



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Μαζική επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων και
μηχανών σε δίκτυα 5^{ης} γενιάς**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΜΠΑΤΖΙΔΟΥ ΗΛΕΚΤΡΑΣ
(ΑΕΜ:2790)

Επιβλέπων : Ρίζου Ζωή
Ακαδημαϊκή Υπότροφος

Καστοριά Δεκέμβριος - 2022

Η παρούσα σελίδα σκοπίμως παραμένει λευκή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μαζική επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων και μηχανών σε δίκτυα 5^{ης} γενιάς

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΜΠΑΤΖΙΔΟΥ ΗΛΕΚΤΡΑΣ
(ΑΕΜ:2790)

Επιβλέπων : Ρίζου Ζωή

Ακαδημαϊκή Υπότροφος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ημερομηνία εξέτασης

Νικολάου Σπυρίδων
Λέκτορας

Δόσης Μιχαήλ
Καθηγητής

Ρίζου Ζωή
Ακαδημαϊκή
Υπότροφος

Καστοριά Δεκέμβριος - 2022

Copyright © 2022 – ΑΜΠΑΤΖΙΔΟΥ ΗΛΕΚΤΡΑ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Ως συγγραφέας της παρούσας εργασίας δηλώνω πως η παρούσα εργασία δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και δεν περιέχει υλικό από μη αναφερόμενες πηγές.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου κυρία Ρίζου, για την εμπιστοσύνη και την υπομονή που έδειξε σε όλη τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής μου εργασίας. Όπως επίσης για την πολύτιμη βοήθεια της και καθοδήγησή της.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου που καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου με στήριξαν με διάφορους τρόπους με σκοπό την καλύτερη μόρφωση μου.

Περίληψη

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) αποτελείται από ένα σύστημα πολλών ψηφιακών συσκευών συνδεδεμένων μεταξύ τους αλλά και μηχανών-αντικειμένων, το οποίο προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων διασύνδεσης και διαμοιρασμού πληροφοριών. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι ότι οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο IoT τις περισσότερες φορές μπορούν να αλληλοεπιδρούν κάνοντας μετάδοση και κοινή χρήση δεδομένων χωρίς τη μεσολάβηση του ανθρώπου.

Σήμερα, στην καθημερινότητα μας, χρησιμοποιούμε τις λεγόμενες έξυπνες συσκευές είτε στις οικίες είτε στον χώρο εργασίας μας. Οι έξυπνες συσκευές είναι αποτέλεσμα της εξέλιξης του Internet of Things. Τα τελευταία χρόνια, έχει γίνει σοβαρή προσπάθεια και η τεχνολογία έχει προχωρήσει, δημιουργώντας ασφαλή πρωτόκολλα μετάδοσης και δικτύωσης των συσκευών στο IoT. Βέβαια, η αυξημένη χρήση του διαδικτύου και των έξυπνων συσκευών έχει δημιουργήσει νέες απαιτήσεις από την εξέλιξη των πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως το Bluetooth, το Wi-Fi καθώς και πρόσφατα το 5G (Δίκτυα 5^{ης} γενιάς). Αναλόγως των προδιαγραφών των εκάστοτε περιπτώσεων χρήσης IoT, ανάλογα με την επικοινωνία που επιλέγεται προσφέρει ποικιλότητα σεναρίων ενεργοποίησης ενώ γίνονται και διάφοροι συμβιβασμοί ανάμεσα στην κατανάλωση καθώς και στο εύρος ζώνης. Τα δίκτυα IoT επεκτείνονται καθώς ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών σύντομα (μέχρι το 2024) θα φτάσει τα 3,2 δισεκατομμύρια. Αυτό δημιουργεί ολοένα και περισσότερες ανάγκες, καθώς και γρήγορο αλλά και ασφαλές διαδίκτυο.

Η παρούσα εργασία μελετά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things), εστιάζοντας στα πρωτόκολλα επικοινωνίας των δικτύων 5G. Η εργασία δομείται σε έξι κεφάλαια. Τα πρώτα πέντε κεφάλαια αποτελούν την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και το έκτο κεφάλαιο αποτελεί το πρακτικό μέρος της εργασίας όπου και παρουσιάζεται προσομοίωση λειτουργίας ενός δικτύου 5G με χρήση του λογισμικού MATLAB.

Λέξεις Κλειδιά: 5G, Industry Internet of Things, Internet of Things

Abstract

The Internet of Things (internet of things,) consists of a system of many digital devices connected to each other as well as machines, objects which offers many advantages of interconnection and information sharing. The biggest advantage is that IoT-connected devices can most often interact by transmitting and sharing data without the mediation of human-computer interaction. Today, in our daily life, we use the so-called smart devices either in our homes or in our workplace. Smart devices are a result of the evolution of the Internet of things.

Over the past 12 years, serious effort has been made and technology has advanced, creating secure protocols for transmitting and networking devices in the IoT. Of course, the increased use of the internet and smart devices has created new demands from the evolution of communication protocols, such as Bluetooth, to wi-fi as well as recently 5g (5th generation networks). Although the applications of IoT technologies are diverse the ways of connectivity between devices have been solved. Depending on the specifications of each IoT use case, depending on the chosen communication offers diverse activation scenarios while various trade-offs are made between consumption in range as well as bandwidth.

Internet of Things (IoT) is growing as the number of connected devices will soon (by 2024) reach 3.2 billion. This creates more and more needs as well as fast but also secure internet. This paper studies communication and internet of things protocols, focusing on the communication protocols of 5G networks. The work is structured in six main chapters. The first five chapters are the literature review and the sixth chapter is the empirical part of the work where a simulation of the operation of a 5g network using MATLAB software is presented.

Key Words: *5G, Industry Internet of Things, Internet of Things*

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή.....	1
1. Το IoT και οι Τεχνολογίες του.....	2
1.1 Οι τεχνολογίες του IoT (Internet of Things)	2
1.1.1 Device Hardware	2
1.1.2 Device Software	3
1.1.3 Communications	3
1.1.4 Platform	3
1.2 Λύσεις συνδεσιμότητας στη στοίβα τεχνολογίας IoT	4
1.2.1 Λύσεις δικτύου IoT μικρής εμβέλειας	4
1.2.2 Λύσεις δικτύου IoT μεσαίου εύρους	5
1.2.3 Λύσεις δικτύων μεγάλης εμβέλειας (WAN)	6
2. IoT Protocols.....	9
2.1 Bluetooth	9
2.2 Wi-Fi	10
2.2.1 Wireline/router	10
2.2.2 Mobile hotspot or jetpack	10
2.2.3 Wi-Fi Direct	11
3. 5G Network	12
3.1.1 4G LTE Home Internet	12
3.1.2 5G Home Internet	12
3.1.3 Radio Protocols	12
3.1.4 LTE-A	12
3.2 Ποιός εφηύρε το 5G	13
3.3 Πώς και πότε το 5G θα επηρεάσει την παγκόσμια οικονομία	14
3.4 Που χρησιμοποιείται το 5G	15
3.5 Πώς λειτουργεί το 5G	16
4. 5G Network και IoT.....	17
4.1 Το αντίκτυπο του 5G στο IoT	17
4.1.1 Μεγαλύτερη αξιοπιστία δικτύου	18
4.1.2 Συμβουλές δοκιμών IoT	18
5. Εξέλιξη και Ενεργοποιητές της Βιομηχανίας του IoT.....	20
5.1.1 Πώς λειτουργεί το IIoT	20

5.1.2	Ποιες βιομηχανίες χρησιμοποιούν το IIoT.....	21
5.1.3	Ποια είναι τα οφέλη του IIoT.....	21
5.1.4	Είναι το IIoT ασφαλές.....	22
5.1.5	Ποιοι είναι οι κίνδυνοι και ποιες προκλήσεις του IIoT.....	23
5.1.6	Ποια η διαφορά μεταξύ IoT και IIoT.....	23
5.1.7	Εφαρμογές και παραδείγματα IIoT.....	24
5.2.1	Το μέλλον του IIoT.....	26
6.	Προσομοίωση δικτύου 5G.....	27
6.1.1	Πρωτόκολλο mMTC στην επικοινωνία 5G Δικτύων.....	27
6.1.2	NR Cell Performance Evaluation με MIMO.....	29
6.1.3	Διαμόρφωση Traffic.....	33
6.1.4	Εκτέλεση προσομοίωσης.....	35
	Συμπεράσματα.....	38
	Βιβλιογραφία.....	39

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1- RFID ταινία.....	9
Εικόνα 2- Zigbee	11
Εικόνα 3- Έξυπνο Δίκτυο με χρήση πρωτοκόλλου LTE-CAT M1.....	5
Εικόνα 4- Bluetooth	6
Εικόνα 5- Επίπεδα πρωτοκόλλου LTE-A	7
Εικόνα 6- Η εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών	14
Εικόνα 7- Χρήση πρωτοκόλλου 5G στα δίκτυα επικοινωνίας	17
Εικόνα 8- Εφαρμογή του IoT στην Βιομηχανία (Industrial IoT)	22
Εικόνα 9- Πρωτόκολλο mMTC.....	28
Εικόνα 10- κόμβος (gNB ή UE) -σύνθεση στρωμάτων στοίβας NR	31
Εικόνα 11- Γραφικό αποτέλεσμα εκτέλεσης προσομοίωσης – Σχέση Throughput με χρήση διάφορων κόμβων.....	35
Εικόνα 12- Δείκτες απόδοσης εκτέλεσης προσομοίωσης	36

Λίστα Πινάκων

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία μελετά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things – IoT), εστιάζοντας στα πρωτόκολλα επικοινωνίας των δικτύων 5G. Η εργασία δομείται σε έξι κεφάλαια. Αναλυτικότερα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση των τεχνολογιών που χρησιμοποιεί το Internet of Things. Επίσης, στο ίδιο κεφάλαιο εξετάζονται οι διάφορες κατηγορίες δικτύων όπως μικρής, μεσαίας και μεγάλης εμβέλειας και συγκρίνονται οι δυνατότητές τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στο διαδίκτυο των πραγμάτων και αναλύονται σύντομα η λειτουργία τους. Τα πρωτόκολλα που εξετάζονται είναι το Bluetooth και το Wi-Fi.

Το τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο εξετάζει εκτενώς τα δίκτυα 5G. Ειδικότερα, παρουσιάζονται τα ευρήματα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για τον σκοπό και τον τρόπο λειτουργίας των δικτύων 5G καθώς και τις δυνατότητες σύνδεσης και ταχύτητας καθώς και τις απαιτήσεις τους. Επίσης παρουσιάζονται και κάποια χαρακτηριστικά από προηγούμενες τεχνολογίες προ του 5G. Έπειτα, το πέμπτο κεφάλαιο εστιάζει στην μελέτη των τεχνολογιών του βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων (Industry Internet of Things). Ειδικότερα, εξετάζεται ο σκοπός του IIoT και γίνεται σύγκριση με το παραδοσιακό IoT.

Τέλος στο 6ο κεφάλαιο, παρουσιάζεται προσομοίωση λειτουργίας ενός δικτύου 5G με χρήση του λογισμικού MATLAB. Στο κεφάλαιο των συμπερασμάτων συνοψίζονται τα σημαντικότερα ευρήματα από την εργασία.

1. Το IoT και οι Τεχνολογίες του

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) μπορεί να θεωρηθεί ως μια επέκταση του τρόπου με τον οποίο τα καθημερινά αντικείμενα συνδέονται με το Διαδίκτυο. Λειτουργεί λοιπόν ως δίκτυο επικοινωνίας για πολλές συσκευές για παράδειγμα αυτοκίνητα και οτιδήποτε άλλο χρησιμοποιεί ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα δικτύου για να επιτρέψει την επικοινωνία και την κοινή χρήση δεδομένων. Με απλά λόγια η κατευθυντήρια αρχή του είναι να συνδέει όλες τις ηλεκτρονικές συσκευές μεταξύ τους μέσω ενός τοπικού δικτύου ή μέσω διαδικτύου. Θεωρείται από τις τρεις κορυφαίες τεχνικές εξελίξεις της επόμενης δεκαετίας και αντιπροσωπεύει την επόμενη σημαντική πρόοδο στον τομέα της τεχνολογίας. Ο επιχειρηματίας Kevin Ashton χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τη φράση «Internet of Things» στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Ο Ashton, ένας από τους ιδρυτές του κέντρου Auto-ID του MIT, ήταν μέλος της ομάδας που ανακάλυψε πώς να χρησιμοποιήσει μια ετικέτα RFID για να συνδέσει πράγματα με το Διαδίκτυο.

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) μας δίνει όλο και περισσότερες υποσχέσεις για ένα μέλλον αρκετά διαφορετικό από ότι το φανταζόμαστε: ψυγεία που θα μπορούν να ανανεωθούν αυτόματα κάνοντας παραγγελίες από τοπικά καταστήματα, έξυπνες γέφυρες οι οποίες θα ειδοποιούν για τις διάφορες καιρικές συνθήκες που θα επικρατούν στο δρόμο ή έξυπνες συσκευές που θα παρακολουθούν την κατάσταση της υγείας μας και θα στέλνουν δεδομένα απευθείας σε έξυπνες συσκευές του γιατρού. Ενώ όλα αυτά μπορεί να υπάρχουν στο σύντομο μέλλον θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τον τεράστιο μηχανισμό πίσω από αυτά που κάνουν τα όνειρα πραγματικότητα [1].

1.1 Οι τεχνολογίες του IoT (Internet of Things)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι ένα σύστημα πολλών ψηφιακών συσκευών συνδεδεμένων μεταξύ τους αλλά και μηχανών, αντικειμένων, ζώων ακόμα και ανθρώπων τα οποία διαθέτουν ένα μοναδικό χαρακτηριστικό και μπορούν να αλληλεπιδρούν κάνοντας μετάδοση και κοινή χρήση δεδομένων χωρίς τη μεσολάβηση της αλληλεπίδρασης του ανθρώπου με υπολογιστή. Εξισορροπείται έτσι το χάσμα του φυσικού με τον εικονικό κόσμο, στοχεύοντας στη δημιουργία έξυπνων περιβαλλόντων στα οποία αρχικά τα άτομα και μετέπειτα ολόκληρες οι κοινωνίες θα βιοπορίζονται με άνετο και έξυπνο τρόπο. Το IoT έχει ήδη ενταχθεί στην καθημερινότητά μας και αναμφίβολα θα υπάρξει ραγδαία εξέλιξη μέσα στα επόμενα χρόνια. Θα μπορούσαμε να κατατάξουμε την τεχνολογία IoT σε τέσσερις βασικές κατηγορίες. Αυτές είναι οι εξής: α) Device Hardware , β) Device Software, γ) Communications και δ) Platform , οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

1.1.1 Device Hardware

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελείται από τα αντικείμενα δηλαδή τις διάφορες συσκευές. Αποτελεί διεπαφή του πραγματικού με τον ψηφιακό κόσμο, τα αντικείμενα λοιπόν μπορούν να διαφοροποιούνται τεχνολογικά ανάλογα με την εργασία που υλοποιείται τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή στην συγκεκριμένη ανάπτυξη του IoT. Από τα πιο μικροσκοπικά ,όπως μια καρφίτσα, έως μεγάλες μηχανές όλα σχεδόν τα υλικά αντικείμενα, αλλά και τα έμψυχα, όπως οι άνθρωποι και τα ζώα, μπορούν να αποτελέσουν συνδεδεμένες συσκευές πάνω στο IoT κάνοντας χρήση κατάλληλων οργάνων και αισθητήρων ή και ενεργοποιητών φυσικά με το απαραίτητο λογισμικό για τη συλλογή και μέτρηση δεδομένων. Τα τελευταία επίσης ως εξοπλισμός τηλεμετρίας είναι δυνατόν να αποτελέσουν έξυπνες συσκευές [2].

1.1.2 Device Software

Το Device Software είναι αυτό που αποτελεί θεμέλιο για τις έξυπνες συσκευές καθώς αυτό είναι που τις καθιστά «έξυπνες». Το λογισμικό αυτό ουσιαστικά καθιστά εφικτή την επικοινωνία των συνδεδεμένων συσκευών με το Cloud καθώς επίσης και τη συλλογή δεδομένων αλλά και την ενοποίηση των συνδεδεμένων συσκευών καθώς και την ανάλυση δεδομένων σε ένα δίκτυο IoT σε πραγματικό μάλιστα χρόνο. Επιπροσθέτως είναι υπεύθυνο για την αλληλεπίδραση των χρηστών με το σύστημα IoT σε επίπεδο εφαρμογής καθώς οπτικοποιεί τα δεδομένα [2].

1.1.3 Communications

Εκτός από το λογισμικό και το υλικό μιας συνδεδεμένης συσκευής είναι απαραίτητο και ένα ακόμα επίπεδο αυτό της επικοινωνίας το οποίο είναι υπεύθυνο για τους τρόπους ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των συσκευών που αποτελούν το IoT. Στην πραγματικότητα, το προαναφερθέν επίπεδο ,αυτό της επικοινωνίας, συνδέεται άμεσα με αυτό του υλικού και του λογισμικού αλλά θα πρέπει να θεωρείται ένα ξεχωριστό επίπεδο. Στο επίπεδο επικοινωνίας περιλαμβάνονται εκτός από λύσεις φυσικής συνδεσιμότητας όπως η κυτταρική, η δορυφορική αλλά και η LAN και κάποια επιπλέον πρωτόκολλα των οποίων η χρήση δεν είναι απαραίτητη στα ίδια περιβάλλοντα IoT, αλλά και σε διαφορετικά (ZigBee, Thread, Z-Wave, MQTT, LwM2M). Η επιλογή της κατάλληλης λύσης επικοινωνίας αποτελεί θεμέλιο για την σωστή κατασκευή και λειτουργία της κάθε στοίβας. Η εκάστοτε επιλεγμένη τεχνολογία είναι όχι μόνο υπεύθυνη για τους τρόπους αποστολής και παραλαβής δεδομένων από το Cloud, αλλά και για τον τρόπο με τον οποίο γίνεται διαχείριση των συσκευών και στον τρόπο επικοινωνίας τους με τις διάφορες έξυπνες συσκευές τρίτων [2].

1.1.4 Platform

Δεδομένου του εξοπλισμού της τόσο στο υλικό αλλά και στο λογισμικό μέρος η συσκευή καθίσταται ικανή να «αισθανθεί» τον γύρω της χώρο και να το μεταδίδει στο χρήστη μέσω ενός συγκεκριμένου καναλιού επικοινωνίας. Η IoT πλατφόρμα ορίζεται ως ο χώρος (όχι υλικός) συγκέντρωσης αλλά και επεξεργασίας, διαχείρισης και ανάλυσης

όλων των δεδομένων καθώς και παρουσίασής τους σε ένα περιβάλλον φιλικό προς τον χρήστη το οποίο αποτελεί από τα βασικά ζητούμενα ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο εύκολη η χρήση τους στην καθημερινότητα. Το παραπάνω λοιπόν δεν είναι πολύτιμη λύση για τη συλλογή δεδομένων ή για τη διαχείριση των συσκευών, αλλά σημαντικό κομμάτι είναι η ικανότητά ανάλυσης και συλλογής πληροφοριών οι οποίες λαμβάνονται αποσπασματικά από το επίπεδο επικοινωνίας των συσκευών. Διατίθενται πλέον ποικίλες πλατφόρμες IoT των οποίων η επιλογή γίνεται με βάση τις ανάγκες του εκάστοτε έργου. Κάποιοι ακόμη παράμετροι για την επιλογή πλατφόρμας IoT είναι η αρχιτεκτονική, η στοίβα τεχνολογίας, η αξιοπιστία, οι ιδιότητες προσαρμογής ,τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα, όπως επίσης και η ασφάλεια του κόστους καθώς και η αποτελεσματικότητα. Επιπροσθέτως είναι άξιο λόγου η δυνατότητα εγκατάστασης των πλατφορμών on-premise ή σε cloud. Για παράδειγμα η πλατφόρμα εν ονόματι Coiote IoT Device Management αλλά και η πλατφόρμα IoT της AVSystem — Coiote IoT Data Orchestration έχουν τη δυνατότητα να αναπτυχθούν είτε επιτόπου είτε μέσω cloud.

1.2 Λύσεις συνδεσιμότητας στη στοίβα τεχνολογίας IoT

Παρόλο που οι εφαρμογές των τεχνολογιών IoT είναι ποικίλες οι τρόποι συνδεσιμότητας μεταξύ των συσκευών έχουν λυθεί. Εάν λοιπόν είναι υπό κατασκευή ένα «έξυπνο» σπίτι υπάρχει περίπτωση να ενσωματωθούν αισθητήρες θερμοκρασίας και θέρμανσης ελεγχόμενοι από το smartphone, παρακολουθώντας δηλαδή εξ αποστάσεως τις θερμοκρασίες που επικρατούν στους χώρους σας και να τα ρυθμίζετε προσαρμόζοντας τες σε πραγματικό χρόνο αναλόγως τις ανάγκες σας .Το συγκεκριμένο σύστημα στηρίζεται στο σύστημα IP που ονομάζεται Thread, το οποίο έχει σχεδιαστεί για οικιστικά περιβάλλοντα με συστήματα αυτοματισμού.

1.2.1 Λύσεις δικτύου IoT μικρής εμβέλειας

- **Bluetooth**

Αποτελεί την πιο διαδεδομένη τεχνολογία για συνδέσεις συσκευών σε μικρή εμβέλεια για τις οποίες θεωρείται η βασική λύση , ειδικότερα αποτελεί θεμέλιο για τις φορητές ηλεκτρικές συσκευές για παράδειγμα για την αγορά των ασύρματων ακουστικών ή διάφορων αισθητήρων οι οποίοι πλέον ενσωματώνονται στα smartphones. Καθώς ο σχεδιασμός του πρωτοκόλλου Bluetooth Low-Energy (BLE) βασίζεται στην οικονομική αποδοτικότητα καθώς και τη μείωση της κατανάλωσης απαιτείται ελάχιστη ενέργεια και ισχύς από τη συσκευή. Σχεδιασμένο με γνώμονα την οικονομική αποδοτικότητα και τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, το πρωτόκολλο Bluetooth Low-Energy (BLE) απαιτεί πολύ λίγη ισχύ από τη συσκευή. Το παραπάνω

βέβαια ισχύει για τη μεταφορά δεδομένων μικρών αρχείων καθώς για μεγαλύτερα αρχεία το BLE δεν αποτελεί πάντα μια αποτελεσματική λύση [3].

- **RFID**

Η Αναγνώριση Ραδιοσυχνοτήτων RFID (Radio Frequency Identification) αποτελεί από τις πρώτες εφαρμογές του πρωτοκόλλου IoT προσφέροντας λύσεις εντοπισμού θέσης αντικειμένων, όπως για παράδειγμα επιχειρήσεις όπου χρειάζεται να υπάρχει ενημέρωση σχετικά με την διαχείριση των προϊόντων. Μελλοντικά η τεχνολογία RFID θα ξεπερνάει σαφώς της σημερινές τοπικές υπηρεσίες εφαρμογής. Κάποιες από τις πιθανές θα κυμαίνονται από τον έλεγχο των ασθενών ενός νοσοκομείου για την βελτιστοποίηση της υγειονομικής περίθαλψης έως την παροχή δεδομένων για την ακριβή τοποθεσία εμπορευμάτων σε πραγματικό χρόνο ώστε να υπάρχει πάντα διαθεσιμότητα εμπορευμάτων σε καταστήματα λιανικής [3].



Εικόνα 1. RFID ταινία.

Πηγή: www.mikroe.com/

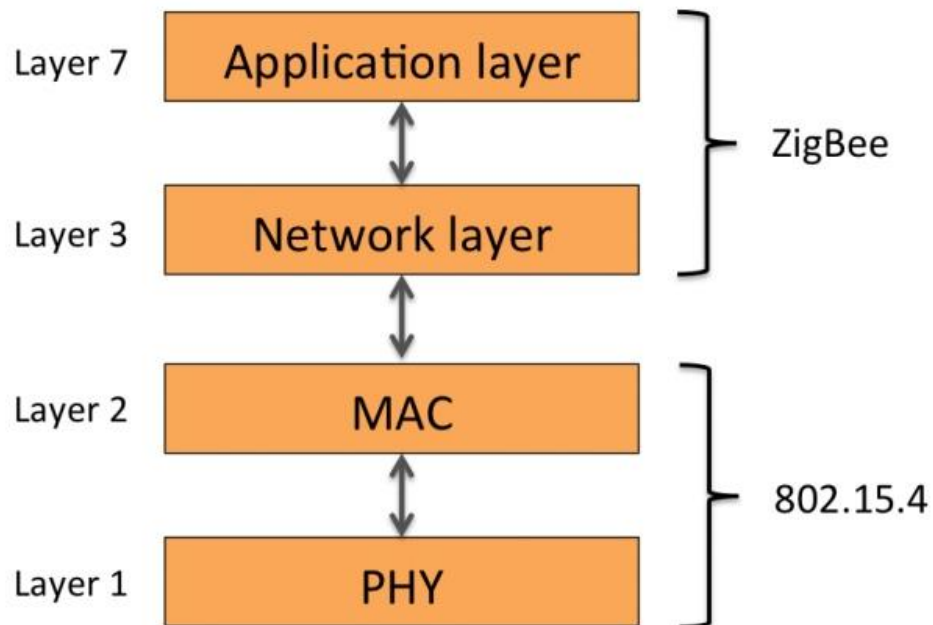
1.2.2 Λύσεις δικτύου IoT μεσαίου εύρους

- **Wi-Fi**

Αναπτύχθηκε με βάση το IEEE 802.11, και αποτελεί από τα πιο γνωστά πρωτόκολλα ασύρματων επικοινωνιών. Η χρήση του στον κόσμο του IoT είναι περιορισμένη διότι υπάρχει ανάγκη από υψηλή ισχύς σήματος καθώς και γρήγορη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων με σκοπό να διατηρηθεί η αξιοπιστία και η γρήγορη συνδεσιμότητα. Ωστόσο παρόλο ότι αποτελεί βασική τεχνολογία και δίνει λύσεις συνδεσιμότητας στη τεχνολογία του IoT, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλες μέθοδοι μάρκετινγκ για να υπάρχει κέρδος από μέρους των παρόχων αλλά και των χρηστών [3].

- **ZIGBEE**

Είναι ένα δημοφιλές πρότυπο δικτύωσης ασύρματου πλέγματος και γίνεται συχνά εφαρμογή σε διάφορα συστήματα που διαχειρίζονται την κυκλοφορία καθώς και οικιακά ηλεκτρικά είδη όπως επίσης χρήση του γίνεται και στη βιομηχανία μηχανών. Βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4 προσφέροντας αξιοπιστία όπως και ασφάλεια καθώς υποστηρίζονται βάση αυτού χαμηλές τιμές ανταλλαγής δεδομένων αλλά και λειτουργία χαμηλής ισχύος [3].



Εικόνα 2. Zigbee.

Πηγή : <https://www.electronicweekly.com/news/design/communications/zigbee-wireless-operates-like-a-location-system-2013-07/>

- **THREAD**

Το παραπάνω είναι σχεδιασμένο για οικιακά προϊόντα έξυπνης τεχνολογίας και χρησιμοποιεί συνδεσιμότητα IPv6 επιτρέποντας τις συνδεδεμένες συσκευές να έχουν επικοινωνία μεταξύ τους, όπως και να υπάρχει πρόσβαση από τις συσκευές σε υπηρεσίες του cloud ή να είναι εφικτή η αλληλεπίδραση με το χρήστη μέσω διάφορων εφαρμογών που υποστηρίζονται σε κινητά Thread. Υπάρχουν ωστόσο και οι επικριτές του Thread οι οποίοι υποστηρίζουν ότι λόγω του κορεσμού της αγοράς μια επιπλέον προσθήκη πρωτοκόλλου επικοινωνίας στα ήδη υπάρχοντα θα οδηγήσει σε μεγαλύτερο κατακερματισμό στη στοίβα τεχνολογίας IoT.

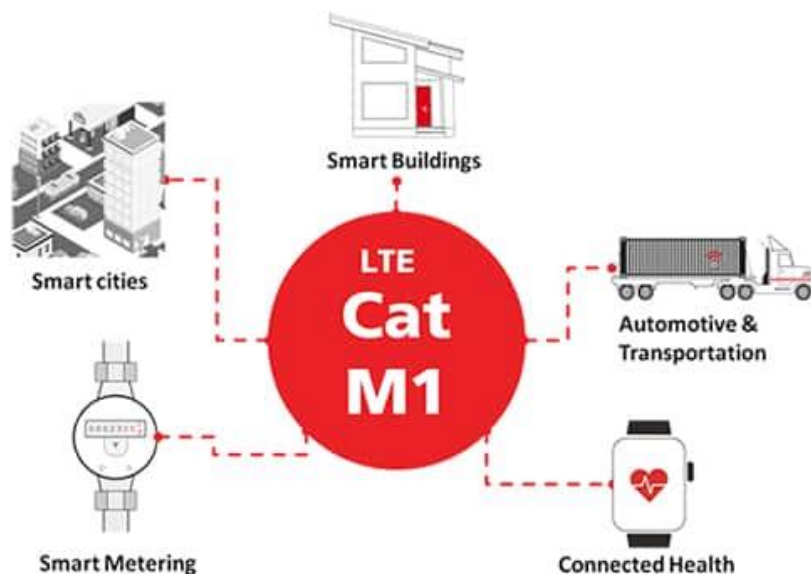
1.2.3 Λύσεις δικτύων μεγάλης εμβέλειας (WAN)

- **Narrowband-IoT**

Το Narrowband IoT (NB IoT) βασισμένο στις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες 3GPP (3rd Generation Partnership Project) αποτελεί ένα σύγχρονο πρότυπο τεχνολογίας ραδιοφώνου το οποίο εγγυάται πολύ χαμηλή κατανάλωση ισχύος, έως και τα δέκα χρόνια λειτουργίας. Η συνδεσιμότητα του παρέχεται με ισχύ σήματος περίπου 23dB το οποίο διαφοροποιείται από το 2G του οποίου η ισχύς ήταν υψηλότερη. Επιπροσθέτως επειδή γίνεται χρήση της υπάρχουσας υποδομής δικτύου εξασφαλίζεται όχι μόνο παγκόσμια κάλυψη στα δίκτυα LTE (Long Term Evolution) αλλά και εγγυημένη ποιότητα σήματος.

- **LTE-CAT M1**

Το CAT M1 διαθέτει συμβατότητα με το LTE συνεπώς δεν υπάρχει η απαίτηση από τη μεριά των παρόχων να υλοποιήσουν νέες υποδομές. Συγκριτικά με το NB-IoT, το LTE Cat M1 θεωρείται ιδανικότερο στις περιπτώσεις που γίνεται χρήση κινητής τηλεφωνίας διότι υπάρχει καλύτερος χειρισμός όσο αναφορά τις παραδόσεις δεδομένων που γίνονται μεταξύ των διάφορων κυψελών και των τοποθεσιών τους. Το παραπάνω είναι συγκριτικά καλύτερο και διαθέτει σημαντικές ομοιότητες με το LTE υψηλής ταχύτητας.



Εικόνα 3. Έξυπνο Δίκτυο με χρήση πρωτοκόλλου LTE-CAT M1.

Πηγή: <https://www.digikey.gr/>

- **LORAWAN**

Το LoRaWAN είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο βοηθά την δικτύωση ευρείας περιοχής και παρέχεται χρησιμοποιώντας χαμηλή κατανάλωση ισχύος, μεγάλη εμβέλεια και μέσω

αυτού μπορεί να συνδεθεί μεγάλος αριθμός συσκευών δημιουργώντας έτσι μεγάλα δίκτυα. Το παραπάνω εφαρμόζεται κυρίως σε εφαρμογές που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN) τα οποία παρέχονται με χαμηλή κατανάλωση λόγω του LoRaWAN οπότε απαιτείται και χαμηλό κόστος καθώς και μία πιο ασφαλής επικοινωνία μεταξύ των συνδεδεμένων συσκευών του IoT ,M2M(Machine to Machine), αλλά και αυτών που αποτελούν τα έξυπνα σπίτια καθώς και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

- **SIGFOX**

Η βασική θεωρία πίσω από το Sigfox είναι η ανακάλυψη αποτελεσματικών τρόπων σύνδεσης για εφαρμογές M2M οι οποίες δεν απαιτούν υψηλά επίπεδα μεταφοράς δεδομένων. Για την παραπάνω μεταφορά δεδομένων η χρήση Wi-Fi δεν συστήνεται λόγω της μικρής της εμβέλειας ενώ η κινητή τηλεφωνία είναι αρκετά δαπανηρή και απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Στο Sigfox χρησιμοποιείται UNB(Ultra Narrow Band), η οποία τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα να μεταφέρονται δεδομένα με χαμηλή ταχύτητα από 10 έως 1.000 bit ανά δευτερόλεπτο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση καταναλώνεται έως και 100 φορές λιγότερη ενέργεια συγκριτικά με τις λύσεις που προσφέρονται με τη χρήση της κινητής τηλεφωνίας, οπότε για μια μπαταρία 2,5 Ah ο τυπικός χρόνος αναμονής ανέρχεται στα 20 έτη. Με βάση λοιπόν τα παραπάνω δημιουργείται ισχυρή απόδοση με βάση την κατανάλωση ενέργειας το οποίο μπορεί να επεκταθεί υποστηρίζοντας έτσι την επικοινωνία σε πολλές χιλιάδες συσκευές οι οποίες λειτουργούν με μπαταρία σε μεγάλες εκτάσεις πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων, το Sigfox ορίζεται κατάλληλο για ποικίλες εφαρμογές M2M, για παράδειγμα σε έξυπνο φωτισμό δρόμου, οθόνες ασθενών και περιβαλλοντικούς αισθητήρες. Χρήση του Sigfox σήμερα γίνεται σε αυξανόμενο αριθμό λύσεων τεχνολογίας IoT.

Όπως είναι γνωστό η τεχνολογία IoT ήδη βρίσκεται στα σπίτια μας και όχι μόνο αλλά και σε πολλούς δημόσιους χώρους, εργοστάσια και σε πολλά άλλα μέρη καθώς εξελίσσεται ραγδαία κάνοντας πράξη την φράση «οτιδήποτε μπορεί να συνδεθεί θα συνδεθεί» η οποία μέρα με τη μέρα γίνεται πραγματικότητα. Επομένως είναι γνωστό το πότε θα συμβεί το παραπάνω αφού ήδη συμβαίνει σε ένα βαθμό, το κύριο μέλημά μας θα πρέπει να είναι οι τρόποι με τους οποίους θα γίνουν οι συνδέσεις μεταξύ των συσκευών ώστε να υπάρχει η μέγιστη απόδοση, όπως και η ασφάλεια αλλά και η οικονομία. Σύμφωνα με τις παραπάνω προδιαγραφές απαιτείται η χρήση του LwM2M το οποίο είναι ένα πρωτόκολλο που έχει σκόπιμα αναπτυχθεί για την διαχείριση μηχανών οι οποίες έχουν στη διάθεσή τους περιορισμένους πόρους. Συμπερασματικά λαμβάνοντας υπόψη το προαναφερθέν πρακτικό σκέλος, η πιθανότητα επιτυχίας των συγκεκριμένων εφαρμογών IoT βασίζεται εν τέλει στην σωστή επιλογή της ιδανικής τεχνολογίας μέσα από το υπάρχων ευρύ φάσμα επιλογών.

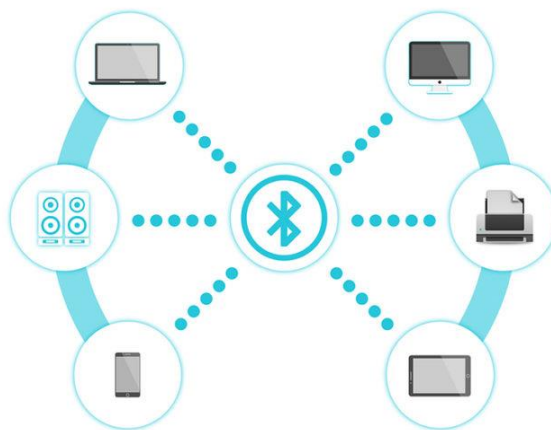
2. IoT Protocols

Ως πρωτόκολλα επικοινωνίας IoT ορίζονται οι διάφοροι τρόποι επικοινωνίας οι οποίοι προστατεύουν και εξασφαλίζουν την ασφάλεια των δεδομένων τα οποία ανταλλάσσονται μεταξύ των διαφόρων συνδεδεμένων συσκευών.

Οι συσκευές IoT βρίσκονται κυρίως συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο μέσω του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol - IP). Ορισμένες από τις συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν τα συστήματα Bluetooth και RFID επιτρέπουν στις συσκευές του προαναφερθέντος πρωτοκόλλου να συνδέονται τοπικά, ωστόσο υπάρχει στη συγκεκριμένη περίπτωση διαφορά στην ισχύ, στη χρήση μνήμης αλλά και την εμβέλεια. Η σύνδεση συσκευών με τη χρήση δικτύου IP είναι σχετικά πολύπλοκη, καθώς απαιτείται αυξημένη μνήμη και ισχύ από τις συγκεκριμένες συσκευές IoT, χωρίς να αποτελεί πρόβλημα η εμβέλεια. Αντιθέτως, δίκτυα τα οποία δεν είναι IP καταναλώνουν συγκριτικά λιγότερη ενέργεια και μνήμη, όμως έχουν περιορισμό στην εμβέλεια. [4].

2.1 Bluetooth

Το Bluetooth έχει αναφερθεί και παραπάνω, σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται εκτενέστερη ανάλυση. Αποτελεί λοιπόν ίσως ένα από τα πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα επικοινωνίας για περιπτώσεις μικρής εμβέλειας. Είναι ένα κύριο πρωτόκολλο IoT για την ασύρματη μετάδοση δεδομένων. Το παραπάνω πρωτόκολλο επικοινωνίας θεωρείται ασφαλές για μεταφορά που αφορά μικρή εμβέλεια, καθώς και χαμηλή κατανάλωση, χαμηλό κόστος επίσης, όπως και ασύρματη μετάδοση μεταξύ μερικών ηλεκτρονικών συσκευών. Το BLE (Bluetooth Low Energy) αποτελεί έκδοση χαμηλής ενέργειας του προαναφερθέντος πρωτοκόλλου, το οποίο συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και κατέχει σημαντική θέση στη διαδικασία σύνδεσης συσκευών IoT [5].



Εικόνα 4. Πρωτόκολλο Bluetooth.

Πηγή: <https://primex.com/need-know-bluetooth-protocol/>

Η χρήση του Bluetooth πρωτοκόλλου συναντάται κυρίως σε έξυπνα τηλέφωνα (smartphones) όπως και σε άλλες κινητές συσκευές, στις οποίες μικρά κομμάτια δεδομένων είναι δυνατόν να ανταλλάσσονται χωρίς την απαίτηση υψηλής ισχύος ή μνήμης. Λόγω εύκολης χρήσης, το Bluetooth εντάσσεται στα κυριότερα πρωτόκολλα για τη συνδεσιμότητα συσκευών IoT [5].

2.2 Wi-Fi

Ως Wi-Fi ορίζεται το ραδιοφωνικό σήμα που εκπέμπεται από έναν δρομολογητή κατά βάση ασύρματο και λαμβάνεται από μια κοντινή συσκευή, μέσω του οποίου μεταφράζεται το σήμα σε δεδομένα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται εκτενέστερη επεξήγηση του. Το σήμα που εκπέμπεται πίσω στον δρομολογητή ονομάζεται ραδιοσήμα, και αυτός με τη σειρά του συνδέεται στο διαδίκτυο μέσω ενός καλωδίου. Ο όρος Wi-Fi είναι δημιουργία μίας εταιρείας μάρκετινγκ διότι η βιομηχανία των ασύρματων δικτύων προσπαθούσε να δημιουργήσει ένα φιλικό ως προς το χρήστη όνομα για να αντιπροσωπεύει μία τεχνολογία πιο περίπλοκη εν ονόματι IEEE 802.11.

Για τη μετάδοση δεδομένων μέσω Wi-Fi χρησιμοποιούνται ραδιοκύματα προερχόμενα από έναν ασύρματο δρομολογητή στις διάφορες συσκευές οι οποίες έχουν την δυνατότητα χρήσης Wi-Fi, μερικές από αυτές είναι η τηλεόραση, το έξυπνο κινητό, το tablet και ο σταθερός ή φορητός υπολογιστής. Επειδή η επικοινωνία γίνεται με τη χρήση ραδιοκυμάτων, πολλές φορές οι συσκευές ίσως είναι ευάλωτες σε χάκερ, σε κυβερνοεπιθέσεις αλλά και διάφορες απειλές. Το παραπάνω είναι πιο πιθανό να συμβεί όταν γίνεται σύνδεση σε κάποιο δημόσιο δίκτυο Wi-Fi σε διάφορα κοινόχρηστα μέρη όπως αεροδρόμιο ή ξενοδοχείο. Για μεγαλύτερη ασφάλεια θα ήταν καλύτερο να πραγματοποιούμε συνδέσεις σε κάποιο ασύρματο δίκτυο στο οποίο είτε υπάρχει προστασία με κάποιο κωδικό πρόσβασης είτε με κάποιο hotspot. [5].

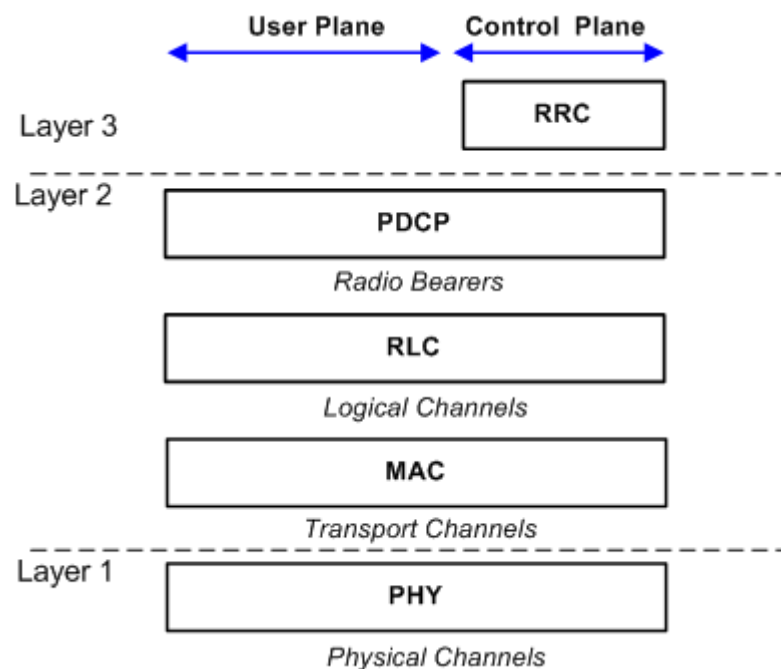
2.2.1 Wireline/router

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας υπάρχουν όλο και περισσότερες επιλογές για ασύρματη σύνδεση εντός του σπιτιού καθώς γίνεται αυξανόμενη επέκταση στα οικιακά δίκτυα μέσω του διαδικτύου. Υπάρχουν ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε καθέναν από τους τύπους ασύρματης σύνδεσης, για παράδειγμα η ταχύτητα και η ισχύς του εκάστοτε σήματος όπως συμβαίνει στην υπηρεσία Διαδικτύου.

2.2.2 Mobile hotspot or jetpack

Μερικοί ασφαλείς τρόποι σύνδεσης είναι τα hotspots και τα κινητά τηλέφωνα. Δύο από τις πιο γνωστές συσκευές hotspot αποτελούν το smartphone και το jetpack. Τα περισσότερα σύγχρονα smartphone αλλά και τα tablet έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως hotspot προσωρινά και περιστασιακά να λειτουργούν δηλαδή ως routers για την σύνδεση πολλών συσκευών ταυτόχρονα στο διαδίκτυο. Το παραπάνω

είναι μια εύκολη διαδικασία καθώς δεν απαιτείται η χρήση επιπλέον συσκευών αλλά μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά η ισχύς της μπαταρίας της εκάστοτε συσκευής όπως και να υπάρξει ραγδαία μείωση των δεδομένων. Αντιθέτως, ένα jetpack χρησιμοποιείται αποκλειστικά ως hotspot για φορητές συσκευές το οποίο λαμβάνει σήμα από πύργους κινητής τηλεφωνίας της περιοχής όπως συμβαίνει και με τα έξυπνα κινητά. Το πλεονέκτημα του παραπάνω είναι ότι προσφέρει ευρεία γκάμα Wi-Fi αλλά μπορούν να υπάρξουν ταυτόχρονα περισσότερες συνδεδεμένες συσκευές. Επίσης όπως προαναφέρθηκε αποτελεί ξεχωριστή φορητή συσκευή, δεν επηρεάζεται αρνητικά η ισχύς την μπαταρίας του smartphone ούτε τα δεδομένα. Το μειονέκτημα είναι ότι εκτός από την αγορά του jetpack χρειάζεται και κάποιο ξεχωριστό πρόγραμμα της εταιρείας που προμηθεύετε υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας , όπως για παράδειγμα κάποιο πρόγραμμα που προσφέρει συγκεκριμένο αριθμό δεδομένων κινητής τηλεφωνίας.



Εικόνα 5. Επίπεδα πρωτοκόλλου LTE-A

Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/LTE-LTE-A-channels-and-protocol-layers_fig11_335796276

2.2.3 Wi-Fi Direct

Με τη χρήση του Wi-Fi Direct υπάρχει η δυνατότητα οι διάφορες συσκευές Wi-Fi να συνδέονται απευθείας μεταξύ τους κάνοντας έτσι διάφορες ενέργειες ευκολότερες όπως τον συγχρονισμό, την κοινή χρήση, την αναπαραγωγή παιχνιδιών κ.α. Οι συσκευές Wi-Fi Direct δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται συνδεδεμένες στο ίδιο δίκτυο. Ουσιαστικά το Wi-Fi Direct λειτουργεί απευθείας μεταξύ των συσκευών, το

οποίο είναι και η βασική του διαφορά με το Wi-Fi. Το Wi-Fi Direct ωστόσο δεν μπορεί να προσφέρει πρόσβαση στο διαδίκτυο [1].

3. 5G Network

Το 5G είναι το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 5^{ης} γενιάς. Ορίζεται ως ένα σύγχρονο ασύρματο δίκτυο το οποίο είναι η εξέλιξη των 1G, 2G, 3G και 4G. Το 5G έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτρέπει την σύνδεση σχεδόν όλων μαζί των μηχανών, συσκευών και πολλών αντικειμένων.

3.1.1 4G LTE Home Internet

Προσφέρει υπηρεσίες Διαδικτύου υψηλών ταχυτήτων οι οποίες παρέχονται μέσω των πύργων κινητής τηλεφωνίας και των δικτύων κινητής τηλεφωνίας αγγίζοντας ταχύτητες λήψης ως 25 Mbps, όσο αναφορά τον λανθάνοντα χρόνο είναι συνήθως μικρότερος και τα δεδομένα περισσότερα από αυτά που λαμβάνονται μέσω του δορυφόρου. Οι καλύτερες ταχύτητες αλλά και η αξιοπιστία σίγουρα αποτελούν τα βασικά πλεονεκτήματα. Ορισμένα από τα μειονεκτήματα του 4G LTE Home Internet αποτελούν ίσως η περιορισμένη διαθεσιμότητα καθώς και το κόστος για την παροχή της υπηρεσίας αλλά και της εγκατάστασης.

3.1.2 5G Home Internet

Καθώς το 5G Home Internet (Σταθερή ασύρματη πρόσβαση) γίνεται ευρύτερα διαθέσιμο, έχει τη δυνατότητα να γίνει μία από τις καλύτερες και πιο οικονομικά αποδοτικές υπηρεσίες Διαδικτύου. Με τη χρήση ενός νέου φάσματος ισχυρών ραδιοσυχνοτήτων κάνοντας χρήση ασύρματου διαδικτύου, έχει ως αποτέλεσμα να προσφέρει αρκετά μεγαλύτερη χωρητικότητα από το 4G, καθώς και αρκετά πιο μεγάλες ταχύτητες φτάνοντας έως και το 1Gigabit όπως και σημαντικά μικρότερο λανθάνοντα χρόνο από αυτόν που υπάρχει στα περισσότερα σπίτια. Το μοναδικό ίσως μειονέκτημα του 5G Home Internet είναι ότι δεν είναι ακόμα πλήρως διαθέσιμο αλλά αυτό θα αλλάξει στα επόμενα χρόνια.

3.1.3 Radio Protocols

Το Radio Protocol (πρωτόκολλο ραδιοφώνου) είναι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την ψηφιακή μετάδοση δεδομένων η οποία γίνεται με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ως πρωτόκολλο επικοινωνίας ορίζεται το σύνολο κανόνων οι οποίοι επιτρέπουν τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο αλλά και περισσότερων συσκευών.

3.1.4 LTE-A

Η συγκεκριμένη τεχνολογία βασίζεται σε ένα 3GPP πρότυπο το οποίο προβλέπει ταχύτητα κατερχόμενης ζεύξης έως και 150 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps) και ταχύτητα ανόδου έως και 50Mbps. Τα ήδη σταθερά ασύρματα αλλά και ενσύρματα πρότυπα πλησιάζουν την ταχύτητα των 100 Mbps ή πιο γρήγορα και το LTE αποτελεί έναν τρόπο ώστε οι επικοινωνίες που βασίζονται στις κυψέλες να είναι ικανές να λειτουργούν με υψηλό ρυθμό δεδομένων [1].

3.2 Ποιός εφηύρε το 5G

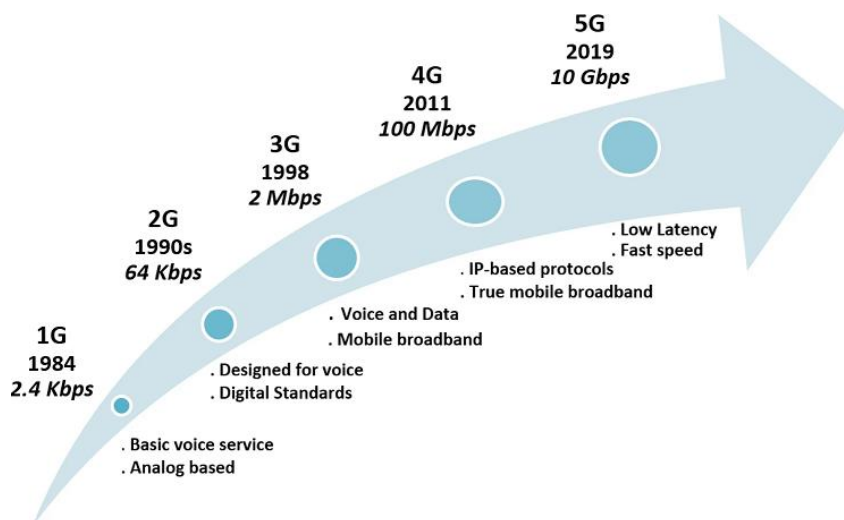
Το 5G δεν είναι επινόηση κάποιας συγκεκριμένης εταιρείας η απόμου, αλλά αρκετές εταιρείες κινητής τηλεφωνίας κάνουν χρήση του 5G και συμβάλλουν στην εξέλιξή του. Η συμβολή της Qualcomm για παράδειγμα κατέχει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη θεμελιωδών τεχνολογιών οι οποίες συνθέτουν το 5G και το καθιστούν ως την εξέλιξη του ασύρματου προτύπου. Σήμερα χρησιμοποιούμε το 3GPP, του βιομηχανικού οργανισμού που καθορίζει τις παγκόσμιες προδιαγραφές για τις τεχνολογίες 3G UMTS (συμπεριλαμβανομένου του HSPA), 4G LTE και 5G.

Το 3GPP λοιπόν αποτελεί θεμέλιο για την σχεδίαση και την υλοποίηση των διάφορων πτυχών του 5G από τον τρόπο μετάδοσης του σήματος μέσω αέρα ως τον τρόπο εξυπηρέτησης της τεχνολογίας. Άλλα μέλη του 3GPP 5G είναι προμηθευτές υποδομής και κατασκευαστές εξαρτημάτων/συσκευών μέχρι και φορείς εκμετάλλευσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας και παρόχων κάθετων υπηρεσιών.

Το 5G είναι βασισμένο στην ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας γνωστό και ως OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) η οποία μέθοδος χρησιμεύει στη διαμόρφωση του ψηφιακού σήματος σε διαφορετικά πολλαπλά κανάλια με αποτέλεσμα να μειώνονται οι παρεμβολές. Το 5G κάνει χρήση της διεπαφής αέρα 5G NR και παράλληλα βασίζεται στις αρχές του OFDM. Επιπλέον χρησιμοποιεί τεχνολογίες οι οποίες διαθέτουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης όπως το sub-6 GHz και το mmWave. Όπως το 4G LTE, έτσι και στο 5G OFDM υπάρχει ομοιότητα στη λειτουργία τους η οποία βασίζεται στις ίδιες αρχές δικτύωσης κινητής τηλεφωνίας. Ωστόσο, η σύγχρονη διεπαφή αέρα 5G NR μπορεί να προσφέρει βελτίωση στο OFDM ώστε το τελευταίο να γίνει πιο ευέλικτο και να έχει μεγαλύτερες δυνατότητες επεκτασιμότητας [6].

Το παραπάνω θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα την πρόσβαση μεγαλύτερου αριθμού ατόμων στο 5G αλλά και αντικειμένων ευρύνοντας έτσι το εύρος διαφορετικών περιπτώσεων χρήσης. Το 5G θα είναι υπεύθυνο για την επέκταση του εύρους ζώνης όπως αναφέρθηκε και παραπάνω με αποτέλεσμα να γίνει επέκταση της χρήσης των πόρων του φάσματος, συγκεκριμένα από τα 3GHz τα οποία χρησιμοποιεί το 4G σε περισσότερα από 100GHz. Το 5G είναι ευέλικτο διότι μπορεί να τεθεί σε λειτουργία από τις χαμηλότερες ζώνες για παράδειγμα κάτω των 6 GHz μέχρι και σε mmWave δηλαδή από 24 GHz και άνω γεγονός το οποίο συνεπάγεται χαμηλές τιμές καθυστέρησης, μεγάλη χωρητικότητα και απόδοση πολλαπλών Gbps. Συμπερασματικά

το 5G δεν αποσκοπεί μόνο στην παροχή μεγαλύτερων και ευρυζωνικών υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας συγκριτικά με το 4G LTE, αλλά στοχεύει και στην επέκταση σε καινούργιους τομείς υπηρεσιών για παράδειγμα της συγκρότησης του τεράστιου σε εύρος IoT.



Εικόνα 6. Η εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών

Πηγή: [Figure 1 | The impact of 5G on the evolution of intelligent automation and industry digitization | SpringerLink](#)

3.3 Πώς και πότε το 5G θα επηρεάσει την παγκόσμια οικονομία

Το 5G οδηγεί την παγκόσμια ανάπτυξη [7].

- Παγκόσμια οικονομική παραγωγή 13,1 τρισεκατομμυρίων δολαρίων
- Δημιουργήθηκαν 22,8 εκατομμύρια νέες θέσεις εργασίας
- 265 δισεκατομμύρια δολάρια σε παγκόσμιο επίπεδο 5G CAPEX και E&A ετησίως τα επόμενα 15 χρόνια

Δια μέσου μίας μελέτης 5G Economy, διαπιστώθηκε ότι το οικονομικό όφελος του 5G θα έχει επέλθει σε ολόκληρο τον κόσμο έως το έτος 2035. Πλέον θα μπορεί να υποστηριχθεί ένα ευρύτερο φάσμα βιομηχανιών το οποίο θα παράγει αγαθά αξίας έως και 13,1 τρισεκατομμυρίων δολαρίων. Με βάση τα παραπάνω, το 5G έχει πολύ μεγαλύτερη επιρροή στην οικονομία από ότι είχαν προγενέστερες γενιές δικτύου. Η ανάγκη για την επέκταση του 5G δικτύου παρατηρείται όχι μόνο σε χρήστες κλασσικής δικτύωσης κινητής τηλεφωνίας αλλά και σε διάφορες βιομηχανίες για παράδειγμα στην αυτοβιομηχανία. Η σχετική μελέτη που διεξήχθη επισήμανε ότι η αλυσίδα του 5G συμπεριλαμβανομένων όλως των τελεστών υποστήριξης του δικτύου από τους χειριστές μέχρι τους προγραμματιστές των εφαρμογών για χρήσεις των καταναλωτών θα μπορούσε να προσφέρει μέχρι και 22,8 εκατομμύρια νέες θέσεις εργασίας ή διαφορετικά αντιστοιχεί σε περισσότερες από μία θέσεις απασχόλησης για κάθε κάτοικο του Πεκίνο της Κίνας [6].

3.4 Που χρησιμοποιείται το 5G

Σε γενικά πλαίσια, χρήση του 5G γίνεται σε τρεις βασικούς τύπους υπηρεσιών στις οποίες υπάρχουν συνδεδεμένες συσκευές, δηλαδή χρησιμοποιείται στις ευρυζωνικές συνδέσεις για κινητά, στις άκρως σημαντικές για την αποστολή των επικοινωνιών καθώς και στις διάφορες πτυχές του τεράστιου IoT. Μια από τις βασικές ικανότητες του IoT, η οποία το ξεχωρίζει από τα προγενέστερα είναι ότι σχεδιάστηκε κατάλληλα για μελλοντικές επεκτάσεις, γεγονός που το καθιστά ευέλικτο σε μελλοντικές υπηρεσίες οι οποίες παραμένουν άγνωστες προς το παρόν [8].

- Βελτίωση στο εύρος ζώνης κινητής

Το 5G αποτελεί μια τεχνολογία στον τομέα της κινητής τηλεφωνίας η οποία στοχεύει στην βελτίωση των λειτουργιών των έξυπνων τηλεφώνων μας, αλλά επίσης έχει τη δυνατότητα να εισάγει καινούργιες λειτουργίες όπως το VR(Virtual Reality) και το AR(Augmented Reality) όπου θα παρέχονται ταχύτεροι και ομοιόμορφοι ρυθμοί δεδομένων, ενώ θα υπάρχει μείωση του λανθάνοντα χρόνου όπως επίσης και μείωση του κόστους ανά bit.

- Επικοινωνίες κρίσιμης σημασίας για την αποστολή

Το 5G έχει την ικανότητα να δημιουργήσει νέες δυνατότητες και υπηρεσίες οι οποίες μπορούν να προσδώσουν αξιοπιστία στις βιομηχανίες, καθώς θα διαθέτουν πλέον συνδέσεις με χαμηλή καθυστέρηση το οποίο ωφελεί τις ιατρικές πρακτικές και τις έξυπνες λειτουργίες των οχημάτων, τα οποία αποτελούν εφαρμογές ζωτικής σημασίας.

- Επέκταση IoT

Το 5G προορίζεται ώστε να είναι ικανό να συνδέει έναν μεγάλο αριθμό αισθητήρων, οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι σχεδόν σε όλα, καθώς όπως αναφέρθηκε και παραπάνω θα υπάρξει μείωση του ρυθμού δεδομένων και της κινητικότητας, με αποτέλεσμα να γίνεται παροχή λιτών και χαμηλού κόστους λύσεων συνδεσιμότητας [8].

Η σχεδίαση του 5G του δίνει τη δυνατότητα της μεταφοράς των δεδομένων με τη μέγιστη ταχύτητα των 20Gbps βάση των απαιτήσεων IMT-2020. Τις συγκεκριμένες εξελιγμένες λύσεις 5G τις έχει δώσει η Qualcomm Technologies, ο σχεδιασμός του Qualcomm® Snapdragon™ X65 συγκεκριμένα βοηθάει το downlink να επιταχύνεται έως και 10Gbps. Αλλά οι δυνατότητες του 5G δεν περιορίζονται μόνο στην ταχύτητα. Εκτός λοιπόν από την μεγάλη αύξηση του ρυθμού δεδομένων αιχμής, η χωρητικότητα του δικτύου επίσης αυξάνεται, επεκτείνοντας έτσι ένα νέο φάσμα εν ονόματι mmWave. Ένα επιπλέον θετικό της χρήσης του 5G είναι η μείωση του λανθάνοντα χρόνου με σκοπό να μειώνεται ο χρόνος αναμονής ώστε η εμπειρία του χρήστη (Quality of Experience –

QoE) να είναι καλύτερη, ώστε ακόμα και κατά τη διάρκεια μετακίνησης των χρηστών οι ρυθμοί ανταλλαγής δεδομένων να παραμένουν υψηλοί. Το νέο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 5G NR υποστηρίζεται από μια βάση κάλυψης Gigabit LTE, η οποία μπορεί να προσφέρει πανταχού παρούσα συνδεσιμότητα κατηγορίας Gigabit [8].

3.5 Πώς λειτουργεί το 5G

Όπως λοιπόν και το 4G LTE, το 5G έχει ως βάση επίσης το OFDM και η λειτουργία του θα έχει ως θεμέλιο τις αρχές δικτύωσης κινητής τηλεφωνίας οι οποίες είναι ίδιες με του 4G LTE. Ωστόσο, καθώς υπάρχει η σύγχρονη διεπαφή αέρα 5G NR (New Radio) θα επέλθει ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση του OFDM ώστε να προσφέρεται μεγαλύτερη ευελιξία όπως επίσης και επεκτασιμότητα [8]. Το 5G διευκολύνει την επικοινωνία και τις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας όχι μόνο με γνώμονα την ταχύτητα, αλλά παρέχει και ευρυζωνικές υπηρεσίες σε σχέση με το 4G LTE. Επιπλέον θα υπάρξει και επέκταση σε καινούργιους τομείς, όπως για παράδειγμα η σύνδεση αλλά και η αποστολή δεδομένων μεταξύ συσκευών στο χαώδες IoT. Το παραπάνω θα φέρουν εις πέρας οι νέες τεχνικές σχεδιασμού διεπαφής αέρα 5G NR, για παράδειγμα η δημιουργία ενός σύγχρονου αυτόνομου σχεδιασμού υποπλαισίου TDD (Test-Driven Development).

Η διαθεσιμότητα του 5G είναι ήδη υπαρκτή στις μέρες μας καθώς το αρχικό λανσάρισμα από τους διάφορους παρόχους ήδη άρχισε από τις αρχές του 2019. Επίσης, όλοι σχεδόν οι κατασκευαστές τηλεφώνων διαθέτουν και εξάγουν έξυπνα τηλέφωνα 5G και σύντομα προβλέπεται όλο και περισσότεροι να είναι οι άνθρωποι που θα έχουν πρόσβαση και θα χρησιμοποιούν το 5G.

Το 5G υπάρχει πλέον σε 60+ χώρες και η ανάπτυξή του διαρκώς εξελίσσεται, μάλιστα συγκριτικά με το 4G η διάθεση και εξέλιξη του είναι ταχύτερη. Όλο και περισσότεροι είναι οι καταναλωτές που το χρησιμοποιούν και είναι έκπληκτοι από τις μεγάλες ταχύτητες απόδοσης καθώς και από το μειωμένο χρόνο καθυστέρησης. Παρόλα αυτά τα οφέλη του δεν σταματούν μόνο στα δυο προαναφερθέντα αλλά οι δυνατότητες για τις κρίσιμες αποστολές δεδομένων, όπως η ευρυζωνική σύνδεση η οποία είναι σαφώς πιο εξελιγμένη από το 4G για τα κινητά τηλέφωνα αλλά επίσης και το τεράστιο IoT που προσφέρεται, είναι αξιοσημείωτες. Η πρόβλεψη βέβαια για το πότε θα είναι διαθέσιμο το 5G σε όλο τον κόσμο είναι δύσκολη αλλά η καμπάνια της προώθησης του συνεχώς εξελίσσεται και λανσάρεται από τον πρώτο κιόλας χρόνο κυκλοφορίας του οπότε αναμένεται σύντομα να έχει επεκταθεί και να υπάρχει χρήση του από όλο και περισσότερες χώρες.

4. 5G Network και IoT

Το 5G Network λοιπόν θα αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη του IoT κάνοντας το πραγματικότητα αφού θα καταργήσει τους περιορισμούς και θα υπάρξουν νέοι τρόποι σύνδεσης των συσκευών. Ένα παράδειγμα το οποίο αφορά τους αισθητήρες, θα είναι η εκτεταμένη χρήση τους σε φάρμες ώστε να γίνονται άμεσα γνωστές στους υπεύθυνους οι ανάγκες για παράδειγμα όσο αφορά την υγρασία και τη λίπανση.

4.1 Το αντίκτυπο του 5G στο IoT

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) αυξάνεται καθώς ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών πρόκειται να αυξηθεί από 700 εκατομμύρια σε 3,2 δισεκατομμύρια έως το 2023. Αν και διάφοροι είναι οι συντελεστές που θα συμβάλλουν σε αυτό, το κύριο είναι η ανάπτυξη των νέων δικτύων 5G. Το σύντομο χρονικά λανάρισμα της συγκεκριμένης γενιάς 5G είναι σημαντικό τόσο για την αγορά όσο και για την ανάπτυξη του IoT. Για να εξηγηθεί το παραπάνω αναφέρεται ότι τα δίκτυα 5G θα βελτιώσουν την απόδοση των συνδεδεμένων συσκευών καθώς και των τρόπων σύνδεσης τους όπως επίσης οι συνδεδεμένες συσκευές θα θωρακιστούν από διάφορες απειλές συμβάλλοντας έτσι και στην βελτίωση της αξιοπιστίας τους.



Εικόνα 7. Χρήση πρωτοκόλλου 5G στα δίκτυα επικοινωνίας

Πηγή: <https://www.milesight-iot.com/blog/5g-iot/>

Η εμπορική επιτυχία οποιουδήποτε IoT εν τέλει συνδέεται με την βελτιωμένη απόδοση η οποία θα προάγει την καλύτερη και ταχύτερη επικοινωνία μεταξύ συσκευών του IoT, όπως των smartphone και tablet. Όπως προαναφέρθηκε θα υπάρξει σημαντική

διαφορά ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων. Σύμφωνα με μελέτες το 5G θα είναι δέκα φορές ταχύτερο από τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα LTE. Η συγκεκριμένη εξέλιξη θα δώσει την ευκαιρία στις συσκευές IoT να ανταλλάσσουν δεδομένα και να επικοινωνούν γρηγορότερα από ποτέ. Για παράδειγμα οι έξυπνες οικιακές συσκευές, με την αύξηση της ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων που θα επέλθει αλλά και την μείωση της καθυστέρησης, θα στέλνουν αλλά και θα λαμβάνουν ειδοποιήσεις προς και από τον κάτοικο της οικίας για την ταχύτερη και ουσιαστικά την άμεση διαχείριση των συσκευών. Εκτός από τις έξυπνες οικιακές συσκευές όμως θα επωφεληθούν και όλες οι συσκευές του φάσματος του IoT λαμβάνοντας μεγαλύτερες ταχύτητες, το οποίο θα αποτελέσει σημαντικό πλεονέκτημα σε συσκευές με εφαρμογές σε υγειονομική περίθαλψη και σε αυτές διαφόρων βιομηχανιών.

4.1.1 Μεγαλύτερη αξιοπιστία δικτύου

Εκτός από την αύξηση της ταχύτητας, τα δίκτυα 5G θα μπορούν πλέον να δημιουργήσουν σταθερότερες και πιο αξιόπιστες συνδέσεις. Η ύπαρξη λοιπόν των δύο προαναφερθέντων είναι σημαντική για κάθε IoT αλλά θα ωφελήσουν ακόμα περισσότερο συσκευές όπως κλειδαριές ή κάμερες ασφαλείας οι οποίες συνδέονται στο IoT καθώς η ενημέρωση και η σωστή διαχείριση των παραπάνω είναι σημαντικό να γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Η μεγάλη ταχύτητα που θα υπάρχει μεταξύ των συνδέσεων σε συνδυασμό με τη χαμηλή καθυστέρηση και το μεγάλο εύρος κάλυψης τα οποία θα προσφέρονται στο δίκτυο της επόμενης γενιάς αποτελεί βασικό θεμέλιο του IoT. Για την πλήρη εκμετάλλευση των παραπάνω επομένως οι κατασκευαστές θα πρέπει να επενδύσουν στην κατασκευή λογισμικού και συσκευών τα οποία θα μπορούν να υποστηρίζουν το δίκτυο νέας γενιάς. Οι κατασκευαστές επίσης πρέπει να επενδύσουν στην διασφάλιση της ποιότητας ώστε η απόδοση των συσκευών και του λογισμικού να είναι κάτω από ορισμένες συνθήκες, το αντίθετο θα προκαλέσει προβλήματα και σφάλματα στις συσκευές και θα μειώνεται έτσι το κέρδος το οποίο πηγάζει από το 5G.

4.1.2 Συμβουλές δοκιμών IoT

- Ανάπτυξη κάλυψης δοκιμής

Οι δοκιμές του IoT χρειάζονται μεγάλη κάλυψη δοκιμών. Η εμπορική ουσιαστικά επιτυχία του θα είναι η συμβατότητα που μπορεί να έχει με παλαιές συσκευές smartphone και tablet όσο και με νέας τεχνολογίας. Λόγω όμως του κατακερματισμού η δημιουργία ενός IoT συμβατό με διαφορετικά λειτουργικά συστήματα διάφορων κινητών και smartphones, με διαφορετικά δηλαδή στοιχεία υλικού, είναι δύσκολη. Αποτέλεσμα λοιπόν του παραπάνω είναι να γίνονται πολλαπλές δοκιμές σε διαφορετικές συσκευές ώστε να διαμορφωθούν σωστά, να προλαμβάνουν και να βρίσκουν σφάλματα τα οποία προκύπτουν από τον κατακερματισμό.

- Δοκιμή από όλες τις γωνίες

Οι διάφορες δοκιμές IoT θα πρέπει να υλοποιούνται από πολλές οπτικές γωνίες προκειμένου να επισημανθούν και να διορθωθούν σφάλματα που επηρεάζουν τόσο το λογισμικό όσο και το IoT πιθανώς για εφαρμογές κινητών. Σημαντικό επίσης αποτελεί το γεγονός να γίνουν πολλαπλές δοκιμές όλων των λειτουργιών και των μεθόδων χρήσης του IoT όσο και του ίδιου του λογισμικού του ώστε να υπάρχει πλήρης και ακριβής αναφορά της ποιότητας της συνδεσιμότητας μεταξύ των συνδεδεμένων αντικειμένων και του λογισμικού καθώς και των συμπεριφορών τους σε επίπεδο αλληλεπίδρασης.

Αξίζει να σημειωθεί η ικανότητα του IoT για συνδέσεις με διάφορες έξυπνες συσκευές αλλά και smartphones. Συγκεκριμένα πρέπει να εξασφαλιστεί η ικανοποιητική σύνδεση του IoT με συσκευές μέσω Bluetooth αλλά και με τη χρήση δικτύων Wi-Fi. Το παραπάνω μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια δύσκολη ενέργεια. Διάφορα σφάλματα μπορεί να προκύψουν τα οποία επηρεάζουν τις συνδέσεις και μπορεί να προκαλέσουν εμπόδιο στις μετέπειτα επικοινωνίες και τον διαμοιρασμό δεδομένων, το οποίο γεγονός κάνει τις παραπάνω συνδέσεις άχρηστες. Για την αποφυγή λοιπόν των παραπάνω δυσκολιών είναι απαραίτητο να γίνεται σωστή δοκιμή των ικανοτήτων ενός IoT και της σύνδεσης του με άλλες συσκευές [9].

5. Εξέλιξη και Ενεργοποιητές της Βιομηχανίας του IoT

Το βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων IIoT(Industrial Internet of Things) ορίζεται ως η χρήση έξυπνων αισθητήρων αλλά επίσης και ενεργοποιητών ώστε να υπάρξει βελτίωση τόσο της παραγωγικής όσο και της βιομηχανικής διαδικασίας. Το παραπάνω είναι επίσης γνωστό με το όνομα Industry 4.0 και κάνει χρήση έξυπνων μηχανών συλλέγοντας διαρκώς στοιχεία και δεδομένα από τις μηχανές κατώτερης τεχνολογίας με σκοπό την ανάλυσή τους. Η θεμελιώδης αρχή πίσω από το IIOT είναι το προβάδισμα που έχουν οι έξυπνες μηχανές όσο αναφορά της λήψη αλλά και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε σχέση με τον άνθρωπο, όπως επίσης και στην επικοινωνία σημαντικών πληροφοριών, χρήση των οποίων γίνεται στην λήψη ποικίλλων επιχειρηματικών αποφάσεων, με μεγαλύτερη ταχύτητα αλλά και ακρίβεια [2].

Η χρήση των συνδεδεμένων αισθητήρων και ενεργοποιητών από τις εταιρείες τις καθιστούν ικανές για την γρήγορη διόρθωση προβλημάτων με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση όχι μόνο χρόνου αλλά και χρήματος καθώς επίσης υποστηρίζουν τις προσπάθειες επιχειρηματικής ευφυΐας. Ειδικότερα το IIoT μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για τον ποιοτικό έλεγχο, επίσης για τις βιώσιμες πρακτικές, την ανιχνευσιμότητα των αλυσίδων εφοδιασμού όπως και πολλών ακόμα. Το IIoT στον βιομηχανικό τομέα είναι βασική προϋπόθεση για την επιτυχή προγνωστική συντήρηση (PdM) αλλά και σε διαδικασίες, όπως η διαχείριση ενέργειας αλλά και η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων [9].

5.1.1 Πώς λειτουργεί το IIoT

Το IIoT ορίζεται ως ένα δίκτυο που αποτελείται από έξυπνες συσκευές οι οποίες συνδέονται με σκοπό να σχηματίσουν συστήματα τα οποία εξειδικεύονται στην παρακολούθηση, τη συλλογή αλλά και την ανταλλαγή και την ανάλυση δεδομένων. Ένα βιομηχανικό σύστημα IoT αποτελείται από τα εξής [2]:

- Συσκευές οι οποίες συνδέονται και μπορούν να ανιχνεύουν και αποθηκεύουν πληροφορίες αλλά εννοείται επικοινωνούν και μεταξύ τους.
- Δημόσια η και ιδιωτική υποδομή επικοινωνίας δεδομένων.
- Ανάλυση και δημιουργία εφαρμογών για την εκμετάλλευση μη επεξεργασμένων δεδομένων.
- Αποθήκευση δεδομένων που προήλθαν από συσκευές IIoT.
- Ανθρώπους.

Μέσω της χρήσης ευφυών στοιχείων και συσκευών, όπως αισθητήρες, τα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν και να σταλούν σε έναν κεντρικό κόμβο για

ανάλυση. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των λειτουργιών ενός μηχανήματος.

5.1.2 Ποιες βιομηχανίες χρησιμοποιούν το IIoT

Εκτός από βιομηχανικούς τομείς, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η χρήση του IIoT μπορεί να παρατηρηθεί και σε άλλους κλάδους. Για παράδειγμα, η αυτοκινητοβιομηχανία βασίζεται σε βιομηχανικά ρομπότ για τις διαδικασίες παραγωγής της. Μέσω της χρήσης του IIoT, οι κατασκευαστές μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των μηχανημάτων τους εντοπίζοντας πιθανά προβλήματα και κρατώντας τα υπό έλεγχο. Οι συσκευές IIoT επιπλέον χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της γεωργίας. Οι βιομηχανικοί αισθητήρες συλλέγουν πληροφορίες για την υγρασία του εδάφους, τα θρεπτικά συστατικά και άλλους παράγοντες για να βοηθήσουν τους αγρότες να καλλιεργήσουν την καλύτερη δυνατή καλλιέργεια. Χρησιμοποιείται επίσης στον βιομηχανικό εξοπλισμό IoT και στον τομέα του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Ορισμένες εταιρείες πετρελαίου διαθέτουν στόλο μη επανδρωμένων αεροσκαφών που μπορούν να σαρώσουν αγωγούς χρησιμοποιώντας θερμική και οπτική απεικόνιση. Για την εξασφάλιση ασφαλών λειτουργιών, αυτά τα δεδομένα συγχωνεύονται με πληροφορίες από διάφορα είδη αισθητήρων [9].

5.1.3 Ποια είναι τα οφέλη του IIoT

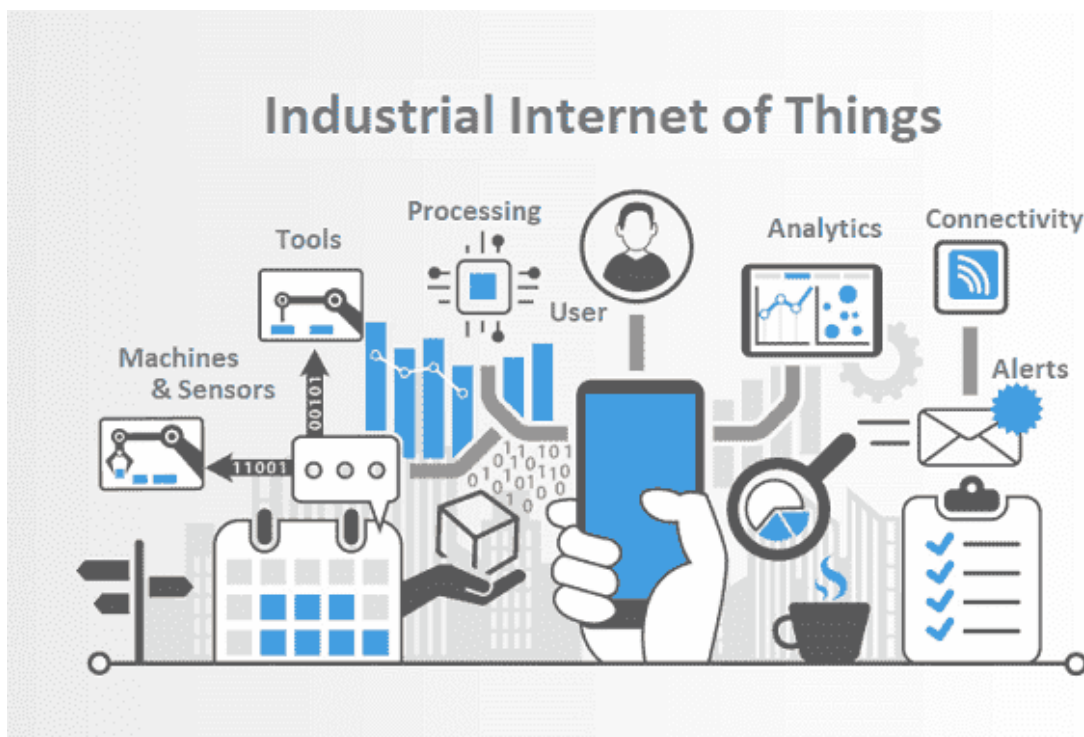
Η ικανότητα εκτέλεσης προγνωστικής συντήρησης είναι ένα από τα πιο συχνά αναφερόμενα πλεονεκτήματα των συσκευών IIoT που χρησιμοποιούνται στον κατασκευαστικό τομέα. Οι επιχειρήσεις μπορούν να προβλέψουν πότε ένα μηχάνημα θα χρειαστεί συντήρηση χρησιμοποιώντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που παρέχονται από τεχνολογίες IIoT. Με αυτόν τον τρόπο, η απαιτούμενη συντήρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν συμβεί μια αστοχία. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε μια γραμμή παραγωγής, όπου μια βλάβη του μηχανήματος θα μπορούσε να προκαλέσει διακοπή εργασίας και σημαντικές δαπάνες. Μια επιχείρηση μπορεί να αυξήσει τη λειτουργική αποτελεσματικότητα λαμβάνοντας προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση προβλημάτων συντήρησης.

Ένα άλλο πλεονέκτημα του IIoT είναι η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων. Τα συστήματα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων επιτρέπουν στους προμηθευτές, τους παραγωγούς και τους αγοραστές να παρακολουθούν την τοποθεσία και την κατάσταση των αγαθών σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού. Σε περίπτωση που τα αντικείμενα καταστραφούν ή κινδυνεύουν να καταστραφούν, το σύστημα ειδοποιεί αμέσως τα αρμόδια μέρη, παρέχοντάς τους τη δυνατότητα να προβούν σε διορθωτικές

ή προληπτικές ενέργειες. Επιπλέον, το IIoT επιτρέπει μεγαλύτερη ικανοποίηση των πελατών. Οι κατασκευαστές και οι σχεδιαστές προϊόντων μπορούν να δημιουργήσουν πιο πελατοκεντρικά προϊόντα όταν αυτά είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο των πραγμάτων. Αυτό επιτρέπει στους κατασκευαστές να συλλέγουν και να αξιολογούν δεδομένα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι πελάτες χρησιμοποιούν τα προϊόντα τους [4]. Επιπροσθέτως, το IIoT ενισχύει τη διαχείριση εγκαταστάσεων. Τα μηχανήματα κατασκευής είναι επιρρεπή στη φθορά, η οποία μπορεί να επιδεινωθεί από συγκεκριμένες συνθήκες κατασκευής. Οι αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν τις αλλαγές θερμοκρασίας, τους κραδασμούς και άλλα στοιχεία που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε λιγότερο από ιδανικές συνθήκες λειτουργίας.

5.1.4 Είναι το IIoT ασφαλές

Οι συσκευές IoT έχουν γίνει αντιληπτές ως εγγενώς ευάλωτες επειδή οι κατασκευαστές τις ανέπτυξαν αρχικά με ελάχιστη προσοχή στην ασφάλεια. Είναι σημαντικό να σκεφτείτε εάν η χρήση συσκευών IIoT είναι ασφαλής, δεδομένων των ομοιοτήτων μεταξύ των συσκευών IoT και IIoT. Οι τελευταίες πρέπει να αξιολογούνται μεμονωμένα, όπως και κάθε άλλη συνδεδεμένη συσκευή. Είναι απολύτως εφικτό μια συσκευή από έναν κατασκευαστή να είναι ασφαλής αλλά όχι σε συνδυασμό με μια άλλη. Ωστόσο, οι κατασκευαστές συσκευών δίνουν πλέον μεγαλύτερη προτεραιότητα από ποτέ στην ασφάλεια. Οι συσκευές IIoT λειτουργούν παρόμοια με οποιαδήποτε άλλη συνδεδεμένη συσκευή.



Εικόνα 8. Εφαρμογή του IoT στην Βιομηχανία (Industrial IoT)

Πηγή: www.rfpage.com

Το Industrial Internet Consortium ιδρύθηκε το 2014 από διάφορες τεχνολογικές εταιρείες, συμπεριλαμβανομένων των AT&T, Cisco, General Electric, IBM και Intel (IIC). Παρά το γεγονός ότι ο κύριος στόχος αυτού του οργανισμού είναι να επισπεύσει την υιοθέτηση του IIoT και των σχετικών τεχνολογιών, η ασφάλεια αποτελεί πλέον κορυφαία προτεραιότητα και έχει ήδη συσταθεί μια ομάδα εργασίας για την ασφάλεια. Τεχνολογία, Σύνδεσμος, Μάρκετινγκ, Βιομηχανία και Ψηφιακός Μετασχηματισμός είναι μεταξύ των διαφόρων ομάδων εργασίας του IIC [9].

5.1.5 Ποιοι είναι οι κίνδυνοι και ποιες προκλήσεις του IIoT

Οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την ασφάλεια είναι αυτοί που απασχολούν περισσότερο τη χρήση του IIoT. Ακόμη και αφού τεθούν σε παραγωγή, οι συσκευές IIoT διατηρούν συχνά τους προεπιλεγμένους κωδικούς πρόσβασης. Παρόμοια με αυτό, πολλές συσκευές IIoT στέλνουν δεδομένα σε καθαρό κείμενο. Λόγω αυτών των συνθηκών, θα ήταν πολύ απλό για έναν χάκερ να υποκλέψει δεδομένα που ρέουν από μια συσκευή IIoT. Παρόμοια με αυτό, ένας εισβολέας μπορεί να καταλάβει τον έλεγχο μιας μη ασφαλούς συσκευής IIoT και να τη χρησιμοποιήσει ως βάση για να επιτεθεί σε άλλους πόρους δικτύου.

Για τους υπεύθυνους των συσκευών IIoT ενός οργανισμού, η ασφάλεια είναι μια σημαντική ανησυχία, αλλά και η διαχείριση συσκευών. Η υιοθέτηση μιας αποτελεσματικής στρατηγικής διαχείρισης συσκευών θα είναι πιο σημαντική καθώς μια επιχείρηση αναπτύσσει όλο και περισσότερες συσκευές IIoT. Η δημιουργία ενός συστήματος για τη μοναδική αναγνώριση κάθε συσκευής είναι επίσης απαραίτητη για λειτουργίες όπως η επισκευή μιας σπασμένης συσκευής ή η πραγματοποίηση ανανέωσης συσκευής. Όσον αφορά τις συσκευές IIoT, η διαχείριση ενημερώσεων κώδικα είναι ακόμα μια σημαντική δυσκολία. Οι περιοδικές ενημερώσεις υλικολογισμικού από κατασκευαστές συσκευών γίνονται όλο και πιο συχνές. Οι οργανισμοί πρέπει να διαθέτουν μια αξιόπιστη μέθοδο για τον προσδιορισμό του εάν οι συσκευές εκτελούν την πιο πρόσφατη έκδοση υλικολογισμικού και, εάν όχι, για την εγκατάσταση νέου υλικολογισμικού. Προκειμένου να αποφευχθεί η παρέμβαση στις επιχειρηματικές δραστηριότητες, ένα τέτοιο εργαλείο πρέπει επίσης να ακολουθεί το καθορισμένο σχέδιο συντήρησης του οργανισμού [9].

5.1.6 Ποια η διαφορά μεταξύ IoT και IIoT

Οι πλατφόρμες cloud, οι αισθητήρες, η συνδεσιμότητα, οι αλληλεπιδράσεις μηχανής με μηχανή και η ανάλυση δεδομένων είναι μερικές μόνο από τις κοινές τεχνολογίες IoT και IIoT, αν και χρησιμοποιούνται για διαφορετικά πράγματα. Οι εφαρμογές IoT συνδέουν συσκευές από διάφορους κλάδους της βιομηχανίας, όπως η

γεωργία, η υγειονομική περίθαλψη, οι επιχειρήσεις, οι καταναλωτές, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, η κυβέρνηση και οι αστικές περιοχές. Οι έξυπνες συσκευές, οι ιχνηλάτες γυμναστικής και άλλες εφαρμογές IoT συνήθως δεν οδηγούν σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης εάν κάτι πάει στραβά [12]. Από την άλλη πλευρά, οι εφαρμογές IIoT συνδέουν εξοπλισμό και gadget στους τομείς της μεταποίησης, του πετρελαίου και φυσικού αερίου και των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Σε εγκαταστάσεις IIoT, οι αστοχίες συστήματος και οι διακοπές λειτουργίας μπορεί να οδηγήσουν σε καταστάσεις υψηλού κινδύνου ή ακόμα και απειλητικές για τη ζωή. Επιπλέον, σε σύγκριση με τις εφαρμογές IoT, οι εφαρμογές IIoT επικεντρώνονται περισσότερο στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της υγείας ή της ασφάλειας.

5.1.7 Εφαρμογές και παραδείγματα IIoT

Η ABB, μια εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας και ρομποτικής, χρησιμοποιεί συνδεδεμένους αισθητήρες για να παρακολουθεί τις απαιτήσεις συντήρησης των ρομπότ της, προκειμένου να προτείνει επισκευές πριν χαλάσουν τα εξαρτήματα σε μια πραγματική ανάπτυξη IIoT έξυπνης ρομποτικής. Παρόμοια με αυτό, η Airbus, ένας κατασκευαστής εμπορικών αεροσκαφών, ξεκίνησε αυτό που αποκαλεί το εργοστάσιο του μέλλοντος, μια ψηφιακή προσπάθεια παραγωγής για τη βελτίωση των λειτουργιών και την αύξηση της παραγωγής. Για να μειώσει τα σφάλματα και να βελτιώσει την ασφάλεια των εργαζομένων, η Airbus ενσωμάτωσε αισθητήρες σε εξοπλισμό και μηχανήματα στο κατάστημα και παρείχε στο προσωπικό τεχνολογία που μπορεί να φορεθεί, όπως βιομηχανικά έξυπνα γυαλιά. Η Fanuc, ένας διαφορετικός κατασκευαστής ρομποτικών, χρησιμοποιεί αισθητήρες στα ρομπότ της και αναλύσεις δεδομένων που βασίζονται σε cloud για να προβλέψει πότε θα σπάσουν τα εξαρτήματα στα ρομπότ της. Αυτό δίνει στον διαχειριστή του εργοστασίου τη δυνατότητα να προγραμματίζει τη συντήρηση σε προσιτές περιόδους, μειώνοντας τα έξοδα και αποφεύγοντας άσκοπους χρόνους διακοπής λειτουργίας. Το IIoT επίσης χρησιμοποιείται από την Magna Steyr, μια αυστριακή αυτοκινητοβιομηχανία, για να παρακολουθεί τα περιουσιακά της στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων εργαλείων και ανταλλακτικών αυτοκινήτων, καθώς και για την αυτόματη αγορά περισσότερων αποθεμάτων όταν εξαντλούνται. Προκειμένου να παρακολουθεί εξαρτήματα στις αποθήκες της, η εταιρεία πειραματίζεται επίσης με «έξυπνες συσκευασίες» που συμπληρώνονται με Bluetooth [11].

Ορισμένοι προμηθευτές προσφέρουν πλατφόρμες IIoT, όπως:

- ABB. Μια επιχείρηση IIoT με έμφαση στο λογισμικό, τη συνδεσιμότητα και την τεχνητή νοημοσύνη.
- Wonderware από την Aveva, μια επιχείρηση που δημιουργεί πλατφόρμες αιχμής IoT και διεπαφές ανθρώπου-μηχανής (HMI) για τελικούς χρήστες και OEM (κατασκευαστές αρχικού εξοπλισμού).

- Axzon. Μια επιχείρηση που ειδικεύεται στην προγνωστική συντήρηση και την παραγωγή έξυπνων αυτοκινήτων.
- IoT Cisco. Πάροχος πλατφορμών δικτύωσης για υπολογιστές αιχμής, κοινή χρήση και έλεγχο δεδομένων, συνδεσιμότητα δικτύου και διαχείριση συνδεσιμότητας.
- Σύστημα πεδίου από την Fanuc, μια επιχείρηση που έχει δημιουργήσει μια πλατφόρμα για τη σύνδεση διαφορετικών γενεών, κατασκευαστών και μοντέλων βιομηχανικού εξοπλισμού IoT.
- Global Manufacturing Linx, μια εταιρεία που αναπτύσσει και παράγει προϊόντα και προσφέρει εξειδικευμένες πλατφόρμες διαχείρισης IIoT, εφαρμογών και δεδομένων.
- MindSphere της Siemens, μια προηγμένη βιομηχανική λύση IoT που βασίζεται σε αναλύσεις και τεχνητή νοημοσύνη (AI).
- Plataine, μια επιχείρηση IIoT που ειδικεύεται στην εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης για την παραγωγή χρήσιμων πληροφοριών για την κατασκευή.
- Predix από τη GE το οποίο αποτελεί βιομηχανική πλατφόρμα λογισμικού, η οποία παρέχει επεξεργασία, ανάλυση και σύνδεση δεδομένων και διάφορες υπηρεσίες για τη υποστήριξη βιομηχανικών εφαρμογών.

Το νέο πρότυπο για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ονομάζεται 5G. Είναι ειδικά κατασκευασμένο για να παρέχει υψηλούς ρυθμούς διεκπεραίωσης δεδομένων και χαμηλή καθυστέρηση. Με καθυστέρηση κάτω του χιλιοστού του δευτερολέπτου, το 5G θα προσφέρει ταχύτητες λήψης έως και 20 Gbps (gigabits ανά δευτερόλεπτο). Η εισαγωγή του 5G θα έχει πιθανώς δύο σημαντικές επιπτώσεις στον τρόπο χρήσης των συσκευών IIoT. Πρώτον, οι συσκευές θα μπορούν να μοιράζονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο λόγω της υψηλής απόδοσης και της χαμηλής καθυστέρησης του 5G. Προηγουμένως, μόνο ιδιωτικά δίκτυα με γρήγορη συνδεσιμότητα θα μπορούσαν να το καταστήσουν δυνατό για τις συσκευές. Τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό και οι έξυπνες πόλεις θα υποστηρίζονται από αυτήν την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο.

Ο πολλαπλασιασμός των συσκευών είναι ένας άλλος παράγοντας που πιθανότατα θα έχει αντίκτυπο στην υιοθέτηση του IIoT. Μπορεί να υπάρχουν χιλιάδες συσκευές συνδεδεμένες με 5G που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές δραστηριότητες. Λόγω της υψηλής ταχύτητας και του χαμηλού λανθάνοντος χρόνου του 5G, είναι επίσης κατανοητό ότι οι συσκευές IIoT θα αναπτυχθούν σε απομακρυσμένες τοποθεσίες όπου προηγουμένως δεν ήταν πρακτικές λόγω έλλειψης συνδεσιμότητας υψηλής ταχύτητας [12].

5.2.1 Το μέλλον του IIoT

Το μέλλον του IIoT συνδέεται στενά με το κίνημα «Industry 4.0», την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση.

Η πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση, γνωστή ως Industry 1.0, ξεκίνησε στα τέλη του 1700, όταν οι επιχειρήσεις άρχισαν να χρησιμοποιούν μηχανήματα που κινούνται με ατμό ή νερό για την κατασκευή. Οι γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας και συναρμολόγησης εισήχθησαν στις αρχές του 20ου αιώνα, που σηματοδότησε την αρχή του Industry 2.0. Η χρήση των υπολογιστών στην κατασκευή σηματοδότησε την εμφάνιση του Industry 3.0 στο τελευταίο μισό του 20ου αιώνα.

Σήμερα, βρισκόμαστε στην εποχή του Industry 4.0. Το θεμέλιο του Industry 4.0 είναι η χρήση συνδεδεμένων ηλεκτρονικών συσκευών, ειδικά συσκευών IIoT. Οι μελλοντικοί ψηφιακοί μετασχηματισμοί θα βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στις συσκευές IIoT, ιδιαίτερα καθώς οι επιχειρήσεις εργάζονται για να αυτοματοποιήσουν τις αλυσίδες εφοδιασμού και τις διαδικασίες παραγωγής τους. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων θα προχωρήσει επίσης για να περιλαμβάνει δεδομένα IIoT. Οι οργανισμοί θα είναι σε θέση να αναγνωρίζουν τις μεταβαλλόμενες συνθήκες σε πραγματικό χρόνο και να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα ως αποτέλεσμα. Παρά το γεγονός ότι οι συσκευές IIoT κυκλοφορούν εδώ και καιρό, η υιοθέτηση στον πραγματικό κόσμο βρίσκεται ακόμα στα αρχικά της στάδια. Καθώς το 5G γίνεται πιο διαδεδομένο και περισσότερες επιχειρήσεις αρχίζουν να κατανοούν τα οφέλη του IIoT, αυτό αναμφίβολα θα αλλάξει.

6. Προσομοίωση δικτύου 5G

6.1.1 Πρωτόκολλο mMTC στην επικοινωνία 5G Δικτύων

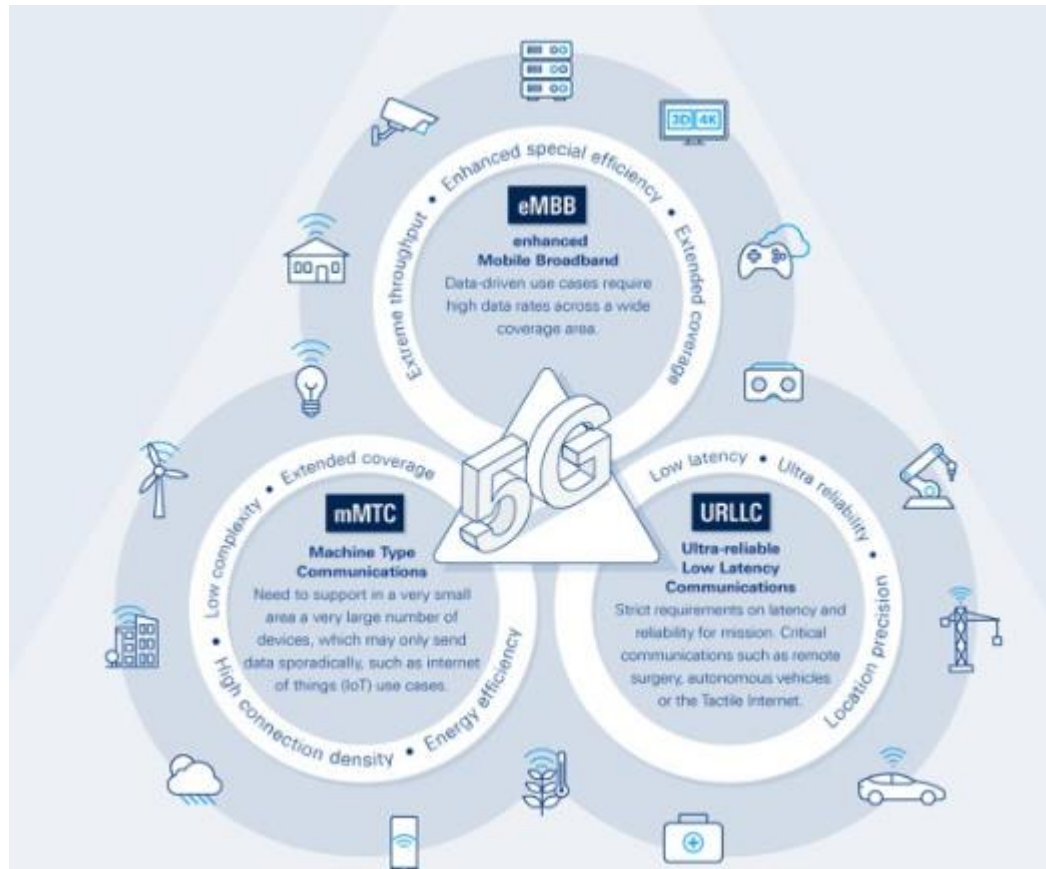
Η προοπτική δισεκατομμυρίων διασυνδεδεμένων συσκευών εντός του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) έχει γίνει ένας από τους κύριους μοχλούς της έρευνας και της ανάπτυξης στον τομέα των ΤΠΕ(Τεχνολογία Πληροφορικής & Επικοινωνιών). Στην πραγματικότητα, οι απαιτήσεις 5G για το IMT-2020 περιλαμβάνουν την υποστήριξη μιας πληθώρας υπηρεσιών και εφαρμογών, με τις μαζικές επικοινωνίες τύπου mMTC(Massive Machine-Type Communications) να είναι μία από τις τρεις βασικές υπηρεσίες. Η ανάπτυξη του 5G NR βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη, δημιουργώντας πολλές ευκαιρίες για νέες συσκευές και εξοπλισμό υποδομής. Το 5G θα αλλάξει τον τρόπο επικοινωνίας μας. Η επόμενη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, το 5G, εισάγει μια στροφή παραδείγματος προς ένα τεχνολογικό πλαίσιο με επίκεντρο τον χρήστη και την εφαρμογή, με στόχο την ευέλικτη υποστήριξη τριών σημαντικών οικογενειών περιπτώσεων χρήσης:

- Βελτιωμένη ευρυζωνική κινητή τηλεφωνία eMBB (Enhanced Mobile Broadband)
- Επικοινωνίες μαζικού τύπου μηχανήματος mMTC(Massive Machine-Type Communications)
- Εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης URLLC)(Ultra Reliable Low Latency Communications)

Οι βασικές υπηρεσίες είναι η εξαιρετικά αξιόπιστη χαμηλή καθυστέρηση (URLLC) και οι ακραίες επικοινωνίες Mobile Broadband (eMBB). Στο κεφάλαιο αυτό θα εστιάσουμε στα μαζικά πρωτόκολλα πρόσβασης και στις τεχνικές αποκωδικοποίησης πολλών χρηστών που σχετίζονται με την υποστήριξη της βασικής υπηρεσίας mMTC και θα γίνει προσπάθεια να δημιουργήσουμε μια προσομοίωση με σκοπό να κατανοήσουμε την επικοινωνία μεταξύ συσκευών σε 5G δίκτυο.

Βασικός στόχος είναι να συνδεθεί ένας αριθμός συσκευών χαμηλής κατανάλωσης, που ονομάζονται συσκευές τύπου Machine-Type (MTD), στο κυψελοειδές δίκτυο. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που απαιτούν αυξημένο αριθμό συνδεδεμένων MTD: το έξυπνο δίκτυο, η παρακολούθηση περιβάλλοντος και δομής μεγάλης κλίμακας, παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων και υγείας, κ.λπ. Συνήθως, αυτά τα MTD συνδέονται ασύγχρονα και σποραδικά στο δίκτυο για τη μετάδοση μικρών ωφέλιμων φορτίων δεδομένων. Τα συνδεδεμένα αντικείμενα περιλαμβάνουν διάφορους τύπους με ένα εξαιρετικά ευρύ σύνολο απαιτήσεων, που παρέχει επαυξημένη πραγματικότητα

θα απαιτούσε χαμηλότερη καθυστέρηση και υψηλότερη απόδοση σε σύγκριση με έναν συνδεδεμένο ανιχνευτή καπνού. Ωστόσο, είναι κοινώς κατανοητό ότι το mMTC υποδεικνύει την οικογένεια συσκευών που απαιτούν σποραδική πρόσβαση στο δίκτυο για τη μετάδοση μικρών ωφέλιμων φορτίων δεδομένων [13].



Εικόνα 9. Πρωτόκολλο mMTC

Πηγή : https://www.rohde-schwarz.com/tr/solutions/test-and-measurement/wireless-communication/cellular-standards/5g-test-and-measurement/5g-overview_229437.html

Το 5G NR συνεχίζει την πορεία του LTE επιτρέποντας πολύ υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και πολύ υψηλότερη απόδοση για την ευρυζωνική κινητή τηλεφωνία. Ωστόσο, ως απάντηση στις απαιτήσεις της δικτυωμένης κοινωνίας, το πεδίο εφαρμογής του 5G NR υπερβαίνει την ευρυζωνική συνδεσιμότητα κινητής τηλεφωνίας. Η κύρια απαίτηση του 5G NR είναι να ενεργοποιήσει την ασύρματη συνδεσιμότητα παντού, ανά πάσα στιγμή σε οποιονδήποτε και οτιδήποτε.

Το ευρύ φάσμα περιπτώσεων χρήσης που οδηγούν το 5G NR ταξινομείται από τρία κύρια σενάρια.

Ενισχυμένη ευρυζωνική κινητή τηλεφωνία (eMBB) — Αυτό το σενάριο εξακολουθεί να είναι το πιο σημαντικό σενάριο χρήσης που αφορά ανθρωποκεντρικές επικοινωνίες. Οι περιπτώσεις χρήσης eMBB έχουν διάφορες προκλήσεις. Για παράδειγμα, τα hot spot απαιτούν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, μεγαλύτερη πυκνότητα χρήστη και ανάγκη για υψηλή χωρητικότητα. Η κάλυψη ευρείας περιοχής τονίζει την κινητικότητα και την απρόσκοπτη εμπειρία χρήστη με χαμηλότερες απαιτήσεις όσον αφορά τον ρυθμό δεδομένων και την πυκνότητα χρήστη.

Επικοινωνίες τύπου μαζικής μηχανής (mMTC) — Αυτό το σενάριο αντιμετωπίζει περιπτώσεις χρήσης καθαρά μηχανοκεντρικές που χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών. Συνήθως, η απαίτηση ρυθμού δεδομένων των εφαρμογών mMTC είναι χαμηλή. Ωστόσο, οι περιπτώσεις χρήσης απαιτούν υψηλή πυκνότητα σύνδεσης τοπικά, χαμηλό κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας [13].

Εξαιρετικά αξιόπιστες και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίες (URLLC) — Αυτό το σενάριο καλύπτει τόσο ανθρωποκεντρική επικοινωνία όσο και κρίσιμη επικοινωνία τύπου μηχανής (C-MTC) που απαιτούν χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, αξιοπιστία και υψηλή διαθεσιμότητα. Οι τυπικές περιπτώσεις χρήσης URLLC περιλαμβάνουν τρισδιάστατα παιχνίδια, αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα, κρίσιμες για την αποστολή εφαρμογές, απομακρυσμένη ιατρική χειρουργική και ασύρματο έλεγχο βιομηχανικού εξοπλισμού.

Αυτή η ταξινόμηση βασίζεται σε προβλεπόμενες περιπτώσεις χρήσης και προσδιορίζει βασικές δυνατότητες του 5G NR. Με βάση αυτές τις δυνατότητες, η διεπαφή 5G NR έχει σχεδιαστεί για να προσαρμόζεται εύκολα σε απρόβλεπτες περιπτώσεις χρήσης που θα εξελιχθούν και θα προκύψουν με την πάροδο του χρόνου [13].

Παρακάτω ακολουθεί σενάριο στο οποίο θα γίνει προσομοίωση ενός 5G δικτύου με χρήση του MATLAB.

6.1.2 NR Cell Performance Evaluation με MIMO

Αυτό το παράδειγμα μοντελοποιεί μια κυψέλη 5G New Radio (NR) με διαμόρφωση κεραιάς πολλαπλής εισόδου πολλαπλής εξόδου (MIMO) και αξιολογεί την απόδοση του δικτύου. Στο σενάριο θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις καναλιών κατερχόμενης ζεύξης (DL) και ανερχόμενης ζεύξης (UL) χρησιμοποιώντας σήματα αναφοράς πληροφοριών κατάστασης καναλιών πολλαπλών θυρών (CSI-RS) και σήματα αναφοράς ήχου (SRS), αντίστοιχα. Το gNB χρησιμοποιεί τα μετρούμενα χαρακτηριστικά καναλιού για τη λήψη αποφάσεων προγραμματισμού MIMO.

Το MIMO βελτιώνει την απόδοση του δικτύου βελτιώνοντας την απόδοση και την αξιοπιστία της κυψέλης. Το παράδειγμα εκτελεί αντιστοίχιση επιπέδων και προκωδικοποίηση για να χρησιμοποιήσει το MIMO στις κατευθύνσεις DL και UL.

Χωρική πολυπλεξία DL με χρήση λέξης-κωδικού για εκτέλεση μετάδοσης πολλαπλών επιπέδων. Η χρήση λέξης-κωδικού περιορίζει τον αριθμό των επιπέδων μετάδοσης σε 4.

Χωρική πολυπλεξία UL με χρήση λέξης-κωδικού. Η προδιαγραφή 3GPP επιτρέπει μόνο μία κωδική λέξη στην κατεύθυνση UL που περιορίζει τον αριθμό των επιπέδων μετάδοσης σε 4.

Προκωδικοποίηση για αντιστοίχιση των επιπέδων μετάδοσης σε θύρες κεραίας. Το παράδειγμα προϋποθέτει αντιστοίχιση ένας προς έναν από τις θύρες κεραίας σε φυσικές κεραίες.

Μέτρηση ποιότητας καναλιού DL από UE με βάση το CSI-RS πολλαπλών θυρών που λαμβάνεται από το gNB. Η ίδια διαμόρφωση CSI-RS ισχύει για όλους τους UE.

Μέτρηση ποιότητας καναλιού UL από gNB με βάση το SRS πολλαπλών θυρών που λαμβάνεται από τους UE. Το παράδειγμα δεν υποστηρίζει την εκτίμηση κατάταξης UL και παρέχει την κατάταξη που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του πίνακα προκωδικοποίησης UL ως παράμετρος διαμόρφωσης.

Αναφορά δείκτη κατάταξης DL (RI), δείκτης μήτρας προκωδικοποίησης (PMI) και δείκτης ποιότητας καναλιού (CQI) από UE. Το παράδειγμα υποστηρίζει το βιβλίο κωδικών ενός πίνακα τύπου 1 για PMI.

Απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου (FSPL), προσθετικό λευκό Gaussian θόρυβο (AWGN) και μοντέλο καναλιού διάδοσης γραμμής καθυστέρησης (CDL).

Οι κόμβοι στέλνουν τα πακέτα ελέγχου (αναφορά κατάστασης buffer (BSR), εκχώρηση DL, επιχορηγήσεις UL, ανατροφοδότηση PDSCH και αναφορά CSI) εκτός ζώνης, χωρίς να χρειάζονται πόρους για μετάδοση και σίγουρη λήψη χωρίς σφάλματα.

Μέτρηση και αναφορά καναλιών

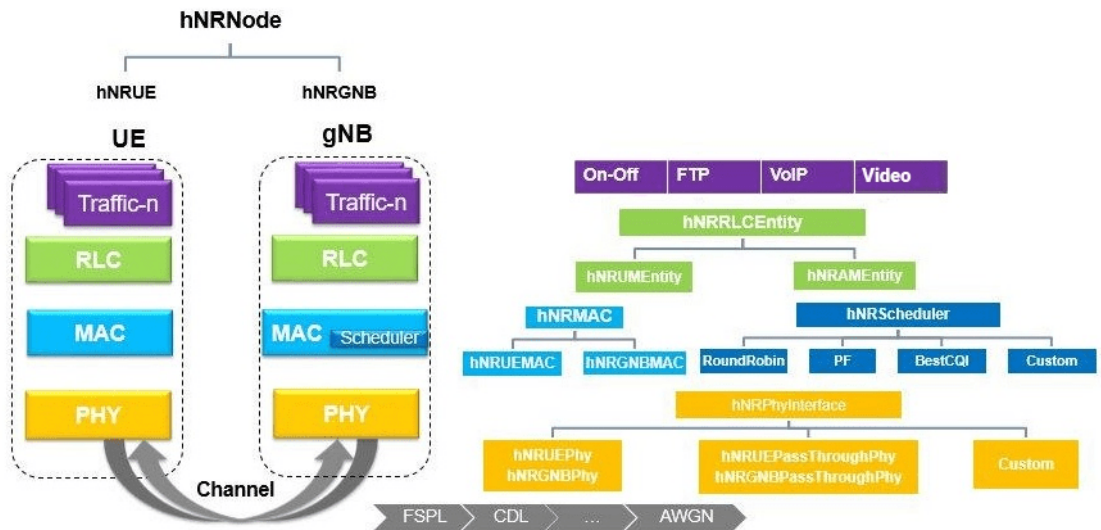
Αποτελείται από μέτρηση και αναφορά καναλιού DL από τους UEs και μέτρηση καναλιού UL από gNB.

Μέτρηση και αναφορά καναλιού DL Η αναφορά CSI είναι η διαδικασία με την οποία ένας UE, για μεταδόσεις DL, συμβουλεύει έναν κατάλληλο αριθμό επιπέδων μετάδοσης (κατάταξη), PMI και τιμές CQI στο gNB. Το UE εκτιμά αυτές τις τιμές εκτελώντας μετρήσεις καναλιού στους διαμορφωμένους πόρους CSI-RS του. Ο προγραμματιστής gNB χρησιμοποιεί αυτή τη συμβουλή για να αποφασίσει τον αριθμό των επιπέδων μετάδοσης, τον πίνακα προκωδικοποίησης και το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (MCS) για PDSCH.

Μέτρηση καναλιού UL

Το gNB χρησιμοποιεί SRS για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών του καναλιού UL με τρόπο ανάλογο με τις μετρήσεις καναλιών DL που βασίζονται στο CSI-RS. Οι μετρήσεις του καναλιού UL χρησιμεύουν ως σημαντική είσοδος στον προγραμματιστή για να αποφασίσει τον αριθμό των επιπέδων μετάδοσης, τη μήτρα προκωδικοποίησης και το MCS για τα PUSCH.

5G Node Composition



Εικόνα 10. Κόμβος (gNB ή UE) -σύνθεση στρωμάτων στοίβας NR

Πηγή: [Mathworks.com](https://www.mathworks.com)

Προσομοίωση σκοπός

Η παρακάτω προσομοίωση μοντελοποιεί μια κυψέλη νέου ραδιοφώνου (NR) 5G με διαδικασία βελτίωσης δέσμης άκρου μετάδοσης στην κατεύθυνση κατερχόμενης ζεύξης (DL) και αξιολογεί την απόδοση του δικτύου. Αυτό το παράδειγμα δείχνει τον τρόπο μετάδοσης πολλαπλών πόρων σήματος αναφοράς πληροφοριών κατάστασης καναλιού μίας θύρας (CSI-RS) σε διαφορετικές κατευθύνσεις για μετρήσεις ισχύος λήψης σήματος αναφοράς επιπέδου 1 (φυσικό επίπεδο) (L1-RSRP).

Ο προγραμματιστής gNB χρησιμοποιεί τις αναφορές L1-RSRP για τη διαμόρφωση δέσμης των εκπομπών του φυσικού κοινόχρηστου καναλιού κατερχόμενης ζεύξης (PDSCH) για καλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) στους UE. Μπορείτε να τροποποιήσετε τον προγραμματιστή gNB για να επιλέξετε την κατεύθυνση της δέσμης για τις μεταδόσεις PDSCH.

Στοίβα πρωτοκόλλου NR

Ένας κόμβος (gNB ή UE) είναι μια σύνθεση στρωμάτων στοίβας NR. Οι βοηθητικές κλάσεις hNRGNB.m και hNRUE.m δημιουργούν κόμβους gNB και UE, αντίστοιχα, που περιέχουν τον έλεγχο ραδιοζεύξης (RLC), τον έλεγχο πρόσβασης μέσω (MAC) και το φυσικό επίπεδο (PHY). Για περισσότερες λεπτομέρειες, δείτε το παράδειγμα NR Cell Performance Evaluation with Physical Layer Integration.

Με χρήση του Matlab αρχικά δίνουμε τις παραμέτρους:

```

rng('default'); % Reset the random number generator
simParameters = []; % Clear the simParameters variable
simParameters.NumFramesSim = 10; % Simulation time in terms of number of 10
ms frames
simParameters.SchedulingType = 0; % Set the value to 0 (slot based
scheduling) or 1 (symbol based scheduling)

```

Στην συνέχεια καθορίζουμε τον αριθμό των UE στο κελί, υποθέτοντας ότι οι UE έχουν διαδοχικά προσωρινά αναγνωριστικά δικτύου (RNTI) από 1 έως `simParameters.NumUEs`. Εάν αλλάξουμε τον αριθμό των UE, θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι ο αριθμός των σειρών στο `simParameters.UEPosition` είναι ίσος με την τιμή του `simParameters.NumUEs`.

```

simParameters.NumUEs = 4;
% Assign position to the UEs assuming that the gNB is at (0, 0, 0). N-by-3
% matrix where 'N' is the number of UEs. Each row has (x, y, z) position of a
% UE (in meters)
simParameters.UEPosition = [300 0 0;
                             700 0 0;
                             1200 0 0;
                             3000 0 0];
% Validate the UE positions
validateattributes(simParameters.UEPosition, {'numeric'}, {'nonempty', 'real',
'nrows', simParameters.NumUEs, 'ncols', 3, 'finite'},
'simParameters.UEPosition', 'UEPosition');

```

```

simParameters.GNBTxAnts = 16;
simParameters.GNBRxAnts = 8;
simParameters.UETxAnts = 4*ones(simParameters.NumUEs, 1);
simParameters.UERxAnts = 2*ones(simParameters.NumUEs, 1);
% Validate the number of transmitter and receiver antennas at UE
validateattributes(simParameters.UETxAnts, {'numeric'}, {'nonempty',
'integer', 'nrows', simParameters.NumUEs, 'ncols', 1, 'finite'},
'simParameters.UETxAnts', 'UETxAnts')
validateattributes(simParameters.UERxAnts, {'numeric'}, {'nonempty',
'integer', 'nrows', simParameters.NumUEs, 'ncols', 1, 'finite'},
'simParameters.UERxAnts', 'UERxAnts')

```

Στην συνέχεια θα γίνει διαμόρφωση SRS για κάθε UE. Στο παράδειγμα θεωρούμε SRS πλήρους εύρους ζώνης και τον αριθμό μετάδοσης ως 4, επομένως έως και 4 UE πολυπλέκονται συχνότητας στο ίδιο σύμβολο SRS δίνοντας διαφορετική μετατόπιση χτένας. Όταν ο αριθμός των UE είναι μεγαλύτερος από 4, τους εκχωρούνται διαφορετικές μετατοπίσεις θυρίδων SRS.

```

simParameters.NumRBs = 25;
simParameters.SCS = 15; % kHz

```

```

simParameters.DLCarrierFreq = 2.646e9; % Hz
simParameters.ULCarrierFreq = 2.535e9; % Hz
% The UL and DL carriers are assumed to have symmetric channel
% bandwidth
simParameters.DLBandwidth = 5e6; % Hz
simParameters.ULBandwidth = 5e6; % Hz

simParameters.SRSSubbandSize = 4;
srsConfig = cell(1, simParameters.NumUEs);
combNumber = 4; % SRS comb number
for ueIdx = 1:simParameters.NumUEs
    % Ensure non-overlapping SRS resources when there are more than 4 UEs by
    giving different offset
    srsPeriod = [10 3+floor((ueIdx-1)/4)];
    srsBandwidthMapping = nrSRSConfig.BandwidthConfigurationTable{:,2};
    csrs = find(srsBandwidthMapping <= simParameters.NumRBs, 1, 'last') - 1;
    % Set full bandwidth SRS
    srsConfig{ueIdx} = nrSRSConfig('NumSRSPorts', 4, 'SymbolStart', 13,
'SRSPeriod', srsPeriod, 'KTC', combNumber, 'KBarTC', mod(ueIdx-1,
combNumber), 'BSRS', 0, 'CSRS', csrs);
end
simParameters.SRSConfig = srsConfig;

csiReportConfig.PanelDimensions = [8 1]; % [N1 N2] as per 3GPP TS 38.214 Table
5.2.2.2.1-2
csiReportConfig.CQIMode = 'Subband'; % 'Wideband' or 'Subband'
csiReportConfig.PMIMode = 'Subband'; % 'Wideband' or 'Subband'
csiReportConfig.SubbandSize = 4; % Refer TS 38.214 Table 5.2.1.4-2 for valid
subband sizes
% Set codebook mode as 1 or 2. It is applicable only when the number of
transmission layers is 1 or 2 and
% number of CSI-RS ports is greater than 2
csiReportConfig.CodebookMode = 1;
simParameters.CSIReportConfig = {csiReportConfig};

simParameters.SchedulerStrategy = 'PF'; % Supported scheduling strategies:
'PF', 'RR', and 'BestCQI'
simParameters.RBAllocationLimitUL = 15; % For PUSCH
simParameters.RBAllocationLimitDL = 15; % For PDSCH

```

6.1.3 Διαμόρφωση Traffic

```

dlAppDataRate = 40e3*ones(simParameters.NumUEs, 1); % DL application data rate
in kilo bits per second (kbps)
ulAppDataRate = 40e3*ones(simParameters.NumUEs, 1); % UL application data
rate in kbps
% Validate the DL application data rate
validateattributes(dlAppDataRate, {'numeric'}, {'nonempty', 'vector', 'numel',
simParameters.NumUEs, 'finite', '>', 0}, 'dlAppDataRate', 'dlAppDataRate');

```

```
% Validate the UL application data rate
validateattributes(ulAppDataRate, {'numeric'}, {'nonempty', 'vector', 'numel',
simParameters.NumUEs, 'finite', '>', 0}, 'ulAppDataRate', 'ulAppDataRate');
```

Μοντέλο που θα εφαρμοστεί στο κανάλι

```
channelModelUL = cell(1, simParameters.NumUEs);
channelModelDL = cell(1, simParameters.NumUEs);
waveformInfo = nrOFDMInfo(simParameters.NumRBs, simParameters.SCS);
for ueIdx = 1:simParameters.NumUEs
    % Configure the uplink channel model
    channel = nrCDLChannel;
    channel.DelayProfile = 'CDL-C';
    channel.DelaySpread = 300e-9;
    channel.Seed = 73 + (ueIdx - 1);
    channel.CarrierFrequency = simParameters.ULCarrierFreq;
    channel = hArrayGeometry(channel, simParameters.UETxAnts(ueIdx),
simParameters.GNBRxAnts, 'uplink');
    channel.SampleRate = waveformInfo.SampleRate;
    channelModelUL{ueIdx} = channel;

    % Configure the downlink channel model
    channel = nrCDLChannel;
    channel.DelayProfile = 'CDL-C';
    channel.DelaySpread = 300e-9;
    channel.Seed = 73 + (ueIdx - 1);
    channel.CarrierFrequency = simParameters.DLCarrierFreq;
    channel = hArrayGeometry(channel, simParameters.GNBTxAnts,
simParameters.UERxAnts(ueIdx), 'downlink');
    channel.SampleRate = waveformInfo.SampleRate;
    channelModelDL{ueIdx} = channel;
end
```

Για την εκτέλεση της προσομοίωσης θέτουμε:

```
% Initialize wireless network simulator
nrNodes = [{gNB}; UEs];
networkSimulator = hWirelessNetworkSimulator(nrNodes);
```

Δημιουργία MAC και PHY

```
if enableTraces
    % Create an object for MAC traces logging
    simSchedulingLogger = hNRSchedulingLogger(simParameters, networkSimulator,
gNB, UEs);

    % Create an object for PHY traces logging
    simPhyLogger = hNRPhyLogger(simParameters, networkSimulator, gNB, UEs);

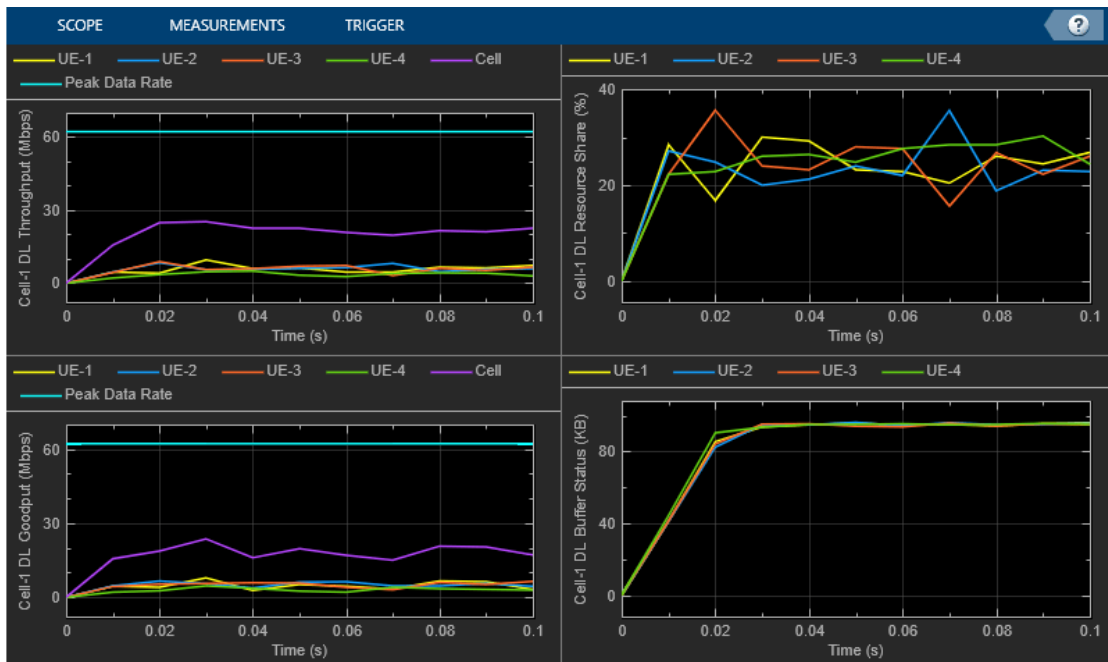
    % Create an object for CQI and RB grid visualization
    if simParameters.CQIVisualization || simParameters.RBVisualization
        gridVisualizer = hNRGridVisualizer(simParameters, 'MACLogger',
simSchedulingLogger);
    end
end
```

6.1.4 Εκτέλεση προσομοίωσης

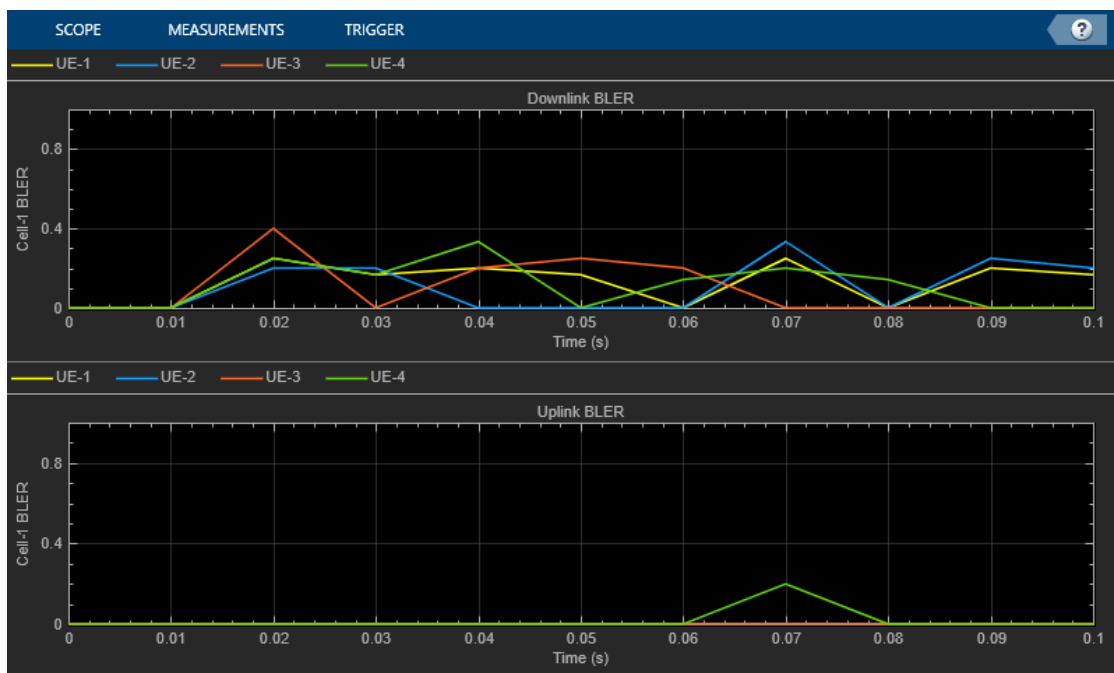
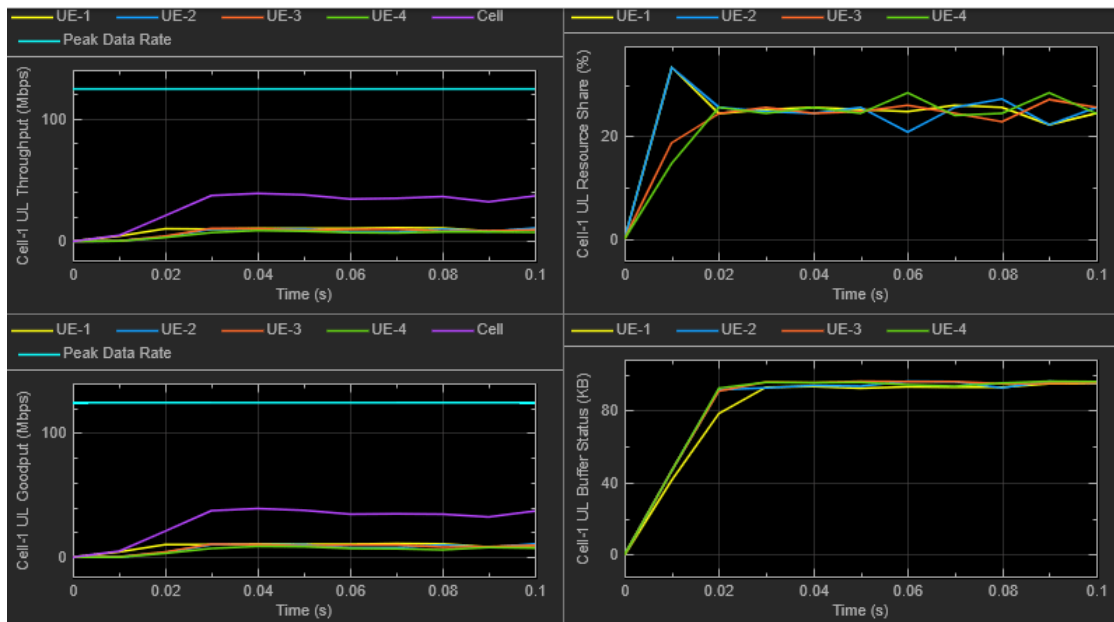
Για να δείξουμε την λειτουργία ενός δικτύου 5G θα εκτελέσουμε προσομοίωση με χρήση του λογισμικού MATLAB. Ειδικότερα στην προσομοίωση θα χρησιμοποιήσουμε

```
% Calculate the simulation duration (in seconds) from 'NumFramesSim'  
simulationTime = simParameters.NumFramesSim * 1e-2;  
% Run the simulation  
run(networkSimulator, simulationTime);
```

Με την εκτέλεση της προσομοίωσης λαμβάνουμε το ακόλουθο:



Εικόνα 1. Γραφικό αποτέλεσμα εκτέλεσης προσομοίωσης – Σχέση Throughput με χρήση διάφορων κόμβων



Εικόνα 2. Δείκτες απόδοσης εκτέλεσης προσομοίωσης

Bler : Ορίζεται ως η αναλογία των εσφαλμένων ληφθέντων μπλοκ κώδικα προς όλα τα ληφθέντα μπλοκ κώδικα. Εάν ο συνδεδεμένος κωδικός CRC(Κυκλικός έλεγχος πλεονασμού- τεχνική ανίχνευσης σφαλμάτων στην μεταφορά και αποθήκευση δεδομένων) και αυτός που προσδιορίζεται από τον δέκτη ταιριάζουν, το μπλοκ κωδικών θεωρείται χωρίς σφάλματα.

Στο τέλος της προσομοίωσης, η επιτευχθείσα τιμή για τον δείκτη απόδοσης του συστήματος συγκρίνεται με τις θεωρητικές μέγιστες τιμές τους (λαμβάνοντας μηδενικά γενικά έξοδα). Οι δείκτες απόδοσης που εμφανίζονται είναι ο επιτυγχανόμενος ρυθμός δεδομένων (UL και DL), η επιτευχθείσα φασματική απόδοση (UL και DL) και το BLER που παρατηρήθηκε για UE (DL και UL). Οι μέγιστες τιμές υπολογίζονται σύμφωνα με το 3GPP TR 37.910. Ο αριθμός των επιπέδων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ρυθμού δεδομένων αιχμής DL και UL λαμβάνεται ως η μέση τιμή των μέγιστων δυνατών στρωμάτων για κάθε UE στην αντίστοιχη κατεύθυνση. Ο μέγιστος δυνατός αριθμός επιπέδων DL για ένα UE είναι ο ελάχιστος από τις κεραιές Rx και τις κεραιές Tx του gNB. Ομοίως, ο μέγιστος δυνατός αριθμός επιπέδων UL για ένα UE είναι ο ελάχιστος των κεραιών Tx και των κεραιών Rx του gNB.

Συμπεράσματα

Το IoT έχει ήδη ενταχθεί στην καθημερινότητά μας και αναμφίβολα θα υπάρξει ραγδαία εξέλιξη μέσα στα επόμενα χρόνια. Αναλόγως των προδιαγραφών των εκάστοτε περιπτώσεων χρήσης IoT, ανάλογα με την επικοινωνία που επιλέγεται προσφέρει ποικιλόμορφα σενάρια ενεργοποίησης ενώ γίνονται και διάφοροι συμβιβασμοί ανάμεσα στην κατανάλωση καθώς και στο εύρος ζώνης.

Σήμερα, ανάλογα με την κατηγορία των δικτύων δηλαδή δίκτυα μικρής, μεσαίας και μεγάλης εμβέλειας χρησιμοποιούνται αντίστοιχα και τα κατάλληλα πρωτόκολλα ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις και οι ανάγκες των χρηστών και των επιχειρήσεων. Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας φαίνεται ότι 5G σήμερα έχει ακόμα περιθώριο εξέλιξης και βελτίωσης. Παρ' όλα αυτά, αποτελεί την πλέον υποσχόμενη τεχνολογία που μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του Internet of Things.

Βιβλιογραφία

- [1] C. G. García , V. García-Díaz (University of Oviedo, Spain), B.C Pelayo García-Bustelo (University of Oviedo, Spain) and J.M Cueva Lovelle (University of Oviedo, Spain), “Protocols and Applications for the Industrial Internet of Things” , 13 April 2018
- [2] Chen, Shanzhi, and J.Zhao. The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication. IEEE,36-43,19 May 2014
- [3] Zamfir, Sorin, et al. A security analysis on standard IoT protocols. Craiona, Romania: IEEE, 2016
- [4] Shafique, Kinza, et al. “Internet of things (IoT) for next-generation smart systems: A review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT scenarios.” Ieee Access 8 ,23022-23040, 28 January 2020
- [5] Pfister, *Getting Started with the Internet of Things*. Gravenstein Highway North: O’Reilly Media Inc, 2011.
- [6] Shah, S.Hussain, and I.Yaqoob. “A survey: Internet of Things (IOT) technologies, applications and challenges.” 21-24 August 2016, Oshawa, ON, Canada , 13 October 2016
- [7] Shafi, Mansoor, et al.5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice. IEEE,1201-1221, 7 April 2017
- [8] Ghosh, Amitabha, et al. 5G evolution: A view on 5G cellular technology beyond 3GPP release 15, IEEE Access ,127639-127651, 6 September 2019
- [9] Wang, Dan, et al. From IoT to 5G I-IoT: The next generation IoT-based intelligent algorithms and 5G technologies, IEEE Communications Magazine 56.10 , 114-120,October 2018
- [10] Khurpade, J.Mante, D. Rao, and P.D.Sanghavi. A Survey on IOT and 5G Network. Mumbai:IEEE, 2018
- [11] Abdul-Qawy, Antar & Magesh, E & Tadisetty, Srinivasulu. “The Internet of Things (IoT): An Overview” Academia, December 2015, 71-81
- [12] Mouha, Radouan. “Internet of Things (IoT)”. Scientific Research,Journal of Data Analysis and Information Processing, Vol.9 No.2, May 2021 Διαθέσιμο : <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=108574>
- [13] Dalman, E., S. Parkvall, and J. Sköld. *4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G*. Kidlington, Oxford: Academic Press, 2016
- [15] <https://www.mathworks.com/help/5g/ug/nr-cell-performance-evaluation-with-physical-layer-integration.html>

Παράρτημα Κώδικα

```

rng('default'); % Reset the random number generator
simParameters = []; % Clear the simParameters variable
simParameters.NumFramesSim = 10; % Simulation time in terms of number of 10
ms frames
simParameters.SchedulingType = 0; % Set the value to 0 (slot based
scheduling) or 1 (symbol based scheduling)
simParameters.NumUEs = 4;
% Assign position to the UEs assuming that the gNB is at (0, 0, 0). N-by-3
% matrix where 'N' is the number of UEs. Each row has (x, y, z) position of a
% UE (in meters)
simParameters.UEPosition = [300 0 0;
                             700 0 0;
                             1200 0 0;
                             3000 0 0];

% Validate the UE positions
validateattributes(simParameters.UEPosition, {'numeric'}, {'nonempty',
'real', 'nrows', simParameters.NumUEs, 'ncols', 3, 'finite'},
'simParameters.UEPosition', 'UEPosition');

simParameters.GNBTxAnts = 16;
simParameters.GNBRxAnts = 8;
simParameters.UETxAnts = 4*ones(simParameters.NumUEs, 1);
simParameters.UERxAnts = 2*ones(simParameters.NumUEs, 1);
% Validate the number of transmitter and receiver antennas at UE
validateattributes(simParameters.UETxAnts, {'numeric'}, {'nonempty',
'integer', 'nrows', simParameters.NumUEs, 'ncols', 1, 'finite'},
'simParameters.UETxAnts', 'UETxAnts')
validateattributes(simParameters.UERxAnts, {'numeric'}, {'nonempty',
'integer', 'nrows', simParameters.NumUEs, 'ncols', 1, 'finite'},
'simParameters.UERxAnts', 'UERxAnts')
simParameters.NumRBs = 25;
simParameters.SCS = 15; % kHz
simParameters.DLCarrierFreq = 2.646e9; % Hz
simParameters.ULCarrierFreq = 2.535e9; % Hz
% The UL and DL carriers are assumed to have symmetric channel
% bandwidth
simParameters.DLBandwidth = 5e6; % Hz
simParameters.ULBandwidth = 5e6; % Hz
simParameters.SRSSubbandSize = 4;
srsConfig = cell(1, simParameters.NumUEs);
combNumber = 4; % SRS comb number
for ueIdx = 1:simParameters.NumUEs
    % Ensure non-overlapping SRS resources when there are more than 4 UEs by
    giving different offset
    srsPeriod = [10 3+floor((ueIdx-1)/4)];
    srsBandwidthMapping = nrSRSConfig.BandwidthConfigurationTable(:,2);
    csrs = find(srsBandwidthMapping <= simParameters.NumRBs, 1, 'last') - 1;
    % Set full bandwidth SRS
    srsConfig{ueIdx} = nrSRSConfig('NumSRSPorts', 4, 'SymbolStart', 13,
'SRSPeriod', srsPeriod, 'KTC', combNumber, 'KBarTC', mod(ueIdx-1,
combNumber), 'BSRS', 0, 'CSRS', csrs);
end
simParameters.SRSConfig = srsConfig;

```

```

csiReportConfig.PanelDimensions = [8 1]; % [N1 N2] as per 3GPP TS 38.214 Table
5.2.2.2.1-2
csiReportConfig.CQIMode = 'Subband'; % 'Wideband' or 'Subband'
csiReportConfig.PMIMode = 'Subband'; % 'Wideband' or 'Subband'
csiReportConfig.SubbandSize = 4; % Refer TS 38.214 Table 5.2.1.4-2 for valid
subband sizes
% Set codebook mode as 1 or 2. It is applicable only when the number of
transmission layers is 1 or 2 and
% number of CSI-RS ports is greater than 2
csiReportConfig.CodebookMode = 1;
simParameters.CSIReportConfig = {csiReportConfig};
simParameters.SchedulerStrategy = 'PF'; % Supported scheduling strategies:
'PF', 'RR', and 'BestCQI'
simParameters.RBAllocationLimitUL = 15; % For PUSCH
simParameters.RBAllocationLimitDL = 15; % For PDSCH
dlAppDataRate = 40e3*ones(simParameters.NumUEs, 1); % DL application data rate
in kilo bits per second (kbps)
ulAppDataRate = 40e3*ones(simParameters.NumUEs, 1); % UL application data
rate in kbps
% Validate the DL application data rate
validateattributes(dlAppDataRate, {'numeric'}, {'nonempty', 'vector', 'numel',
simParameters.NumUEs, 'finite', '>', 0}, 'dlAppDataRate', 'dlAppDataRate');
% Validate the UL application data rate
validateattributes(ulAppDataRate, {'numeric'}, {'nonempty', 'vector', 'numel',
simParameters.NumUEs, 'finite', '>', 0}, 'ulAppDataRate', 'ulAppDataRate');
channelModelUL = cell(1, simParameters.NumUEs);
channelModelDL = cell(1, simParameters.NumUEs);
waveformInfo = nrOFDMInfo(simParameters.NumRBs, simParameters.SCS);
for ueIdx = 1:simParameters.NumUEs
    % Configure the uplink channel model
    channel = nrCDLChannel;
    channel.DelayProfile = 'CDL-C';
    channel.DelaySpread = 300e-9;
    channel.Seed = 73 + (ueIdx - 1);
    channel.CarrierFrequency = simParameters.ULCarrierFreq;
    channel = hArrayGeometry(channel, simParameters.UETxAnts(ueIdx),
simParameters.GNBRxAnts, 'uplink');
    channel.SampleRate = waveformInfo.SampleRate;
    channelModelUL{ueIdx} = channel;
    % Configure the downlink channel model
    channel = nrCDLChannel;
    channel.DelayProfile = 'CDL-C';
    channel.DelaySpread = 300e-9;
    channel.Seed = 73 + (ueIdx - 1);
    channel.CarrierFrequency = simParameters.DLCarrierFreq;
    channel = hArrayGeometry(channel, simParameters.GNBTxAnts,
simParameters.UERxAnts(ueIdx), 'downlink');
    channel.SampleRate = waveformInfo.SampleRate;
    channelModelDL{ueIdx} = channel;
end
% Initialize wireless network simulator
nrNodes = [{gNB}; UEs];
networkSimulator = hWirelessNetworkSimulator(nrNodes);
if enableTraces
    % Create an object for MAC traces logging
    simSchedulingLogger = hNRSchedulingLogger(simParameters, networkSimulator,
gNB, UEs);

    % Create an object for PHY traces logging

```

```
simPhyLogger = hNRPhyLogger(simParameters, networkSimulator, gNB, UEs);

% Create an object for CQI and RB grid visualization
if simParameters.CQIVisualization || simParameters.RBVisualization
    gridVisualizer = hNRGridVisualizer(simParameters, 'MACLogger',
simSchedulingLogger);
end
end
% Calculate the simulation duration (in seconds) from 'NumFramesSim'
simulationTime = simParameters.NumFramesSim * 1e-2;
% Run the simulation
run(networkSimulator, simulationTime);
```