-MIMO και αποτελεί εξέλιξη της τεχνολογίας MIMO. Το Massive-MIMO έχει δοκιμαστεί μόνο σε εργαστήρια και φαίνεται ότι μπορεί να προσαρμοστεί στα δίκτυα 5ης γενιάς. Όμως η εγκατάσταση πολλών κεραιών προκαλεί παρεμβολές στα σήματα, έτσι χρειάζεται η ενσωμάτωση του beamforming.⁹

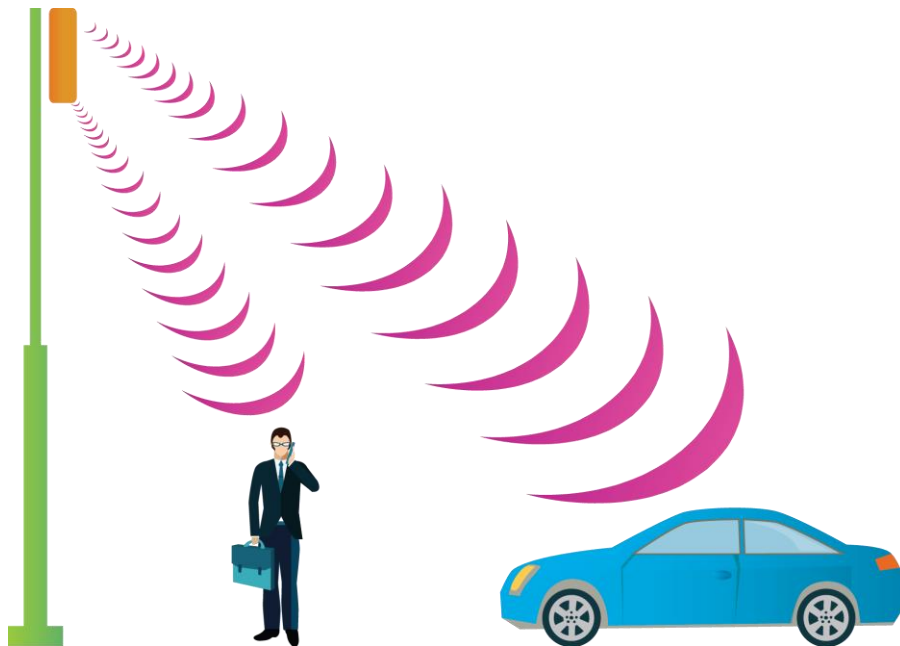


Εικόνα 2.4: Λειτουργία Massive-MIMO¹³

2.2.4<Beamforming>

Το beamforming είναι ένα σύστημα που ρυθμίζει την κυκλοφορία των σημάτων των σταθμών βάσης προς ένα χρήστη, προσφέροντάς του αποτελεσματική διαδρομή παροχή δεδομένων και μειώνει τις παρεμβολές για χρήστες που βρίσκονται στη γύρω περιοχή. Το beamforming μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους στην 5G τεχνολογία. Αρχικά μπορεί να βοηθήσει το Massive-MIMO να κάνει πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος γύρω από αυτό. Μειώνει τις παρεμβολές που μπορούν να υπάρχουν με αποτέλεσμα να μεταδίδεται περισσότερη πληροφορία. Επίσης το beamforming χρησιμοποιείται και στα κύματα «χιλιοστών». Τα κυψελοειδή σήματα εμποδίζονται εύκολα από αντικείμενα και τείνουν να εξασθενίζουν σε μεγάλες αποστάσεις. Σε αυτή την περίπτωση, το beamforming βοηθάει ώστε να υπάρχει εστίαση της κεραίας στον χρήστη, αντί να μεταδίδει σε

πολλές κατευθύνσεις ταυτόχρονα. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να ενισχύσει τις πιθανότητες του σήματος να φτάσει χωρίς θόρυβο στο προορισμό του.⁹



Εικόνα 2.5: Λειτουργία Beamforming¹⁴

2.2.5<Full-Duplex>

Τέλος οι μηχανικοί προσπαθούν να επιτύχουν υψηλή απόδοση και χαμηλή καθυστέρηση που απαιτείται στα δίκτυα 5ης γενιάς. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας τεχνολογίας που λέγεται full duplex, η οποία τροποποιεί τον τρόπο που οι κεραιές παράγουν ή λαμβάνουν σήματα. Εμβαθύνοντας, οι σημερινοί σταθμοί βάσης και τα κινητά τηλέφωνα βασίζονται σε πομποδέκτες που πρέπει να μετακινούνται όταν μεταδίδουν και λαμβάνουν πληροφορίες με την ίδια συχνότητα ή λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες όταν ο χρήστης μεταδίδει και λαμβάνει ταυτόχρονα. Με τα δίκτυα 5ης γενιάς ένας χρήστης θα μπορεί να μεταδίδει και να λαμβάνει δεδομένα ταυτόχρονα με την ίδια συχνότητα. Αυτή λοιπόν η τεχνολογία είναι γνωστή ως full duplex και θα μπορούσε να διπλασιάσει την χωρητικότητα των ασύρματων δικτύων. Για να επιτευχθεί η τεχνολογία full duplex σε προσωπικές συσκευές, οι ερευνητές

πρέπει να σχεδιάσουν ένα κύκλωμα που να μπορεί να δρομολογεί εισερχόμενα και εξερχόμενα σήματα, ώστε να μην συγκρούονται, ενώ μια κεραία μεταδίδει και λαμβάνει ταυτόχρονα δεδομένα. Αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολο λόγω της τάσης των ραδιοκυμάτων να ταξιδεύουν τόσο προς τα εμπρός όσο και προς τα πίσω με την ίδια συχνότητα. Ένα μειονέκτημα της τεχνολογίας full duplex είναι ότι δημιουργεί παρεμβολή στο σήμα. Όταν ένας πομπός εκπέμπει ένα σήμα, το σήμα αυτό είναι πολύ πιο κοντά στην κεραία της συσκευής και συνεπώς πιο ισχυρό από οποιοδήποτε σήμα που λαμβάνει. Η προσδοκία μιας κεραίας να μιλάει και να ακούει ταυτόχρονα είναι δυνατή μόνο με ειδική τεχνολογία ακύρωσης ηχώ.⁹

Με τις παραπάνω τεχνολογίες οι επιστήμονες ελπίζουν να καταφέρουν όλα τα θετικά στοιχεία, που αναφέρθηκαν παραπάνω για τα δίκτυα 5ης γενιάς. Βέβαια εκτός από αυτά ελπίζουν να χτίσουν και ένα δίκτυο που τα αυτόματα αυτοκίνητα, τα παιχνίδια εικονικής πραγματικότητας αλλά και το Internet of things να βασίζονται πάνω στο δίκτυο 5ης γενιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 < ΣΥΝΔΕΣΗ ΙΟΤ ΜΕ 5G ΔΙΚΤΥΑ >























3.1< Πως το 5G ισχυροποιεί ΙοΤ συσκευές>

3.1.1<Εναρμόνιση ΙοΤ και 5G>

Το ήδη υπάρχον 4ης γενιάς δίκτυο έχει χρησιμοποιηθεί στο ΙοΤ και συνεχώς εξελίσσεται για να μπορέσει να ολοκληρώσει τις απαιτήσεις των χρηστών. Όμως με την υλοποίηση των δικτύων 5ης γενιάς έχει δημιουργηθεί η εντύπωση ότι μπορεί να επιταχύνει την λειτουργία των κινητών συστημάτων, να σταθεροποιήσει την ασφάλεια στις ΙοΤ συσκευές και να αλλάξει το διαδίκτυο ριζικά.

Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική κοινότητα έχει εντείνει τις έρευνες τις στην σύνδεση των δικτύων 5ης γενιάς με αυτό του ΙοΤ. Τα δίκτυα 5ης γενιάς έχουν μεγάλη συνεισφορά στο μέλλον του ΙοΤ, καθώς μπορούν να συνδέσουν πολλές έξυπνες συσκευές που να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Βέβαια για να συνδεθούν οι δύο αυτές τεχνολογίες και να εργαστούν αρμονικά χρειάζονται μερικές προϋποθέσεις. Αρχικά χρειάζεται μεγαλύτερος ρυθμός δεδομένων, καθώς συσκευές ΙοΤ για να δουλέψουν σωστά θα πρέπει να υπάρχει ταχύτητα περίπου στο 25Mbps. Ακόμα πρέπει να υπάρχει χαμηλή καθυστέρηση στην μεταφορά δεδομένων μεταξύ των συσκευών. Στην συνέχεια το 5G-ΙοΤ μοντέλο χρειάζεται να είναι ανθεκτικό και αξιόπιστο τόσο για τις συσκευές όσο και για τους χρήστες. Επιπλέον μεγάλο ρόλο για την αντοχή του μοντέλου στο χρόνο είναι η ασφάλεια του. Είναι ανάγκη να προστατευτεί η σύνδεση και η ιδιοτικότητα, έτσι στο μοντέλο πρέπει να υπάρχει ένα ποιο ανθεκτικό σύστημα. Ακόμα πρέπει οι συσκευές να μην καταναλώνουν αρκετοί ενέργεια, αλλά και οι συσκευές να μεταδίδουν τα μηνύματα τους έγκαιρα χωρίς καθυστερήσεις. Πολλά μηνύματα θα μεταδίδονται και το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυτές τις απαιτήσεις. Τέλος στο

σύστημα πρέπει να υπάρχει κινητικότητα ώστε οι συσκευές να λειτουργούν καλύτερα μεταξύ τους.¹⁵

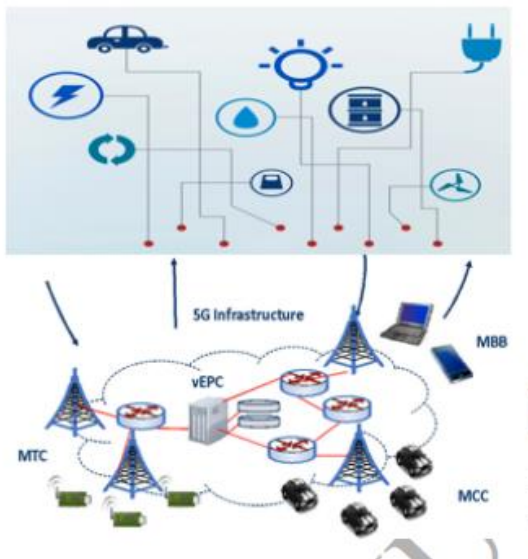
	 Peripheral connectivity	 Local (home) networking	 Wide area networking
Typical range	<30 ft.	<300 ft.	Outdoor (miles)
Content distribution Focus on high data rates Energy consumption secondary	 Bluetooth®	 WiFi  ZigBee  IEEE 802.15.4  GPRS	 LTE  5G  LTE Cat-M  NB-IoT
Sense and control Low energy/long battery life Data rate is secondary	 Bluetooth®	 ZigBee  IEEE 802.15.4	 GPRS
Proprietary solutions	 ANT	 enOcean  Sub-GHz	 LoRa  SIGFOX  INGENU
Typical applications	Personal appliances (wristband, smartwatch, step counter, keyboard, mouse, pointer, etc.)	Indoor networks (internet, email, phone, security, energy management, smart home monitoring, etc.)	Outdoor networks (smartphone, internet, city, industry 4.0, agriculture, smart logistics, etc.)

Εικόνα 3.1: Τεχνολογίες που έχουν σχέση με το μοντέλο 5G-IoT¹⁵

3.2< Στοιχεία κλειδιά που ισχυροποιούν την σχέση 5G-IoT >

3.2.1<Αρχιτεκτονική 5G-IoT>

Βέβαια εκτός από τα παραπάνω υπάρχουν και κάποια άλλα κλειδιά που κάνουν ακόμα πιο ισχυρή την σχέση μεταξύ των δικτύων 5ης γενιάς και του IoT. Μια από αυτές αποτελεί και η αρχιτεκτονική του μοντέλου, Αν και έχουν προταθεί πολλές αρχιτεκτονικές η επιστημονική κοινότητα δεν έχει αποφασίσει για μια συγκεκριμένη. Βέβαια η αρχιτεκτονική έχει κάποια επίπεδα. Αυτά είναι το επίπεδο των δεδομένων, που επικεντρώνεται στην συλλογή δεδομένων μέσω του SDN. Ενώ το άλλο επίπεδο είναι αυτό του ελέγχου και αποτελείται από εργαλεία διαχείρισης δικτύου.¹⁵



Εικόνα 3.2: Αρχιτεκτονική του 5G-IoT μοντέλου¹⁵

3.2.2<Τεχνολογία-NFV>

Επίσης μια ακόμα σημαντική τεχνολογία που μπορεί να βοηθήσει το μοντέλο 5G-IoT είναι το NFV. Το NFV έχει ως στόχο να δώσει στο μοντέλο την ευελιξία αλλά και επεκτασιμότητα που χρειάζεται, ώστε να δημιουργηθούν προγραμματιζόμενα δίκτυα για 5G-IoT εφαρμογές. Συγκεκριμένα το NFV έχει την ικανότητα να διαχωρίσει το φυσικό επίπεδο σε πολλά διαφορετικά ιδεατά, στα οποία οι συσκευές θα μπορούν να δημιουργούν δίκτυα ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών. Επίσης θα παρέχει βελτιστοποίηση στα δίκτυα, μεγαλώνοντας την ταχύτητα του δικτύου, την χωρητικότητα και την κάλυψη, ώστε οι εφαρμογές να μπορούν με ευκολία να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις τους¹⁵.



Εικόνα 3.3: Λειτουργία NFV τεχνολογίας¹⁵

3.2.3<Ετερογενή Δίκτυα>

Μια ακόμα τεχνολογία που μπορεί να έχει καθοριστικό ρόλο στο 5G-IoT μοντέλο είναι τα ετερογενή δίκτυα. Με τον όρο ετερογενή δίκτυα εννοούμε τα δίκτυα που ενώνουν υπολογιστές και άλλες συσκευές με διαφορετικό λειτουργικό σύστημα ή πρωτόκολλο. Επίσης ο παραπάνω όρος χρησιμοποιείται και στα ασύρματα δίκτυα κάνοντας χρήση διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης. Τα δίκτυα αυτά προτάθηκαν για να μπορέσουν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις κατά απαίτηση (on-demand) στις 5G-IoT εφαρμογές. Τέλος μια άλλη τεχνολογία που βοηθάει είναι η απευθείας σύνδεση συσκευών μεταξύ τους (D2D). Σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ των συσκευών προτείνεται αυτή η τεχνολογία, καθώς μπορεί να ωφελήσει το 5G-IoT στα θέματα τις κατανάλωσης ενέργειας, στην εξισορρόπηση φορτίου και στην καλύτερη ποιότητα των άκρων. Η τεχνολογία το D2D επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων χωρίς την χρήση των σταθμών βάσης. Οι περισσότερες συσκευές στο IoT (~60%) απαιτούν χαμηλή ενέργεια στην λειτουργία τους, περισσότερη ζωή μπαταρίας και μεγαλύτερη συνδεσιμότητα. Με βάση τα προηγούμενα φαίνεται ότι η τεχνολογία D2D είναι σημαντική για το 5G-IoT, όμως θα προκαλέσει μια σειρά από προκλήσεις.¹⁵

3.3<Ασφάλεια στο μοντέλο IoT-5G>

Βέβαια εκτός από τα παραπάνω είναι ανάγκη να αναδείξουμε και την ασφάλεια που πρέπει να υπάρξει στο 5G-IoT μοντέλο.

Είναι φανερό πως χρειάζεται ασφάλεια τόσο στις συσκευές όσο και στα επίπεδα του δικτύου, όμως στο σύστημα 5G-IoT η ασφάλεια είναι λίγο περίπλοκη. Για τον προηγούμενο λόγο ακόμα δεν έχει αναπτυχθεί κάτι εντελώς καινούργιο. Έτσι ο οργανισμός πρωτοκόλλων 3GPP απαιτεί κάποιες προϋποθέσεις. Αρχικά η ασφάλεια της συσκευής μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο αλλά και διάφορες κρυπτογραφικές μέθοδοι στα «ψηλά» επίπεδα του IoT. Επίσης μια επεκτάσιμη και ευέλικτη αρχιτεκτονική από το φυσικό επίπεδο θα βοηθήσει στην ασφάλεια. Η αρχιτεκτονική

αυτή θα εστιάσει σε ένα νέο μοντέλο εμπιστοσύνης, διαχείριση ασφάλειας και προστασία προσωπικών δεδομένων. Επίσης χρειάζεται όλες οι συσκευές να μην έχουν ασφάλεια που απαιτεί πολλούς πόρους, καθώς αυτό θα φέρει τα αντίστροφα αποτελέσματα από αυτό που θέλουμε. Η στρατηγική ασφάλειας είναι απαραίτητη στο 5G-IoT μοντέλο με όλα αυτά τα δεδομένα που θα ανταλλάσσονται. Οι επιθέσεις θα στοχεύουν την πρόσβαση σε συσκευές και στον πυρήνα των δικτύων, έτσι οδηγούν τους επιστήμονες να βρουν νέους ριζοσπαστικούς τρόπους ακεραιότητας των δεδομένων.¹⁵

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <ΕΠΙΛΟΓΟΣ>

Σε ένα κόσμο που αλλάζει συνεχώς, έχουμε χρέος να προσαρμοστούμε σε αυτό και να γίνουμε ενεργοί πολίτες. Ακόμα είναι χρέος μας να γνωρίζουμε τις νέες τεχνολογικές καινοτομίες που παρουσιάζονται. Μερικές από αυτές αναλύθηκαν παραπάνω και θα μας απασχολήσουν για πολλά χρόνια.

Είναι ανάγκη να γνωρίζουμε τα θετικά και τα αρνητικά που μπορούν να προσφέρουν τα δίκτυα 5ης γενιάς, επίσης τι το κάνει να ξεχωρίζει από τα δίκτυα προηγούμενων γενεών, αλλά και τις βασικές τεχνολογίες που το διέπουν. Ακόμα αποτελεί χρέος μας να είμαστε σε θέση να καταλάβουμε τις βασικές αρχές του IoT, να αναδειξουμε τα θετικά στοιχεία αλλά και να καταδείξουμε τα αρνητικά του. Επίσης χρειάζεται να γνωρίζουμε τις βασικές έννοιες που το διέπουν, αλλά και την ασφάλεια που παρέχει στους χρήστες. Τέλος πρέπει να δούμε πως οι δύο αυτές τεχνολογίες θα μπορούν να συνδυαστούν αρμονικά, ώστε να μας προσφέρουν άνεση στην καθημερινότητα μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Internet of things. *Wikipedia* (2019).
2. Dell lance un programme partenaires et des offres conçus pour l'IoT - Distributique. Available at: <https://www.distributique.com/actualites/lire-dell-lance-un-programme-partenaires-et-des-offres-concus-pour-l-iot-28069.html>.
(Accessed: 3rd June 2019)
3. 6 Ways You'll Directly Benefit from the Internet of Things. *IEEE Innovation at Work* (2017).
4. What are the advantages and disadvantages of IOT? - Quora. Available at: <https://www.quora.com/What-are-the-advantages-and-disadvantages-of-IOT>.
(Accessed: 3rd June 2019)
5. Mahmoud, R., Yousuf, T., Aloul, F. & Zualkernan, I. Internet of things (IoT) security: Current status, challenges and prospective measures. in *2015 10th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)* 336–341 (IEEE, 2015). doi:10.1109/ICITST.2015.7412116
6. IoT Security: 10 Challenges of Securing IoT Communications. *PubNub* Available at: <https://www.pubnub.com/blog/10-challenges-securing-iot-communications-iot-security/>. (Accessed: 3rd June 2019)
7. 5G. *Wikipedia* (2019).
8. What is the advantage of 5G network over 4G network? - Quora. Available at: <https://www.quora.com/What-is-the-advantage-of-5G-network-over-4G-network>.
(Accessed: 3rd June 2019)

9. Staff, A. N., Kristen Clark and IEEE Spectrum. Everything You Need to Know About 5G. *IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News* (2017). Available at: <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/everything-you-need-to-know-about-5g>. (Accessed: 3rd June 2019)
10. What are the negatives of 5G technology? - Quora. Available at: <https://www.quora.com/What-are-the-negatives-of-5G-technology>. (Accessed: 3rd June 2019)
11. What are Millimeter Waves? - everything RF. Available at: <https://www.everythingrf.com/community/what-are-millimeter-waves>. (Accessed: 3rd June 2019)
12. Fig. 1. Dense deployment of small cells in the 60 GHz band underlying... *ResearchGate* Available at: https://www.researchgate.net/figure/Dense-deployment-of-small-cells-in-the-60-GHz-band-underlying-the-macrocell-network_fig1_273388156. (Accessed: 3rd June 2019)
13. Massive MIMO. *Prof Tharm Ratnarajah* Available at: <http://www.profratnarajah.org/massive-mimo.html>. (Accessed: 3rd June 2019)
14. Beamforming Technology Benefits.
15. Li, S., Xu, L. D. & Zhao, S. 5G Internet of Things: A survey. *J. Ind. Inf. Integr.* **10**, 1–9 (2018).