



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής &**  
**Τηλεπικοινωνιών**

## **Διπλωματική Εργασία**

**«Μελέτη Συνδεσιμότητας σε Δίκτυα Μηχανής προς Μηχανή»**

**Πούλιου Χρυσούλα – ΑΕΜ 447**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Επίκουρος Καθηγητής,**

**Παναγιώτης Σαρηγιαννίδης**

**Ιούλιος 2018, Κοζάνη**

**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής &**  
**Τηλεπικοινωνιών**

**Διπλωματική Εργασία**

**«Μελέτη συνδεσιμότητας σε δίκτυα μηχανής προς μηχανή»**

**Πούλιου Χρυσούλα – ΑΕΜ 447**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Επίκουρος Καθηγητής,**  
**Παναγιώτης Σαρηγιαννίδης**



**Ιούλιος 2018, Κοζάνη**

---

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών για την απόκτηση του Διπλώματος που απονέμει το Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας με τίτλο «Μηχανικός Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών» Εγκρίθηκε την . . . / . . . /2018 από Εξεταστική Επιτροπή αποτελούμενη από τους :

- 1.
- 2.

---

## **Δικαιώματα**

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. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

---

## Ευχαριστίες

Πριν από τη παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους που με βοήθησαν να ολοκληρώσω τους στόχους μου σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πρώτον από όλους θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου, τον Επίκουρο Καθηγητή Σαρηγιαννίδη Παναγιώτη για την υπομονή, την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, τους συμφοιτητές, και τους καθηγητές του τμήματος για την στήριξη και την άψογη συνεργασία που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θα ήταν μεγάλη παράλειψη να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την πλήρη και αδιάκοπη υποστήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Η διπλωματική εργασία με τίτλο «Μελέτη συνδεσιμότητας σε δίκτυα μηχανής προς μηχανή» έχει ως στόχο να καλύψει τις βασικές και επικρατούσες τεχνολογίες των Machine-to-Machine (M2M) δικτύων και κατά επέκταση των ανερχόμενων 5G δικτύων. Πολλές διαφορετικές πτυχές αυτής της τεχνολογίας μπορούν να μελετηθούν και δέχονται εκτενή ανάλυση, αλλά κύριο αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη της συνδεσιμότητας M2M κόμβων που βρίσκονται σε μια περιοχή.

Στην ιστορία του ανθρώπου, οι τηλεπικοινωνίες έχουν διαδεχθεί πολλά στάδια και εξυπηρετούν πλέον βασικές ανάγκες μας. Ξεκινώντας πριν από πολλά χρόνια από τον τηλεγράφο, σήμερα οι τηλεπικοινωνιακές μας ανάγκες καλύπτονται ακόμα και με δορυφόρους, οι οποίοι βρίσκονται έξω από την επιφάνεια της γης. Στις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες γίνονται συνεχώς αναβαθμίσεις και βελτιώσεις με σκοπό την ενιαία γεωγραφική κάλυψη με τις καλύτερες δυνατές υπηρεσίες.

Η μελέτη της κάλυψης αποτελεί κρίσιμο κομμάτι κατά την εγκατάσταση και ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η ποιότητα των υπηρεσιών και η κάλυψη μιας περιοχής εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες που κάθε φορά είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με τη φυσιολογία της περιοχής. Παρά το γεγονός αυτό, όλες οι τεχνολογίες που βασίζονται σε επικοινωνίες ραδιοκυμάτων υπακούουν σε κάποιους κοινούς κανόνες. Στα πλαίσια της εργασίας μελετώνται αυτοί οι παράγοντες που διαμορφώνουν τη κάλυψη και ποιες είναι οι τεχνικές που ακολουθούνται ώστε να παροχηθεί η σωστή κάλυψη.

Τέλος, στο ερευνητικό μέρος της εργασίας υλοποιείται μελέτη κάλυψης σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Η προσομοίωση δέχεται σαν όρισμα μία περιοχή της Ελλάδας, ο χρήστης ορίζει τη θέση των πυλών (gateway), και στη συνέχεια δημιουργούνται τυχαίοι κόμβοι ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά τους σχετικά με τη κάλυψη στη δοθείσα περιοχή. Υπάρχουν δύο είδη πυλών, με μικρή εμβέλεια και με μεγάλη εμβέλεια και οι κόμβοι είναι είτε ακίνητοι είτε κινούμενοι. Έπειτα από μια σειρά προσομοιώσεων και δοκιμών προκύπτουν γραφήματα και συμπεράσματα.

**Λέξεις κλειδιά: 5G δίκτυα, m2m δίκτυα, κάλυψη, κυψελωτές επικοινωνίες**

---

## **Abstract**

This diploma thesis entitled «Connectivity Study in Machine to Machine Networks», has as its objective to cover the basic technologies that consist the machine to machine M2M network. Furthermore, a basic concepts of 5G networks has been analyzed, and a reference in the way of combination of m2m technologies and 5G network has been made as well.

There are a lot of different areas that we can study and invest about the 5G technology. In this thesis the very important aspect will be the study of radio coverage in m2m network.

During our history as humans, telecommunications have been through countless stages and even today are a really essential part of our life. As the telephone first came up before many years, today we have been using satellites to communicate. We are trying to improve and update the already used technologies in order to have a unified coverage to every place in the earth in combination with a good quality of service.

The coverage study is a crucial part of the installation and development of telecommunication networks. The quality of services and the coverage of a site depend on various factors that are inextricably linked to the physiology of the area. Despite this, all technologies based on radio communications obey some common rules. In the course of this thesis we study these factors that shape the coverage and what are the techniques followed in order to provide the correct coverage.

Finally, in the research part of the thesis a cover study is carried out in different regions of Greece. The simulation accepts as an argument a region of Greece, the user defines the location of the gateway, and then random nodes are created in order to study their behavior regarding the coverage in the given area. There are two types of gateways, macro and micro gateway and the nodes are either stationary or moving. After a series of simulations and tests, graphs and conclusions emerge.

***Keywords: 5G networks, m2m networks, coverage, cellular telecommunications***

---

## **Σκοπός και κίνητρα για τη συγγραφή της εργασίας**

Ο σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των 5G δικτύων, των χαρακτηριστικών που τα διέπουν και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την υλοποίησή τους.

Σε αυτή την εργασία, επίσης, γίνεται ανάλυση μιας εφαρμογής που πρόκειται να εφαρμοστεί εκτενώς, με τη βοήθεια των 5G δικτύων, αυτή των επικοινωνιών μηχανής προς μηχανή (m2m / M2M).

Τελικός σκοπός της εργασίας είναι να αναφερθούν και να μελετηθούν οι τρόποι που επιφέρουν γεωγραφική κάλυψη με ραδιοκύματα σε μια περιοχή.

Τα κίνητρα για τη συγγραφή της εργασίας είναι η ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας με τίτλο «Μελέτη συνδεσιμότητας σε δίκτυα μηχανής προς μηχανή» στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών καθώς και το προσωπικό ενδιαφέρον για εμβάθυνση γνώσεων σχετικά με αυτή την τεχνολογία.



---

## **Συνοπτική παρουσίαση και δομή εργασίας**

Το κείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας οργανώνεται στα εξής κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1ο: Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο των τηλεπικοινωνιακών δικτύων καθώς και των χαρακτηριστικών τους.

Κεφάλαιο 2ο: Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η νέα τεχνολογία των 5G δικτύων και παρατίθενται παραδείγματα εφαρμογής τους με σκοπό την καλύτερη κατανόηση τους.

Κεφάλαιο 3ο: Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται οι M2M επικοινωνίες και οι βασικές αρχές που εφαρμόζονται σε αυτά.

Κεφάλαιο 4ο: Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι παράγοντες που καθορίζουν τη ραδιοκάλυψη μιας περιοχής, όταν αναφερόμαστε σε κυψελωτά συστήματα.

Κεφάλαιο 5ο: Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον MATLAB. Τέλος, παρατίθενται όλα τα αποτελέσματα, σε μορφή διαγραμμάτων, και εξάγονται συμπεράσματα σύμφωνα με τη προσομοίωση.

Κεφάλαιο 6ο: Στο κεφάλαιο 6 γίνεται μια καθολική παρουσίαση των συμπερασμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επιπρόσθετα, αναφέρονται ιδέες για μελλοντική εργασία.

## Περιεχόμενα .....

<b>Κεφάλαιο 1 .....</b>	<b>1</b>
Ασύρματες επικοινωνίες ραδιοκυμάτων .....	1
1.1 Εισαγωγή–Ορισμός.....	1
1.2 Βασικά Χαρακτηριστικά ραδιοκυμάτων .....	2
1.3 Διάδοση ραδιοκυμάτων .....	3
1.4 Μηχανισμοί Διάδοσης.....	4
Οι βασικοί μηχανισμοί που διέπουν την διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι οι εξής :	4
1.5 Θόρυβος.....	4
1.6 Απώλειες.....	5
1.7 Πολυπλεξία .....	6
1.8 Τρόπος ροής δεδομένων (Duplexing) .....	8
1.9 Τεχνολογίες ασύρματης κινητής επικοινωνίας.....	9
1.9.1 Wifi .....	9
1.9.2 Wimax .....	10
1.9.3 Δορυφορικές Επικοινωνίες .....	10
1.9.4 Κυψελωτά δίκτυα .....	11
<b>Κεφάλαιο 2 .....</b>	<b>22</b>
5G Δίκτυα.....	22
2.1 Ορισμός .....	22
2.2 Χαρακτηριστικά 5G δικτύων.....	23
2.3 Απαιτήσεις των 5G δικτύων .....	24
2.4 Πυλώνες 5G δικτύων .....	25
2.4.1 Εικονικοποίηση του Δικτύου (Network Virtualization) : .....	26
2.4.2 Τεχνολογίες Ασύρματης Σύνδεσης (Radio Access Technology - RAT) .....	29
2.4.3 Υπολογιστική σε περιβαλλον ομίχλης (Fog Computing) .....	30
2.4.4 Δίκτυο αυτόνομης οργάνωσης (Self organizing network – SON).....	31
2.4.5 Επικοινωνίες μέσω Μηχανών (Machine type communication - MTC) .....	32
2.4.6 Αποδοτικότητα ενέργειας.....	32
2.5 Τεχνικές υλοποίησης 5G δικτύων.....	33
2.5.1 Φάσμα (Spectrum) .....	33

2.5.2 Πυκνή εγκατάσταση μικρών κυψελών (small-cell deployment) .....	35
2.5.3 Τεχνολογία Μαζικών πολλαπλών εισόδων, πολλαπλών εξόδων (Massive Multiple Input Multiple Output - Massive MIMO ) Η χρήση πολλαπλών κεραιών, γνωστή και ως τεχνολογία πολλαπλών εισόδων, πολλαπλών εξόδων (MIMO), είναι η μόνη βιώσιμη προσέγγιση για σημαντική βελτίωση της φασματικής απόδοσης [33]. .....	37
2.5.4 Διαμόρφωση λοβού ακτινοβολίας (Beamforming) .....	39
2.5.5 Τρόπος ροής δεδομένων (Duplex).....	39
2.5.6 Πολλαπλή πρόσβαση.....	41
2.5.7 Επικοινωνία ορατού φωτός( Visible Light Communication – VLC ) .....	44
2.6 Αρχιτεκτονική .....	44
2.7 5G Δομή Πρωτοκόλλων.....	46
2.8 Προτυποποίηση.....	47
<b>Κεφάλαιο 3 .....</b>	<b>49</b>
Machine 2 Machine Επικοινωνίες.....	49
3.1 Ορισμός .....	49
3.2 Εφαρμογές.....	50
3.3 Μελλοντική επέκταση.....	52
3.4 Χαρακτηριστικά Επικοινωνίας.....	53
3.5 Αρχιτεκτονική M2M δικτύου .....	55
3.5.1 Capillary Αρχιτεκτονική .....	55
3.5.2 Κυψελωτή Αρχιτεκτονική .....	58
3.6 Διαδικασία M2M Επικοινωνίας.....	59
3.7 Σχεδιασμός δικτύου .....	62
3.8 M2M προκλήσεις σχεδιασμού .....	62
3.9 Πρότυπα .....	63
<b>Κεφάλαιο 4 .....</b>	<b>66</b>
Παράμετροι Ραδιο - κάλυψης περιοχής.....	66
4.1 Σχεδιασμός δικτύου .....	66
4.2 Χαρακτηρισμός του εδάφους.....	67
4.3 Χαρακτηριστικά Κεραιών .....	69
4.4 Βασικά μέρη ενός κυψελωτού δικτύου.....	70
4.5 Σχεδιασμός Δικτύου σε Κυψελωτό Δίκτυο .....	72
4.6 Σχεδιασμός δικτύου σε 5G δίκτυα .....	75

---

4.7 Συμβατότητα Κεραιών .....	76
4.8 Κεραιές 5G .....	76
<b>Κεφάλαιο 5 .....</b>	<b>78</b>
Εφαρμογή Κάλυψης M2M Δικτύων .....	78
5.1 Περιγραφή Εφαρμογής.....	78
5.2 Περιγραφή Περιβάλλοντος Προσομοίωσης .....	78
5.3 Κίνητρα δημιουργίας της εφαρμογής.....	79
5.4 Ανάλυση Κώδικα .....	80
5.5 Σενάρια Κάλυψης.....	91
<b>Κεφάλαιο 6 .....</b>	<b>97</b>
Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα .....	97

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 : Πολυπλέκτης η εισόδων.....	6	
Εικόνα 2 : Συχνότητες που χρησιμοποιούνται στις ασύρματες επικοινωνίες wifi [i].....	10	
Εικόνα 3 : Η εξέλιξη των κυψελωτών δικτύων .....	11	
Εικόνα 4 : Γραφική Αναπαράσταση Uplink & Downlink ζεύξης .....	13	
Εικόνα 5 : Γραφική Αναπαράσταση του LTE-FDD band gap.....	18	
Εικόνα 6 : Εξέλιξη των 5G δικτύων στα επόμενα χρόνια [iii] .....	22	
Εικόνα 7 : Βασικά χαρακτηριστικά 5G δικτύων [iv] .....	24	
Εικόνα 8 : Διαφορές στα σημερινά δίκτυα από τα μελλοντικά δίκτυα [v].....	26	
Εικόνα 9 : Σύγκριση παραδοσιακής αρχιτεκτονικής με την αρχιτεκτονική SDN [xvii] .....	28	
Εικόνα 10 : Σχηματική μορφή νεφελώδους ασύρματου δικτύου πρόσβασης [vi] .....	30	
Εικόνα 11 : Σχηματικό παράδειγμα υπολογιστικής νέφους [vii] .....	31	
Εικόνα 12 : Τεχνικές που θα εφαρμοστούν για τη δημιουργία 5G δικτύων [viii]	33	
Εικόνα 13 : Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα [Ix] .....	33	
Εικόνα 14 : Φάσμα σημερινών ασύρματων δικτύων .....	34	
Εικόνα 15 : Φάσμα μελλοντικών ασύρματων δικτύων .....	34	
Εικόνα 16 : Broadcast εκπομπή .....	36	
Εικόνα 17 : Hetnet Εκπομπή .....	36	
Εικόνα 18 : Σημερινοί σταθμοί Βάσης	Εικόνα 19 : Σταθμοί Βάσης με MIMO κεραίες.....	38
Εικόνα 20 : Γραφική Αναπαράσταση της σηματοδότησης. Κάθε κινητός κόμβος λαμβάνει το δικό του ηλ/κό κύμα. ....	39	
Εικόνα 21 : Γραφική Αναπαράσταση της αμφίδρομης επικοινωνίας. Παραλληλισμός με γραμμή τρένου. ....	40	
Εικόνα 22 : Τα σήματα περιμένουν τη κατάλληλη στιγμή είτε να λάβουν είτε να στείλουν δεδομένα.....	40	
Εικόνα 23 : Τα σήματα χρησιμοποιούν διαφορετική συχνότητα για να στείλουν και να λάβουν δεδομένα. ....	40	
Εικόνα 24 : Τα σήματα μέσω μεταγωγέων μπορούν να στείλουν και να λάβουν ταυτόχρονα. ....	41	
Εικόνα 25: Γραφική Αναπαράσταση του OFDMA. Παρατηρούμε την εξοικονόμηση του εύρους ζώνης που προκύπτει χρησιμοποιώντας τη πολυπλεξία OFDM. [xviii] .....	42	
Εικόνα 26 : Γραφική αναπαράσταση ενός OFDM σήματος που αποτελείται από πολλά subcarrier. ....	42	
Εικόνα 27 : 5G αρχιτεκτονική δικτύου. Παρατηρούμε ότι γίνεται συνδυασμός πολλών διαφορετικών τεχνολογιών [x] .....	46	
Εικόνα 28 : Ιεραρχική δομή του 5G πρωτοκόλλου .....	46	
Εικόνα 29 : Πορεία προτυποποίησης των 5G δικτύων σύμφωνα με 3GPP [xi] ..	48	

Εικόνα 30 : Παγκόσμια ανάπτυξη διασυνδεδεμένων συσκευών ανά κατηγορία [xii] .....	53
Εικόνα 31 : Capillary αρχιτεκτονική M2M επικοινωνιών σύμφωνα με τον οργανισμό ETSI [xiii] .....	55
Εικόνα 32 : Σχηματικό διάγραμμα ενός κόμβου αισθητήρα .....	56
Εικόνα 33 : M2M gateway συσκευές.....	57
Εικόνα 34 : M2M αρχιτεκτονική με βάση τη κυψελωτή δομή [xiv] .....	59
Εικόνα 35 : Γραφική αναπαράσταση των διαδικασιών ενός M2M δικτύου [xv] .	60
Εικόνα 36 : Αρχική σελίδα της προσομοίωσης .....	83
Εικόνα 37 : Εισαγωγή περιοχή μελέτης .....	85
Εικόνα 38 : Έχει γίνει επιλογή θέσης των πυλών(micro and macro gateways) από το χρήστη στο περιβάλλον της προσομοίωσης.....	86
Εικόνα 39 : Εμφάνιση των κινούμενων και των ακίνητων κόμβων στο περιβάλλον της προσομοίωσης. ....	88
Εικόνα 40 : Γράφημα των συνδεδεμένων συσκευών σε σχέση με το χρόνο. ....	89
Εικόνα 41 : Παράδειγμα προσομοίωσης.....	90
Εικόνα 42 : Παράδειγμα Heatmap .....	90
Εικόνα 43 : Γράφημα συνδεδεμένων συσκευών σε σχέση με τον αριθμό των gateway που αυξάνεται από 100 σε 1000.....	91
Εικόνα 44 : Επανάληψη προσομοίωσης που αυξάνεται ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών από 100 σε 1000 100 φορές. ....	92
Εικόνα 45 : Γράφημα συνδεδεμένων συσκευών σε σχέση με τον αριθμό των ricogateways που αυξάνεται από 10 σε 100 ενώ τα macrogateways παραμένουν ως όρισε ο χρήστης.....	93
Εικόνα 46 : Επανάληψη προσομοίωσης που αυξάνεται ο αριθμός των ricogateways από 10 σε 100 ενώ τα macrogateways παραμένουν ως όρισε ο χρήστης 100 φορές.....	94
Εικόνα 47 : Αριθμός διαλείψεων στη διάρκεια του χρόνου. ....	95

## Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1 : Ζώνες συχνοτήτων UMTS / WCDMA για λειτουργία FDD.....	16
Πίνακας 2 : Ζώνες συχνοτήτων UMTS/ WCDMA για λειτουργία TDD.....	16
Πίνακας 3 : Ζώνες συχνοτήτων 4G LTE για λειτουργία FDD .....	21
Πίνακας 4 : Ζώνες συχνοτήτων 4G LTE για λειτουργία TDD.....	21
Πίνακας 5 : Πίνακας που συγκρίνει τις τεχνολογίες zigbee / bluetooth / iee802.11ah [xvi] .....	65

## Ευρετήριο

---

### **3**

3GPP : 3rd Generation Partnership Project 13

---

### **A**

AAS : Active antenna system 76  
AMPS : Advanced Mobile Phone System 12

---

### **B**

BS : Base station 29  
BSC : Base Station Controller 71

---

### **C**

CDM : Code Division Multiplexing 7  
CPE : Customer-premises equipment 44  
C-RAN : Cloud Radio Access Network 30

---

### **D**

DSL : Digital Subscriber Line 10

---

### **F**

FDD : Frequency Division Duplex 8  
FDM : Frequency Division Multiplexing 6

---

### **G**

GSM : Global System for Mobile communication 13

---

### **I**

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers 47  
IETF : Internet Engineering Task Force 64  
IoT : Internet of Things 13  
ISDN : Integrated Services Digital Network 71

ITU : International Telecommunication Union 13  
ITU-R : ITU Radiocommunication 46

---

### **L**

LTE : Long-Term Evolution 13

---

### **M**

MIMO : Multiple-Input and Multiple-Output 37  
mmWaves : millimeter wave 33  
MSC : Mobile Switching Centre 71  
M2M : Machine to Machine  
MTC : Machine Type C

---

### **N**

NFV : Network function virtualization 28  
NMT : Nordic Mobile Telephone 13  
NOMA : Non-Orthogonal Multiple Access 41

---

### **O**

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing 7  
OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access 41  
OWA : Open Wireless Architecture 45

---

### **P**

PAS : Phased array systems 76  
PDA : Personal Digital Assistant  
PSTN : Public switched telephone network 71

---

### **Q**

QoS : Quality of Service 13

---

**R**

RAN : Radio Access Network	29
RAT : Radio Access Technology	29
RNC : Radio Network Controller	77

---

**S**

SDN : Software-Defined Network	27
SMS : Short Message Service	11
SON : Self-Organizing Network	31
STDM : Statistical time division multiplexing	7

---

**T**

TACS : Total Access Communication System	13
TDD : Time Division Duplex	8
TDM : Time Division Multiplexing	6

---

**U**

UE : User Equipment	29
UMTS : Universal Mobile Telecommunications Service	15
UPE : User Plane Entity	44

---

**V**

VLC : Visible Light Communication	42
VR : Virtual Reality	23

---

**W**

Wifi : Wireless Fidelity	9
Wimax : Worldwide Interoperability for Microwave Access X 10	



# Κεφάλαιο 1

## **Ασύρματες επικοινωνίες ραδιοκυμάτων**

Στο κεφάλαιο 1 αναλύονται οι βασικές αρχές που διέπουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Γίνεται αναφορά στους τρόπους διάδοσης, στις δυσκολίες που προκύπτουν κατά τη διάδοση, όπως είναι ο θόρυβος και οι απώλειες και τέλος αναφέρονται οι κυρίαρχες ασύρματες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στην αγορά των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Η ασύρματη μετάδοση κάνει την ανάπτυξη του τηλεπικοινωνιακού δικτύου πιο εύκολη σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα, αφού δεν απαιτούνται καλωδιακές συνδέσεις και παρέχει υπηρεσίες σχεδόν παντού, χωρίς να υπάρχουν περιορισμοί γεωγραφικών ιδιαιτεροτήτων.

Για το λόγο αυτό, οι ασύρματες επικοινωνίες γνωρίζουν τεράστια άνθιση και οι επιστήμονες καλούνται να μελετήσουν τρεις βασικούς δείκτες απόδοσης που θα βελτιστοποιήσουν τα ασύρματα δίκτυα. Την σωστή και αποτελεσματική χρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων, τη διατήρηση του κόστους σε προσιτά επίπεδα και τέλος, την βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών.

### **1.1 Εισαγωγή–Ορισμός**

Ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου.

Ένα σταθερό ηλεκτρικό πεδίο ή ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο δεν παράγει ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Αυτό σημαίνει ότι τα ακίνητα φορτία, καθώς και τα φορτία που κινούνται με σταθερή ταχύτητα δε μπορούν να δημιουργήσουν ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Όταν, όμως, έχουμε ηλεκτρικά φορτία που επιταχύνονται, τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούν έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Επομένως η αιτία δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός. Σημαντικό χαρακτηριστικό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι η συχνότητά τους, η οποία παραμένει σταθερή σε οποιοδήποτε μέσο διάδοσης, και η οποία ορίζεται ως ο ρυθμός ταλάντωσης του κύματος.

**Ραδιοκύματα** καλούνται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε συγκεκριμένο φάσμα συχνοτήτων (3 Hz – 300 MHz). Για τη δημιουργία τους χρησιμοποιείται πομπός,

ο οποίος τροφοδοτεί τη συνδεδεμένη κεραία με ηλεκτρικό ρεύμα, ταλαντούμενο με συγκεκριμένη συχνότητα και η κεραία εκπέμπει την ενέργεια του ρεύματος ως ραδιοκύματα, με την ίδια συχνότητα που παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα.

Στην ουσία το φυσικό φαινόμενο που συμβαίνει είναι το εναλασσόμενο ρεύμα ηλεκτρονίων που παρέχεται στην κεραία, δημιουργεί ένα ταλαντούμενο μαγνητικό πεδίο γύρω από τα στοιχεία της, και το επιταχυνόμενο ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί και ένα ταλαντούμενο ηλεκτρικό πεδίο. Η κεραία διαδίδει αυτά τα δύο χρονικά μεταβαλλόμενα πεδία στο χώρο γύρω της με τη μορφή ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Στη συνέχεια, όταν αυτά τα κύματα διαδίδονται στο χώρο και συναντήσουν μία άλλη κεραία, η οποία αναφέρεται ως κεραία λήψης, τα ταλαντούμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, του εισερχόμενου κύματος, ασκούν δύναμη στα ηλεκτρόνια των στοιχείων της κεραίας, που ως αποτέλεσμα έχει τη ταλάντωση τους και τη δημιουργία εναλασσόμενου ρεύματος, που εφαρμόζεται στο δέκτη.

Οι κεραίες χαρακτηρίζονται από την αρχή της αμοιβαιότητας, η οποία δηλώνει ότι οι κεραίες λειτουργούν με τα ίδια χαρακτηριστικά είτε ως πομποί είτε ως λήπτες.

## 1.2 Βασικά Χαρακτηριστικά ραδιοκυμάτων

Τα βασικά χαρακτηριστικά των ραδιοκυμάτων είναι τα εξής :

**Συχνότητα:** Συχνότητα του κύματος είναι ο ρυθμός ταλάντωσης του κύματος. Μονάδα μέτρησης της συχνότητας είναι Hz.

**Φάσμα:** Φάσμα ενός κύματος είναι το εύρος συχνοτήτων που περιέχει αυτό το κύμα.

**Εύρος ζώνης (bandwidth):** Εύρος ζώνης (bandwidth) του κύματος, είναι η περιοχή συχνοτήτων μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης συχνότητας του μεταδιδόμενου κύματος, μέσω της οποίας μεταφέρεται όλη η ενέργειά του, χωρίς σημαντική εξασθένιση.

**Χωρητικότητα καναλιού:** Χωρητικότητα ενός καναλιού ονομάζεται ο μέγιστος αριθμός συμβόλων που μπορούν να μεταφερθούν μέσω ενός καναλιού στη μονάδα του χρόνου και εκφράζεται σε bps. Στην ιδανική περίπτωση που το κανάλι δεν έχει θόρυβο, η χωρητικότητά του είναι αποκλειστικά εξαρτώμενη από το εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) του.

**Ρυθμός μετάδοσης:** Ρυθμός μετάδοσης είναι ο ρυθμός με τον οποίο εκπέμπονται τα bit από τον πομπό και εκφράζεται σε bits/sec.

Ακολουθούν μερικές δηλώσεις, οι οποίες βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση των ραδιοκυμάτων. Συνήθως, τείνει να συγχέονται αυτές οι έννοιες μεταξύ τους.

Για να διαδοθεί περισσότερη πληροφορία μέσω ενός ραδιοκύματος απαιτείται περισσότερο εύρος ζώνης (bandwidth), όχι υψηλότερες συχνότητες. Είναι δυνατή η χρήση ίδιων συχνοτήτων για 2G όπως και για 5G. Στην πραγματικότητα, οι χαμηλότερες συχνότητες οδηγούν σε μικρότερη εξασθένιση των κυμάτων, που σίγουρα η μικρότερη εξασθένιση είναι καλύτερη, αφού δεν υπάρχουν διακοπές στην μετάδοση.

Ουσιαστικά, αυτό που μπορεί να βοηθήσει στη μετάδοση περισσότερης πληροφορίας, είναι η διαμόρφωση που μπορεί να εφαρμοστεί πάνω στο σήμα. Όσο καλύτερη είναι η διαμόρφωση που μπορεί να επιτευχθεί, τόσο υψηλότερη είναι η πληροφορία (το bit) που προμηθεύεται στο σήμα. Η διαμόρφωση είναι απλώς μια γλώσσα που τόσο ο σταθμός όσο και το κινητό τηλέφωνο πρέπει να είναι σε θέση να μιλούν.

Ακόμη, θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν πρέπει να συγχέεται το εύρος ζώνης του σήματος με το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων του σήματος, αφού ο ρυθμός μετάδοσης αντιστοιχεί στη ταχύτητα (πόσο συχνά εκπέμπει ο πομπός) μετάδοσης δεδομένων μέσα από ένα κανάλι επικοινωνίας και εκφράζεται σε μονάδες bits/sec ενώ το εύρος ζώνης εκφράζεται σε μονάδες Hz.

Τέλος, διατυπώνεται η διαφορά μεταξύ ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και ταχύτητας. Με την ταχύτητα εννοείται πόσο γρήγορα ταξιδεύουν τα ηλεκτρικά σήματα πάνω στη γραμμή. Ενώ με το ρυθμό μετάδοσης εννοείται πόσο συχνά εκπέμπει ο πομπός στο κανάλι επικοινωνίας.

### 1.3 Διάδοση ραδιοκυμάτων

Όπως προαναφέρθηκε, τα ραδιοκύματα ταξιδεύουν στο χώρο, αλλά αυτό μπορεί να συμβεί με ποικίλους τρόπους και ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις φυσικές συνθήκες μιας ασύρματης επικοινωνίας εξετάζονται διαφορετικά σενάρια.

**Διάδοση οπτικής επαφής:** Η κεραία εκπομπής και η κεραία λήψης βρίσκονται στην ίδια ευθεία, οπότε το κύμα διαδίδεται χωρίς εμπόδια.

**Διάδοση χωρίς οπτική επαφή:** Η κεραία εκπομπής και η κεραία λήψης δεν έχουν επαφή, επομένως δεν υπάρχει απευθείας διάδοση, καθώς αυτή διακόπτεται από φυσικούς ή τεχνητούς περιορισμούς.

**Διάδοση Κύματος Εδάφους:** Αυτή η διάδοση ραδιοκυμάτων αφορά τη διάδοση σε μεγάλες αποστάσεις, ακολουθώντας το περίγραμμα της γης και τα κύματα είναι χαμηλότερων συχνοτήτων (30 KHz – 3 MHz).

**Διάδοση ουράνιου κύματος:** Σχετικά με αυτή τη διάδοση, τα ραδιοκύματα έχουν κατεύθυνση προς τον ουρανό και αναλόγως τη γωνία, ανακλώνται ή διαθλώνται από τα στρώματα της ιονόσφαιρας και καταλήγουν πίσω στη γη.

## 1.4 Μηχανισμοί Διάδοσης

Οι βασικοί μηχανισμοί που διέπουν την διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι οι εξής :

**Ανάκλαση:** Πρόσπτωση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος σε μία ομαλή επιφάνεια με διαστάσεις πολύ μεγαλύτερες από το μήκος κύματος του. Ανάλογα με το υλικό της επιφάνειας, μέρος της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας απορροφάται ενώ το υπόλοιπο ανακλάται.

**Διάθλαση:** Πρόσπτωση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος σε επιφάνεια με διαφορετική πυκνότητα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το κύμα να ακολουθεί μια άλλη κατεύθυνση στο δεύτερο μέσο και ταυτόχρονα η ταχύτητα του μεταβάλλεται.

**Σκέδαση:** Είναι το φαινόμενο συνδυασμού πολλών ανακλάσεων, με αποτέλεσμα το κύμα να διαχέεται στο χώρο. Συνήθως συμβαίνει όταν το υλικό έχει παρόμοιο μέγεθος με το μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

**Περίθλαση:** Η περίθλαση είναι μια άλλη ιδιότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και προέρχεται από την πρόσπτωση κυμάτων σε επιφάνεια με ύπαρξη σχισμών σε ένα αγωγίμο επίπεδο ή την ύπαρξη αιχμηρών εμποδίων.

**Διαλείψεις:** Είναι οι μεταβολές που προκαλούνται στη στάθμη ισχύος, καθώς τα κύματα φθάνουν στη κεραία λήψης σε διαφορετικούς χρόνους, με διαφορετικά πλάτη και διαφορετικές φάσεις.

**Πολυόδευση:** Είναι το φαινόμενο, όπου ένα ραδιοκύμα φθάνει στη κεραία λήψης από δύο διαφορετικές διαδρομές (λόγω ανάκλασης, διάθλασης και άλλων φαινομένων). Ανάλογα με το αν τα δύο κύματα είναι σε φάση ή όχι προκαλούν ενίσχυση ή εξασθένιση αντίστοιχα.

## 1.5 Θόρυβος

Ο όρος θόρυβος χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τα ανεπιθύμητα κύματα που τείνουν να εμποδίζουν και να καταστρέφουν τη μετάδοση αλλά και την επεξεργασία των σημάτων. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες που δημιουργούν θόρυβο στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες. Πρόκειται για τον εξωτερικό και εσωτερικό θόρυβο. Λέγοντας εξωτερικό θόρυβο, εννοείται οποιαδήποτε

ενόχληση προκύπτει και δεν οφείλεται σε κάποια από τις συσκευές που συμμετέχουν στη μετάδοση, για παράδειγμα υπάρχει ατμοσφαιρικός θόρυβος, όταν υπάρχουν ηλεκτρικές εκκενώσεις λόγω καταιγίδων.

Ως εσωτερικό θόρυβο εννοείται ο θόρυβος που κάθε ηλεκτρονική συσκευή έχει την ιδιότητα να προσθέτει στα σήματα. Κυρίως ο θόρυβος είναι ένα τυχαίο σήμα που δε μπορεί να προβλεφθεί η τιμή που θα έχει κάθε χρονική στιγμή. Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες εσωτερικού θορύβου :

Ο **θόρυβος βολής**, είναι ένα είδος ηλεκτρονικού θορύβου που προκύπτει από ένα φαινόμενο της ροής ρεύματος διαμέσου ημιαγωγικών επαφών.

Ο **θερμικός θόρυβος**, προέρχεται από την θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων σε έναν αγωγό, ανεξάρτητα από το αν εφαρμόζεται ή όχι τάση. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Είναι το πιο διαδεδομένο είδος θορύβου, θέτοντας ένα άνω όριο στην απόδοση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Ο **ροζ θόρυβος**, είναι ένα συγκεκριμένο είδος ηλεκτρονικού θορύβου και δημιουργείται κυρίως από τα τρανζίστορ.

Ο **θόρυβος popcorn**, ο οποίος προκαλεί την απότομη μετάβαση από το ένα επίπεδο τάσης σε ένα άλλο.

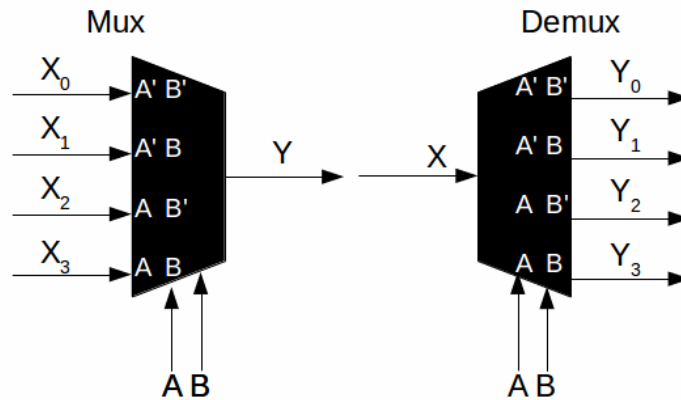
Ο **θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης**, είναι ο θόρυβος που προκύπτει όταν σήματα σε διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης.

## 1.6 Απώλειες

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα και κατά συνέπεια και τα ραδιοκύματα υπόκειντο σε απώλειες της ισχύος κατά τη διάδοσή τους. Αυτό είναι ένα αποτέλεσμα που προκύπτει από διάφορα φαινόμενα όπως ανάκλαση, διάθλαση, απορρόφηση από ατμοσφαιρική υγρασία.

Οι απώλειες εξαρτώνται από το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η διάδοση, τη συχνότητα του κύματος και την απόσταση της ασύρματης επικοινωνίας.

## 1.7 Πολυπλεξία



Εικόνα 1 : Πολυπλέκτης  $n$  εισόδων [χιχ]

Πολυπλεξία (Multiplexing) ονομάζουμε τη τεχνική της ταυτόχρονης χρήσης ενός επικοινωνιακού διαύλου από περισσότερες από μία πηγές. Υπάρχουν  $n$  γραμμές εισόδου που θέλουν να μεταδώσουν. Για λόγους εύκολης διαχείρισης του δικτύου και οικονομίας είναι πιο εύκολο να υπάρχει ένα κοινό μέσο διάδοσης, από το να υπάρχουν διαφορετικοί δίαυλοι για κάθε μία γραμμή εισόδου. Δύο είναι τα κύρια μέρη της πολυπλεξίας, ο πολυπλέκτης (MUX) πολυπλέκει δεδομένα από τις  $n$  γραμμές εισόδου και τα μεταδίδει πάνω από μία γραμμή με υψηλότερη χωρητικότητα. Ο αποπολυπλέκτης (DEMUX) δέχεται τη ροή των πολυπλεγμένων δεδομένων, διαχωρίζει (αποπολυπλέκει) τα δεδομένα και τα διανέμει στις κατάλληλες γραμμές εξόδου.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές πολυπλεξίας και στη συνέχεια αναφέρονται οι κυριότερες από αυτές.

### Πολυπλεξία Διάρθρωσης Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing-FDM)

Ένας αριθμός σημάτων μπορεί να μεταδοθεί ταυτόχρονα από ένα δίαυλο επικοινωνίας, διαμορφώνοντας κάθε σήμα σε διαφορετική φέρουσα συχνότητα. Οι φέρουσες συχνότητες πρέπει να είναι επαρκώς διαχωρισμένες, ώστε να μην υπάρχει αλληλοεπικάλυψη των φασμάτων των μεταδιδόμενων σημάτων. Για να αποφεύγονται οι επικαλύψεις έχουν οριστεί τα κανάλια Φρουροί (Guard Channels) που είναι το αχρησιμοποίητο τμήμα του φάσματος του διαύλου επικοινωνίας και χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των καναλιών επικοινωνίας. Υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψιν, όπως, το εύρος ζώνης του επικοινωνιακού διαύλου να είναι μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης των προς μετάδοση σημάτων. Επιπρόσθετα, στη συγκεκριμένη πολυπλεξία γίνεται

πολυπλεξία αναλογικών σημάτων. Στην περίπτωση πολύπλεξιας ψηφιακών σημάτων, απαιτείται πρώτα η μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό σήμα.

### **Πολυπλεξία Διάρθρωσης Χρόνου (Time Division Multiplexing-TDM)**

Ένας αριθμός πηγών μπορεί να μεταδώσει ταυτόχρονα πάνω από ένα δίαυλο επικοινωνίας μέσα σε επαναλαμβανόμενα πλαίσια. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από ένα σύνολο σχισμών χρόνου (timeslots). Επομένως, πολλαπλά σήματα μπορούν να μεταφερθούν από μία σύνδεση, παρεμβάλλοντας τμήματα του σήματος σε διαφορετικές χρονικές σχισμές. Η πολυπλεξία διάρθρωσης χρόνου είναι εφικτή όταν ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων του μέσου που μπορεί να επιτευχθεί είναι μεγαλύτερος ή ίσος του ρυθμού των προς μετάδοση ψηφιακών σημάτων. Στη πολυπλεξία διάρθρωσης χρόνου υπάρχει πολυπλεξία ψηφιακών σημάτων ή πολυπλεξία αναλογικών σημάτων που μεταφέρουν ψηφιακή πληροφορία.

### **Στατιστική Πολυπλεξία Διάρθρωσης Χρόνου - (Statistical Time Division Multiplexing - STDM)**

Στη Στατιστική Πολυπλεξία Διάρθρωσης Χρόνου, ο πολυπλέκτης δεσμεύει δυναμικά τις χρονικές σχισμές των πλαισίων ανάλογα με τη ζήτηση. Αυτό συνεπάγεται αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης του διαύλου επικοινωνίας με το μειονέκτημα ότι προστίθεται πολυπλοκότητα στον πολυπλέκτη. Ο πολυπλέκτης έχει η εισόδους με ενδιάμεση μνήμη και μία έξοδο υψηλότερου ρυθμού μετάδοσης. Ο σαρωτής σαρώνει τις ενδιάμεσες μνήμες εισόδου & συλλέγει δεδομένα έως ότου γεμίσει ένα πλαίσιο. Εδώ προκύπτει το θέμα ότι εφόσον δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων σε ποια πηγή αντιστοιχεί κάθε χρονική σχισμή, απαιτείται μετάδοση πληροφοριών διεύθυνσης για να είναι δυνατή η ορθή αποπολύπλεξη των δεδομένων, πράγμα το οποίο φέρει μια επιβάρυνση στη ταχύτητα.

### **Ορθογώνια πολυπλεξία διάρθρωσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM)**

Η Ορθογώνια πολυπλεξία διάρθρωσης συχνότητας (OFDM) χρησιμοποιείται για ευρείας ζώνης ψηφιακή επικοινωνία, η οποία χρησιμοποιείται συνήθως για ψηφιακή τηλεόραση και ηχητική εκπομπή (ραδιόφωνο), καθώς και ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο και ασύρματη δικτύωση. Η OFDM είναι παρόμοια με τη πολυπλεξία διάρθρωσης συχνότητας (FDM), αλλά με τεχνολογία που επιδιώκει έμφαση την ελαχιστοποίηση παρεμβολών ή παρεμβολών σήματος από άλλα κοντινά μέσα επικοινωνίας που μεταφέρουν σήμα. Η OFDM λειτουργεί διαιρώντας το ραδιοσήμα σε πολλαπλά μικρότερα υπο-σήματα τα οποία στη συνέχεια μεταδίδονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές συχνότητες στον δέκτη.

### **Πολυπλεξία διάρθρωσης κώδικα (Code Division Multiplexing - CDM)**

Η πολυπλεξία διάρθρωσης κώδικα (CDM) είναι μια τεχνική στην οποία συνδυάζονται πολλαπλά σήματα δεδομένων για ταυτόχρονη μετάδοση σε μια κοινή ζώνη συχνοτήτων. Για την πολυπλεξία του σήματος βάσης χρησιμοποιείται

ένας ψευδο-τυχαίος κώδικας διασποράς. Η συσκευή λήψης γνωρίζει τον κώδικα διασποράς και τον χρησιμοποιεί για να αποπλέξει το σήμα. Όταν η CDM χρησιμοποιείται για να επιτρέψει σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται ένα μόνο κανάλι επικοινωνιών, η τεχνολογία ονομάζεται πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA).

## 1.8 Τρόπος ροής δεδομένων (Duplexing)

Τρόπος ροής δεδομένων (Duplex) είναι ένα σύστημα αμφίδρομης επικοινωνίας που επιτρέπει και στους δύο κόμβους να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα ή σήματα επικοινωνίας είτε ταυτόχρονα είτε ένα από τα δύο κάθε φορά. Και οι δύο κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν ως αποστολέας και δέκτης.

Υπάρχουν δύο τύποι μεταφοράς:

- Αμφίδρομη μη ταυτόχρονη επικοινωνία (Half Duplex) : Μπορεί είτε να στείλει είτε να δεχτεί μια στιγμή, αλλά όχι ταυτόχρονα.
- Αμφίδρομη ταυτόχρονη επικοινωνία (Full duplex) : Μπορεί να στείλει και να δεχτεί την ίδια στιγμή.

Στις κινητές επικοινωνίες διακρίνονται οι εξής τρόποι αμφίδρομης ταυτόχρονης επικοινωνίας (full duplex) :

**Διαίρεση Συχνότητας (Frequency Division Duplex- FDD)** είναι μια τεχνική όπου χρησιμοποιούνται ξεχωριστές ζώνες συχνοτήτων για τον πομπό και τον δέκτη.

Επειδή η τεχνική FDD χρησιμοποιεί διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων για λειτουργίες αποστολής και λήψης, τα σήματα δεδομένων αποστολής και λήψης δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αυτό καθιστά την FDD καλύτερη επιλογή από την μεταφορά διαίρεσης χρόνου (TDD) για συμμετρική κίνηση όπως οι φωνητικές εφαρμογές σε ευρυζωνικά ασύρματα δίκτυα. Το FDD είναι μια τεχνική όπου ο πομπός και ο δέκτης λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες φορέα, για παράδειγμα, στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, ένα μπλοκ του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος διατίθεται για την ανερχόμενη κίνηση (uplink), η οποία μεταφέρει δεδομένα από τα κινητά τηλέφωνα στο σταθμό βάσης και ένα διαφορετικό τμήμα του φάσματος κατανέμεται στην κατερχόμενη κίνηση (downlink), μεταφέροντας δεδομένα από το σταθμό βάσης στα κινητά τηλέφωνα.

**Διαίρεση Χρόνου (Time Division Duplex - TDD)** είναι μια τεχνική όπου η ανερχόμενη ζεύξη (uplink) διαχωρίζεται από την κατερχόμενη ζεύξη (downlink) με την κατανομή διαφορετικών χρονικών θυρίδων στην ίδια ζώνη συχνοτήτων.



Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου διαχωρίζει τα σήματα ανερχόμενης ζεύξης και κατερχόμενης ζεύξης με αντιστοίχιση της πλήρους αμφίδρομης επικοινωνίας σε μια επικοινωνία μισής αμφίδρομης επικοινωνίας. Αυτή η μέθοδος είναι εξαιρετικά επωφελής σε περίπτωση που υπάρχει ασυμμετρία των ρυθμών δεδομένων ανερχόμενης ζεύξης και κατερχόμενης ζεύξης.

## 1.9 Τεχνολογίες ασύρματης κινητής επικοινωνίας

Ανάλογα με την πολιτιστική και τεχνολογική εξέλιξη, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι τρόποι επίτευξης επικοινωνίας μεταξύ απομακρυσμένων περιοχών. Η επιστήμη και η τεχνολογία δείχνουν τεράστια εξέλιξη στο τομέα των τηλεπικοινωνιών και πλέον υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιείται ραντάρ, ραδιοφωνία και τηλεόραση, μικροκυματικοί αναμεταδότες, δορυφορικές και ναυτικές επικοινωνίες, κινητή τηλεφωνία. Στη συνέχεια θα αναφερθούν οι τεχνολογίες που διαμορφώνουν το σημερινό κόσμο των τηλεπικοινωνιών.

### 1.9.1 Wifi

Το Wi-fi (Wireless Fidelity) είναι χρήσιμο για τη δημιουργία ασύρματων τοπικών δικτύων και για την παροχή ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο. Ένα δίκτυο wifi απαρτίζεται από τα ακόλουθα συστατικά μέρη:

**Σημείο πρόσβασης (Access Point - AP):** Το AP είναι η συσκευή που ενώνει το ενσύρματο και το ασύρματο δίκτυο, μετατρέποντας κατάλληλα τα πλαίσια που ανταλλάσσονται μεταξύ αυτών.

**Σύστημα διανομής (Distribution System):** Το σύστημα διανομής ενώνει τα διάφορα σημεία πρόσβασης του ίδιου δικτύου, επιτρέποντάς τους να ανταλλάσσουν πλαίσια.

**Ασύρματο μέσο μετάδοσης (Wireless Medium):** Κύριο μέσο μετάδοσης σε ένα wifi δίκτυο είναι οι ραδιοσυχνότητες.

**Σταθμοί (Stations):** Συνήθως αναφερόμαστε στις φορητές συσκευές laptops, κινητά τηλέφωνα, PDAs.

Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στο wifi ονομάζεται IEEE 802.11 και έχουν δημιουργηθεί διάφορες εκδόσεις με τη πιο πρόσφατη και χρησιμοποιημένη να είναι αυτή των 802.11ac. Στην εικόνα 2 φαίνονται οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται σε κάθε έκδοση.

Το wifi διαθέτει ασύρματη πρόσβαση έως 20 μέτρα, μέσω AP, και ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από 433 Mbps (Megabits per second) έως και μερικά Gbps (Gigabits per second).

IEEE 802.11 VARIANT	FREQUENCY BANDS USED
802.11a	5GHz
802.11b	2.4GHz
802.11g	2.4GHz
802.11n	2.4 & 5 GHz
802.11ac	Below 6GHz
802.11ad	Up to 60 GHz
802.11af	TV white space (below 1 GHz)
802.11ah	700 MHz, 860MHz, 902 MHz, etc. ISM bands dependent upon country and allocations

*Εικόνα 2 : Συχνότητες που χρησιμοποιούνται στις ασύρματες επικοινωνίες wifi [i]*

### 1.9.2 Wimax

Το WiMax διαθέτει ασύρματη πρόσβαση έως 31 μίλια και ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων έως και 75 Mbps, καθιστώντας την κατάλληλη επιλογή για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης στο Διαδίκτυο σε περιοχές που δεν διαθέτουν DSL και καλωδιακές γραμμές. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται σε wimax δίκτυο είναι το IEEE 802.16.

### 1.9.3 Δορυφορικές Επικοινωνίες

Τα δορυφορικά δίκτυα επικοινωνιών αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα των σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, εξαιτίας των δυνατοτήτων που παρέχουν σχετικά με τους τρόπους μετάδοσης πληροφοριών. Η δορυφορική επικοινωνία εξυπηρετεί κυρίως την επικοινωνία σε περιοχές που είναι αδύνατον να έχουν τηλεπικοινωνιακή κάλυψη διαφορετικά, όπως σκάφη, δεξαμενόπλοια, αεροπορικές γραμμές, στρατιωτικές βάσεις. Βασικό μειονέκτημα των δορυφορικών επικοινωνιών είναι η χαμηλή ταχύτητα που προσφέρουν. Σήμερα ωστόσο, οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται σε μια ευρεία ποικιλία υπηρεσιών, όπως η εκπομπή τηλεοπτικού σήματος, οι τοπικές και διεθνείς κλήσεις, η μεταφορά δεδομένων και η πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

### 1.9.4 Κυψελωτά δίκτυα

Τα κυψελωτά δίκτυα είναι δίκτυα που εξυπηρετούν την κινητή επικοινωνία.

Τα δίκτυα κινητής επικοινωνίας μεταφέρουν τη φωνή (για συνομιλία), το κείμενο (SMS) και τα δεδομένα (φωτογραφίες, μουσική, βίντεο κ.ά.), ασύρματα μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και πιο συγκεκριμένα ραδιοκυμάτων.

Η ασύρματη μετάδοση της φωνής και των δεδομένων οδήγησε στο σχεδιασμό ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου που επιτρέπει την επικοινωνία εν κινήσει. Αυτό επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση κεραιών και τη χρήση ασύρματων συσκευών, δηλαδή κινητών τηλεφώνων που επικοινωνούν μεταξύ τους, εκπέμποντας και λαμβάνοντας ραδιοκύματα.

Η βασική ιδέα στη δημιουργία των κυψελωτών δικτύων είναι η έννοια της κυψέλης. Δηλαδή, η γεωγραφική περιοχή που πρόκειται να καλυφθεί ηλεκτρομαγνητικά χωρίζεται σε μικρά κομμάτια στα οποία λειτουργούν συγκεκριμένες μικρές ζώνες συχνοτήτων. Λόγω αυτής της γεωγραφικής τοποθέτησης των σταθμών βάσης υπάρχει η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των ίδιων συχνοτήτων.

Για να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ ενός κινητού κόμβου και των σταθμών βάσης χρησιμοποιούνται ασύρματα ηλεκτρομαγνητικά σήματα στο εύρος των συχνοτήτων 800-890 και 1850-1990.

- Η εξέλιξη των κυψελωτών δικτύων επικοινωνιών αναλύεται παρακάτω.

Ο όρος Generation (G) υποδεικνύει τη γενιά της ασύρματης τεχνολογίας. Κάθε καινούρια γενιά εμφανίζεται περίπου κάθε δέκα χρόνια, με την τελευταία τεχνολογία των 4G να έχει κάνει την εμφάνισή της το 2011. Ακολουθώντας αυτή την παρατήρηση, και κάνοντας λόγω για τα 5G κυψελωτά δίκτυα αναμένεται να εφαρμοστούν στις αρχές του 2020. [3]



Εικόνα 3 : Η εξέλιξη των κυψελωτών δικτύων [xxi]

Η κινητή τηλεφωνία πρώτης γενιάς εμφανίστηκε πριν από 40 χρόνια. Η εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών στο διάστημα αυτό είναι ταχύτατα εξελισσόμενη. Η τεχνολογία 2G έφερε κινητή φωνή στους ανθρώπους σε όλο τον κόσμο, το 3G έφερε κινητό Internet στους ανθρώπους και το 4G άλλαξε τον κόσμο ξανά παρέχοντας διαθέσιμα ευρυζωνικά κινητά σχεδόν σε όλο τον κόσμο.

Όπως παρατηρείται κάθε γενιά κινητής τηλεφωνίας καλείται να ικανοποιήσει μια επιπλέον ανάγκη σε σχέση με τον προκάτοχο της. Οι παλαιότερες γενιές δικτύων (1G, 2G, 3G) βασίστηκαν σε σταθερά και συγκεκριμένα σχέδια ραδιοκατασκευών, μεγάλους πύργους και πολλές συνδέσεις μεταξύ τους χρησιμοποιώντας τεχνολογίες που λειτουργούν καλύτερα με άμεση οπτική επαφή, που με τη σειρά τους σημαίνει ότι οι πύργοι έπρεπε να αναπτυχθούν σε υψηλές τοποθεσίες και συχνά υπήρχαν οπτικά εμπόδια μεταξύ τους. Αυτά τα δίκτυα ήταν επίσης τυπικά ιεραρχικά, με τα δεδομένα να ταξιδεύουν μεγάλες αποστάσεις για να φτάσουν τους τελικούς server, ακόμη και όταν οι ίδιοι οι χρήστες που ήθελαν να επικοινωνήσουν βρισκόταν πολύ κοντά ο ένας στον άλλον. [1]

Στη συνέχεια, ακολουθεί αναφορά από τη πρώτη γενιά κινητών επικοινωνιών, φτάνοντας ως σήμερα:

Η πρώτη γενιά των κινητών επικοινωνιών (1G) παρουσιάστηκε το 1970 [1]. Αυτά τα συστήματα αναφέρονταν ως αναλογικά κυψελοειδή συστήματα τηλεφωνίας τα οποία χρησιμοποιούνταν μόνο για την υπηρεσία φωνής. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνταν από τα συστήματα 1G ήταν οι εξής: Σύστημα Προηγμένου Κινητού Τηλεφώνου (Advanced Mobile Phone System – AMPS), Επικοινωνιακά Συστήματα Πλήρους Πρόσβασης (Total Access Communication Systems – TACS) και Σκανδιναβικό Κινητό Τηλέφωνο (Nordic Mobile Telephone – NMT). Η παγκόσμια αγορά κινητών τηλεφώνων αυξήθηκε από 30% σε 50% ετησίως και ο αριθμός των συνδρομητών αυξήθηκε στους περίπου 20 εκατομμύρια μέχρι και το 1990.

Στις αρχές του 1990, παρουσιάστηκαν τα τηλέφωνα 2G τα οποία χρησιμοποιούσαν την τεχνολογία GSM (Global System for Mobile Communications)[1], η οποία χρησιμοποιεί ψηφιακά συστήματα διαμόρφωσης, όπως η τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiple Access - TDMA) και πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα (Code Division Multiple Access - CDMA), με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας φωνής. Παρ' όλα αυτά το δίκτυο προσέφερε περιορισμένη εξυπηρέτηση δεδομένων.

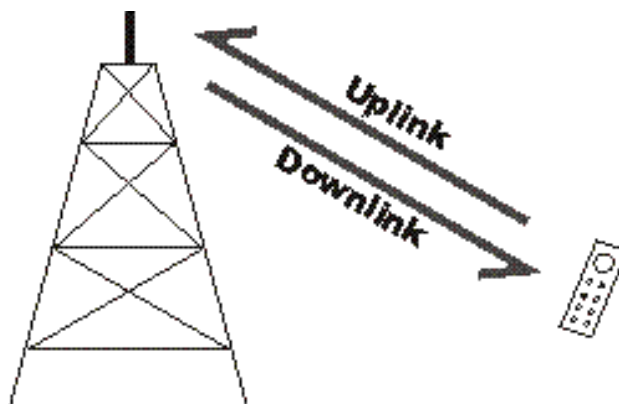
Τα συστήματα τρίτης γενιάς (3G) αποτελούν μια προσπάθεια για τη δημιουργία ενός διεθνούς προτύπου για 3G κινητά, η οποία ελέγχεται μέσω της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecom Union - ITU), υπό την αιγίδα του προγράμματος IMT-2000. Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν υψηλής ταχύτητας κινητή πρόσβαση, με υπηρεσίες βασισμένες στο πρωτόκολλο

Διαδικτύου (Internet Protocol – IP). Εκτός από την ταχύτητα μετάδοσης, βελτίωση σημειώθηκε και στην ποιότητα των υπηρεσιών (Quality of Services – QoS). Συγκεκριμένα, το 3G προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης εφαρμογών ήχου, γραφικών και βίντεο. Με το 3G είναι δυνατόν να παρακολουθεί κάποιος ένα βίντεο και παράλληλα να συμμετέχει σε βίντεο-κλήση.

Σήμερα, η επικρατούσα γενιά είναι αυτή του 4G. Οι ρυθμοί μετάδοσης φτάνουν τα 20Mbps ενώ παράλληλα έχει γίνει αλματώδης βελτίωση στην ποιότητα των υπηρεσιών (Quality of Services – QoS). Τα 4G συστήματα αναμένεται να επιλύσουν τα εναπομείναντα προβλήματα που είχαν σημειωθεί στα 3G συστήματα και να παρέχουν ένα ευρύ φάσμα νέων υπηρεσιών, οι οποίες θα κυμαίνονται από υψηλής ποιότητας φωνή, σε βίντεο υψηλής ευκρίνειας και σε υψηλής ταχύτητας μεταφορά δεδομένων. Ο όρος 4G χρησιμοποιείται ευρέως για να συμπεριλάβει διάφορους τύπους ευρυζωνικής πρόσβασης (broadband) και όχι μόνο κυψελοειδή τηλεφωνικά συστήματα. Το σχέδιο Μακροχρόνιας Εξέλιξης (Long Term Evolution – LTE), παρουσιάστηκε στο Έργο 3ης Γενιάς Κινητών Επικοινωνιών (3rd Generation Partnership Project – 3GPP) και επικεντρώθηκε στην ενίσχυση της παγκόσμιας επίγειας ραδιοπρόσβασης (Universal Terrestrial Radio Access – UTRA) και τη βελτιστοποίηση της αρχιτεκτονικής ραδιοπρόσβασης.

Ως επόμενο βήμα στην εξέλιξη των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, η έρευνα που διεξάγεται από τη βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό χώρο επικεντρώνεται στην ανάπτυξη της νέας γενιάς κινητών και ασύρματων συστημάτων, γνωστή ως 5η γενιά (5G), με κύριο σκοπό τη σύνδεση των πραγμάτων στο Διαδίκτυο (Internet of things - IoT), το οποίο σημαίνει οποιοδήποτε πράγμα που μπορεί να συνδεθεί θα είναι συνδεδεμένο, έξυπνο και διαδραστικό.

Στη συνέχεια μελετώνται τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε γενιάς των κυψελωτών δικτύων ως προς τις συχνότητες ανερχόμενης και κατερχόμενης (uplink και downlink) ζεύξης και τις ταχύτητες μετάδοσης.



*Εικόνα 4 : Γραφική Αναπαράσταση Uplink & Downlink ζεύξης [xx]*

## **Κυψελωτά Δίκτυα 2<sup>ης</sup> Γενιάς (2G) :**

### **Συχνότητες uplink και downlink**

Το **GSM-900** χρησιμοποιεί συχνότητες στα 890 - 915 MHz [2] για την αποστολή πληροφοριών από τον κινητό σταθμό στον σταθμό βάσης πομποδέκτη (uplink) και 935 - 960 MHz για την άλλη κατεύθυνση (downlink), παρέχοντας 124 κανάλια RF σε απόσταση 200 kHz. Σε ορισμένες χώρες η ζώνη GSM-900 έχει επεκταθεί ώστε να καλύπτει ένα μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων. Το «εκτεταμένο GSM», E-GSM, χρησιμοποιεί εύρος συχνοτήτων 880-915 MHz (uplink) και 925-960 MHz (downlink), προσθέτοντας 50 κανάλια (αριθμοί καναλιών 975 έως 1023 και 0) στην αρχική ζώνη GSM-900.

Το **GSM-1800** χρησιμοποιεί 1710 - 1785 MHz [2] για την αποστολή πληροφοριών από τον κινητό σταθμό προς τον σταθμό βασικού πομποδέκτη (uplink) και 1805 - 1880 MHz για την άλλη κατεύθυνση (downlink), παρέχοντας 374 κανάλια (αριθμοί καναλιών 512 έως 885). Για παράδειγμα, οι χειριστές όπως η Hutch, η Airtel και η Idea χρησιμοποιούν 900MHz σε αγροτικές περιοχές και 1800MHz σε αστικές περιοχές.

## **Κυψελωτά Δίκτυα 3<sup>ης</sup> Γενιάς (3G):**

### **Συχνότητες ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης (uplink και downlink)**

Υπάρχουν πάρα πολλές ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των εκπομπών 3G UMTS. Αυτές οι ζώνες συχνοτήτων κατανέμονται σε διεθνή βάση για να επιτρέπουν την περιαγωγή και επίσης να κατανέμουν ζώνες σε διεθνές επί-πεδο για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών.

Καθώς είχε και έχει αυξηθεί η χρήση του 3G UMTS, έχει αυξηθεί και η απαίτηση για κατανομή συχνοτήτων. Αρχικά τοποθετήθηκαν ζώνες στην περιοχή 1885-2025 και 2110-2200 MHz. Αυτές οι ζώνες συχνοτήτων αρχικά είχαν τεθεί υπό κράτηση στην Παγκόσμια Διοικητική Ραδιοφωνική Διάσκεψη το 1992, ώστε να καταστεί δυνατή η χρήση σε παγκόσμια βάση από τις διοικήσεις που επιθυμούν να εφαρμόσουν τις Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες-2000, IMT-2000. Παρόλο που δεν είναι διαθέσιμες όλες οι ζώνες συχνοτήτων σε όλες τις χώρες, όλες οι μπάντες διαχειρίζονται σε διεθνή βάση. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η περιαγωγή.

Το 3GUMTS / W-CDMA πρότυπο παρέχει μια μέγιστη ταχύτητα λήψης 384 kbps.[2]

- Ζώνες συχνότητας 3G UMTS – FDD

Καθώς το FDD (διαίρεση συχνότητας) απαιτεί ζώνες για uplink και downlink, οι ζώνες για FDD είναι διαφορετικές από εκείνες που απαιτούνται για TDD (χρονικό διαχωρισμό).

Οι κύριες ζώνες συχνοτήτων UMTS / WCDMA για λειτουργία FDD συνοψίζονται παρακάτω [25]:

3G UMTS FREQUENCY BANDS - FDD				
BAND NUMBER	BAND	COMMON NAME	UL FREQUENCIES	DL FREQUENCIES
1	2100	IMT	1920 - 1980	2120 - 2170
2	1900	PCS A-F	1850 - 1910	1930 - 1990
3	1800	DCS	1710 - 1785	1805 - 1880
4	1700	AWS A-F	1710 - 1755	2110 - 2155
5	850	CLR	824 - 849	869 - 894
6	800		830 - 840	875 - 885
7	2600	IMT-E	2500 - 2570	2620 - 2690
8	900	E-GSM	880 - 915	925 - 960
9	1700		1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9
10	1700	EAWS A-G	1710 - 1770	2110 - 2170
11	1500	LPDC	1427.9 - 1447.9	1475.9 - 1495.9
12	700	LSMH	699 - 716	729 - 746
13	700	USMH C	777 - 787	746 - 756
14	700	USMH D	788 - 798	758 - 768
19	800		832.4 - 842.6	877.4 - 887.6
20	800	EUDD	832 - 862	791 - 821

21	1500	UPDC	1447.9 - 1462.9	1495 - 1510.9
22	3500		3410 - 3490	3510 - 3590
25	1900	EPCS A-G	1850 - 1915	1930 - 1995
26	850	ECLR	814 - 849	859 - 894

**Πίνακας 1 : Ζώνες συχνοτήτων UMTS / WCDMA για λειτουργία FDD [25]**

- Ζώνες συχνότητας 3G UMTS - TDD

Οι κύριες ζώνες συχνοτήτων UMTS για λειτουργία TDD συνοψίζονται παρακάτω.

3G UMTS FREQUENCY BANDS - TDD				
BAND REFERENCE	BAND NAME	FREQUENCIES		
A Lower	IMT	1900 - 1920		
A Upper	IMT	2010 - 2025		
B Lower	PCS	1850 - 1910		
B Upper	PCS	1930 - 1990		
C	PCS duplex gap	1910 - 1930		
D	IMT-E	2570 - 2620		
E		2300 - 2400		
F		1880 - 1920		

**Πίνακας 2 : Ζώνες συχνοτήτων UMTS/ WCDMA για λειτουργία TDD [25]**

Πρόσβαση πακέτων υψηλής ταχύτητας (3GHSPA) είναι ο συνδυασμός δύο τεχνολογιών, μία από τη κατερχόμενη και η άλλη για την ανερχόμενη ζεύξη που μπορεί να ενσωματωθεί στην υπάρχουσα 3G τεχνολογία UMTS ή W-CDMA για να παρέχει αυξημένες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων.



## **Κυψελωτά Δίκτυα 4<sup>ης</sup> Γενιάς (4G):**

Η ασύρματη τεχνολογία τέταρτης γενιάς είναι ικανή για ταχύτητα μετάδοσης 100 Mbps (η οποία μπορεί να φτάσει τα 1 Gbps υπό ιδανικές συνθήκες), με άριστη ποιότητα και υψηλή ασφάλεια.

Το φάσμα που διατίθεται για το LTE ποικίλλει σε όλο τον κόσμο και ως εκ τούτου υπάρχουν πολλές ζώνες LTE και κατανομές συχνοτήτων.

### **Ζώνες συχνοτήτων LTE - FDD και TDD**

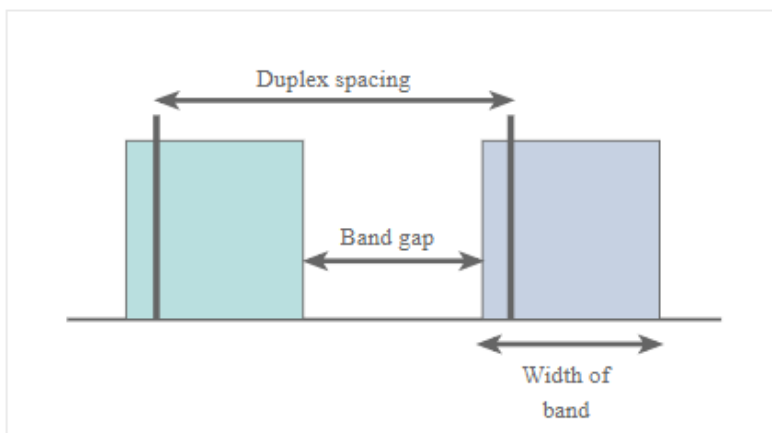
Το φάσμα FDD απαιτεί ζώνες ζεύγους, μία για την ανερχόμενη και μία για την κατερχόμενη ζεύξη, ενώ το TDD απαιτεί μία μόνο ζώνη, καθώς η ανερχόμενη ζεύξη και η κατερχόμενη ζεύξη είναι στην ίδια συχνότητα αλλά διαχωρίζονται σε χρόνο. Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν διαφορετικές κατανομές ζώνης LTE για TDD και FDD. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτές οι ζώνες μπορεί να αλληλεπικαλύπτονται.

Οι κόμβοι που περιφέρονται μπορεί να συναντήσουν και τους δύο τύπους στην ίδια ζώνη. Επομένως, θα πρέπει να εντοπίσουν το είδος της μετάδοσης που γίνεται στη συγκεκριμένη ζώνη LTE στην τρέχουσα θέση.

Επί του παρόντος, οι ζώνες LTE μεταξύ 1 και 22 είναι για ζευγαρωμένο φάσμα, δηλαδή FDD LTE ζώνες και μεταξύ 33 και 41 είναι για μη ζευγαρωμένο φάσμα, δηλ. TDD.

- Ζώνες συχνότητας 4G LTE – FDD [26]:

Οι ζώνες συχνοτήτων LTE- FDD συνδυάζονται για να επιτρέπουν ταυτόχρονη μετάδοση σε δύο συχνότητες. Οι συχνότητες μεταξύ τους έχουν επαρκή διαχωρισμό για να επιτρέψουν στα μεταδιδόμενα σήματα να μην βλάψουν αδικαιολόγητα την απόδοση του δέκτη. Αν υπάρχει επικάλυψη στα σήματα ανερχόμενης ζεύξης με αυτά της κατερχόμενης ζεύξης, είναι πιθανό να διακοπεί η επικοινωνία του κινητού με το σταθμό βάσης. Στην εικόνα 5 φαίνεται ο διαχωρισμός (band gap) που υπάρχει στις LTE – FDD ζώνες συχνοτήτων.



Εικόνα 5 : Γραφική Αναπαράσταση του LTE-FDD band gap [xxii].

FDD LTE BANDS & FREQUENCIES						
LTE BAND NUMBER	UPLINK (MHZ)	DOWNLINK (MHZ)	WIDTH OF BAND (MHZ)	DUPLEX SPACING (MHZ)	BAND GAP (MHZ)	
1	1920 - 1980	2110 - 2170	60	190	130	
2	1850 - 1910	1930 - 1990	60	80	20	
3	1710 - 1785	1805 - 1880	75	95	20	
4	1710 - 1755	2110 - 2155	45	400	355	
5	824 - 849	869 - 894	25	45	20	
6	830 - 840	875 - 885	10	35	25	
7	2500 -	2620 - 2690	70	120	50	

FDD LTE BANDS & FREQUENCIES					
LTE BAND NUMBER	UPLINK (MHZ)	DOWNLINK (MHZ)	WIDTH OF BAND (MHZ)	DUPLEX SPACING (MHZ)	BAND GAP (MHZ)
	2570				
8	880 - 915	925 - 960	35	45	10
9	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	35	95	60
10	1710 - 1770	2110 - 2170	60	400	340
11	1427.9 - 1452.9	1475.9 - 1500.9	20	48	28
12	698 - 716	728 - 746	18	30	12
13	777 - 787	746 - 756	10	-31	41
14	788 - 798	758 - 768	10	-30	40
15	1900 - 1920	2600 - 2620	20	700	680
16	2010 - 2025	2585 - 2600	15	575	560
17	704 - 716	734 - 746	12	30	18
18	815 - 830	860 - 875	15	45	30

FDD LTE BANDS & FREQUENCIES					
LTE BAND NUMBER	UPLINK (MHZ)	DOWNLINK (MHZ)	WIDTH OF BAND (MHZ)	DUPLEX SPACING (MHZ)	BAND GAP (MHZ)
19	830 - 845	875 - 890	15	45	30
20	832 - 862	791 - 821	30	-41	71
21	1447.9 - 1462.9	1495.5 - 1510.9	15	48	33
22	3410 - 3500	3510 - 3600	90	100	10
23	2000 - 2020	2180 - 2200	20	180	160
24	1625.5 - 1660.5	1525 - 1559	34	-101.5	135.5
25	1850 - 1915	1930 - 1995	65	80	15
26	814 - 849	859 - 894	30 / 40		10
27	807 - 824	852 - 869	17	45	28
28	703 - 748	758 - 803	45	55	10
29	n/a	717 - 728	11		
30	2305 - 2315	2350 - 2360	10	45	35

FDD LTE BANDS & FREQUENCIES					
LTE BAND NUMBER	UPLINK (MHZ)	DOWNLINK (MHZ)	WIDTH OF BAND (MHZ)	DUPLEX SPACING (MHZ)	BAND GAP (MHZ)
31	452.5 - 457.5	462.5 - 467.5	5	10	5

**Πίνακας 3 : Ζώνες συχνοτήτων 4G LTE για λειτουργία FDD [26]**

- Ζώνες συχνότητας 4G LTE - TDD

TDD LTE BANDS & FREQUENCIES		
LTE BAND NUMBER	ALLOCATION (MHZ)	WIDTH OF BAND (MHZ)
33	1900 - 1920	20
34	2010 - 2025	15
35	1850 - 1910	60
36	1930 - 1990	60
37	1910 - 1930	20
38	2570 - 2620	50
39	1880 - 1920	40
40	2300 - 2400	100
41	2496 - 2690	194
42	3400 - 3600	200
43	3600 - 3800	200
44	703 - 803	100

**Πίνακας 4 : Ζώνες συχνοτήτων 4G LTE για λειτουργία TDD [26]**

## Κεφάλαιο 2

### 5G Δίκτυα

Στόχος του κεφαλαίου είναι να πραγματοποιήσει μια πλήρη ανασκόπηση των βασικών εννοιών και χαρακτηριστικών της νέας τεχνολογίας των 5G δικτύων.

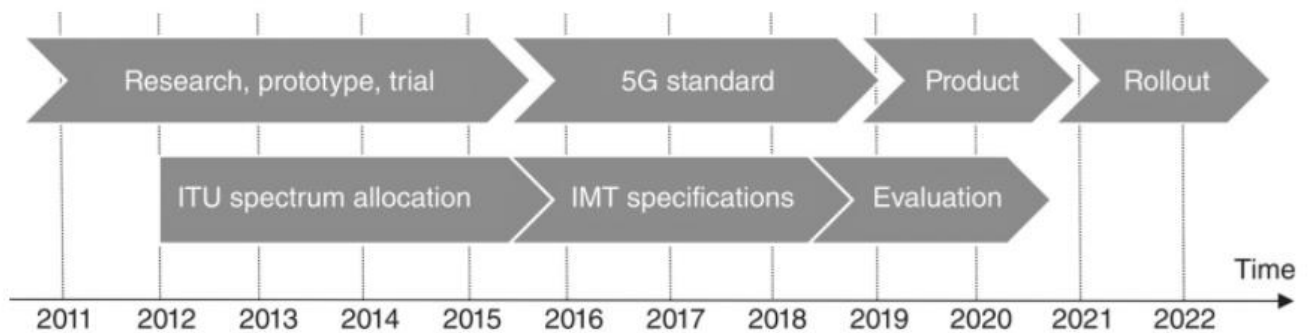
#### 2.1 Ορισμός

Το 5G είναι ένα καινούριο δίκτυο, βασισμένο στο συνδυασμό καινούριων και υπάρχοντων τεχνολογιών με βασικά χαρακτηριστικά τις πολύ υψηλές ταχύτητες, μεγάλη χωρητικότητα και πολύ μικρή καθυστέρηση.

Τα δίκτυα 5G είναι το μέλλον των κινητών επικοινωνιών. Εκτιμάται ότι θα προσφέρουν στο συνδρομητή τεράστιες ταχύτητες mobile internet, σταθερή ποιότητα υπηρεσιών ακόμα και εν κινήσει με υψηλές ταχύτητες και μεγαλύτερη αυτονομία. Το πλάνο είναι μία υποδομή να καλύπτει τις αυξημένες απαιτήσεις σε τομείς όπως αυτοκίνηση, ενέργεια, «έξυπνες» πόλεις, ιατρική φροντίδα, δημόσιες μεταφορές, διακυβέρνηση.

Οι τεχνολογίες που θα επικρατήσουν και θα χρησιμοποιηθούν στα 5G δίκτυα δεν έχουν προσδιοριστεί ακόμα πλήρως, αλλά υπάρχουν οι πυλώνες για τη τελική δημιουργία αυτού του δικτύου. [3]

#### Εξέλιξη των 5G Δικτύων



Εικόνα 6 : Εξέλιξη των 5G δικτύων στα επόμενα χρόνια [iii]

Ειδικότερα, στη συνέχεια παρουσιάζονται επιμέρους τομείς εφαρμογής που συναντώνται τα 5G δίκτυα.

Όσον αφορά τα κινητά τηλέφωνα, η μεγαλύτερη αλλαγή που μπορεί να φέρουν τα 5G δίκτυα σε αυτά είναι η εικονική πραγματικότητα. Στα τηλέφωνα προστίθενται πολλά καινούρια χαρακτηριστικά και συσκευές, όπως για παράδειγμα η χρήση εικονικής πραγματικότητας ακουστικών (VR –virtual reality), οπότε δημιουργούνται νέες ανάγκες, όπως πολύ χαμηλή καθυστέρηση και σταθερή σύνδεση με σταθερή ταχύτητα για να μπορεί να γίνει πραγματικότητα η χρήση τέτοιων συσκευών.

Ένα ακόμη γνώρισμα των 5G δικτύων είναι ο τεράστιος αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών. Μέχρι τώρα, τα κυκλώματα των 4G συσκευών είναι αρκετά ακριβά, η κατανάλωση ενέργειας είναι μεγάλη, και ο σχεδιασμός των υπηρεσιών είναι περίπλοκος. Οπότε τα περισσότερα πράγματα και συσκευές που θεωρούνται `internet of things` εξυπηρετούνται είτε από wi-fi σε οικιακό περιβάλλον, είτε από 2G σε επαγγελματικό / βιομηχανικό περιβάλλον. Τα 5G δίκτυα θα λειτουργούν με μικρές, οικονομικές, χαμηλής κατανάλωσης συσκευές, οπότε θα έχουν και τη δυνατότητα να συνδέουν πολλά μικρότερα αντικείμενα και διαφορετικού είδους αισθητήρες στο ίντερνετ.

Για να επιτύχουμε την είσοδο των αυτόματων αυτοκινήτων στην αγορά, τα 5G δίκτυα ίσως είναι το κλειδί για την υλοποίησή τους. Το σενάριο των αυτόματων αυτοκινήτων είναι να επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και να αλληλεπιδρούν με έξυπνους δρόμους. Ένας βασικός περιορισμός για να μπορούν να μιλούν όλα τα αντικείμενα που θα βρίσκονται στο οδικό δίκτυο μεταξύ τους είναι να υπάρχει ελάχιστη ως και καθόλου καθυστέρηση.

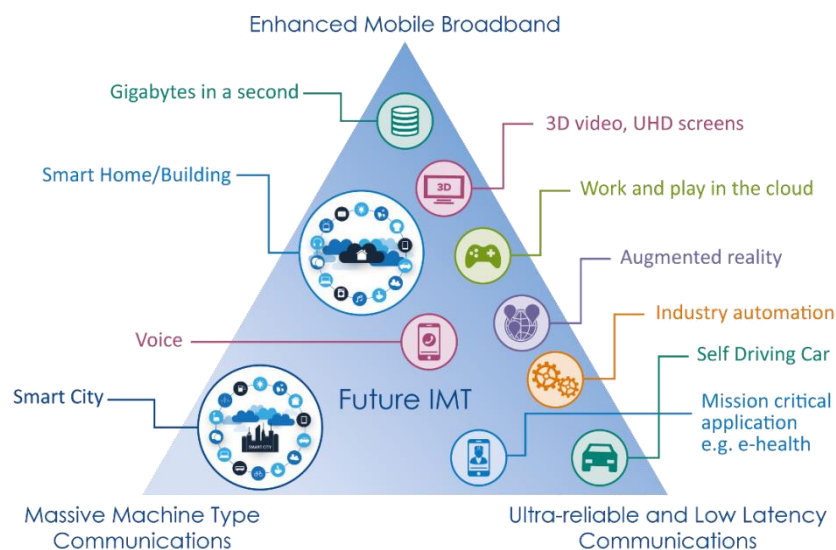
Το βέβαιο είναι ότι θα προκύψουν πολλοί τομείς της καθημερινότητας του ανθρώπου, που θα μπορούμε να κάνουμε χρήση των 5G δικτύων. Στο επόμενο κεφάλαιο που γίνεται λόγος για τις M2M επικοινωνίες παρουσιάζονται με λεπτομέρειες ορισμένοι από αυτούς τους τομείς.

## **2.2 Χαρακτηριστικά 5G δικτύων**

Η ευρεία, υψηλής ευρυζωνικότητας, και εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης ασύρματη δομή θα οδηγήσει την οικονομία του μέλλοντος και θα συνδέσει τη κοινωνία. Η ιδέα της 5G τεχνολογίας προβλέπεται να μην επενδύει μόνο σε μια ήδη υπάρχουσα τεχνολογία, αλλά σε ένα τεχνολογικό οικοσύστημα από ασύρματα δίκτυα με σκοπό την αδιάκοπη παροχή επικοινωνίας στο τελικό χρήστη.

Τα βασικά κριτήρια που θα πρέπει να ικανοποιεί η τεχνολογία των 5G δικτύων έχουν καθοριστεί από τον οργανισμό ITU (International Telecommunication Union) στο συνέδριο IMT-2020 Recommendation. Η ITU-RM.2083 περιγράφει τρία γενικά χαρακτηριστικά εφαρμογής των 5G δικτύων [4], [5] :

- ♦ Ενισχυμένη Κινητή ευρυζωνικότητα: με σκοπό να ανταπεξέρχεται στο τεράστιο μέγεθος των δεδομένων, τη συνολική χωρητικότητα και τη πυκνότητα των χρηστών.
- ♦ Μαζικές Επικοινωνίες Μηχανής προς Μηχανή: για την εφαρμογή IoT, απαιτώντας χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων για μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών.
- ♦ Εξαιρετικά έμπιστες και ελάχιστης καθυστέρησης επικοινωνίες: για την αποτελεσματική χρήση ασφαλών - κρίσιμων εφαρμογών.



**Εικόνα 7 : Βασικά χαρακτηριστικά 5G δικτύων [iv]**

### 2.3 Απαιτήσεις των 5G δικτύων

Η IMT Vision αναφέρει ότι “η ευρυζωνική σύνδεση θα αποκτήσει το ίδιο επίπεδο σπουδαιότητας με την πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια” [6].

Προβλέπεται ένα εξαιρετικά απαιτητικό μέλλον στην εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι ακριβείς απαιτήσεις



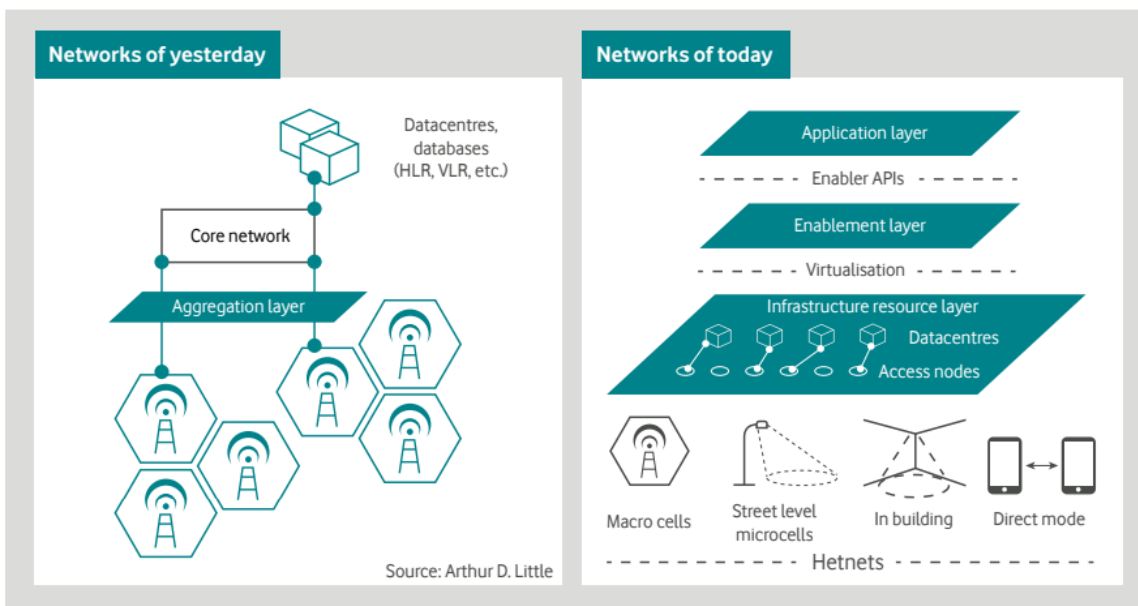
που τα δίκτυα 5G οφείλουν να καλύψουν, έτσι όπως έχουν προσδιοριστεί μέχρι σήμερα.

- ♦ 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου καθυστέρηση σε μια αμφίδρομη επικοινωνία τελικών χρηστών.
- ♦ Μία από τις απαιτήσεις που καλείται να καλύψει η νέα τεχνολογία των 5G δικτύων είναι η εξασφάλιση 1000x (φορές) μεγαλύτερου εύρου ζώνης (bandwidth) ανά περιοχή, καθώς οι διαχειριστές των δικτύων θα κληθούν να εξυπηρετούν πολύ περισσότερους χρήστες ταυτόχρονα.
- ♦ Στα 5G δίκτυα υπολογίζεται ότι θα υπάρχουν 10-100x μεγαλύτερος αριθμός διασυνδεδεμένων συσκευών.
- ♦ Η τεχνολογία των 5G δικτύων καλείται να παρέχει (προσεγγιστικά) 99.999% διαθεσιμότητα.
- ♦ Επιπλέον, καλείται να παρέχει (προσεγγιστικά) 100% κάλυψη.
- ♦ Μία επιπλέον προδιαγραφή είναι να μειωθεί κατά 90% η χρήση ενέργειας στα πλαίσια του δικτύου. Ένας στόχος είναι να διαρκεί 10 χρόνια οι μπαταρίες που θα χρησιμοποιούν οι M2M συσκευές.

## **2.4 Πυλώνες 5G δικτύων**

Στη συνέχεια προσδιορίζονται τα βασικά δομικά στοιχεία των 5G δικτύων, τονίζοντας το ρόλο και τη σημασία τους για την επίτευξη των 5G επικοινωνιών.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι τεχνολογίες που παρατίθενται σε αυτό το σημείο δεν εφαρμόζονται σε όλες τις περιπτώσεις ταυτόχρονα στα 5G δίκτυα. Όπως ήδη έχει τονιστεί, τα δίκτυα 5G θα συνδυάζουν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες και τεχνικές, που ακόμα είναι υπό μελέτη. Οπότε κάνοντας λόγο για πυλώνες των 5G δικτύων εννοούμε τις επικρατέστερες τεχνολογίες που μπορούν να συνεισφέρουν σε αυτό το επίτευγμα.



**Εικόνα 8 : Διαφορές στα σημερινά δίκτυα από τα μελλοντικά δίκτυα [v]**

### 2.4.1 Εικονικοποίηση του Δικτύου (Network Virtualization) :

Οι άνθρωποι σήμερα επικοινωνούν, εργάζονται, ενημερώνονται χρησιμοποιώντας δικτυακές επικοινωνίες. Για να επιτευχθεί αυτή η επικοινωνία υπάρχουν αμέτρητοι κόμβοι, περίπλοκες συνδέσεις, διαδρομές, δρομολογητές, γενικά συσκευές που η δουλειά τους είναι να ενώσουν τους απομακρυσμένους χρήστες. Ένα δίκτυο για να υλοποιηθεί έχει στενή εξάρτηση με τις δικτυακές συσκευές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι αλλαγές να κοστίζουν πολλά χρήματα και χρόνο σε κάθε επιχείρηση που θέλει να κάνει μια αναβάθμιση στις υπηρεσίες της ή να προσθέσει ένα καινούριο δικτυακό χαρακτηριστικό. Σε αυτό το σημείο υπάρχει η ανάγκη να απομονωθεί αυτή η στενή σχέση ανάμεσα στις δυνατότητες του δικτύου και τις συσκευές με σκοπό να γίνει το δίκτυο πιο ευέλικτο. Το δίκτυο πρέπει να είναι ικανό να προσαρμοστεί με ένα γρήγορο ρυθμό στην ραγδαία εξέλιξη του ψηφιακού κόσμου. Σε αυτήν την ανεξαρτητοποίηση μπορεί να μας βοηθήσει η εικονικοποίηση των δικτύων (network virtualization). Το network virtualization βασίζεται σε δύο τεχνολογίες : Δικτύωση Καθοριζόμενη από Λογισμικό - Software Defined Networks (SDN) και Εικονικοποίηση Δικτυακών Λειτουργιών - Network Function Virtualisation (NFV). Εικονικοποιώντας το δίκτυο εννοείται ο διαχωρισμός του λογισμικού (software) από το υλικό και τις δικτυακές συσκευές (hardware). Από το σημείο, όπου οι υπηρεσίες του δικτύου δε θα βασίζονται στο υλικό, αλλά στο λογισμικό θα είναι δυνατό να χρησιμοποιείται μία συσκευή όχι μόνο για μια καθορισμένη χρήση, αλλά για πολλές υπηρεσίες που θα καθορίζονται από το λογισμικό το οποίο θα έχει εγκαταστηθεί.

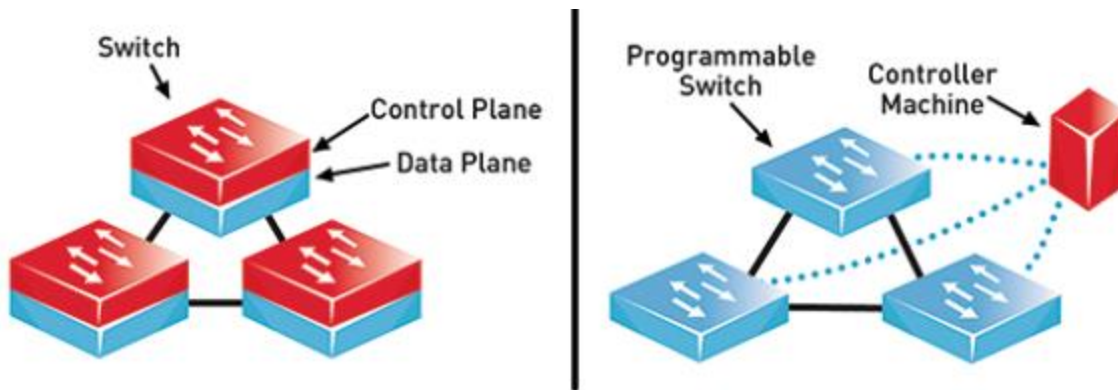
## **α. Δίκτυα Καθοριζόμενα από Λογισμικό (SDN - Software Defined Networks)**

Το Software-Defined Networking (SDN) είναι μια αναδυόμενη αρχιτεκτονική που είναι δυναμική, διαχειρίσιμη, οικονομικά αποδοτική και προσαρμόσιμη, καθιστώντας την ιδανική για το δυναμικό χαρακτήρα των σημερινών εφαρμογών. Αυτή η αρχιτεκτονική αποσυνδέει τις λειτουργίες ελέγχου και προώθησης επιτρέποντας να είναι προγραμματίσιμος ο έλεγχος και η διαχείριση του δικτύου [7]. Είναι μια αρχιτεκτονική προσέγγιση, όχι ένα συγκεκριμένο προϊόν. Ο στόχος του SDN είναι να επιτρέψει σε μηχανικούς και διαχειριστές δικτύων να ανταποκρίνονται γρήγορα στις μεταβαλλόμενες επιχειρηματικές απαιτήσεις. Σε ένα δίκτυο καθορισμένο από λογισμικό, ένας διαχειριστής δικτύου μπορεί να διαμορφώσει την κυκλοφορία από μια κεντρική κονσόλα ελέγχου χωρίς να χρειαστεί να αγγίξει μεμονωμένες συσκευές και μπορεί να παρέχει υπηρεσίες όποτε χρειάζονται στο δίκτυο.

Πιο συγκεκριμένα, οι σημερινοί μεταγωγείς δικτύου και δρομολογητές διαμορφώνουν τοπικά τους πίνακες δρομολόγησης, πράγμα που σημαίνει ότι οι συσκευές δικτύου εκτελούν εσωτερικά τις δικές τους αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο προώθησης των δεδομένων. Κάθε φορά που προστίθεται μια υπηρεσία, οι συσκευές πρέπει να διαμορφώνονται ξεχωριστά από εξειδικευμένους μηχανικούς. Τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δικτύωσης έχουν περιορισμένη ευελιξία και για να λειτουργήσουν, όλες οι συσκευές δικτύου που συμμετέχουν πρέπει να έχουν τους ίδιους κανόνες.

Στη περίπτωση της SDN αρχιτεκτονικής, μια συσκευή δικτύου θα διαβιβάζει δεδομένα βάσει των εντολών που θα έχουν προγραμματιστεί στη συσκευή ελέγχου (controller). Η SDN διαχωρίζει τη συσκευή ελέγχου (controller) από τη συσκευή δικτύου - τη νοημοσύνη η οποία καθορίζει τον τρόπο χειρισμού και διαχωρισμού των δεδομένων. Η κεντρική συσκευή ελέγχου κατανοεί την πλήρη τοπολογία του δικτύου. Αυτός ο κεντρικός ελεγκτής επιτρέπει στους μηχανικούς να εφαρμόζουν μοναδικές και ευέλικτες πολιτικές δρομολόγησης που περιορίζονται μόνο από την ικανότητα του λογισμικού που εκτελείται σε αυτό.

Για τη καλύτερη κατανόηση της αρχιτεκτονικής παραδίδεται η Εικόνα 9



Εικόνα 9 : Σύγκριση παραδοσιακής αρχιτεκτονικής με την αρχιτεκτονική SDN [xviii]

### β. Εικονικοποίηση δικτυακών Λειτουργιών (NFV - Network Function Virtualisation)

Η Εικονικοποίηση δικτυακών λειτουργιών NFV (Network Function Virtualisation) προσφέρει έναν νέο τρόπο σχεδιασμού, ανάπτυξης και διαχείρισης υπηρεσιών δικτύωσης. Το NFV αποσυνδέει τις λειτουργίες του δικτύου, όπως NAT (Network Address Translation), firewall, DNS (Domain Name Server) και τη προσωρινή αποθήκευση από τις συσκευές υλικού έτσι ώστε να μπορούν να τρέχουν ως λογισμικό.

Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό δίνεται ως παράδειγμα μια επιχείρηση που έχει δύο παραρτήματα και χρειάζεται να υπάρχει επικοινωνία μεταξύ τους. Το παραδοσιακό μοντέλο εφαρμογής αυτής της σύνδεσης χρειάζεται συσκευές ξεχωριστά για firewall, encryption, dns και άλλες υπηρεσίες.

Με την τεχνολογία NFV δε χρειάζεται τίποτα άλλο από έναν γενικό server και με τη βοήθεια μιας κλασικής εικονικής πλατφόρμας (virtual machine), όπως vmware ή openStack να εγκατασταθεί μια εικονική πλατφόρμα για κάθε ξεχωριστή λειτουργία του δικτύου.

Η NFV μειώνει την ανάγκη για εξειδικευμένο υλικό για την ανάπτυξη και τη διαχείριση δικτύων με τη μεταφορά των λειτουργιών δικτύου σε επίπεδο λογισμικού που μπορεί να λειτουργήσει σε βιομηχανικό εξοπλισμό και μπορεί να είναι διαχειρίσιμο από οπουδήποτε μέσα στο δίκτυο.

Ο διαχωρισμός των λειτουργιών δικτύου από το υλικό αποφέρει πολλά οφέλη για τον διαχειριστή του δικτύου, τα οποία περιλαμβάνουν:

- Μειωμένος χώρος που απαιτείται για το υλικό του δικτύου
- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας δικτύου
- Μειωμένο κόστος συντήρησης δικτύου

- Ευκολότερες αναβαθμίσεις δικτύου
- Μεγαλύτεροι κύκλοι ζωής για υλικό δικτύου
- Μειωμένο κόστος συντήρησης και υλικού

### **2.4.2 Τεχνολογίες Ασύρματης Σύνδεσης (Radio Access Technology - RAT)**

Radio Access Network (RAN): Ένα δίκτυο πρόσβασης με ραδιοκύματα είναι το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, ο εξοπλισμός δηλαδή που συνδέει τις κυψελοειδείς κεραιές, επεξεργάζεται το σήμα και το στέλνει στο κεντρικό δίκτυο.

Radio Access Technology (RAT): Η μέθοδος φυσικής σύνδεσης σε ένα δίκτυο ασύρματης επικοινωνίας. WiFi, Bluetooth, 2G, 3G, 4G, LTE. Τα δίκτυα πολλαπλών RAT και οι περισσότερες κινητές συσκευές υποστηρίζουν πολλαπλά RAT.

Τα δίκτυα 5G είναι εξαιρετικά δύσκολο να θεωρηθούν ως μία ασύρματη τεχνολογία πρόσβασης, και είναι πιο πιθανό να αποτελέσουν μια συλλογή από δίκτυα ασύρματης πρόσβασης που ήδη εφαρμόζονται με επιπρόσθετους εξελιγμένους σχεδιασμούς.

Συγκεκριμένα αναλύονται οι επεκτάσεις που χρειάζονται κάποιες από τις ήδη υπάρχουσες ασύρματες επικοινωνίες, ώστε να εξυπηρετούν τις μελλοντικές ανάγκες των 5G.

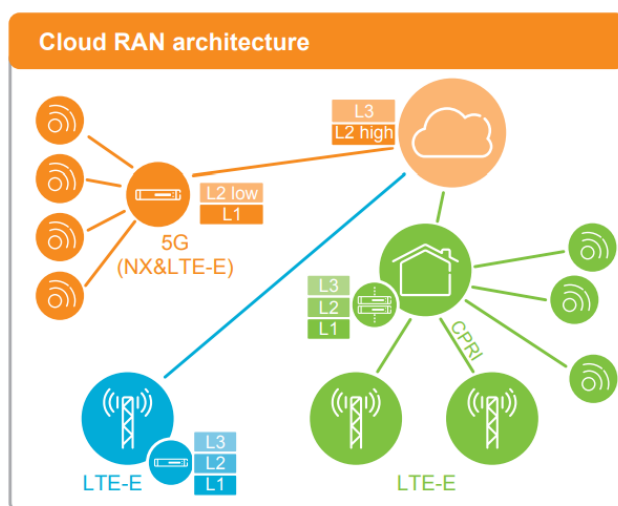
Προκειμένου να ικανοποιηθεί η ζήτηση για υψηλότερη αποδοτικότητα φάσματος στα συστήματα 5G, περισσότερες κεραιές μπορούν να αναπτυχθούν σε σταθμούς βάσης (BS) για να αυξηθεί η χωρητικότητα, η οποία αναφέρεται ως μαζική MIMO(Massive MIMO) τεχνολογία στον ακαδημαϊκό κόσμο. Γίνεται εκτενέστερη ανάλυση της τεχνικής Massive MIMO στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Επιπρόσθετα, ενσωματώνοντας τους πομποδέκτες 3G / 4G / WiFi σε έναν ενιαίο σταθμό βάσης πολλαπλών λειτουργιών (BS), ο μελλοντικός χρήστης (User Equipment - UE) θα είναι αρκετά έξυπνος ώστε να επιλέξει την καλύτερη διεπαφή για να συνδεθεί με το RAN με βάση τις απαιτήσεις της ποιότητας υπηρεσιών (QoS) της τρέχουσας εφαρμογής.

### **Νεφελώδες Ασύρματο δίκτυο πρόσβασης (C-RAN Cloud Radio Access Networks)**

Η ιδέα του C-RAN προτάθηκε για πρώτη φορά από την China Mobile[56]. Η βασική ιδέα του C-RAN ξεκινά από τη συγκέντρωση διαφορετικών μονάδων

βάσης - Baseband Unit (BBU) στον ίδιο τομέα που σε μια παραδοσιακή αρχιτεκτονική χωρίζονται γεωγραφικά.



Εικόνα 10 : Σχηματική μορφή νεφελώδους ασύρματου δικτύου πρόσβασης [vi]

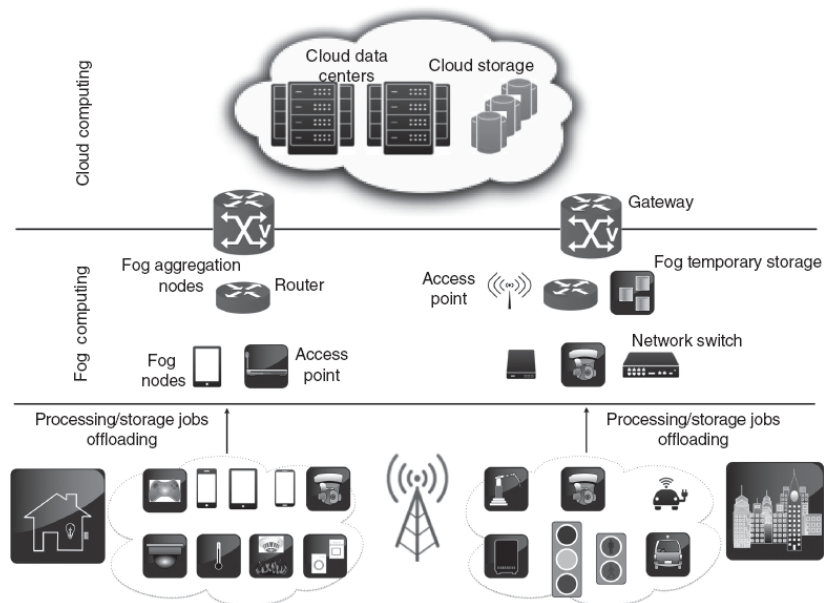
### Εικονικοποίηση Ασύρματου Δικτύου Πρόσβασης (RAN VIRTUALISATION)

Οι πάροχοι των δικτύων καταναλώνουν αρκετά χρήματα στη παροχή ενέργειας και στη συντήρηση των RAN κόμβων. Η εικονικοποίηση των σταθμών βάσης αξιοποιεί την τεχνολογία εικονικοποίησης της τεχνολογίας πληροφορικής με σκοπό την υλοποίηση τουλάχιστον ενός μέρους των κόμβων RAN σε τυπικούς εξυπηρετητές, μεταγωγείς και δίσκους αποθήκευσης. Με την μετατροπή των τυπικών RAN κόμβων σε εφαρμογές λογισμικού αναμένεται να υπάρχουν πλεονεκτήματα, όπως χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, μείωση του κόστους συντήρησης καθώς και ευκολότερη και γρήγορη διαχείριση των κόμβων, όταν αυτό απαιτείται.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα, το οποίο παρουσιάζει, πως εφαρμόζεται η εικονικοποίηση του ασύρματου δικτύου πρόσβασης. Ένας RAN κόμβος συνήθως χρησιμοποιεί πολύ λιγότερη από τη μέγιστη χωρητικότητα που διαθέτει, για το λόγο ότι έχει σχεδιαστεί για να παρέχει τη βέλτιστη κάλυψη. Παρόλα αυτά, ο μέσος όρος του φόρτου είναι μικρότερος από αυτόν που έχει σχεδιαστεί, οπότε ως αποτέλεσμα είναι κάθε κόμβος να μη μπορεί να μοιραστεί τους διαθέσιμους πόρους του με άλλους σταθμούς. Η εικονικοποίηση μπορεί να προσφέρει το διαμοιρασμό πόρων ανάμεσα στους κόμβους δυναμικά.

### 2.4.3 Υπολογιστική σε περιβαλλον ομίχλης (Fog Computing)

Η Υπολογιστική σε περιβάλλον ομίχλης (Fog Computing) είναι μια αποκεντρωμένη υπολογιστική υποδομή στην οποία τα δεδομένα, οι υπολογισμοί, η αποθήκευση και οι εφαρμογές διανέμονται στον πιο λογικό και αποτελεσματικό χώρο ανάμεσα στην πηγή δεδομένων και το νέφος [7]. Ο στόχος του fogging είναι η βελτίωση της απόδοσης και η μείωση του όγκου των δεδομένων που μεταφέρονται στο σύννεφο για επεξεργασία, ανάλυση και αποθήκευση. Ενώ οι τελικές συσκευές και οι αισθητήρες είναι εκεί όπου παράγονται και συλλέγονται τα δεδομένα, δεν διαθέτουν την υπολογιστική δύναμη και τους πόρους αποθήκευσης για την εκτέλεση προηγμένων αναλύσεων. Παρόλο που οι διακομιστές (server) είναι οι συσκευές που έχουν τη δυνατότητα να επεξεργαστούν τα δεδομένα, είναι συχνά πολύ μακριά για να απαντήσουν εγκαίρως. Σε περιβάλλον fog computing, η επεξεργασία πραγματοποιείται σε μια έξυπνη συσκευή, όπως σε ένα έξυπνο δρομολογητή ή πύλη, μειώνοντας έτσι τον όγκο των δεδομένων που αποστέλλονται στο νέφος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το fog computing συμπληρώνει - δεν αντικαθιστά - την υπολογιστική σε νεφελώδες περιβάλλον (cloud computing).[8]



Εικόνα 11 : Σχηματικό παράδειγμα υπολογιστικής νέφους [vii]

#### 2.4.4 Δίκτυο αυτόνομης οργάνωσης (Self organizing network – SON)

SON : Το δίκτυο αυτόνομης οργάνωσης (SON) είναι μια έννοια, όπου οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση των επιδόσεων των υπηρεσιών και του δικτύου και η ανάλυση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από διαφορετικά μέρη του δικτύου, παρέχουν χρήσιμη πληροφορία για τη λήψη αποφάσεων. [10]

Η δυνατότητα δίκτυου αυτόνομης οργάνωσης (SON) είναι ένα άλλο βασικό στοιχείο του 5G. Σχεδόν το 80% της ασύρματης κίνησης παράγεται σε εσωτερικούς χώρους. Για να μεταφέρεται η τεράστια κίνηση, απαιτούνται micro-cell εγκαταστάσεις σε σπίτια - εγκατεστημένες και συντηρημένες κυρίως από τους χρήστες - χωρίς να απαιτείται έλεγχος εγκατάστασης και συντήρησης από τους παρόχους. Αυτές οι εσωτερικές micro-κυψέλες πρέπει να είναι αυτορυθμιζόμενες και να εγκαθίστανται με τρόπο "plug and play". Επιπλέον, πρέπει να έχουν τη δυνατότητα αυτόνομης οργάνωσης για να προσαρμόζονται έξυπνα στα γειτονικά μικρά κελιά για να ελαχιστοποιούν τις παρεμβολές μεταξύ τους. Για παράδειγμα, μια micro-κυψέλη μπορεί να κάνει το συγχρονισμό αυτόματα με το δίκτυο και να ρυθμίζει έξυπνα την ραδιοκάλυψη.

#### **2.4.5 Επικοινωνίες μέσω Μηχανών (Machine type communication - MTC)**

Η Επικοινωνία μέσω Μηχανών (MTC) είναι μια επικοινωνία στην οποία είτε ένας είτε και οι δύο τελικοί χρήστες που συμμετέχουν στην επικοινωνία είναι μηχανές. Ο αριθμός των συσκευών, η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο και ο απομακρυσμένος έλεγχος των κινητών συσκευών (όπως τα οχήματα) μέσω του δικτύου είναι μερικές από τις απαιτήσεις που καλούνται να εκπληρώσουν οι MTC [24].

#### **2.4.6 Αποδοτικότητα ενέργειας**

Η αποδοτικότητα της ενέργειας παραμένει ένα σημαντικό ζήτημα σχεδιασμού κατά την ανάπτυξη του 5G. Σήμερα, η τεχνολογία των πληροφοριών και των επικοινωνιών (ΤΠΕ) καταναλώνει έως και το 5% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε ολόκληρο τον πλανήτη και είναι υπεύθυνη για το 2% περίπου των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [27]. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να δοθούν ενεργειακά αποδοτικές προσεγγίσεις σχεδιασμού ξεκινώντας από τα RAN, τις backhaul συνδέσεις μέχρι και με τις συνδέσεις με τους Ues (τελικούς χρήστες). Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά και έχουν όφελος σε διαφορετικούς τομείς. Πρώτον, η αποδοτικότητα της ενέργειας μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αειφόρο ανάπτυξη μειώνοντας το αποτύπωμα άνθρακα της ίδιας της βιομηχανίας κινητής τηλεφωνίας. Δεύτερον, με την υλοποίηση των μελλοντικών έξυπνων πόλεων επίσης μπορεί να διαδραματιστεί θεμελιώδης μείωση του αποτυπώματος άνθρακα και σε άλλους τομείς (π.χ. μεταφορές). Τρίτον, είναι δυνατόν να μειωθούν οι ανάγκες ηλεκτρικού ρεύματος, που χρειάζονται οι πάροχοι για να διατηρήσουν τις εγκαταστάσεις τους.



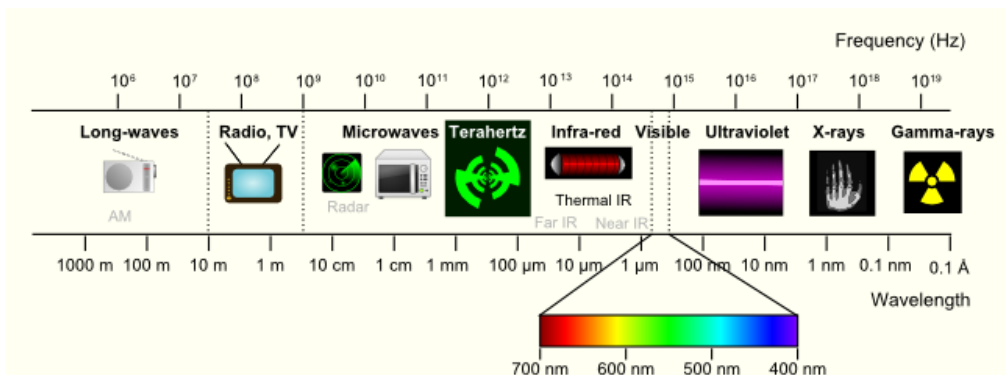
## 2.5 Τεχνικές υλοποίησης 5G δικτύων

Όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, δεν υπάρχει ένας ακριβής ορισμός για τα δίκτυα 5G και κατά συνέπεια δεν υπάρχει και ένας ακριβής τρόπος να δοθούν οι τεχνικές προδιαγραφές αυτής της τεχνολογίας, δεδομένου του γεγονότος ότι πολλές έρευνες βρίσκονται ακόμα υπό εξέλιξη. Παρόλα αυτά υπάρχουν 5 βασικές τεχνολογίες πάνω στις οποίες θα αναπτυχθούν τα 5G δίκτυα [28].



Εικόνα 12 : Τεχνικές που θα εφαρμοστούν για τη δημιουργία 5G δικτύων [viii]

### 2.5.1 Φάσμα (Spectrum)



Εικόνα 13 : Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα [ix]

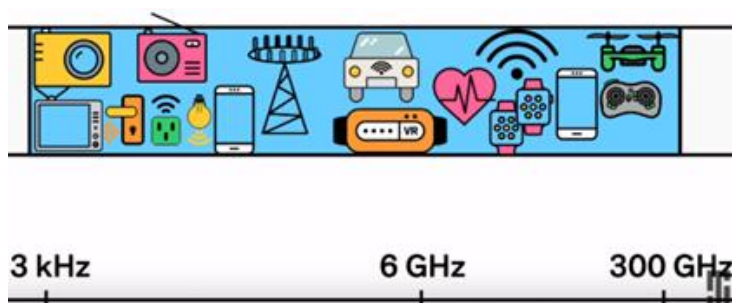
- **Millimetre Κύματα (mmWaves)**

Τα ραδιοκύματα σε αυτή τη ζώνη έχουν μήκη κύματος από 10mm έως 1mm [29] και το εύρος συχνοτήτων τους είναι 110 έως 300 GHz . Τα ραδιοκύματα σε αυτή τη ζώνη παρουσιάζουν υψηλή ατμοσφαιρική εξασθένηση: απορροφούνται από τα αέρια στην ατμόσφαιρα. Ως εκ τούτου, έχουν μικρή εμβέλεια και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για επίγεια επικοινωνία σε απόσταση περίπου ενός χιλιομέτρου.

Τα κινητά τηλέφωνα και άλλες οικιακές ηλεκτρονικές συσκευές λειτουργούν σε συγκεκριμένες συχνότητες από το φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων, συνήθως από 6GHz. Το πρόβλημα είναι ότι οι συσκευές που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο αυξάνονται με αποτέλεσμα να συμβαίνει κορεσμός σε αυτό το περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων. Όπως είναι κατανοητό αν συνεχώς προστίθενται καινούριες συσκευές στο ίδιο φάσμα, οι υπηρεσίες θα χάνουν τη ταχύτητα τους και θα προκύψουν απώλειες. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα έρχεται με το να γίνει επέκταση τους φάσματος των συχνοτήτων σε αυτό των 30 – 300 GHz, φάσμα που δεν έχει ξαναχρησιμοποιηθεί, ώστε να υπάρχει αρκετό bandwidth για τον καθένα.



Εικόνα 14 : Φάσμα σημερινών ασύρματων δικτύων [xxiii]



Εικόνα 15 : Φάσμα μελλοντικών ασύρματων δικτύων [xxiii]

Υπάρχουν τρεις βασικές προκλήσεις για τις κινητές επικοινωνίες mmWave [30]. Πρώτον, η απώλεια διαδρομής (free-space path loss) είναι σχετικά υψηλότερη σε αυτές τις ζώνες, σε σύγκριση με τις συμβατικές ζώνες υπο-3GHz. Δεύτερον, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα τείνουν να διαδίδονται μέσω οπτικής επαφής (LOS=Line of Sight propagation) καθιστώντας τους ραδιοζεύκτες ευάλωτους όταν υπάρχει κίνηση στη διάρκεια της μετάδοσης. Τέλος, η απώλεια διείσδυσης μέσω των κτιρίων είναι σημαντικά υψηλότερη σε αυτές τις ζώνες, εμποδίζοντας τη πρόσβαση για τους εσωτερικούς χρήστες στις εξωτερικές ασύρματες τεχνολογίες.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, υπάρχουν χιλιάδες πλεονεκτήματα για τις επικοινωνίες mmWave. Ένα τεράστιο εύρος φάσματος είναι διαθέσιμο στη mmWave ζώνη για παράδειγμα, στα 60 GHz, υπάρχει διαθέσιμο φάσμα 9 GHz χωρίς άδεια. Αυτό το εύρος φάσματος είναι τεράστιο, ειδικά όταν ισχύει ότι το παγκόσμιο διαθέσιμο φάσμα για όλες τις κυψελοειδείς τεχνολογίες μόλις υπερβαίνει τα 780 MHz. Αυτό το εύρος φάσματος μπορεί να φέρει σε πλήρη επανάσταση τις κινητές επικοινωνίες, παρέχοντας ασύρματες συνδέσεις εξαιρετικά ευρείας ζώνης που μπορούν να ενώσουν απρόσκοπτα τα ενσύρματα και τα ασύρματα δίκτυα. Άλλα πλεονεκτήματα των επικοινωνιών mmWave είναι το μικρό μέγεθος της κεραίας ( $\lambda/2$ ) και των διαχωριστών (επίσης γύρω από το  $\lambda/2$ ), επιτρέποντας την τοποθέτηση δεκάδων κεραιών σε ένα τετραγωνικό εκατοστό. Αυτό με τη σειρά του μας επιτρέπει την επίτευξη πολύ υψηλών κερδών στο σχηματισμό δεσμού (beamforming) σε σχετικά μικρές περιοχές, οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν τόσο στο σταθμό βάσης (Base Station - BS) όσο και στη συσκευή χρήστη (User Equipment UE).

- **Κατανομή νέου φάσματος για 5G**

Ένα άλλο κρίσιμο ζήτημα των 5G είναι η κατανομή του νέου φάσματος στις πολυχρησιμοποιημένες ασύρματες επικοινωνίες κατά την επόμενη δεκαετία. Στην πραγματικότητα, πιστεύεται ότι χρειάζεται 10 φορές περισσότερο φάσμα για να καλυφθεί η ζήτηση, που πρόκειται να παρέχει το 5G δίκτυο [31]. Γίνεται λόγος για κατανομή περίπου 100 MHz εύρους ζώνης (bandwidth) στη ζώνη των 700 MHz και ενός ακόμη 400 MHz εύρους ζώνης στη περιοχή 3,6 GHz, καθώς και η κατανομή ορισμένων GHz εύρους ζώνης σε cm- ή mmWave ζώνες για να χρησιμοποιηθεί από τις 5G επικοινωνίες.

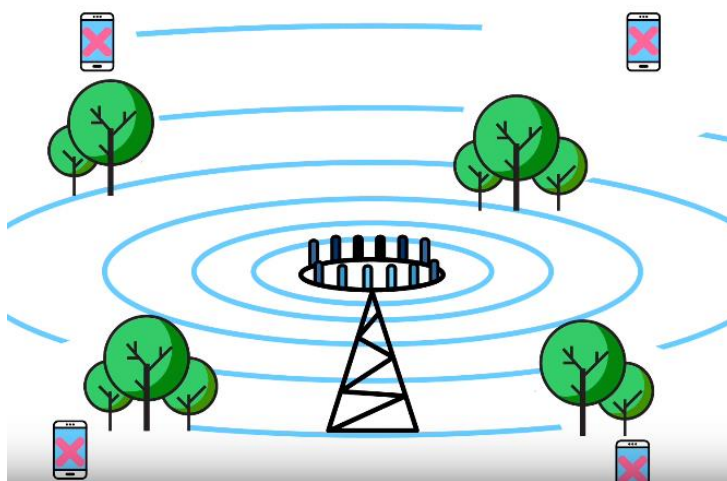
- **Κοινή Χρήση διαθέσιμου φάσματος**

Η διαδικασία για νέα κατανομή φάσματος είναι συχνά πολύ χρονοβόρα, επομένως η αποδοτική χρήση του διαθέσιμου φάσματος είναι πάντα κρίσιμης σημασίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει διαθέσιμο φάσμα απλά είναι δεσμευμένο. Παράδειγμα αποτελούν πολλά ραδιοφάσματα που έχουν αφιερωθεί για στρατιωτικά ραντάρ, όπου το φάσμα δεν χρησιμοποιείται πλήρως (24/7) ή σε ολόκληρη τη γεωγραφική περιοχή. [11]

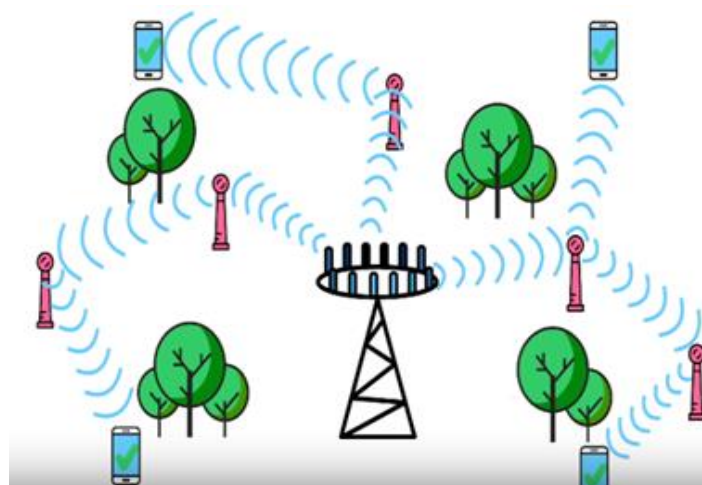
## **2.5.2 Πυκνή εγκατάσταση μικρών κυψελών (small-cell deployment)**

Η πυκνή εγκατάσταση των μικρών κυψελών είναι μια άλλη πολλά υποσχόμενη λύση για την ανάγκη κάλυψης του μεγάλου αυτού όγκου πληροφοριών των 5G δικτύων, ενώ παράλληλα προσφέρει και αποτελεσματική ενεργειακή κατανάλωση στο σύστημα.

Τα σημερινά ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε μεγάλους πύργους που εκπέμπουν ευρεία σήματα(broadcast) σε μεγάλες αποστάσεις. Εντούτοις, τα υψηλής συχνότητας mmWave αντιμετωπίζουν δυσκολίες στη διάδοση με εμπόδια. Οι μικρές κυψέλες είναι σε θέση να λύσουν αυτό το πρόβλημα, εγκαθιστώντας χιλιάδες μικρούς σταθμούς βάσης (base stations) χαμηλής κατανάλωσης, παρέχοντας συνεχή κάλυψη σε όλους τους χρήστες.



*Εικόνα 16 : Broadcast εκπομπή [xiii]*



*Εικόνα 17 : Hetnet Εκπομπή [xiii]*

Τα ετερογενή δίκτυα (Heterogeneous network σε συντομία Hetnet) είναι η ταυτόχρονη ύπαρξη small-cell, micro-cell, pico-cell καθώς και διαφόρων τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης.

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι για να υλοποιηθεί η αρχιτεκτονική hetnet:

- επικάλυψη ενός κυψελωτού δικτύου με μικρές κυψέλες της ίδιας τεχνολογίας, micro-, pico-, femto-cells
- επικάλυψη με μικρές κυψέλες διαφορετικών τεχνολογιών (π.χ. High Access Packet Access (HSPA), LTE, WiFi κ.α).

Ωστόσο, η μείωση του μεγέθους των κυψελών αυξάνει την παρεμβολή ανάμεσα στις κυψέλες και την απαιτούμενη σηματοδότηση ελέγχου. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα, χρειάζονται προηγμένες τεχνικές διαχείρισης παρεμβολών μεταξύ των κυψελών μαζί με συμπληρωματικές τεχνικές ακύρωσης παρεμβολών στις συσκευές χρήστη.

- **Επανασχεδιασμός backhaul συνδέσεων**

Με τον όρο backhaul εννοούμε το μέσο με το οποίο συνδέονται μεταξύ τους οι 3G / 4G σταθμοί βάσης (BS) και το δίκτυο κορμού. Οι backhaul συνδέσεις μπορεί να είναι είτε ενσύρματες (χαλκός, οπτική ίνα) είτε ασύρματες (mmwaves).

Παράλληλα με τη βελτίωση του RAN, οι συνδέσεις backhaul πρέπει επίσης να ανασχεδιαστούν ώστε να ανταπεξέλθουν στο τεράστιο όγκο δεδομένων των χρηστών που παράγονται στις κυψέλες. Διαφορετικά, οι συνδέσεις backhaul σύντομα θα γίνουν εμπόδια, απειλώντας την καλή λειτουργία ολόκληρου του συστήματος. Το πρόβλημα αποκτά μεγαλύτερη δυναμική καθώς ο πληθυσμός των μικρών κυψελών αυξάνεται. Διαφορετικά μέσα επικοινωνίας μπορούν να ληφθούν υπόψη, συμπεριλαμβανομένων των οπτικών ινών, μικροκυμάτων και mmWave. Ακόμη, όπως συζητήθηκε προηγουμένως, η ασύρματη backhaul σύνδεση πρέπει να ενσωματωθεί άψογα στην αρχιτεκτονική SDN / NFV.

### **2.5.3 Τεχνολογία Μαζικών πολλαπλών εισόδων, πολλαπλών εξόδων (Massive Multiple Input Multiple Output - Massive MIMO )**

Η χρήση πολλαπλών κεραιών, γνωστή και ως τεχνολογία πολλαπλών εισόδων, πολλαπλών εξόδων (MIMO), είναι η μόνη βιώσιμη προσέγγιση για σημαντική βελτίωση της φασματικής απόδοσης [33].

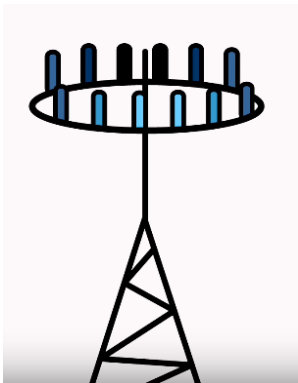
Η ανάπτυξη του τεράστιου αριθμού κεραιών στον πομπό ή / και στον δέκτη μπορεί να ενισχύσει σημαντικά το φάσμα και την ενεργειακή απόδοση του ασύρματου δικτύου. [12]

Η τεχνολογία MIMO κατηγοριοποιείται σε μία από τις τρεις κατηγορίες, MIMO Point-to-Point, Multiuser MIMO και Massive MIMO. Για την εφαρμογή των 5G

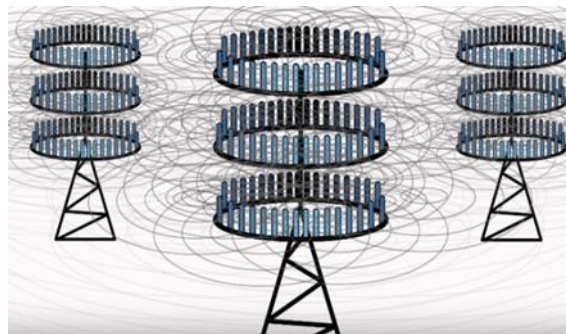
δικτύων είναι πιο αποδοτική η massive MIMO και ακολουθεί ανάλυση της τεχνολογίας [34]:

Πιο συγκεκριμένα, είτε σε μετάδοση ανερχόμενης ζεύξης είτε σε κατερχόμενη ζεύξη, όλα τα τερματικά καταλαμβάνουν ταυτόχρονα και αδιάκοπα και πλήρως τους πόρους των συχνοτήτων. Στην ανερχόμενη ζεύξη, ο σταθμός βάσης πρέπει να ξεχωρίσει τα μεμονωμένα σήματα που μεταδίδονται από κάθε τερματικό. Στην κατερχόμενη ζεύξη, ο σταθμός βάσης πρέπει να διασφαλίσει ότι κάθε τερματικό λαμβάνει μόνο το σήμα που προορίζεται για 'αυτό. Η επεξεργασία σήματος πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας του σταθμού βάσης έγινε δυνατή με τη χρησιμοποίηση μεγάλου αριθμού κεραιών και την κατοχή του Channel State Information(CSI). Στις ασύρματες επικοινωνίες, οι πληροφορίες κατάστασης καναλιού CSI αναφέρονται σε γνωστές ιδιότητες καναλιού ενός συνδέσμου επικοινωνίας. Αυτή η πληροφορία περιγράφει και αντιπροσωπεύει το συνδυασμένο αποτέλεσμα, για παράδειγμα, της σκέδασης, της εξασθένησης.

Οι σημερινοί 4G σταθμοί βάσης (base stations) έχουν περίπου 12 κεραιές για να διαχειρίζονται τη κίνηση των κυψελωτών δικτύων, αλλά οι Massive MIMO σταθμοί βάσης μπορούν να υποστηρίξουν περίπου εκατοντάδες κεραιές. Αυτό μπορεί να αυξήσει τη χωρητικότητα των δικτύων κατά 20 φορές περισσότερο. Στη τεχνολογία MIMO ,ωστόσο, προκύπτει ένα πρόβλημα, αυτό των παρεμβολών μεταξύ των κεραιών. Στα σημερινά κυψελωτά δίκτυα οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν τα σήματα προς όλες τις κατευθύνσεις την ίδια στιγμή. Στη περίπτωση που υπάρχουν εκατοντάδες κεραιές όλα αυτά τα επικαλυπτόμενα σήματα θα προκαλούν έντονο πρόβλημα παρεμβολών και θα πρέπει να υλοποιηθεί ένας τρόπος για την αποφυγή των παρεμβολών. [13]



Εικόνα 18 : Σημερινοί σταθμοί Βάσης [xxiii]



Εικόνα 19 : Σταθμοί Βάσης με MIMO κεραιές[xxiii]

Στην εικόνα 18 δίνεται μια γραφική αναπαράσταση των σημερινών σταθμών βάσεων που χρησιμοποιούν λιγότερες κεραιές σε σύγκριση με την εικόνα 19 που απεικονίζει τους σταθμούς βάσης με MIMO τεχνολογία. Στην εικόνα 19 παρατηρείται το πρόβλημα των παρεμβολών που δημιουργείται από τις πολλές κεραιές που υπάρχουν στη massive MIMO τεχνολογία.

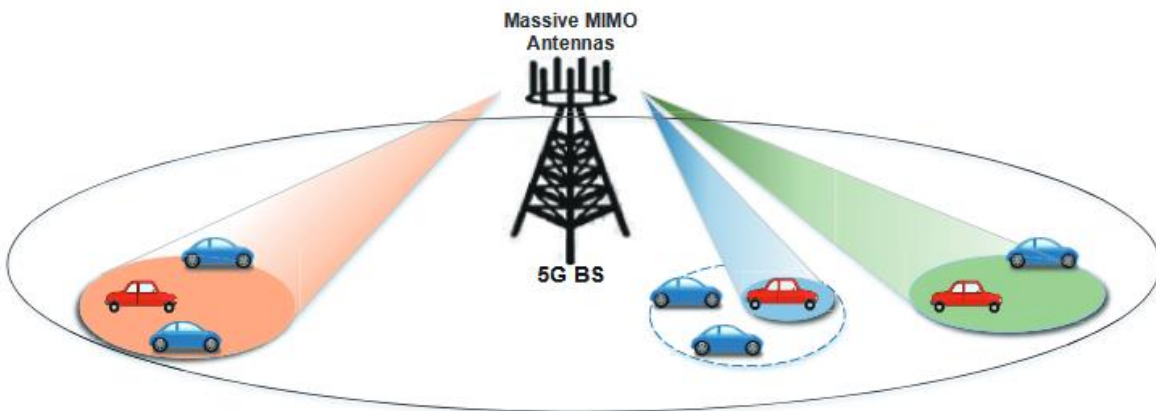
- **mmWave Massive MIMO**

Το μεγάλο διαθέσιμο εύρος ζώνης και η υψηλή απόδοση του φάσματος καθιστούν σίγουρα το mmWave massive MIMO μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για να βελτιώσει σημαντικά τη συνολική απόδοση του συστήματος για τα μελλοντικά 5G κυψελοειδή δίκτυα. Μια τέτοια τεχνολογία θα είχε επίσης πλεονεκτήματα όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, την προσαρμοστικότητα, που την καθιστούν ιδανική για μια ποικιλία εφαρμογών picocell και femtocell.

#### **2.5.4 Διαμόρφωση λοβού ακτινοβολίας (Beamforming)**

Η Διαμόρφωση λοβού ακτινοβολίας (Beamforming) είναι μία τεχνική διαχείρισης ραδιοσυχνοτήτων (RF) για ασύρματους σταθμούς βάσης που προσδιορίζει την πιο αποτελεσματική διαδρομή παροχής δεδομένων σε έναν συγκεκριμένο χρήστη και μειώνει τις παρεμβολές για τους χρήστες που βρίσκονται κοντά.

Η τεχνική βασίζεται σε αναπτυγμένους αλγορίθμους, οι οποίοι διατηρώντας διάφορες πληροφορίες, όπως η τοποθεσία του τερματικού, η απόσταση, το επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών (QoS), ο τύπος της κίνησης, διαμορφώνουν το σήμα ώστε να στέλνεται στη κατεύθυνση του δέκτη. Ένα σύνολο από κεραίες εκπέμπουν ακριβώς το ίδιο σήμα, αλλά με διαφορετική φάση με σκοπό να ενισχύσουν το σήμα στον εκάστοτε δέκτη.



*Εικόνα 20 : Γραφική Αναπαράσταση της σηματοδότησης. Κάθε κινητός κόμβος λαμβάνει το δικό του ηλ/κό κύμα [xxiv].*

#### **2.5.5 Τρόπος ροής δεδομένων (Duplex)**

Περισσότερες από τις ασύρματες συσκευές λειτουργούν σε half-duplex λειτουργία, με αποτέλεσμα να σπαταλούνται οι πολύτιμοι πόροι είτε εφαρμόζοντας διαίρεση χρόνου (time division), είτε διαίρεση συχνότητας

(frequency division). Ένα Full Duplex σύστημα επιτρέπει να γίνεται η επικοινωνία την ίδια ώρα και με την ίδια συχνότητα. [14]

Σε ένα σταθμό βάσης ενός κυψελωτού συστήματος η βασική κεραία είναι δυνατόν να λειτουργήσει ως κεραία λήψης και κεραία αποστολής δεδομένων, παρόλα αυτά δε μπορεί να κάνει και τις δύο εργασίες παράλληλα. Αυτό συμβαίνει λόγω μιας αρχής που διέπει τις κεραίες, γνωστή ως αρχή της αμοιβαιότητας (κέρδος λήψης = κέρδος αποστολής)

Γίνεται ο παραλληλισμός ότι το τρένο είναι το σήμα που μεταφέρει δεδομένα. Αν δύο σήματα εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα με αντίθετη κατεύθυνση θα υπάρχει σύγκρουση.

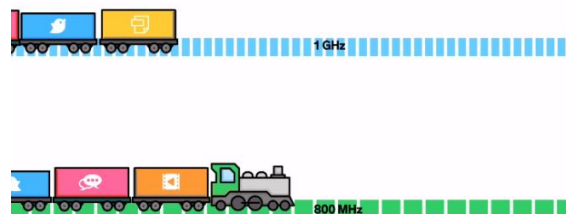


**Εικόνα 21 : Γραφική Αναπαράσταση της αμφίδρομης επικοινωνίας. Παραλληλισμός με γραμμή τρένου [κχν].**

Μέχρι στιγμής η λύση έχει δοθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι να δίνεται σειρά στα σήματα που κατευθύνονται σε αντίθετες κατευθύνσεις και ο δεύτερος είναι να λειτουργεί η μετάδοση και η λήψη σε δύο διαφορετικές συχνότητες.

1<sup>ος</sup> τρόπος

**Εικόνα 22 : Τα σήματα περιμένουν τη κατάλληλη στιγμή είτε να λάβουν είτε να στείλουν δεδομένα[κχν].**

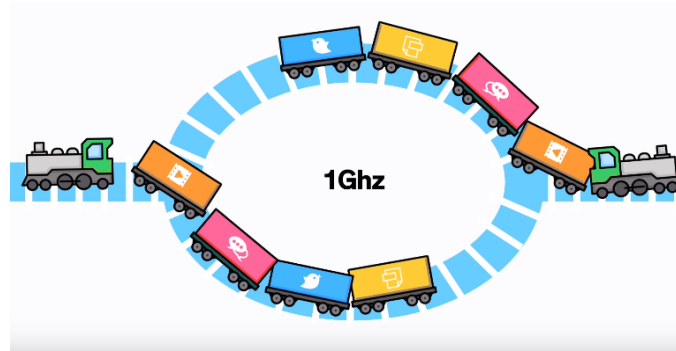


2ος τρόπος

**Εικόνα 23 : Τα σήματα χρησιμοποιούν διαφορετική συχνότητα για να στείλουν και να λάβουν δεδομένα[κχν].**

Μέσω ερευνών πλέον έχουν αναπτυχθεί ταχύτεροι μεταγωγείς (switches) που επιτρέπουν τη ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη σημάτων.





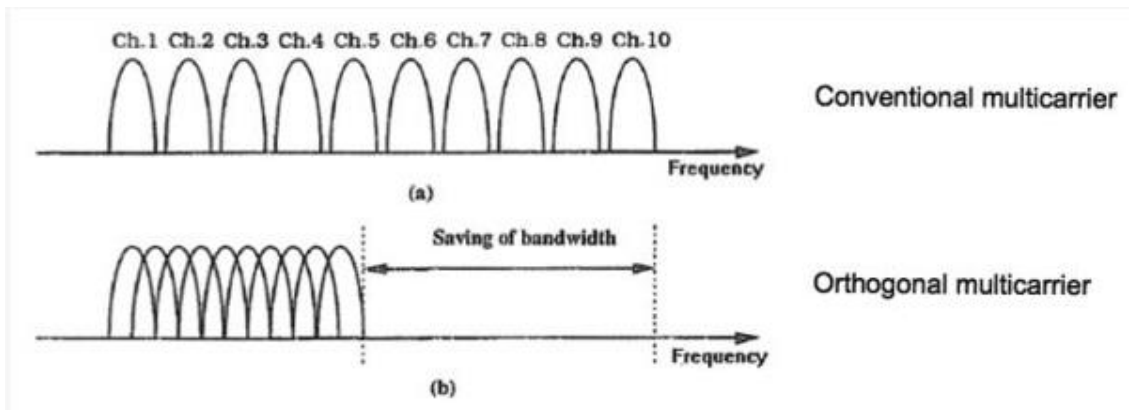
*Εικόνα 24 : Τα σήματα μέσω μεταγωγέων μπορούν να στείλουν και να λάβουν ταυτόχρονα[κκν].*

### 2.5.6 Πολλαπλή πρόσβαση

Η πολλαπλή πρόσβαση είναι μια μέθοδος που επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται το διαθέσιμο φάσμα με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο. Δεδομένου ότι το φάσμα είναι περιορισμένο, η πολλαπλή πρόσβαση είναι απαραίτητη για τη βελτίωση της συνολικής χωρητικότητας σε μια γεωγραφική περιοχή. Αυτόπραγματοποιείται επιτρέποντας τη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης ταυτόχρονα από διαφορετικούς χρήστες.

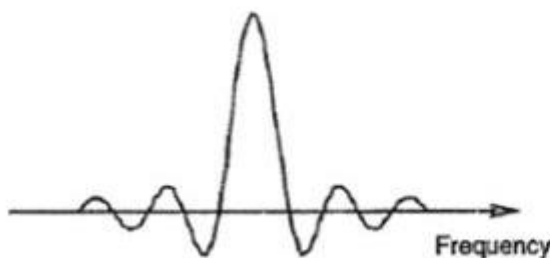
- **OFDMA** : Η πολυπλεξία ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) είναι μια τεχνική για αποδοτική χρησιμοποίηση του bandwidth για ευρυζωνικές ψηφιακές επικοινωνίες που χρησιμοποιείται στα 4G συστήματα.[15][16]

Το LTE χρησιμοποιεί το δημοφιλές σχήμα διαμόρφωσης ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM). Παρέχει τη βασική φασματική αποδοτικότητα για την επίτευξη υψηλών ρυθμών δεδομένων, αλλά επιτρέπει επίσης σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται ένα κοινό κανάλι. Το OFDM διαιρεί ένα δεδομένο κανάλι σε πολλά μικρότερα υποκανάλια. Η απόσταση είναι τέτοια ώστε αυτά τα μικρότερα υποκανάλια να είναι ορθογώνια μεταξύ τους, έτσι ώστε να μην αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

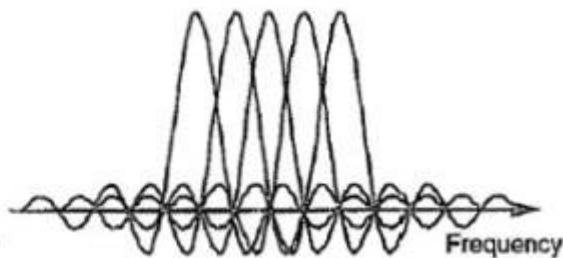


Εικόνα 25: Γραφική Αναπαράσταση του OFDMA. Γίνεται φανερό η εξοικονόμηση του εύρους ζώνης που προκύπτει χρησιμοποιώντας τη πολυπλεξία OFDM. [xviii]

Spectrum of an OFDM subchannel:



Spectrum of an OFDM signal:



Εικόνα 26 : Γραφική αναπαράσταση ενός OFDM σήματος που αποτελείται από πολλά subcarrier[xviii].

**Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA):** Ο πρωταρχικός λόγος για την υιοθέτηση της NOMA στο 5G, οφείλεται στην ικανότητά της να εξυπηρετεί πολλούς χρήστες χρησιμοποιώντας τους ίδιους πόρους χρόνου και συχνότητας.

Το κλειδί στη NOMA είναι τα σήματα να έχουν σημαντικές διαφορές στα επίπεδα ισχύος [35]. Στη τεχνική OFDMA, τα σήματα των διαφορετικών χρηστών μεταδίδονται σε διαφορετικές συχνότητες, ενώ στη περίπτωση της NOMA τεχνικής μεταδίδονται στην ίδια συχνότητα, αλλά με βάση τα επίπεδα ισχύος ή τη κωδικοποίηση του κάθε χρήστη διαχωρίζονται στο σταθμό βάσης. Με αυτόν τον τρόπο, η NOMA εκμεταλλεύεται τις διαφορές απώλειας διαδρομής μεταξύ των χρηστών, αν και χρειάζεται πρόσθετη ισχύ επεξεργασίας στον δέκτη.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που εφαρμόζονται στη πολυπλεξία NOMA.

Αναφορικά οι τεχνικές αυτές είναι η power-domain ,code-domain , pattern division multiple access, multiuser shared access, resource spread multiple access.

Στη συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση των δύο επικρατέστερων τεχνικών, αυτή της power-domain και της code-domain.

Το power domain σημαίνει ότι η τεχνική NOMA μπορεί να εξυπηρετήσει πολλούς χρήστες στην ίδια χρονική στιγμή παρέχοντας περισσότερη ισχύ στον χρήστη με χειρότερες συνθήκες καναλιού. Αυτό διαφέρει θεμελιωδώς από τις προηγούμενες γενιές των δικτύων κινητής τηλεφωνίας που βασίζονται στον τομέα χρόνου / συχνότητας / κώδικα. Το κύριο ζήτημα με την συμβατική ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (OFDMA), που χρησιμοποιείται από το 3GPP-LTE χρησιμοποιώντας την τεχνική ορθογώνιας πολλαπλής προσπέλασης (OMA) είναι ότι η φασματική απόδοσή του είναι χαμηλή όταν ορισμένοι πόροι του εύρους ζώνης, όπως τα subcarrier κανάλια , λειτουργούν σε κακές συνθήκες καναλιού. Από την άλλη πλευρά, η χρήση του NOMA επιτρέπει σε κάθε χρήστη να έχει πρόσβαση σε όλα τα κανάλια subcarrier και, συνεπώς, οι πόροι εύρους ζώνης που διατίθενται στους χρήστες με κακές συνθήκες καναλιών να μπορούν να προσεγγιστούν ακόμα από χρήστες με ισχυρές συνθήκες καναλιού, με αποτέλεσμα να αυξάνεται έτσι η αποδοτικότητα.

Παρατίθεται ένα παράδειγμα για τη καλύτερη κατανόηση της Power domain NOMA τεχνικής. Υποτίθεται ότι ο χρήστης 1 είναι μια συσκευή IoT που απαιτεί ένα χαμηλό ρυθμό δεδομένων και ο χρήστης 2 είναι ένας χρήστης που απαιτεί υψηλό ρυθμό δεδομένων. Όταν χρησιμοποιείται OFDMA, κάθε χρήστης διαθέτει ένα subcarrier. Επομένως, η φασματική απόδοση του OMA δεν είναι η βέλτιστη αφού η συσκευή IoT εξυπηρετείται με περισσότερο εύρος ζώνης από ό, τι πραγματικά χρειάζεται, ενώ στο χρήστη 2 δεν έχει ανατεθεί αρκετό εύρος ζώνης. Από την άλλη πλευρά, η χρήση του NOMA βασίζεται στη χρήση κοινόχρηστου φάσματος, δηλ. ο ευρυζωνικός χρήστης μπορεί επίσης να έχει πρόσβαση στο subcarrier που καταλαμβάνει η συσκευή IoT. Συμπερασματικά, η NOMA μπορεί να εξυπηρετήσει τους χρήστες με διαφορετικές συνθήκες καναλιών εγκαίρως, γεγονός που παρέχει τη δυνατότητα να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις 5G για εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και εξαιρετικά υψηλή συνδεσιμότητα. [17] [18]

Στη τεχνική code domain NOMA, όπως και στη βασική πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA), το code domain μοιράζεται το σύνολο των διαθέσιμων πόρων (χρόνος / συχνότητα). Η τεχνική εξηγείται ως εξής : Από τη πλευρά του πομπού, τα κωδικοποιημένα Bits από κάθε χρήστη αντιστοιχίζονται σε ένα κωδικό. Οι κωδικοί από διαφορετικούς χρήστες επικαλύπτονται. Από τη πλευρά του δέκτη, χρησιμοποιείται ανίχνευση πολλαπλών χρηστών και αποκωδικοποίηση καναλιού χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο διέλευσης μηνυμάτων, όπου η ακεραιότητα του κώδικα περιορίζει την υπολογιστική πολυπλοκότητα.

### **2.5.7 Επικοινωνία ορατού φωτός( Visible Light Communication – VLC )**

Τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας που λειτουργούν σε ζώνες RF έχουν αναπτυχθεί σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο, το υπάρχον φάσμα ραδιοσυχνοτήτων είναι περιορισμένο.

Το διαθέσιμο εύρος ζώνης του ορατού φωτός είναι 10.000 φορές μεγαλύτερο από αυτό της ζώνης RF μικροκυμάτων. Ως αποτέλεσμα, η χρήση επικοινωνίας ορατού φωτός (VLC) παρέχει μια βιώσιμη λύση για την ανακούφιση της έλλειψης φάσματος στη ζώνη RF. Το VLC εκμεταλλεύεται τον φωτισμό στερεάς κατάστασης, όπως οι διόδοι εκπομπής φωτός (LED) για την επικοινωνία δεδομένων. Προκύπτει ότι ένα LED μπορεί να χρησιμεύσει ως συσκευή διπλού σκοπού, παρέχοντας συγχρόνως φωτισμό και επικοινωνία. Το VLC έχει πλεονεκτήματα στην ενεργειακή απόδοση και το εξαιρετικά ευρύ εύρος ζώνης, αλλά έχει επίσης αδυναμία στην περιοχή μετάδοσης και στα εμπόδια διαδρομών μετάδοσης. [19]

### **2.6 Αρχιτεκτονική**

Το μοντέλο συστήματος του 5G είναι εξ ολοκλήρου βασισμένο στο IP μοντέλο σχεδιασμένο για ασύρματα και κινητά δίκτυα. Το σύστημα αποτελείται από ένα κύριο τερματικό χρήστη και έπειτα έναν αριθμό ανεξάρτητων και αυτόνομων τεχνολογιών ραδιοεπικοινωνίας. Κάθε μία από τις ραδιοτεχνολογίες θεωρείται ως ο σύνδεσμος IP για τον έξω κόσμο του Διαδικτύου. Η τεχνολογία IP έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για την εξασφάλιση επαρκών δεδομένων ελέγχου για την κατάλληλη δρομολόγηση πακέτων IP που σχετίζονται με συγκεκριμένες συνδέσεις εφαρμογών, πχ. σύνδεση μεταξύ εφαρμογών χρήστη και διακομιστών κάπου στο Internet [36].

Στην παρούσα ασύρματη κυψελοειδή αρχιτεκτονική, για να μπορεί ένας κινητός χρήστης να επικοινωνεί είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά, ένας εξωτερικός σταθμός βάσης που βρίσκεται στη μέση μιας κυψέλης βοηθά στην επικοινωνία. Έτσι, για τους εσωτερικούς χρήστες αν θέλουν να επικοινωνήσουν με τον εξωτερικό σταθμό βάσης, τα σήματα θα πρέπει να ταξιδεύουν μέσα από τα τοιχώματα των εσωτερικών χώρων και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα πολύ μεγάλη απώλεια διείσδυσης, το οποίο αντίστοιχα επιφέρει μειωμένη φασματική απόδοση, μειωμένο ρυθμό δεδομένων και μειωμένη ενεργειακή απόδοση στις ασύρματες επικοινωνίες. Για να ξεπεραστεί αυτή η πρόκληση, μια νέα ιδέα ή τεχνική σχεδίασης είναι να σχεδιαστεί η κυψελοειδής αρχιτεκτονική 5G με τέτοιο τρόπο ώστε οι εξωτερικές και οι εσωτερικές συνδέσεις να διαχωρίζονται.

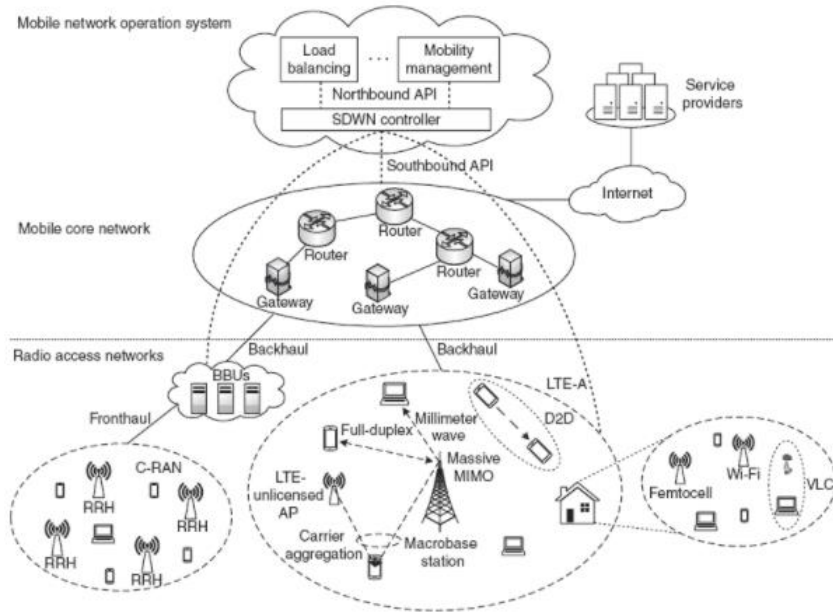
Για να χτιστεί ή να κατασκευαστεί ένα μεγάλο massive MIMO δίκτυο, οι εξωτερικοί σταθμοί βάσης θα πρέπει να είναι εξοπλισμένοι με μεγάλες σειρές κεραιών που θα διασκορπιστούν γύρω από την εξαγωνική κυψέλη και θα

συνδεθούν με το σταθμό βάσης μέσω οπτικών ινών, με τη βοήθεια τεχνολογιών massive MIMO. Οι χρήστες που θα βρίσκονται σε εξωτερικό περιβάλλον συνήθως εξυπηρετούνται από έναν ορισμένο αριθμό κεραιών αλλά με τη συνεργασία μιας μεγάλης συστοιχίας εικονικών κεραιών και μαζί με τις συστοιχίες κεραιών του σταθμού βάσης να σχηματίζουν εικονικούς μαζικούς συνδέσμους MIMO.

Δεύτερον, σε κάθε κτίριο θα εγκατασταθούν μεγάλες σειρές κεραιών στο εξωτερικό τους, για να επικοινωνεί με υπαίθριους σταθμούς βάσης με τη βοήθεια οπτικής επαφής. Τα ασύρματα σημεία πρόσβασης μέσα στο κτίριο θα συνδέονται με τις μεγάλες σειρές κεραιών μέσω καλωδίων για επικοινωνία με εσωτερικούς χρήστες. Αυτό θα βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή αποδοτικότητα, τη μέση απόδοση κυψέλης, το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και τη φασματική απόδοση του κυψελοειδούς συστήματος, αλλά σε βάρος του αυξημένου κόστους της υποδομής. Με την εισαγωγή μιας τέτοιας αρχιτεκτονικής, οι εσωτερικοί χρήστες θα πρέπει να συνδέονται ή να επικοινωνούν με εσωτερικά ασύρματα σημεία πρόσβασης, ενώ μεγαλύτερες κεραιές θα είναι εγκατεστημένες εκτός των κτιρίων.

Ορισμένες τεχνολογίες όπως WiFi, Smallcell, mmWaves και επικοινωνίες ορατού φωτός (vlc) είναι χρήσιμες για επικοινωνίες μικρής εμβέλειας με μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, ιδανικές δηλαδή για επικοινωνίες εσωτερικού χώρου. Ωστόσο, τεχνολογίες όπως η επικοινωνία mmwaves και ορατού φωτός χρησιμοποιούν υψηλότερες συχνότητες οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται για κυψελοειδείς επικοινωνίες. Όπως έχει αναφερθεί δεν είναι αποτελεσματική ιδέα να χρησιμοποιηθούν αυτά τα κύματα υψηλής συχνότητας για εξωτερικές και μεγάλες αποστάσεις, επειδή αυτά τα κύματα δεν θα διεισδύσουν αποτελεσματικά από πυκνά υλικά και θα μπορούν εύκολα να διασκορπιστούν από σταγονίδια βροχής, αέρια.

Δεδομένου ότι η αρχιτεκτονική ασύρματου κυψελοειδούς δικτύου 5G αποτελείται από δύο μόνο λογικά επίπεδα: ένα ασύρματο δίκτυο και ένα cloud δίκτυο, διαφορετικοί τύποι στοιχείων θα εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες και θα συνιστούν αυτό το ραδιοδίκτυο. Το εικονικοποιημένο NFV cloud αποτελείται από μια οντότητα επιπέδου χρήστη (UPE = User plane entity) και μια οντότητα επιπέδου ελέγχου (CPE = Control plane entity) που εκτελούν λειτουργίες στα υψηλότερα στρώματα που σχετίζονται με το επίπεδο χρήστη και ελέγχου, αντίστοιχα.



**Figure 1.1** Illustration of the 5G network architecture. The radio access network includes various technologies such as C-RAN, massive MIMO, full duplexing, mmWave, femtocells, Wi-Fi, D2D, and VLC. The mobile core network can be controlled by a software-defined wireless network (SDWN) controller.

*Εικόνα 27 : 5G αρχιτεκτονική δικτύου. Γίνεται συνδυασμός πολλών διαφορετικών τεχνολογιών [x]*

## 2.7 5G Δομή Πρωτοκόλλων

APPLICATION LAYER	APPLICATIONS of SERVICE
PRESENTATION LAYER	
SESSION LAYER	OPEN TRANSPORT PROTOCOL
TRANSPORT LAYER	
NETWORK LAYER	UPPER NETWORK LAYER
	LOWER NETWORK LAYER
DATA LINK LAYER	
PHYSICAL LAYER	OPEN WIRELESS ARCHITECTURE
<u>OSI stack</u>	<u>5G network stack</u>

*Εικόνα 28 : Ιεραρχική δομή του 5G πρωτοκόλλου [20]*

Στην εικόνα 28 φαίνεται η στοίβα πρωτοκόλλου 5G, στην οποία αναφέρονται τα επίπεδα που θα λάβουν μέρος στη 5G δικτύωση, σε σχέση με τη στοίβα OSI. Η στοίβα πρωτοκόλλου 5G αποτελείται από το στρώμα OWA, το επίπεδο δικτύου, το ανοικτό στρώμα μεταφοράς και το επίπεδο εφαρμογής.[20]

**Επίπεδο OWA:** Το επίπεδο OWA είναι η σύντομη μορφή του Open Wireless Architecture. Λειτουργεί όπως το στρώμα φυσικής στρώσης και ζεύξης δεδομένων της στοίβας OSI.

**Επίπεδο δικτύου:** Χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση δεδομένων από την IP συσκευή προέλευσης στην IP συσκευή / σύστημα προορισμού. Διαχωρίζεται σε κατώτερο και ανώτερο επίπεδο δικτύου.

**Ανοικτό επίπεδο μεταφοράς:** Συνδυάζει τη λειτουργικότητα τόσο του επιπέδου μεταφοράς όσο και του επιπέδου επικοινωνίας (transport layer και sessionlayer).

**Επίπεδο εφαρμογής:** Διαμορφώνει τα δεδομένα σύμφωνα με τη σωστή μορφή που απαιτείται. Κάνει επίσης κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση των δεδομένων. Επιπλέον, επιλέγει την καλύτερη ασύρματη σύνδεση για μια δεδομένη υπηρεσία.

## 2.8 Προτυποποίηση

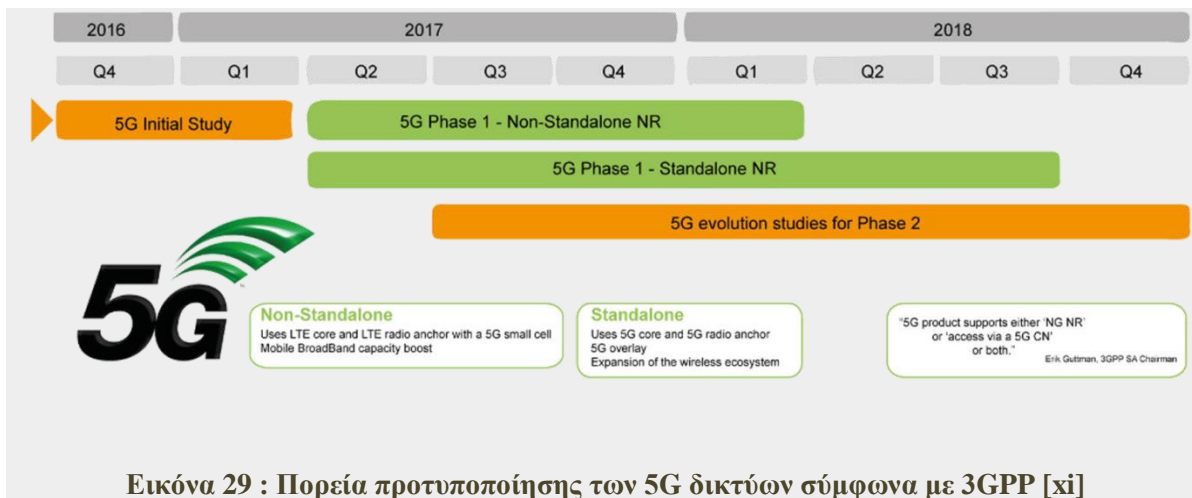
Τα παγκόσμια πρότυπα αποτελούν θεμελιώδη ακρογωνιαίο λίθο για την επίτευξη συνεχούς διασύνδεσης, εξασφαλίζοντας τη διεθνή διαλειτουργικότητα, επιτρέποντας εναρμόνιση πολλαπλών προμηθευτών και ισότιμες κλίμακες στην οικονομία.

Ακολουθούν οι αναφορές που έχουν γίνει από τους διεθνείς τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς για τα μελλοντικά δίκτυα 5g.

Η **ITU-R** είναι υπεύθυνη για τον ορισμό των προδιαγραφών IMT για τα κυψελοειδή συστήματα επόμενης γενιάς. Έχοντας ορίσει δύο προηγούμενες προδιαγραφές (IMT-2000 για 3G και IMT-Advanced για 4G), έχει ήδη ξεκινήσει δραστηριότητες για τον ορισμό προδιαγραφών για 5G. [22]

Το **3GPP** (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) ενώνει τους επτά οργανισμούς τυποποίησης στον τομέα των τηλεπικοινωνιών (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC) και παρέχει στα μέλη τους ένα σταθερό περιβάλλον και τις προδιαγραφές που ορίζουν τις τεχνολογίες 3GPP. Η προτυποποίηση για τα δίκτυα 5g έχει ήδη ξεκινήσει στο 3GPP και τα πρώτα πρότυπα θα εγκριθούν τον Μάρτιο του 2018. Το 5G περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός νέου τηλεπικοινωνιακού περιβάλλοντος, την ενίσχυση του τρέχοντος LTE-Advanced Pro και την ανάπτυξη μιας νέας αρχιτεκτονικής βασικού δικτύου.

Η πρώτη φάση των προδιαγραφών 5G στο Release-15 θα ολοκληρωθεί μέχρι το Σεπτέμβριο του 2018, για να γίνει δυνατή η έγκαιρη εμπορική ανάπτυξη. Η δεύτερη φάση του Release-16 θα ολοκληρωθεί μέχρι το Μάρτιο του 2020, για να υποβληθεί στην ITU ως υποψήφια τεχνολογία IMT-2020.



Ο κύριος οργανισμός 'Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών' (IEEE) που ως κύριο αντικείμενο έρευνας έχει τα τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα, έχει δημιουργήσει πολύ σημαντικά πρότυπα, μεταξύ των πολλών προτύπων είναι το IEEE 802.15 που ασχολείται με τα ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής (WPAN) και το IEEE 802.11 που καθορίζει ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN).

Η IEEE συνεχίζει το έργο της και θα φέρει στο προσκήνιο γύρω στο 2019 συστήματα που υποστηρίζουν λειτουργία πολλαπλών gigabit στις ζώνες κάτω των 6 GHz (π.χ. IEEE 802.11ax) και mmWband (π.χ. IEEE 802.11ay). Η τροπολογία IEEE 802.11p στοχεύει σε εφαρμογές οχημάτων και θα επικεντρωθεί στην επικοινωνία V2V (Vehicle-to-Vehicle) μετά το 2017. Το IEEE είναι επίσης ενεργό στην IoT έρευνα, με την τροποποίηση IEEE 802.11ah που υποστηρίζει τη λειτουργία Wi-Fi σε εκτεταμένες σειρές σε ζώνες υπο-GHz.



---

## Κεφάλαιο 3

### ***Machine 2 Machine Επικοινωνίες***

Σε αυτό το κεφάλαιο ακολουθεί η ανάπτυξη των εννοιών που συγκροτούν τις μηχανής προς μηχανή (M2M) επικοινωνίες.

#### **3.1 Ορισμός**

Οι μηχανής προς μηχανή – Machine to Machine επικοινωνίες (**M2M**) αναφέρονται στην επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών, ενσωματωμένων επεξεργαστών, έξυπνων αισθητήρων, ενεργοποιητών και φορητών συσκευών με περιορισμένη ανθρώπινη παρέμβαση ή με πλήρη απουσία αυτής [37]. Η βασική ιδέα πίσω από αυτή την έννοια είναι να μπορούν να συνδέονται όλες οι συσκευές και τα μηχανήματα σε ένα δίκτυο που να μπορεί να τις μετατρέψει σε έξυπνα στοιχεία.

Με τη M2M επικοινωνία υπάρχει η δυνατότητα αδιάλειπτης διασύνδεσης των συσκευών ενός χώρου, έτσι ώστε σε πραγματικό χρόνο να υπάρχει ενημέρωση για το τρόπο λειτουργίας τους. Τα οφέλη μιας M2M επικοινωνίας είναι φανερό ότι μπορεί να προσφέρουν νέες εμπειρίες στους ανθρώπους. Μερικές υλοποιήσεις M2M εφαρμογών είναι τα έξυπνα σπίτια, η τηλεμετρική, οι έξυπνες πόλεις, η πλήρης διαχείριση επιχειρήσεων, έτσι ώστε να βελτιωθεί η αύξηση της παραγωγικότητας, τη μείωση κόστους, τη διασφάλιση ποιότητας και την ορθή λειτουργία σε κάθε τομέα της καθημερινής ζωής.

Τα σημερινά δίκτυα είναι σχεδιασμένα με γνώμονα την αλληλεπίδραση ανθρώπου με άνθρωπο (Human-to-Human Interaction, H2H). Στόχος τους, δηλαδή, είναι η εύκολη και αποτελεσματική επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ ανθρώπων. Η λογική αυτή τείνει να ανατραπεί, αφού πλέον, «έξυπνα» αντικείμενα θα μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον. Πλέον, οποιοδήποτε αντικείμενο ή συσκευή θα μπορεί άμεσα ή έμμεσα να αποκτά πρόσβαση στο διαδίκτυο και να ανταλλάσσει δεδομένα και πληροφορίες με άλλα αντικείμενα ή συσκευές θα είναι ικανό να το κάνει. Η δημιουργία αυτού του νέου σύνθετου οικοσυστήματος θα ανοίξει νέους ορίζοντες στην αντίληψη που έχει ο άνθρωπος για το περιβάλλον του, αφού αυτό θα μπορεί να προσαρμόζεται στις ανάγκες του παρέχοντάς του επιπλέον ασφάλεια, άνεση και πληροφόρηση.

## 3.2 Εφαρμογές

Οι εφαρμογές των M2M δικτύων συναντούν διάφορες πτυχές της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στη συνέχεια θα αναφερθούν κάποια παραδείγματα για να γίνει πιο κατανοητή η ιδέα της M2M επικοινωνίας.

### Τηλεμετρία

Η λογική του M2M βρίσκει ιδιαίτερη χρησιμότητα στις εφαρμογές απομακρυσμένης μέτρησης, όπως αυτές στα πλαίσια δημόσιων υπηρεσιών, για παράδειγμα το ηλεκτρικό ρεύμα, νερό, φυσικό αέριο. Η εφαρμογή έξυπνων μετρητών και αισθητήρων συμβάλλει στην εκτίμηση της κατανάλωσης, την πρόβλεψή της και την αποδοτικότερη κατανομή της στο χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ενημέρωση της τρέχουσας χρέωσης σε πραγματικό χρόνο, αποδοτικότερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων και μικρότερη επιβάρυνση των δικτύων.

### Ιατρικές Εφαρμογές

Η M2M επικοινωνία μπορεί να βρει εφαρμογή στην απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας ασθενών (RemotePatientMonitoring – RPM) καθώς και την ενημέρωση αρμόδιων φορέων σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Ένα πιθανό σενάριο είναι αισθητήρες σώματος να παρακολουθούν δείκτες του ανθρώπινου σώματος, όπως τον καρδιακό σφυγμό, την αρτηριακή πίεση, τη θερμοκρασία του σώματος, τη τιμή του σακχάρου κλπ. Είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη ότι οι αισθητήρες πρέπει να διατηρούν ένα μικρό μέγεθος και η κατανάλωση ενέργειας να βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Τα δεδομένα συλλέγονται και επεξεργάζονται από αρμόδιους φορείς (π.χ. νοσοκομεία ή οργανισμούς υγειονομικής περίθαλψης) και έτσι ασθενείς μπορούν να δέχονται ιατρικής παρακολούθησης και περίθαλψης από απομακρυσμένες περιοχές από την άνεση του σπιτιού τους. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, οι αισθητήρες αντιλαμβάνονται τις διαφορές των προκαθορισμένων τιμών και των παροντικών δεικτών και μπορεί αυτόματα να καλείται ασθενοφόρο.

### Οικιακή Δικτύωση

Η εισαγωγή του M2M στο οικιακό περιβάλλον μπορεί να προσδώσει θεαματική βελτίωση στην άνεση, ασφάλεια και οικονομία που οι ένοικοι μπορεί να απολαμβάνουν. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες διασύνδεσης επιμέρους συσκευών και αντικειμένων που βρίσκονται σε ένα σπίτι, όπως των φώτων, των συσκευών (ψυγεία, κουζίνες), συσκευών θέρμανσης/ψύξης (κλιματιστικά, καλοριφέρ), θυρών και παραθύρων, τεντών. Η διασύνδεση αυτή δίνει τη δυνατότητα στο σπίτι να αντιλαμβάνεται σε πραγματικό χρόνο τις ανάγκες των ενοίκων του και να προσαρμόζεται αυτόματα σε αυτές. Ως

---

αποτέλεσμα, ο άνθρωπος μπορεί να απαλλαγεί από πολλές καθημερινές εργασίες τις οποίες πλέον αναλαμβάνει το δίκτυο συσκευών M2M.

### **Έξυπνες πόλεις**

Οι πόλεις θα πρέπει, προς όφελος του πολίτη, να εκσυγχρονιστούν τόσο σε επίπεδο υποδομών, όσο και σε επίπεδο διαδικασιών και λήψης αποφάσεων. Σε αυτά σημαντικό ρόλο καλούνται να παίξουν οι αναδυόμενες τεχνολογίες M2M, εφαρμογή των οποίων θα οδηγήσει στις λεγόμενες έξυπνες πόλεις (smartcities). Πρόκειται για ένα συνδυασμό έξυπνων υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, έξυπνων μεταφορών, υποδομών, κτιρίων και ψηφιακής διακυβέρνησης. Η εφαρμογή M2M δικτύων σε μια πόλη θα παρέχει στους αρμόδιους αλλά και στους πολίτες εξειδικευμένο έλεγχο και πληροφόρηση.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι:

Ανίχνευση ή πρόγνωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης: σε περίπτωση που παρατηρηθεί ή αναμένεται έντονη κυκλοφοριακή κίνηση, η σήμανση των δρόμων καθώς και οι φωτεινοί σηματοδότες θα μπορούν να προσαρμόζονται αυτόματα.

Έξυπνη διαχείριση απορριμάτων. Ακόμη και αν υπάρχει η βέλτιστη διαδρομή για να ελεγχθεί ο κάθε κάδος απορριμμάτων, είναι απαραίτητο ένας άνθρωπος να επισκεφτεί και να ελέγξει όλους τους κάδους ξεχωριστά για το αν είναι αδειοί ή γεμάτοι. Εξαιτίας αυτού, τα απορριματοφόρα συχνά επισκέπτονται κάδους που δεν έχουν γεμίσει, το οποίο σπαταλά και χρόνο και πετρέλαιο. Με τη χρήση M2M δικτύων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ειδικοί αισθητήρες και να επικοινωνούν με την επιχείρηση που διαχειρίζεται τα απορρίμματα με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση των πόρων.

Έξυπνος φωτισμός: αυτόματη αυξομείωση της φωτεινής έντασης των στηλών ηλεκτροφωτισμού ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι ανθρώπων) σε κοντινή απόσταση.

### **Βιομηχανικές εφαρμογές**

Τα ήδη υπάρχοντα συστήματα βιομηχανικής δικτύωσης μπορούν να εμπλουτιστούν με νέες δυνατότητες και εφαρμογές, οι οποίες προκύπτουν από την ανάπτυξη των επικοινωνιών M2M. Αποκτάται επομένως η δυνατότητα βελτιστοποίησης των επιμέρους συνιστωσών που αποτελούν την παραγωγική διαδικασία, όπως η γραμμή παραγωγής, η αλυσίδα εφοδιασμού πρώτων υλών, η αποθήκευση, η διαχείριση και μεταφορά του τελικού προϊόντος (logistics). Αποφάσεις μπορούν να λαμβάνονται με γνώμονα δεδομένα τα οποία αντλούνται σε πραγματικό χρόνο, ελαττώνοντας έτσι το λειτουργικό κόστος και βελτιώνοντας τη χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

---

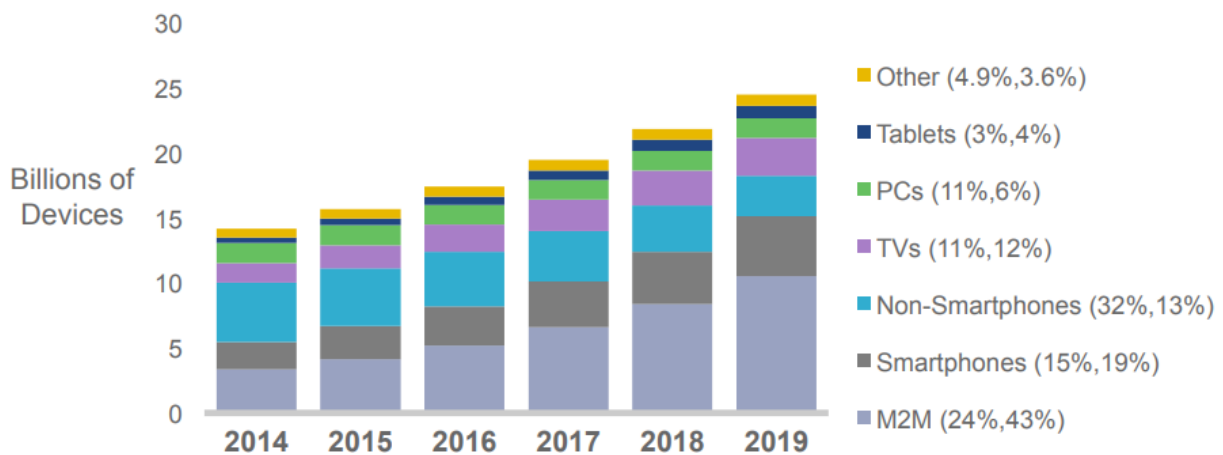
Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι:

Είναι γνωστό ότι σε περιβάλλοντα που υπάρχουν ψυγεία, ένας άνθρωπος καταγράφει καθημερινά τουλάχιστον δύο φορές την ημέρα τη θερμοκρασία των ψυγείων. Σε αυτό το πλαίσιο, κρίνεται χρήσιμος και έγκυρος ο έλεγχος της θερμοκρασίας των ψυγείων, ενός εργοστασίου με γαλακτομικά προϊόντα από τον υπολογιστή, με την εφαρμογή αισθητήρων στα ψυγεία, ανά πάσα στιγμή έτσι ώστε να ειδοποιούνται άμεσα οι εργαζόμενοι, σε περίπτωση μεταβολής της θερμοκρασίας των ψυγείων π.χ., λόγω βλάβης ή διακοπής ρεύματος. Θα μπορούσε κανείς να σκεφτεί το τεράστιο αντίκτυπο που θα είχε η βλάβη ενός ψυγείου που έχει μέσα παγωτά μέχρι να το επισκεφτεί ο επόμενος εργαζόμενος που καταγράφει τις θερμοκρασίες ώστε να αντιληφθεί τη βλάβη. με την εφαρμογή αισθητήρων σε κάθε ψυγείο η μεταβολή της θερμοκρασίας ενεργοποιεί άμεσα το σύστημα και η ζημιά μπορεί να αντιμετωπιστεί άμεσα και έγκαιρα.

Έξυπνη απογραφή – διαχείριση αποθήκης: παρέχεται η δυνατότητα αυτόματης καταγραφής των πρώτων υλών, των αναλωσίμων και του εξοπλισμού που απαιτείται για τη λειτουργία της βιομηχανικής μονάδας. Τα παραπάνω καταγράφονται αυτόματα με το που περνούν το κατώφλι της αποθήκης χρησιμοποιώντας συνήθως ετικέτες RFID. Οι υπεύθυνοι μπορούν να γνωρίζουν ανά πάσα στιγμή το απόθεμα που υπάρχει στις αποθήκες του εργοστασίου και σε ποιο σημείο (χωροταξικά) αυτό βρίσκεται. Τέλος, παραγγελίες μπορούν να υποβάλλονται αυτόματα στους προμηθευτές.

### **3.3 Μελλοντική επέκταση**

Οι M2M επικοινωνίες είναι ένα νέο αναδυόμενο κομμάτι της Τεχνολογίας πληροφορίας και επικοινωνιών (ICT - Information And Communications Technology) το οποίο, σύμφωνα με μελετητές, αναμένεται εντός των επόμενων χρόνων να βιώσει εκρηκτική ανάπτυξη.



Source: Cisco VNI Global IP Traffic Forecast, 2014–2019

© 2015 Cisco and/or its affiliates. All rights reserved. Cisco Confidential

Εικόνα 30 : Παγκόσμια ανάπτυξη διασυνδεδεμένων συσκευών ανά κατηγορία [xii]

### 3.4 Χαρακτηριστικά Επικοινωνίας

Τα χαρακτηριστικά των M2M επικοινωνιών διαφέρουν σε αρκετά σημεία από τα χαρακτηριστικά των ήδη χρησιμοποιούμενων μορφών επικοινωνίας, όπως είναι η μεταφορά δεδομένων σε ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο ή οι υπηρεσίες φωνής. Η μετάδοση των M2M επικοινωνιών αφορά μικρό όγκο δεδομένων αλλά γιγαντιαίους αριθμούς διασυνδεδεμένων συσκευών και μηνυμάτων μεταξύ αυτών [38].

Τα βασικά χαρακτηριστικά που διέπουν τη τεχνολογία των M2M επικοινωνιών είναι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης, συνήθως με χαμηλή προτεραιότητα, και χαμηλή κατανάλωση ισχύος.

Ακόμη, στο σχεδιασμό των M2M δικτύων πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι συγκεκριμένοι παράγοντες που αναλύονται παρακάτω.

#### 1. Κατανεμημένη αρχιτεκτονική προσέγγιση

Αφορά την απευθείας επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και όχι απαραίτητα διαμέσου ενός κεντρικού server, τη δυνατότητα peer – to – peer και ad-hoc επικοινωνίας καθώς επίσης και τη δυνατότητα σχηματισμού δυναμικών ομάδων δικτύου.

#### 2. Αποφυγή συμφόρησης

Η πιθανότητα συμφόρησης φαίνεται να είναι μεγάλη σε M2M δίκτυα, λόγω του αναμενόμενου μεγάλου αριθμού των συνδεδεμένων συσκευών. Γι αυτόν τον

---

λόγο απαιτείται η αποφυγή ταυτόχρονης προσπέλασης του δικτύου από ένα τεράστιο αριθμό των συσκευών M2M.

### 3. Μείωση του όγκου των δεδομένων και του φορτίου στο δίκτυο.

Η μείωση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης μέσω τεχνικών μείωσης του overhead αποτελεί ένα από τους πλέον σημαντικούς στόχους καθώς η μεγάλη αύξηση των συνδεδεμένων συσκευών πρέπει να αντισταθμιστεί από την μείωση των δεδομένων που μεταδίδονται από κάθε συσκευή.

### 4. Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή

Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας είναι απαραίτητη καθώς οι M2M συσκευές θα πρέπει να αντέχουν για μεγάλο χρονικό διάστημα με μία μπαταρία και χωρίς σύνδεση στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.

### 5. Μείωση των παρεμβολών και αποφυγή έντονης ηλεκτρομαγνητικής μόλυνσης

Είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός τρόπου διαχείρισης των παρεμβολών. Οι δικτυωμένες συσκευές πρέπει να συνδέονται και να μεταδίδουν μόνο όταν χρειάζεται και να μην είναι συνέχεια συνδεδεμένες στο δίκτυο καταναλώνοντας πόρους. Επίσης, πρέπει να οριστούν νέοι κανονισμοί για την επιτρεπόμενη ισχύ μετάδοσης για την πρόληψη της ηλεκτρομαγνητικής μόλυνσης.

### 6. Συνεχής συνδεσιμότητα

Η συνεχής συνδεσιμότητα αφορά την ανάγκη κάθε συσκευής να είναι συνεχώς σε ενεργή κατάσταση. Καταγράφοντας πληροφορίες, αποστέλλοντας μηνύματα στον σταθμό βάσης και παρακολουθώντας συνέχεια τα κανάλια ελέγχου για δεδομένα που τις αφορούν.

Για τις M2M εφαρμογές γενικής κλίμακας δεν είναι απαραίτητη η συνεχής συνδεσιμότητα, εκτός από κρίσιμες εφαρμογές όπως η μέτρηση θερμοκρασίας, ή πίεσης σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου η τιμή τους μπορεί να είναι κρίσιμη για κάποιες άλλες ενέργειες. Γενικά οι M2M συσκευές μπορούν να βρίσκονται σε ανενεργή κατάσταση μέχρι τη στιγμή που είναι απαραίτητο να λάβουν ή να μεταδώσουν δεδομένα.

### 7. Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service – QoS)

Προτεραιότητα. Δεν είναι αναγκαία εκτός από κρίσιμες εφαρμογές (πχ πυρκαγιά).

Ρυθμός μετάδοσης. Δεν είναι αναγκαίο να είναι υψηλός εκτός από κρίσιμες εφαρμογές.

### 8. Συνύπαρξη με άλλες μη-M2M υπηρεσίες

## 9. Μέγεθος περιοχής ανάπτυξης της εφαρμογής

### 3.5 Αρχιτεκτονική M2M δικτύου

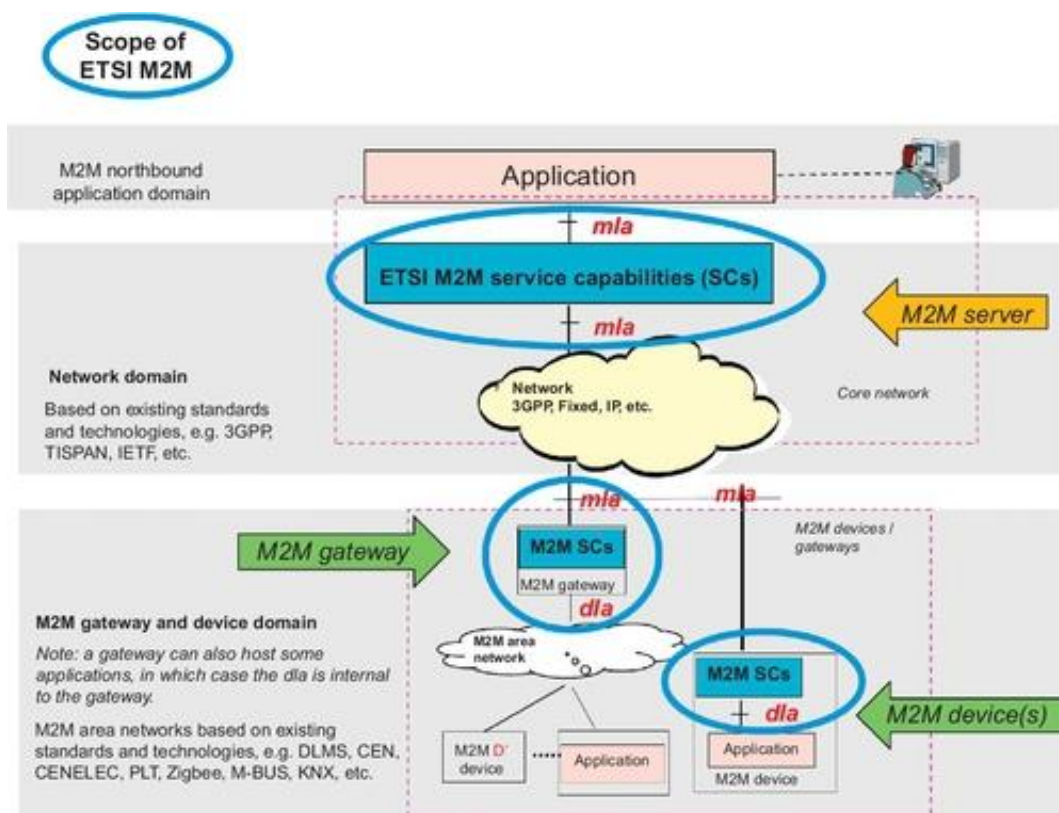
Ένα πρότυπο σύστημα M2M δικτύου αποτελείται από συνδεδεμένες συσκευές, αισθητήρες, ενεργοποιητές, M2M πύλες (gateways) που χρησιμοποιούνται για να συγκεντρώσουν δεδομένα και να τα προωθήσουν σε ένα εξωτερικό δίκτυο.

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις στο σχεδιασμό αρχιτεκτονικής ενός M2M δικτύου [37].

#### 3.5.1 Capillary Αρχιτεκτονική

Η πρώτη αρχιτεκτονική που θα αναλυθεί είναι η **capillary αρχιτεκτονική (τριχοειδή)** και έχει μελετηθεί και προταθεί από τον οργανισμό ETSI.

Η εικόνα 31 δείχνει τη τυπική capillary αρχιτεκτονική.



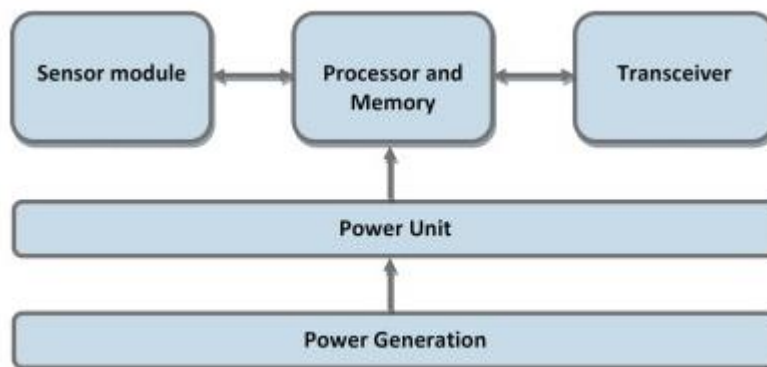
Εικόνα 31 : Capillary αρχιτεκτονική M2M επικοινωνιών σύμφωνα με τον οργανισμό ETSI [xiii]

Ακολουθεί ανάλυση των επιμέρους στοιχείων που λαμβάνουν μέρος στη τριχοειδή αρχιτεκτονική.

## 1. M2M Συσκευές

Αυτές οι συσκευές είναι ενσωματωμένοι αισθητήρες, ενεργοποιητές, μοντέλα I/O ή οποιοδήποτε άλλο μηχανήμα, συσκευή ή εφαρμογή που ενσωματώνει ένα μοντέλο επικοινωνίας. Ένα ακόμη παράδειγμα μπορεί να είναι τα smartphones , PDA που έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με wifi, Bluetooth. Γενικά αυτές οι συσκευές είναι προγραμματισμένες να συλλέγουν πληροφορίες και μερικές φορές να αντιδρούν σε δράσεις και συνθήκες όπως είναι η κίνηση, η πίεση, θερμοκρασία. [38]

Οι κόμβοι γενικά είναι εξοπλισμένοι με έναν επεξεργαστή δεδομένων και κυκλώματα επικοινωνίας, τα οποία είναι ικανά να συλλέγουν περιβαλλοντολογικά δεδομένα.



Εικόνα 32 : Σχηματικό διάγραμμα ενός κόμβου αισθητήρα

Το κύκλωμα του αισθητήρα μετράει συνθήκες που σχετίζονται με το περιβάλλον και τις μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα. Η επεξεργασία αυτών των δεδομένων αποκαλύπτει κάποια γεγονότα που μπορεί να έχουν προκύψει κοντά στον αισθητήρα. Ο αισθητήρας στέλνει αυτά τα δεδομένα σε άλλους αισθητήρες ή σε έναν εξωτερικό σταθμό βάσης.

## 2. M2M δίκτυο

Με τον όρο M2M δίκτυο εννοούμε το δίκτυο που παρέχει συνδεσιμότητα μεταξύ έξυπνων συσκευών και μεταξύ των έξυπνων συσκευών με τις πύλες (gateway). Όσον αφορά την ασύρματη επικοινωνία των M2M συσκευών οι επικρατούσες τεχνολογίες είναι η ZigBee και 2G/3G κυψελωτές τεχνολογίες, ωστόσο, νέες τεχνολογίες εισβάλλουν στον χώρο , όπως low-powerWifi, Bluetooth low energy, LowPan,LoRA.[39]

Η ασύρματη επικοινωνία μπορεί να επωφεληθεί από τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα επικοινωνίας TCP/IP που χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τις υπηρεσίες του διαδικτύου.

## 3. Πύλη (Gateway)



Μια M2M περιοχή παρέχει φυσική και επιπέδου MAC συνδεσιμότητα μεταξύ διαφορετικών συσκευών στην ίδια περιοχή, οπότε οι M2M συσκευές μπορούν να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο μέσω ενός δρομολογητή (router) ή πύλης (gateway).

Η M2M πύλη (gateway) είναι υπεύθυνη να εξάγει δεδομένα μιας συσκευής και να τα ετοιμάζει για το δίκτυο. Η πύλη χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο ή driver ώστε να αλληλεπιδρά με την M2M συσκευή και να μεταφράζει τα δεδομένα σε μια μορφή που μια άλλη συσκευή, εφαρμογή ή ακόμα και ο άνθρωπος να μπορούν να κατανοήσουν. Κυρίως, παρέχει μια σύνδεση στο κεντρικό σύστημα του δικτύου μέσω του διαδικτύου. Χρειάζεται να υποστηρίξει ένα ή περισσότερα τοπικά πρωτόκολλα δικτύου και μια σύνδεση στο ίντερνετ που μπορεί να είναι Ethernet, dsl, fiber, cellural. Πρέπει να υπάρχουν αρκετές πύλες (gateways) σε ένα M2M δίκτυο. Κάθε πύλη είναι ικανή να αναλύει ένα συγκεκριμένο ποσό από δεδομένα που μεταδίδονται από τις έξυπνες συσκευές.

Επιπροσθέτως, αξίζει να αναφερθεί πως η πύλη (gateway) μπορεί να είναι τόσο απλό στη λειτουργία του, που ο καθένας μπορεί να το προγραμματίσει χρησιμοποιώντας ένα raspberry, arduino, beaglebone το οποίο διαθέτει λογισμικό και έχει δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι η πύλη χρειάζεται μια παροχή ρεύματος. Υπάρχουν και έτοιμα kit με πολλά δυνατά χαρακτηριστικά.



*Εικόνα 33 : M2M gateway συσκευές [xxvii]*

#### 4. Εξωτερικό Δίκτυο

Το εξωτερικό δίκτυο επιτρέπει στο σύστημα να στέλνει πληροφορίες σε ένα back-end server, σε κάποια εφαρμογή που παρακολουθεί και ελέγχει το δίκτυο, μέσω του διαδικτύου.

Τεχνολογίες αυτού του δικτύου μπορεί να είναι :

xDSL, IEEE 802.11, Local Area Networks (LAN), GERAN (GSM EDGE Radio Access Network), UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), W-LAN, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), και οικυψελωτές επικοινωνίες όπως GSM (Global System for Mobile communications), GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), 3G, LTE (Long Term Evolution)[39 !]. Οι περισσότερες M2M εφαρμογές μεταδίδουν μηνύματα με πολύ λίγα δεδομένα οπότε η ταχύτητα αποστολής δεν αποτελεί σημαντικό κριτήριο. Η πιο πιθανή τεχνολογία για να επικρατήσει είναι το μοντέλο GPRS , EDGE.[23]

## 5. Εφαρμογές και απομακρυσμένοι χρήστες

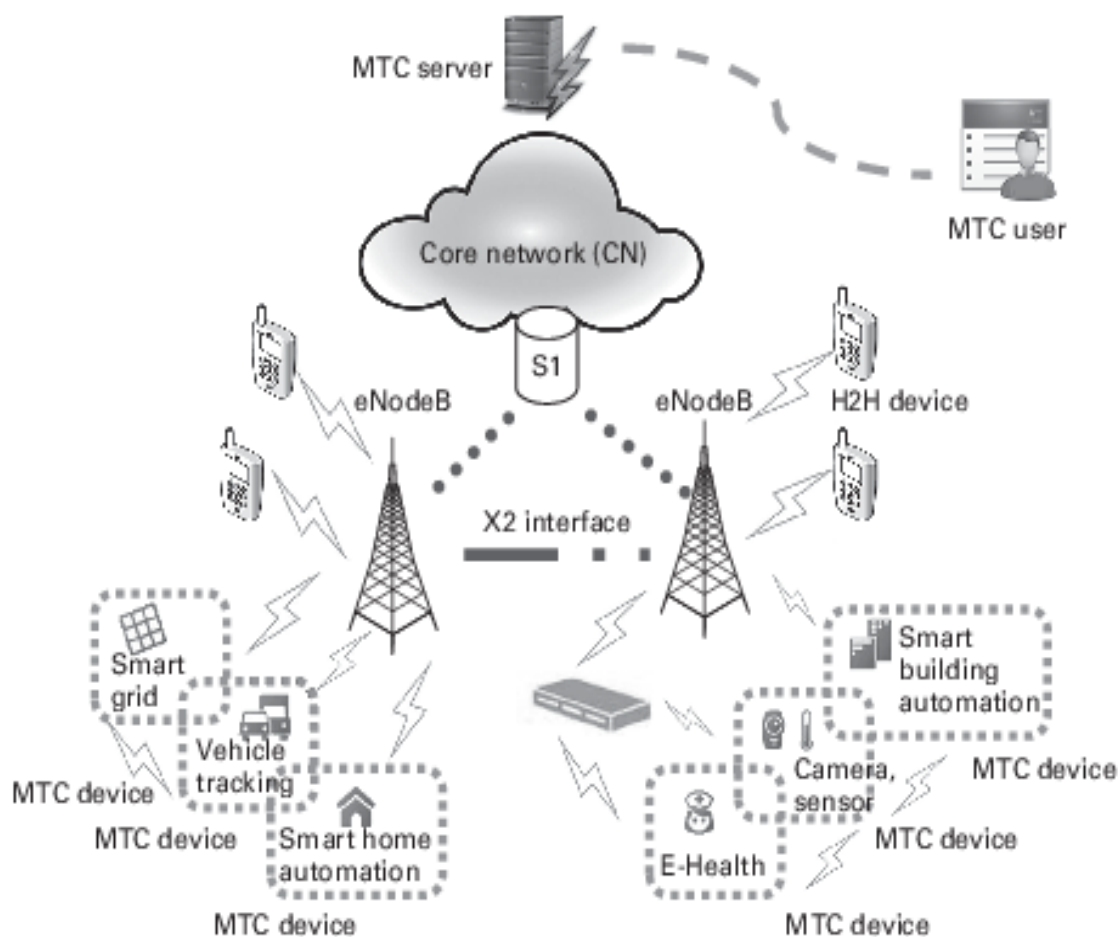
Οι εφαρμογές και οι χρήστες είναι ο προορισμός της πληροφορίας. Ο απομακρυσμένος client μπορεί να είναι είτε hardware είτε software που λαμβάνει τα δεδομένα. Ποιο συγκεκριμένα, οι τελικοί χρήστες μπορεί να είναι είτε κινητά τηλέφωνα, φυλλομετρητές, email εφαρμογές , sms συσκευές κα. Οι τελικοί χρήστες, σύμφωνα με κάποια εφαρμογή που επεξεργάζεται αυτά τα δεδομένα κάνουν και αντίστοιχες κινήσεις. [40]

### 3.5.2 Κυψελωτή Αρχιτεκτονική

Η δεύτερη αρχιτεκτονική που θα μελετηθεί ονομάζεται **κυψελωτή (cellular) αρχιτεκτονική** και έχει μελετηθεί και προταθεί από τον οργανισμό 3GPP.

Ο όρος κυψελωτά M2M (Cellular M2M) αναφέρεται στην αρχιτεκτονική κατά την οποία κάθε τερματικό M2M διαθέτει απευθείας σύνδεση με ένα κυψελωτό δίκτυο (2G/3G/4G) όπως το 3GPP Long Term Evolution (LTE) ή το WiMAX μέσω του οποίου αποκτά πρόσβαση στους αντίστοιχους κεντρικούς διακομιστές της αντίστοιχης υπηρεσίας M2M.

Το πρότυπο 3GPP που έχει επικρατήσει στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και οδηγεί στο πρότυπο LTE-A χρησιμοποιεί κάποιους μηχανισμούς (Semi Persistent Scheduling, επίπεδη αρχιτεκτονική IP) οι οποίοι φαίνονται κατάλληλοι για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες και να προσφέρουν πρόσβαση στις M2M συσκευές. Αυτό σημαίνει ότι αν το ίδιο δίκτυο μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις της M2M επικοινωνίας χωρίς την επέκταση των υποδομών, η εγκατάσταση των M2M συσκευών μπορεί να γίνει άμεσα και χωρίς πρόσθετο κόστος.



Εικόνα 34 : M2M αρχιτεκτονική με βάση τη κυψελωτή δομή [xiv]

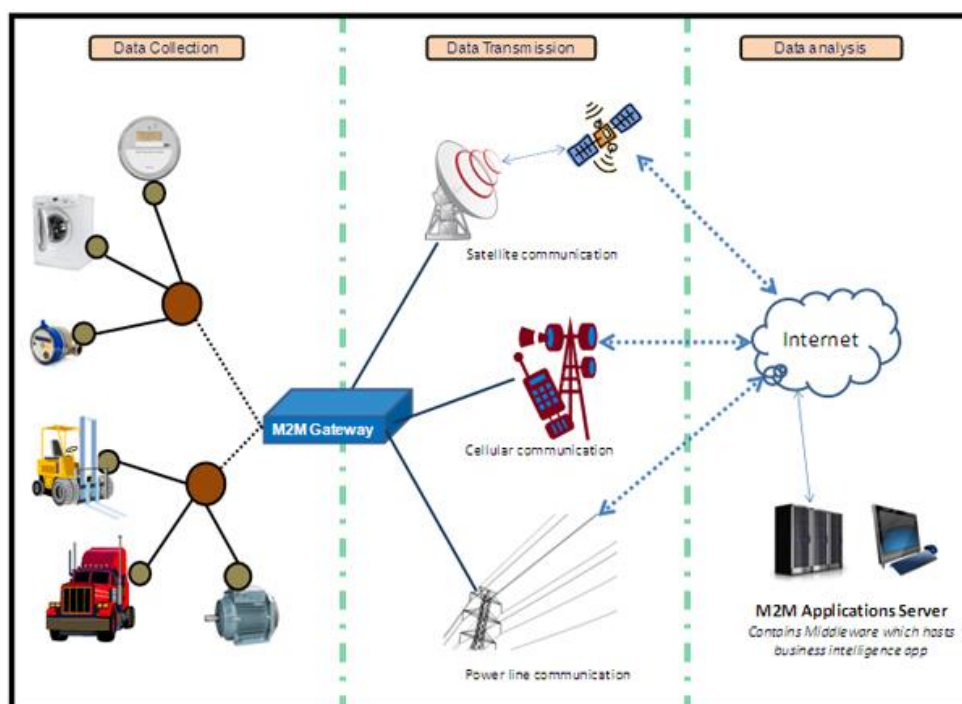
### 3.6 Διαδικασία M2M Επικοινωνίας

Η M2M επικοινωνία είναι κυρίως ο συνδυασμός τριών τεχνολογιών: των ασύρματων αισθητήρων, του internet και των προσωπικών δικτύων. Η διαδικασία έχει ως εξής: κάποιοι κόμβοι ή μια ομάδα από κόμβους συλλέγουν δεδομένα και τα στέλνουν ασύρματα μέσω του δικτύου αισθητήρων (με διάφορες τεχνολογίες, οι οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια), και κυρίως μέσω του internet δρομολογούνται, σε ένα κεντρικό server ή σε ένα cloud. Από αυτό το σημείο και έπειτα, μια εφαρμογή μετατρέπει τα δεδομένα σε μια πληροφορία

που το νόημα της προκύπτει από τις τιμές των αισθητήρων και από διάφορους κανόνες και τελικά στέλνονται οδηγίες στους controllers ή actuators, οι οποίοι ρυθμίζουν τα ηλεκτρικά σήματα κατάλληλα ώστε να πάρουν δράση τα μηχανήματα.

Ο σκοπός των M2M επικοινωνιών είναι να αυξήσουν το επίπεδο του αυτοματισμού επιτρέποντας στις συσκευές και στο δίκτυο επικοινωνίας να ανταλλάξουν και να μοιράζονται δεδομένα.

Υπάρχουν τέσσερα βασικά στάδια που είναι κοινά σχεδόν σε κάθε εφαρμογή M2M.



Εικόνα 35 : Γραφική αναπαράσταση των διαδικασιών ενός M2M δικτύου [xv]

Τα στάδια είναι τα εξής :

### 1. Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων αφορά τη συγκέντρωση και λήψη κάποιων μετρήσεων. Τέτοιες μετρήσεις μπορεί να είναι είναι θερμοκρασία , υγρασία που μπορούν να γίνουν μέσω αισθητήρων , ή ο εντοπισμός τοποθεσίας που μπορεί να γίνει από το gps που είναι ενεργοποιημένο στα κινητά μας.

Σε κρίσιμες εφαρμογές, όπως ένας σταθμός παρακολούθησης πυρκαγιών, είναι απαραίτητο να υπάρχει συνεχής σύνδεση με τη M2M συσκευή και να στέλνεται μια σταθερή ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο περιγράφοντας τις τιμές που δέχεται η συσκευή.

Αυτό δε κρίνεται απαραίτητο για όλες τις εφαρμογές, οπότε όταν οι εφαρμογές δεν είναι κρίσιμες, είναι καλό να μειωθεί η ποσότητα δεδομένων που στέλνεται στο δίκτυο. Για να επιτευχθεί αυτό, θα μπορούσε να γίνεται μια σύγκριση των τιμών σε σχέση με τις επιθυμητές τιμές και να εκπέμπεται πληροφορία σε πραγματικό χρόνο, μόνο όταν η τιμή της συσκευής είναι εκτός ορίων. Εκτός των απρόοπτων, η υλοποίηση της εφαρμογής τυπικά θα είναι προγραμματισμένη να στέλνει ενημερώσεις σε κάποιο server ή μετά από αίτηση του server.

Οι M2M συσκευές στην γενική περίπτωση εφαρμογής M2M επικοινωνίας, θα επικοινωνούν με μια πύλη (gateway), που αυτό θα αναλάβει να στείλει τα δεδομένα στο εξωτερικό δίκτυο.

## **2. Μετάδοση επιλεγμένων δεδομένων μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας**

Είμαστε στο σημείο που πραγματοποιείται μετάδοση των επιλεγμένων δεδομένων.

Τα δεδομένα καλούνται να μεταφερθούν από κάποια πύλη (gateway), η οποία έχει τοποθετηθεί από τους τεχνικούς δικτύου, στο κεντρικό σημείο διαχείρισης του δικτύου. Υπάρχουν πολλοί τρόποι μεταφοράς αυτών των δεδομένων σε ένα απομακρυσμένο κεντρικό σημείο διαχείρισης του δικτύου. Μερικοί από τους πιο κοινούς τρόπους είναι το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφόροι, το internet.

Για τις εταιρείες που αναπτύσσουν μια M2M εφαρμογή η πύλη (gateway), ο server ή βάση δεδομένων για την αποθήκευση των δεδομένων μπορεί να βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο ή μπορεί να είναι απομακρυσμένα σε διαφορετικό δίκτυο ή ακόμα να φιλοξενούνται από κάποια άλλη εταιρεία. Σε πολλές περιπτώσεις το μοντέλο φιλοξενίας φαίνεται να είναι πιο ελκυστικό, λόγω του υψηλού κόστους που φέρνει η δημιουργία υποδομής και η διαχείριση του δικτύου.

## **3. Αξιολόγηση των δεδομένων**

Τα δεδομένα από τη συλλογή των αισθητήρων επεξεργάζονται συνήθως είτε στο software μιας εφαρμογής είτε σε ένα αυτόνομο σύστημα που έχει σχεδιαστεί ειδικά για τη M2M υλοποίηση.

## **4. Ανταπόκριση**

Στόχος είναι η αυτοματοποίηση μιας διαδικασίας. Στο τελικό στάδιο η εφαρμογή της M2M επικοινωνίας θα πρέπει να είναι ικανή να αποστέλλει τα κατάλληλα δεδομένα στο κατάλληλο προορισμό, λαμβάνοντας υπόψιν και σε ποιους κατάλληλους χρήστες πρέπει να είναι διαθέσιμη η κάθε πληροφορία και τα δεδομένα.  
[21]

### 3.7 Σχεδιασμός δικτύου

Υπάρχουν τρεις βασικές στρατηγικές σχεδίασης στην εφαρμογή M2M δικτύων [50]:

Η στρατηγική ώθησης (push)

Η στρατηγική έλξης (pull)

Η υβριδική στρατηγική (push & pull)

Η στρατηγική ώθησης έχει ως λογική η έξυπνη συσκευή να αρχικοποιεί την επικοινωνία και να στέλνει δεδομένα μέσω της πύλης (gateway) και έπειτα του δικτύου σε έναν απομακρυσμένο χρήστη. Αυτό συμβαίνει διότι η έξυπνη συσκευή αναγνωρίζει προκαθορισμένες συνθήκες και ενεργοποιεί κάποια ειδοποίηση, συναγερμό, εντολή στη πύλη. Μόλις συμβεί αυτό, η πύλη (gateway) συνδέεται με το δίκτυο ώστε να αποστείλλει δεδομένα στον απομακρυσμένο χρήστη. Παράδειγμα εφαρμογής μιας τέτοιας εφαρμογής είναι, αν ο αισθητήρας καπνού σε ένα χώρο εντοπίσει καπνό να στέλνει αυτόματα εντολή μέσω της πύλης (gateway) σε μια I/O συσκευή ή ένα PLC να ενεργοποιείται το σύστημα πυρόσβεσης και να στέλεται ένα μήνυμα στον ιδιοκτήτη του χώρου.

Η στρατηγική έλξης αντίθετα προϋποθέτει ένα server και ένα σταθερό LAN δίκτυο ή μια σταθερή παροχή internet για να υπάρχει συνεχόμενη επικοινωνία και έλεγχος. Η λογική αυτής της στρατηγικής είναι ο server περιοδικά να ζητάει δεδομένα από τις έξυπνες συσκευές. Ο διακομιστής θα έχει τη δυνατότητα να μεταδώσει τα δεδομένα μέσω του δικτύου στέλνοντας ειδοποιήσεις, συναγερμούς ή εντολές σε άλλες συσκευές. Χαρακτηριστικά αυτής της στρατηγικής είναι ότι είναι πιο ακριβή στην εφαρμογή της, λόγω της αδιάκοπης σύνδεσης και ότι έχει πλήρη έλεγχο για το αν ο διακομιστής είναι συνδεδεμένος με μια έξυπνη συσκευή ή όχι.

Η **υβριδική** στρατηγική αποτελεί τον συνδυασμό των δύο παραπάνω. Είναι χρήσιμη αν η φύση της εφαρμογής είναι τέτοια ώστε ο χρήστης να χρειάζεται να έχει συνεχή επικοινωνία με την έξυπνη συσκευή αλλά παράλληλα αυτή να αναλαμβάνει δράση αν κρίνεται απαραίτητο.

### 3.8 M2M προκλήσεις σχεδιασμού

Η M2M τεχνολογία είναι σχετικά νέα τεχνολογία και έχει να αντιμετωπίσει αρκετές προκλήσεις σχετικά με θέματα όπως η ασφάλεια, η προτυποποίηση, η αξιοπιστία, η καθυστέρηση, θέματα λογισμικού, θέματα κόστους.

Η ασφάλεια είναι ένας από τους πιο σοβαρούς παράγοντες που πρέπει να εξασφαλιστεί όταν δημιουργείται ένα M2M δίκτυο, καθώς ένας τελικός χρήστης που διαχειρίζεται την ασφάλεια ενός κτιρίου για παράδειγμα δε θέλει να πέσει

θύμα hacking. Πρέπει να γίνει η κατάλληλη επιλογή της τεχνολογίας που πρόκειται να γίνει η επικοινωνία ώστε σε κάθε περίπτωση να μπορεί να εφαρμοστεί κρυπτογράφηση και πιστοποίηση χρήστη.

Η καθυστέρηση (latency) είναι ένας ακόμη παράγοντας στις M2M εφαρμογές. Μερικές εφαρμογές είναι τόσο κρίσιμες, που η ενεργοποίηση ενός συναγερμού πρέπει να γίνει σε κλάσματα του δευτερολέπτου.

Η αξιοπιστία είναι ένα ακόμη ζήτημα. Οι έξυπνες συσκευές πρέπει να είναι ενεργές κάθε στιγμή. Η διαχείριση της ενέργειας των αισθητήρων πρέπει να αναπτύσσει μηχανισμούς που να επιτρέπουν την επικοινωνία μικρών αποστάσεων χρησιμοποιώντας χαμηλή ενέργεια.

Το κόστος είναι ένα άλλο θέμα που απασχολεί την εφαρμογή της επικοινωνίας M2M δικτύων. Είναι γεγονός ότι από θέμα υλικού οι τιμές είναι χαμηλές, αλλά οι τιμές σχετικά με την ανάπτυξη λογισμικού και τη δικτύωση είναι ακόμα υψηλές. Για παράδειγμα, αν σε μια M2M εφαρμογή χρησιμοποιείται κυψελωτή επικοινωνία η χρέωση θα γίνεται σύμφωνα με τα δεδομένα που θα καταναλώνονται. Η σε μια άλλη περίπτωση, αν χρειάζεται η δορυφορική επικοινωνία θα είναι αναγκαία η πληρωμή ενός παρόχου. [41]

### 3.9 Πρότυπα

Τα πρότυπα είναι ο συνδετικός κρίκος και η καρδιά της επιτυχίας για τη βιομηχανία των επικοινωνιών καθώς δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για παγκόσμια διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών και συστημάτων. [43]

Καθώς οι M2M εφαρμογές γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς εξαιτίας της δυνατότητας ενσωμάτωσης στις ήδη υπάρχουσες ώριμες τεχνολογίες, οδηγούμαστε στη σκέψη ότι πολλές διάφορες και ετερογενείς τεχνολογίες δικτύων πρέπει να συνδυαστούν ώστε να εξυπηρετήσουν το σκοπό των M2M επικοινωνιών.

Οι ανάγκες της αγοράς επιβάλλουν τη προτυποποίηση των M2M δικτύων, ώστε να επιτευχθεί διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών και κατασκευαστών. Οι οργανισμοί έρχονται αντιμέτωποι με τη πρόκληση να μετατρέψουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων σε μία κοινή (standard) μορφή για να μπορούν τα δεδομένα να είναι κατανοητά από όλους. Η προτυποποίηση για τα M2M δίκτυα βασίζεται σε οργανισμούς όπως η 3GPP, ETSI, IEEE και στη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών. Τα τελευταία χρόνια, οι οργανισμοί έχουν προσδιορίσει την αρχιτεκτονική και τις λειτουργίες του δικτύου ώστε να εξυπηρετούν τα μοναδικά χαρακτηριστικά των M2M επικοινωνιών.

Ο οργανισμός **ETSI** επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός επίπεδου ενός ενδιάμεσου λογισμικού, service middleware, με σκοπό να είναι ανεξάρτητο από

τις τεχνολογίες πρόσβασης και μεταδόσεων του δικτύου. Για να εξυπηρετηθούν διαφορετικές εφαρμογές M2M, και να υπάρχει κοινή απαιτούμενη λειτουργία μεταξύ αυτών ταξινομούνται οι δυνατότητες των υπηρεσιών.

Οργανισμός **3GPP** προσδιορίζει δύο επικοινωνίες μεταξύ των συσκευών. Η πρώτη είναι οι M2M συσκευές να επικοινωνούν με έναν ή περισσότερους server και η δεύτερη είναι οι M2M συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, οι διαχειριστές των δικτύων μπορούν να παρέχουν συνδεσιμότητα μεταξύ των συσκευών απευθείας, χωρίς να είναι απαραίτητη η παρουσία server. Επίσης, η 3GPP παρουσιάζει το πρόβλημα, αλλά προτείνει και τις λύσεις που απαιτούν οι M2M υπηρεσίες. Ένα βασικό θέμα είναι η έλλειψη διευθύνσεων IP, ο έλεγχος της συμφόρησης και τα σήματα των δεδομένων για ένα μεγάλο αριθμό M2M συσκευών. Οι λύσεις βρίσκονται στη χρήση IPv6 διευθύνσεων ή dual-stack διευθύνσεις και group-based διαχείριση για τις M2M συσκευές.

Όσον αφορά τα κινητά δίκτυα M2M επικοινωνιών ο οργανισμός 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP), κάνει έρευνες στο πως να υποστηρίξει τη νέα τεχνολογία στα 4G broadband mobile networks, όπως είναι UMTS και LTE με σκοπό την ενσωμάτωση των M2M επικοινωνιών στα 5G δίκτυα. Βέβαια, έχει να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις του αριθμού των διασυνδεδεμένων συσκευών και της ποσότητας των δεδομένων που αναμένονται να ρθουν μαζί με τη M2M επικοινωνία. [44]

## **IEEE**

Η IEEE έχει κυρίαρχο ρόλο στην ανάπτυξη προτύπων για τη M2M επικοινωνία.

Το IEEE **802.11 ah** Task Group δουλεύει σε ένα νέο πρότυπο για να ρυθμίσει τις ιδιαιτερότητες των M2M δικτύων. Αυτό το πρότυπο εξερευνά τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας στο Medium access control layer (MAC).

Το IEEE 802.11ah σχεδιάζει νέα PHY και MAC επίπεδα. Αυτά τα νέα επίπεδα περιλαμβάνουν αρκετές τροποποιήσεις. Το IEEE 802.11ah PHY layer μπορεί να θεωρηθεί ως ένα sub-1GHz σύνολο του 802.11ac, και το IEEE 802.11ah MAC layer συνδυάζει τα περισσότερα χαρακτηριστικά του IEEE 802.11ac MAC layer, προσθέτοντας κάποιους μηχανισμούς για αποδοτική διαχείριση της ενέργειας. [49]

## **802.15.4**

IEEE 802.15.4 δηλώνει ότι το πρωτόκολλο και οι συμβατές συσκευές που συμμετέχουν στη μεταφορά δεδομένων χρησιμοποιούν χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλής πολυπλοκότητας συχνότητες μετάδοσης (RF) σε ένα ασύρματο προσωπικό δίκτυο - Wireless Personal Area Network (WPAN) [50].

## **802.15.1**

Το πρότυπο 802.15.1 είναι ένα πρότυπο για τα τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα και είναι κατάλληλο για μικρής εμβέλειας, χαμηλό ποσοστό δεδομένων για peer-to-peer επικοινωνίες, όπως είναι η μεταφορά αρχείων και ήχου.



	Zigbee	Bluetooth	IEEE 802.11ah
<b>Standard</b>	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11ah
<b>Frequency band</b>	EU: 868 MHz NA: 915 MHz Global: 2.4 GHz	2.4 GHz	Sub-1GHz
<b>Data rate</b>	868 MHz band: 20 kbps 915 MHz band: 40 kbps 2.4 GHz band: 250 kbps	1 Mbps	If BW = 1 MHz: 0.15-4 Mbps If BW = 2 MHz: 0.65-7.8 Mbps
<b>Typical range</b>	2.4 GHz band: 10-100 m.	10-30 m.	100-1000 m.
<b>TX power</b>	1-100 mW	1-10 mW	<10 mW - <1 W (depending on the country's regulations)
<b>Bandwidth per channel</b>	868 MHz band: 0.3 MHz 915 MHz band: 0.6 MHz 2.4 GHz band: 2 MHz	1 MHz	1, 2, 4, 8 or 16 MHz
<b>Modulation</b>	BPSK (+ASK), OQPSK	GFSK	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
<b>Transmission technique</b>	DSSS	FHSS	OFDM
<b>Topology</b>	Multihop	Star	Single-hop
<b>Battery operation</b>	From months to years	From days to weeks	From months to years
<b>Power saving mechanisms</b>	Only in ZigBee RF4CE	Only in Bluetooth Low Energy (BLE)	Native
<b>Packet length</b>	≈ 100 bytes	From kbytes to Mbytes	≈ 100 bytes
<b>Typical scenarios</b>	Multihop networks with few nodes	Multimedia data exchange between nearby nodes	One-hop networks with many nodes

*Πίνακας 5 : Πίνακας που συγκρίνει τις τεχνολογίες zigbee / bluetooth / ieee802.11ah [xvii]*

#### **IETF :**

Ο οργανισμός IETF έχει ειδικευτεί σε δραστηριότητες που σχετίζονται με τεχνολογίες αισθητήρων και έξυπνων συσκευών. Οι δραστηριότητες έχουν ως στόχο να χρησιμοποιήσουν το IP , Internet protocol στους αισθητήρες και τις M2M συσκευές.

Το 6Lowpan παρέχει ένα στρώμα προσαρμογής για το IPv6 μέσω του IEEE 802.15.4.

Η λογική αυτής της τεχνικής περιλαμβάνει τον κατακερματισμό των πακέτων, τη συναρμολόγηση, τη συμπίεση της κεφαλίδας και τη βέλτιστη ανακάλυψη της γειτονιάς για lowpower και lossy δίκτυα (Ένα LLN αποτελείται από ενσωματωμένες συσκευές με περιορισμένη ενέργεια, μνήμη και επεξεργαστική ισχύ). [51]

## Κεφάλαιο 4

### **Παράμετροι Ραδιο - κάλυψης περιοχής**

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα αναλυθούν οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό ενός δικτύου ώστε να επιτευχθεί ραδιοκάλυψη, τα βασικά χαρακτηριστικά των κεραιών που λαμβάνουν μέρος στη διάδοση καθώς και πώς να γίνει η μετάβαση από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες στις μελλοντικές των 5G δικτύων.

#### **4.1 Σχεδιασμός δικτύου**

Ένα δίκτυο χρειάζεται να προσχεδιαστεί προτού φτάσει στο σημείο για τη τελική υλοποίηση του. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετές διαφορετικοί παραμέτροι. Ο σχεδιασμός ενός καινούριου δικτύου περιλαμβάνει διαφορετικές φάσεις: προ-σχεδιασμός, καθορισμός απαιτήσεων, προσομοίωση δικτύου, τοπογράφηση και τέλος λεπτομερή σχεδιασμό.

Ο προ-σχεδιασμός ενός συγκεκριμένου δικτύου περιλαμβάνει το βασικό καθορισμό της διάστασης αυτού του δικτύου. Με τον όρο διάσταση εννοείται η χωρητικότητα και τη κάλυψη που πρέπει να επιτευχθεί σε αυτό το δίκτυο για μια συγκεκριμένη περιοχή.

Ο καθορισμός απαιτήσεων είναι το βήμα στο οποίο λαμβάνεται υπόψη η γεωγραφική σύσταση της συγκεκριμένης περιοχής, τα καινούρια χαρακτηριστικά που πρόκειται να προστεθούν στο καινούριο δίκτυο μας ή τα χαρακτηριστικά που πρόκειται να εξαλειφθούν από το δίκτυο καθώς γίνεται η μετάβαση από το παλιό στο καινούριο δίκτυο.

Στη φάση της προσομοίωσης του δικτύου γίνεται προσπάθεια να καλυφθούν οι προδιαγραφές που περιγράφηκαν στις δύο προηγούμενες φάσεις καθώς επίσης και να γίνουν δοκιμές, τεστ και κάθε είδους σενάρια.

Η τοπογράφηση του δικτύου περιλαμβάνει δύο σημαντικούς παράγοντες, οι οποίοι είναι η τοπογράφηση της περιοχής και η επιλογή της κατάλληλης περιοχής για την τοποθέτηση του εξοπλισμού, δηλαδή τους σταθμούς βάσης όταν αναφερόμαστε σε κυψελωτά δίκτυα. Η κάθε περιοχή έχει διάφορα χαρακτηριστικά όπως αν είναι μια αστική περιοχή, αν υπάρχουν φυσικά εμπόδια σε αυτή, πχ βουνά, αν προϋπάρχουν άλλες ασύρματες τεχνολογίες. Σύμφωνα με τη μελέτη και τη τοπογράφηση της περιοχής προκύπτει ένα βασικό μοντέλο, το οποίο περιλαμβάνει τη κύρια περιοχή (primary) και τη δευτερεύουσα περιοχή (secondary). Στη κύρια περιοχή ο στόχος είναι να υπάρχει ένα σημείο συγκέντρωσης της κίνησης και να υπάρχει πάντα κάλυψη σε αυτή τη περιοχή.

Δευτερεύουσα περιοχή θεωρούνται οι εσωτερικές περιοχές, δηλαδή κτίρια και σπίτια, η οποία επίσης είναι πολύ σημαντική καθώς πολλοί από τους χρήστες χρησιμοποιούν το κυψελωτό δίκτυο από εσωτερικούς χώρους.

Ο λεπτομερής σχεδιασμός περιλαμβάνει τα στάδια του σχεδιασμού του δικτύου κορμού (core network), των συχνοτήτων που θα χρησιμοποιηθούν και των αμφίδρομων ζεύγων (duplexing), τον προϋπολογισμό των συνδέσεων, το μοντέλο διάδοσης που βασίζεται σε μαθηματικά μοντέλα.

## 4.2 Χαρακτηρισμός του εδάφους

Η διαδικασία ταξινόμησης των διαμορφώσεων του εδάφους είναι ένα πολύ σημαντικό στάδιο στην κατασκευή μοντέλων διάδοσης πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και στην πρόβλεψη της εξασθένισης σήματος / κύματος (ή απώλεια διαδρομής) μέσα σε κάθε συγκεκριμένο δίαυλο διάδοσης.

Αυτές οι διαμορφώσεις εδάφους μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως

- επίπεδη επιφάνεια του εδάφους
- καμπύλο, αλλά ομαλό έδαφος
- λοφώδες έδαφος
- βουνά.

Οι οικιστικές περιοχές μπορούν να ταξινομηθούν ως

- αγροτικές περιοχές
- μικτές κατοικημένες περιοχές
- προάστια
- αστικές περιοχές.

Πολλά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές οικιστικές περιοχές έδειξαν ότι υπάρχουν πολλοί ειδικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την περιγραφή συγκεκριμένων φαινομένων διάδοσης. Πρόσφατα, εισήχθη ένα νέο πρότυπο ταξινόμησης εδάφους για την ανάλυση αστικών τοπογραφικών χαρτών. Το πρότυπο αυτό βασίζεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά εδάφους:

1. θέση και διανομή κτιρίων σχετικά με τον παρατηρητή
2. διαστάσεις κτιρίων
3. Αριθμός κτιρίων στην υπό δοκιμή περιοχή

4. ύψος της επιφάνειας του εδάφους και βαθμός “τραχύτητας”

5. παρουσία βλάστησης.

Χρησιμοποιώντας αυτά τα ειδικά χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους του εδάφους, ταξινομούνται τα διάφορα είδη εδάφους εξετάζοντας τους τοπογραφικούς χάρτες για κάθε εγκατάσταση ραδιοεπικοινωνιών.

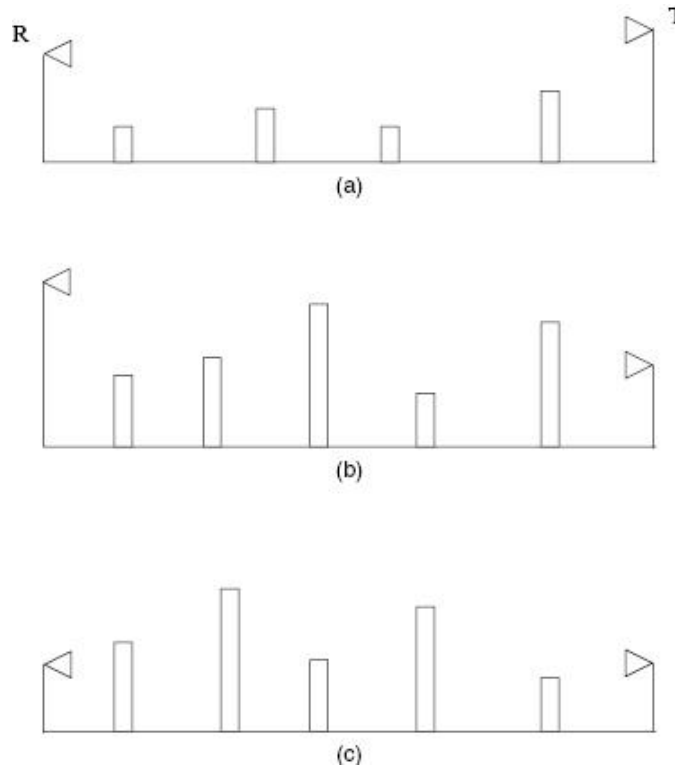
- Σενάρια σε χερσαίες επικοινωνίες

Ενα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του διαύλου διάδοσης είναι η θέση και των δύο κεραιών σε σχέση με τα εμπόδια που τοποθετούνται γύρω από αυτά. Συνήθως, υπάρχουν τρεις πιθανές καταστάσεις:

1. Και οι δύο κεραιές, ο δέκτης και ο πομπός τοποθετούνται υψηλότερα από τα εμπόδια (σε μια κατοικημένη περιοχή αυτό σημαίνει ότι βρίσκονται πάνω από το επίπεδο του τελευταίου ορόφου).

2. Μία από τις κεραιές είναι υψηλότερη από το ύψος των εμποδίων (δηλαδή οι στέγες), αλλά η δεύτερη είναι χαμηλότερη.

3. Και οι δύο κεραιές βρίσκονται κάτω από το επίπεδο των εμποδίων.



**Εικόνα 33 : Θέση των δύο κεραιών σε σχέση με τα εμπόδια.**

Όπως παρατηρείται στην εικόνα 33, στην πρώτη κατάσταση οι κεραιές βρίσκονται σε άμεση ορατότητα. Στις δύο τελευταίες καταστάσεις, η μία ή και οι δύο κεραιές βρίσκονται σε συνθήκες με εμπόδια. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις

το προφίλ της επιφάνειας του εδάφους είναι πολύ σημαντικό και μπορεί να ποικίλει από επίπεδη και ομαλή έως καμπύλη επιφάνεια και τελικά σε τραχύ και λοφώδες έδαφος.

Υπάρχουν πολλά μοντέλα, εμπειρικά, ημιεμπειρικά, και ντετερμινιστικά, τα οποία έχουν δοκιμαστεί τις τελευταίες τρεις δεκαετίες για να προβλέψουν χαρακτηριστικά διάδοσης για διάφορα χερσαία περιβάλλοντα και απαιτούν, ως αρχικά δεδομένα, στατιστικές παραμέτρους του εδάφους και του περιβάλλοντος όπως ο νόμος της διανομής των κτιρίων στο τραχύ έδαφος, η πυκνότητα, το μέσο μήκος και το ύψος τους, καθώς και τις θέσεις τερματικών, τον πομπό και τον δέκτη. [42]

Με σκοπό να πραγματοποιηθεί μια βασική πρόβλεψη κάλυψης, οι ακόλουθοι παράγοντες πρέπει να μελετηθούν και να διευκρινιστούν πλήρως:

- Συντεταγμένες του Πομπού
- Ακτινοβολούμενη ισχύς
- Συχνότητα
- Πρότυπο κεραιάς [45]

### **4.3 Χαρακτηριστικά Κεραιών**

Η κατάλληλη χρήση των κεραιών μπορεί να βελτιώσει την απόδοση ενός δικτύου εντυπωσιακά. Στην πραγματικότητα, οι κεραιές είναι πιθανώς ο ευκολότερος τρόπος να βελτιωθεί η απόδοση ενός ασύρματου συστήματος.

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία κεραιών που χρησιμοποιούνται σε διάφορους κλάδους ασύρματων επικοινωνιών. Οι πιο απλές και συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες κεραιές είναι οι κεραιές σύρματος που χρησιμοποιούνται ως δίπολα, βρόχοι ή ελικοειδείς κεραιές. Μια άλλη σημαντική κατηγορία κεραιάς είναι οι κεραιές ανοίγματος που εμφανίζονται με τη μορφή κέρατων ή ανακλαστήρων. Τέλος, οι κεραιές συστοιχίας χρησιμοποιούνται εκτενώς στις επικοινωνίες ως κεραιές μεταβλητής δέσμης ή προσαρμοστικές κεραιές.

Όλες οι κεραιές έχουν τρεις θεμελιώδεις ιδιότητες:

- Κατευθυντικότητα: Η μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας
- Κέρδος: Ένα μέτρο της αύξησης ισχύος
- Πόλωση: Η γωνία κατά την οποία η ενέργεια εκπέμπεται στον αέρα

## Τύποι κεραιών και κατευθυντικότητα

Εκτός της εκπομπής και λήψης ραδιοκυμάτων μια κεραία σε ένα ασύρματο δίκτυο ανάλογα με τον τύπο της λειτουργεί και ως κατευθυντήρας. Έτσι είναι δυνατή η εκπομπή προς μία κατεύθυνση και η μείωση της εκπομπής προς άλλες ώστε να υπάρχει μια ισομερής εκπομπή προς όλες της κατευθύνσεις. Ο τρόπος εκπομπής της κεραίας ονομάζεται πρότυπο εκπομπής και είναι κρίσιμη η επιλογή του σωστού τύπου έτσι ώστε να υπάρχει βέλτιστη εκπομπή αλλά και λήψη.

- Η Πολυκατευθυντική Κεραία (omni directional) εκπέμπει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις του τρισδιάστατου χώρου. Στην πράξη, το πρότυπο εκπομπής της είναι τέτοιο, ώστε να ακτινοβολεί κυκλικά (360 μοίρες) στον οριζόντιο άξονα δημιουργώντας γύρω της ένα πεδίο που μοιάζει με "ιπτάμενο δίσκο", και να ενισχύει το σήμα μειώνοντας την εκπομπή στον κατακόρυφο άξονα. Το πόσο επίπεδο θα είναι αυτή η περιοχή κάλυψης και τη έκταση θα έχει, καθορίζεται από τα επιμέρους χαρακτηριστικά της κεραίας, και την ενίσχυση της. Οι κεραιές αυτές είναι ιδανικές για σύνδεση ενός σημείου με πολλαπλά (Point-to-Multipoint) όπως συμβαίνει με ένα Access Point.
- Η Κατευθυντική Κεραία (directional) ακτινοβολεί περισσότερη ισχύ προς μια κατεύθυνση από ότι σε άλλες. Το πρότυπο εκπομπής της δημιουργεί μια σχετικά στενή δέσμη, που όμως μπορεί να παρέχει κάλυψη σε μεγάλη απόσταση. Το πλεονέκτημά αυτών των κεραιών είναι ότι, εκτός από τη μεγάλη απόσταση, λόγω της στενής δέσμης εμφανίζουν μικρές παρεμβολές με αποτέλεσμα η ποιότητα της σύνδεσης να είναι καλύτερη. Οι κεραιές αυτές είναι ιδανικές για σύνδεση σημείου με σημείο (Point-to-Point) ειδικά αν οι αποστάσεις είναι μεγάλες. Κατευθυντικές κεραιές είναι οι παραβολικές πλέγματος (Grid Parabolic) και τα δορυφορικά κάτοπτρα, οι κεραιές patch και οι κεραιές Yagi.

### 4.4 Βασικά μέρη ενός κυψελωτού δικτύου

Στα προηγούμενα κεφάλαια έχει γίνει ανάλυση για τα κυψελωτά δίκτυα όσον αφορά τα δομικά χαρακτηριστικά τους, όπως τις συχνότητες, τις ταχύτητες, τις κωδικοποιήσεις που χρησιμοποιούνται σε κάθε γενιά. Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια εκτενής αναφορά στα κύρια φυσικά στοιχεία ενός κυψελωτού δικτύου και πως αυτά συνδυάζονται για να επιτύχουν τη κάλυψη.

Ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας αποτελείται από τους σταθμούς βάσης (γνωστές σε όλους μας και ως κεραιές), τα κινητά τηλέφωνα και τα ψηφιακά τηλεφωνικά κέντρα.

Αρχικά παρουσιάζονται τα βασικά μέρη ενός GSM δικτύου.

BTS (Σταθμοί βάσης - Base Transceiver Station): χρησιμοποιείται σε ένα δίκτυο GSM, το οποίο περιλαμβάνει τους δέκτες & τους πομπούς και τις συναφείς κεραίες που μεταδίδουν και λαμβάνουν για άμεση επικοινωνία με τα κινητά. Το BTS είναι το καθοριστικό στοιχείο για κάθε κυψέλη.

BSC (Σταθμοί ελέγχου - Base Station Controller): αποτελεί το επόμενο στάδιο πίσω στο δίκτυο GSM. Ελέγχει μια ομάδα BTS και τοποθετείται συχνά με ένα από τα BTS στην ομάδα του. Διαχειρίζεται τους πόρους ραδιοσυχνοτήτων και ελέγχει στοιχεία όπως η μετάβαση των σημάτων εντός της ομάδας των BTS, εκχωρεί κανάλια κ.α.

MSC (Ψηφιακά κέντρα μεταγωγής - Mobile Switching Center): Το κύριο στοιχείο της περιοχής του κεντρικού δικτύου της συνολικής αρχιτεκτονικής δικτύου GSM. Το MSC λειτουργεί ως κανονικός κόμβος μεταγωγής σε ένα PSTN ή ISDN, αλλά παρέχει επίσης πρόσθετη λειτουργικότητα που επιτρέπει την υποστήριξη των απαιτήσεων ενός χρήστη κινητής τηλεφωνίας. Αυτά περιλαμβάνουν την εγγραφή, τον έλεγχο ταυτότητας, την τοποθεσία κλήσης, την μετάβαση μεταξύ MSC και τη δρομολόγηση κλήσεων σε έναν συνδρομητή κινητής τηλεφωνίας.

Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η λειτουργία των κινητών συσκευών.

Όταν ένα κινητό τηλέφωνο είναι ενεργοποιημένο, δηλαδή ανοιχτό, επικοινωνεί περιοδικά με την κεραία που δίνει κάλυψη στη συγκεκριμένη περιοχή όπου βρίσκεται. Με αυτόν τον τρόπο, το κινητό τηλέφωνο δίνει το "στίγμα" του στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, ώστε να μπορεί ο χρήστης να πραγματοποιήσει ή να δεχθεί μια κλήση σε κάθε σημείο που βρίσκεται. Εάν ο συνδρομητής μετακινείται, τότε το σήμα που εκπέμπει το κινητό εντοπίζεται από τις κεραίες στις περιοχές όπου κινείται.

Κάθε φορά που κάνουμε ή δεχόμαστε μια κλήση μέσω του κινητού μας τηλεφώνου, εκπέμπονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα από το κινητό μας τηλέφωνο προς την πλησιέστερη κεραία, εκείνη δηλαδή που μας εξυπηρετεί. Στη συνέχεια, η κεραία διαβιβάζει τα κύματα αυτά στον προορισμό τους, δηλαδή σε κάποιο ψηφιακό τηλεφωνικό κέντρο, από εκεί σε μία άλλη κεραία και στη συνέχεια σε ένα άλλο κινητό ή σταθερό τηλέφωνο. Εάν κατά τη διάρκεια της κλήσης, εκείνος που καλεί ή ο καλούμενος, μετακινείται, το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας μεταφέρει την κλήση από τη μία κεραία στην άλλη, ώστε η συνομιλία να μην διακόπτεται.

Για να λειτουργήσει ένα κινητό τηλέφωνο, είναι απαραίτητο να υπάρχει κεραία σταθμού βάσης στην περιοχή όπου χρησιμοποιείται.

Ακολουθεί η ανάλυση λειτουργίας ενός σταθμού βάσης.

Κάθε σταθμός βάσης φέρει από 1 έως 4 κεραίες και δίνει σήμα, δηλαδή παρέχει τηλεπικοινωνιακή κάλυψη, σε συγκεκριμένη περιοχή. Το μέγεθος κάθε κυψέλης εξαρτάται από τη γεωγραφία της περιοχής (κτίρια, βουνά, πεδιάδες) και από τον αριθμό των συνδρομητών που πρέπει να εξυπηρετηθεί στην περιοχή. Κάθε κεραία έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει συγκεκριμένο αριθμό κλήσεων

ταυτόχρονα (συνήθως από 10 έως 50 κλήσεις). Εάν αυξηθεί ο αριθμός των κλήσεων που πρέπει να εξυπηρετηθούν σε μία κυψέλη, τότε η κεραία θα υπερφορτωθεί. Σε αυτή την περίπτωση η κυψέλη πρέπει να διαιρεθεί σε μικρότερες κυψέλες, να εγκατασταθεί δηλαδή μια δεύτερη ή και μια τρίτη κεραία, ανάλογα με την κίνηση που πρέπει να εξυπηρετήσει.

Στις πόλεις, εξαιτίας των πολλών και μεγάλων κτιρίων, καθώς και του μεγάλου αριθμού των συνδρομητών, οι κυψέλες είναι πολύ μικρές και δεν ξεπερνούν τις μερικές εκατοντάδες μέτρα. Αυτό σημαίνει ότι για να λειτουργήσει με επάρκεια ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας σε μία πόλη ή μία πυκνοκατοικημένη περιοχή, αυτή θα πρέπει να διαιρεθεί σε πολλές μικρές κυψέλες, θα πρέπει δηλαδή να υπάρχουν πολλές κεραίες μικρής εμβέλειας. Οι κεραίες αυτές λειτουργούν με ιδιαίτερα χαμηλή ένταση (ισχύ) που συνήθως δεν ξεπερνά τα 40 watts. Στις αγροτικές και αραιοκατοικημένες περιοχές οι κυψέλες είναι μεγαλύτερες, αφού έχουν λιγότερα φυσικά εμπόδια και καλούνται να εξυπηρετήσουν λιγότερες κλήσεις.

Οι σταθμοί βάσης εγκαθίστανται σε σημεία που τους επιτρέπουν να υπερβαίνουν γεωγραφικούς και άλλους περιορισμούς και να δίνουν κάλυψη σε συγκεκριμένες περιοχές.

#### **4.5 Σχεδιασμός Δικτύου σε Κυψελωτό Δίκτυο**

Στο δίκτυο GSM υπάρχουν βασικά τρεις τύποι σχεδιασμού: σχεδιασμός δικτύου ραδιο-συχνοτήτων, σχεδιασμός δικτύου μετάδοσης και προγραμματισμός κεντρικού κορμού του δικτύου.

- Ο σχεδιασμός δικτύου ραδιο-συχνοτήτων αφορά τον σχεδιασμό της διεπαφής μέσω του αέρα, δηλαδή μέχρι το BTS (συμπεριλαμβανομένης της κάλυψης και της χωρητικότητας). Ο σχεδιασμός της μετάδοσης αφορά το τμήμα πρόσβασης του δικτύου, δηλαδή το κομμάτι που είναι μεταξύ του BTS και του MSC (συμπεριλαμβανομένου 'Line of Sight'), ενώ ο σχεδιασμός του κεντρικού κορμού του δικτύου εξετάζει τον σχεδιασμό των στοιχείων όσον αφορά την χωρητικότητα, τον αριθμό του βασικού εξοπλισμού και τις λεπτομερείς παραμέτρους. Μόλις αποφασιστούν οι αριθμοί, η θέση και η χωρητικότητα των στοιχείων BTS, BSC και MSC σε προκαταρκτικούς υπολογισμούς, ξεκινά μια λεπτομερής φάση σχεδιασμού όπου διεξάγεται η διαδικασία επιλογής τοποθεσίας, με λεπτομερή σχεδιασμό κάλυψης χωρητικότητας και προγραμματισμό παραμέτρων. Μετά από αυτό, η ρύθμιση παραμέτρων πραγματοποιείται προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη κάλυψη, χωρητικότητα και ποιότητα για το δίκτυο. Μετά από λίγους μήνες / χρόνια, ξεκινά ο κύκλος βελτιστοποίησης του δικτύου όπου όλα τα βήματα ακολουθούνται εκ νέου για να ληφθεί υπόψη ο μεταβαλλόμενος αριθμός και η συμπεριφορά του συνδρομητή καθώς και το μεταβαλλόμενο τοπίο της πόλης / περιοχής.



Ο σχεδιασμός των ραδιοσυχνοτήτων και βελτιστοποίηση κάλυψης, η χωρητικότητα και η ποιότητα αποτελούν τις τρεις πιο σημαντικές πτυχές του σχεδιασμού του δικτύου. Φυσικά, το κόστος είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας (και σε ορισμένες περιπτώσεις πιο σημαντικός από τα υπόλοιπα), αλλά εξαρτάται από παράγοντες πέραν των τεχνικών, επομένως δεν συζητείται εδώ. Η κάλυψη προέρχεται από την απόσταση που καλύπτεται από το σήμα που μεταδίδεται από τις ραδιο-κεραίες. Έτσι, όχι μόνο η ένταση του σήματος αλλά και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και το οικοσύστημα είναι σημαντικές για τις προβλέψεις κάλυψης και την πραγματική κάλυψη. Για τις προβλέψεις κάλυψης, εξειδικευμένο λογισμικό χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς σχεδιασμού. Στη φάση του προγραμματισμού, οι υποψήφιοι τόποι εισάγονται στους ψηφιακούς χάρτες και το λογισμικό πρόβλεψης κάλυψης στη συνέχεια «τρέχει» και δίνει τα αποτελέσματα.

Οι κυψέλες /θέσεις είναι τριών τύπων: macro, micro και pico. Όταν η κεραία είναι τοποθετημένη πάνω από το μέσο επίπεδο στέγης, ονομάζεται μακροσκοπική περιοχή (macro-cell) , αυτή καλύπτει τη μέγιστη επιφάνεια αλλά είναι επίσης επιρρεπής σε παρεμβολές. Όταν η κεραία είναι τοποθετημένη κάτω από τη μέση στάθμη στέγης, ονομάζεται μικροστοιχείο (micro-cell), αυτές οι τοποθεσίες είναι λιγότερο επιρρεπείς σε παρεμβολές αλλά καλύπτουν μια μικρή περιοχή. Οι θέσεις Pico χρησιμοποιούνται για εσωτερική κάλυψη. Το σήμα ταξιδεύει από ένα πολύπλοκο αλλά μικρό μονοπάτι από την κεραία έως τον κινητό σταθμό και ταξιδεύει μέσα από διάφορα εδάφη και δομές - φυσικές και ανθρωπογενείς.

Το σήμα, όταν ταξιδεύει από μια κεραία σε μια άλλη, ακολουθεί πολλά μονοπάτια. Αυτό περιλαμβάνει το ανακλώμενο σήμα και το σήμα περίθλασης: στην πρώτη περίπτωση, η κατεύθυνση της διάδοσης δεν αλλάζει, ενώ στη δεύτερη η κατεύθυνση της διάδοσης αλλάζει. Και στις δύο περιπτώσεις, η επιφάνεια δεν απορροφά (εν μέρει ή πλήρως) το σήμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το κτίριο ή η επιφάνεια (όπως ένα οχήμα ή δέντρα), από όπου το σήμα αντανακλάται, απορροφά το σήμα. Αυτό είναι γνωστό ως «απώλεια κτιρίου» και είναι μία από τις παραμέτρους στον υπολογισμό του προϋπολογισμού των σύνδεσεων. Όταν το σήμα ταξιδεύει μέσα από φυσικά τοπία, βιώνει μια απώλεια ισχύος γνωστή ως απώλεια «φύλλων». Ένα άλλο φαινόμενο που πρέπει να κατανοηθεί είναι γνωστό ως «fading». Όπως υποδηλώνει το όνομα, αυτή είναι η απώλεια στην ισχύ του σήματος, δηλαδή το σήμα εξασθενίζει καθώς ταξιδεύει από μία κεραία στην άλλη.

### **Εξασθένιση :**

Υπάρχουν δύο τύποι εξασθένισης: πολλαπλής διαδρομής και επιλεκτικής συχνότητας [43]. Στο πρώτο, το σήμα μεταδίδεται σε διαφορετικές κατευθύνσεις και φτάνει στην κεραία λήψης. Λόγω των πολλαπλών διαδρομών που ακολουθεί το σήμα, το προκύπτον σήμα είναι ένα άθροισμα όλων των σημάτων που φθάνουν σε ένα σημείο (κεραίες λήψης). Αυτό το προκύπτον σήμα μπορεί να

έχει μικρότερη ισχύ καθώς όλα τα σήματα που φθάνουν στο σημείο λήψης μπορεί να είναι εκτός φάσης μεταξύ τους. Η προκύπτουσα ισχύς του σήματος εξαρτάται από το πλάτος και τη φάση των σημάτων στο σημείο λήψης. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορεί να επηρεάσουν μια συγκεκριμένη συχνότητα και είναι ικανές να μειώσουν το επίπεδο του σήματος. Μια άλλη πτυχή που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ένταση του σήματος είναι η «παρεμβολή». Αυτό συμβαίνει λόγω του ανεπαρκούς σχεδιασμού συχνότητας, δηλαδή ένα σήμα της ίδιας συχνότητας λειτουργεί ως παρεμβαλλόμενο σήμα στο κύριο σήμα, μειώνοντας τη δύναμή του. Αυτές οι έννοιες που εξηγούνται παραπάνω χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς προϋπολογισμού συνδέσεων και ισχύος.

- Σχεδιασμός κάλυψης: Ο σχεδιασμός κάλυψης πραγματοποιείται βάσει τριών παραμέτρων: της γεωγραφικής περιοχής που καλύπτεται, του ορίου κάλυψης και της πιθανότητας κάλυψης. Η περιοχή που καλύπτεται και το όριο κάλυψης αλληλοσυνδέονται, για παράδειγμα για τις αστικές περιοχές και τα προάστια, είναι -75 dBm και -85 dBm αντίστοιχα, ενώ για τις αγροτικές περιοχές και τα κινούμενα αυτοκίνητα είναι -95 dBm και -90 dBm αντίστοιχα. Η πιθανότητα κάλυψης είναι 90-95%. Ωστόσο, για τον λεπτομερή σχεδιασμό κάλυψης χρησιμοποιούνται μοντέλα διάδοσης. Τα πιο δημοφιλή περιλαμβάνουν τα μοντέλα Okumara-Hata και Walfish-Ikegami [52]. Το πρώτο μοντέλο χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό μακροκυττάρων (macro-cell) για την πρόβλεψη της μέσης εξασθένισης ραδιοσήματος. Το μοντέλο Walfish-Ikegami χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό των μικροκυττάρων (micro-cell) (και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για macro-cell). Και τα δύο είναι εμπειρικά μοντέλα.

Το μοντέλο **Okumara-Hata (OH)** χρησιμοποιείται γενικά για εύρος συχνοτήτων 15-1500 MHz και 1500-2000 MHz. Το μοντέλο **Walfish-Ikegami (WI)** χρησιμοποιείται για εύρος συχνοτήτων 800-2000 MHz. Στο μοντέλο OH, το εύρος για το ύψος της κεραίας σταθμού βάσης κυμαίνεται από 30 έως 200 μέτρα, το ύψος της κεραίας είναι από 1 έως 10 μέτρα και η περιοχή κυψελών, δηλαδή η απόσταση μεταξύ του BTS και του MS, είναι από 1 έως 20 km. Το μοντέλο WI χρησιμοποιείται για ύψη (ύψος της κεραίας BTS από το επίπεδο του εδάφους) έως και 50 μέτρα για απόσταση έως και 5 χιλιομέτρων. Τα μοντέλα αυτά δεν εφαρμόζονται ως έχουν. Υπάρχει μια άλλη διαδικασία γνωστή ως "συντονισμός μοντέλου" κατά την οποία τα μοντέλα διάδοσης προσαρμόζονται για εφαρμογή σε αυτή τη συγκεκριμένη περιοχή (για την οποία εκτελείται σχεδιασμός).

Χρησιμοποιούνται δεδομένα από δύο πηγές: ανάλυση μετρήσεων από μετρήσεις εργαλείων και πεδίων. Για τις μετρήσεις εργαλείων, ένας βασικός όρος είναι ένας ακριβής ψηφιακός χάρτης. Οι μετρήσεις πεδίου διεξάγονται έπειτα μέσω «δοκιμής».

Το αποτέλεσμα αυτής της μεθοδολογίας είναι οι συντελεστές διόρθωσης, οι οποίοι είναι μοναδικοί για κάθε διαφορετικό σχεδιασμό. Μια μεγάλη τιμή του συντελεστή διόρθωσης σημαίνει δύσκολες συνθήκες διάδοσης, ενώ μια χαμηλή τιμή σημαίνει πιο ομαλές συνθήκες διάδοσης. Θεωρητικά, το μέγεθος κυψελών όπως υπολογίζεται από τα εργαλεία σχεδιασμού δεν είναι πάντα εφικτό σε πραγματικά δεδομένα. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο εξασθένησης όπως συζητήθηκε προηγουμένως. Η ποιότητα κάλυψης ορίζεται μέσω της πιθανότητας τοποθεσίας, που σημαίνει τη πιθανότητα λήψης του σήματος από τον δέκτη. Μπορεί επίσης να οριστεί ως η πιθανότητα η ισχύς πεδίου να είναι πάνω από το επίπεδο ευαισθησίας. Η πρακτική παραδοχή σχετικά με την πιθανότητα περιοχής εντοπισμού είναι 50% και είναι ίση με την ευαισθησία του δέκτη στην περιοχή κάλυψης. Οι μηχανικοί σχεδιασμού πρέπει να γνωρίζουν ότι η πιθανότητα περιοχής εντοπισμού πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 50% [53].

#### **4.6 Σχεδιασμός δικτύου σε 5G δίκτυα**

Συγκεκριμένα, τα δίκτυα 5G θα πρέπει να υποστηρίζουν πολύ γρήγορους ρυθμούς δεδομένων έως και 10 Gb / s και μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε σύγκριση με τις προϋπάρχουσες κυψελοειδείς τεχνολογίες. Αυτό έχει παρακινήσει τη χρήση των συχνοτήτων mmwaves που προσφέρουν μια μεγάλη ποσότητα διαθέσιμου μη αδειοδοτημένου φάσματος που θα μπορούσε να είναι δυνητικές ζώνες συχνοτήτων για κυψελωτά συστήματα 5G. Οι συχνότητες MmW χρησιμοποιήθηκαν μόνο για ασύρματη επικοινωνία μικρής εμβέλειας, όπως το πρότυπο WiGiG, λόγω της κακής ποιότητας διάδοσης σε εξωτερικούς χώρους. Το φάσμα στα 28 GHz εξακολουθεί να μην χρησιμοποιείται και έχει αμελητέα ατμοσφαιρική εξασθένηση σε σύγκριση με άλλες συχνότητες GHz. Αυτό το καθιστά συγκρίσιμο με τις χρησιμοποιούμενες ζώνες συχνοτήτων για τις τρέχουσες κυψελοειδείς τεχνολογίες όσον αφορά την απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου. Επιπλέον, η εξασθένηση της βροχής και η απώλεια οξυγόνου δεν αυξάνονται σημαντικά στα 28 GHz. Στην πραγματικότητα, μπορεί να έχουν καλύτερες ιδιότητες διάδοσης για μικρά μεγέθη κυψελών.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του 5G είναι η πυκνή ανάπτυξη σταθμών βάσης σε ετερογενή δίκτυα. Οι μελέτες δείχνουν ότι το 80% των συνδρομητών συγκεντρώνεται στο 20% της περιοχής του δικτύου. Επιπλέον, οι περισσότερες υπηρεσίες συνδρομητών εκτελούνται σε εσωτερικούς χώρους, όπου η ασθενής κάλυψη είναι αναπόφευκτη δεδομένου ότι οι macro-σταθμοί βάσεις δεν μπορούν να παρέχουν σε βάθος κάλυψη για τέτοιες περιοχές [9]. Μικρότερα κελιά θα αναπτυχθούν για να καλύψουν μεγάλη εσωτερική κίνηση, να επιτύχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα, να βελτιστοποιήσουν την κάλυψη και να μειώσουν την καθυστέρηση. Φεροντας το σταθμό βάσης πιο κοντά στον χρήστη με μικρότερες κυψέλες, μειώνεται η καθυστέρηση του γύρου ταξιδιού και αυξάνεται ο αριθμός των διαθέσιμων πόρων για ενεργούς χρήστες. [46]

## 4.7 Συμβατότητα Κεραιών

Το επίκεντρο κάθε φορά που έπρεπε να γίνει η μετάβαση από τη μια τεχνολογία στην επόμενη ήταν η εδραίωση των διαφόρων τμημάτων του δικτύου σε λιγότερες οντότητες, ενδεχομένως ακόμη και η τοποθέτησή τους στο ίδιο υπάρχον σύστημα.

Για παράδειγμα, στο 3G η σύνδεση έχει ως εξής:

UE → NodeB → RNC → MSC → Core

Όπου το κινητό μας τηλέφωνο συνδέεται με ένα NodeB, ο οποίος διασυνδέεται με τον ελεγκτή του ασύρματου δικτύου (RNC), μετά ακολουθεί ένα κέντρο μεταγωγής κινητής τηλεφωνίας (MSC), έχοντας στη συνέχεια πρόσβαση σε ένα κεντρικό δίκτυο και τελικά στο διαδίκτυο. Στο 4G, μοιάζει περισσότερο με αυτό:

UE → eNodeB → MME → Core

το eNodeB ("εξελιγμένο" NodeB) έχει πλέον μεγαλύτερη ευθύνη, ενσωματώνοντας λειτουργικότητα ελέγχου που ήταν προηγουμένως ευθύνη του RNC. Επίσης, διασυνδέεται με διαφορετικές οντότητες, μία από τις οποίες είναι η οντότητα διαχείρισης κινητικότητας (mobility management entity - MME), η οποία εκτελεί κάποιο μέρος του ρόλου του MSC και μετά τα πακέτα (δεδομένα) αποστέλλονται στο S-GW / P-GW, το δρομολογητή μας για όλη σας την πρόσβαση στο διαδίκτυο. Οι λόγοι πίσω από αυτό ήταν η μείωση της καθυστέρησης, η απλούστερη αρχιτεκτονική, η ταχύτερη μεταβίβαση κατά τη διάρκεια της κινητικότητας κ.λ.π.

Από την άποψη της κεραίας συσκευής για 2G, 3G, 4G κ.λπ., μπορεί μία συσκευή να έχει μια ενιαία πολυζωνική ή ευρυζωνική κεραία για να καλύψει όλες τις διαφορετικές συχνότητες που χρησιμοποιούνται στο 2G, 3G, 4G. Δεδομένου ότι τα "Gs" είναι παρόμοια με τον τρόπο που λειτουργούν, μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ίδια κεραία. Το Bluetooth και το WiFi για παράδειγμα λειτουργούν πολύ διαφορετικά και απαιτούν διαφορετικές κεραίες.

Για παράδειγμα οι ζώνες 3G UMTS 1 και LTE 1 έχουν τις ίδιες συχνότητες uplink και downlink. Έτσι η ίδια κεραία λειτουργεί και στις δύο τεχνολογίες. Αλλά καθώς το 4G LTE χρησιμοποιεί MIMO δηλ. 2 κεραίες για λήψη διαφορετικής απόδοσης σε κινητά τηλέφωνα, υπάρχουν διαφορετικές κεραίες που χρησιμοποιούνται για ζώνες 4G.

## 4.8 Κεραίες 5G

Το πρόβλημα τοποθέτησης των κεραιών συνίσταται στον καθορισμό του αριθμού, των θέσεων και των τύπων των σταθμών βάσης λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα του σήματος, το κόστος εγκατάστασης, τους περιορισμούς κάλυψης και άλλες παραμέτρους σχεδιασμού του δικτύου.

---

Οι κεραιές που μελετούνται για την εφαρμογή τους στα 5G δίκτυα είναι οι ακόλουθες.

- MIMO beamforming smart antennas

Οι τεχνικές beamforming μπορούν να χρησιμοποιηθούν με οποιοδήποτε σύστημα κεραιάς - όχι μόνο σε συστήματα MIMO. Χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μιας ορισμένης κατεύθυνσης διάδοσης της κεραιάς για να δώσουν την απαιτούμενη απόδοση υπό τις δεδομένες συνθήκες.

Οι έξυπνες κεραιές είναι οι κεραιές που μπορούν να ελέγχονται αυτόματα ανάλογα με τις απαιτούμενες επιδόσεις και τις επικρατούσες συνθήκες.

Οι έξυπνες κεραιές χωρίζονται σε δύο ομάδες:

- Συστήματα διαβαθμισμένων συστοιχιών (Phased array systems - PAS) [47]:

Τα συστήματα διαβαθμισμένων συστοιχιών μεταβάλλονται και έχουν έναν αριθμό προκαθορισμένων προτύπων - σύμφωνα με την απαιτούμενη κατεύθυνση επιλέγεται και το πιο κατάλληλο πρότυπο. Αυτή η τεχνική απαιτεί από το συνολικό σύστημα να καθορίσει την κατεύθυνση άφιξης του εισερχόμενου σήματος και στη συνέχεια να μεταβεί στην πιο κατάλληλη δέσμη. Πρόκειται για συμβιβασμό, επειδή η σταθερή δέσμη δεν είναι πιθανόν να ταιριάζει ακριβώς με την απαιτούμενη κατεύθυνση.

- Συστήματα προσαρμοστικών συστοιχιών (Adaptive array systems - AAS)[48]:

Αυτός ο τύπος κεραιάς χρησιμοποιεί αυτό που ονομάζεται προσαρμοστικός σχηματισμός και έχει άπειρο αριθμό προτύπων και μπορεί να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο.

---

## Κεφάλαιο 5

### **Εφαρμογή Κάλυψης M2M Δικτύων**

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται πλήρης περιγραφή του περιβάλλοντος της προσομοίωσης, μετά παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα, και τέλος αναλύονται τα αποτελέσματα με την επίδειξη γραφημάτων.

#### **5.1 Περιγραφή Εφαρμογής**

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής δημιουργήθηκε μια εφαρμογή κάλυψης με γραφικό περιβάλλον και αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Η αρχική κατάσταση της εφαρμογής ζητάει από το χρήστη να εισάγει ένα τοπίο (χάρτη). Για τη διευκόλυνση του χρήστη υπάρχει η επιλογή να διαλέξει μία από τις δέκα πόλεις που υπάρχουν σε ένα dropdown μενού ή να μεταφορτώσει ένα δικό του τοπίο. Στη συνέχεια ζητείται από τον χρήστη να εισάγει τις παραμέτρους της προσομοίωσης, όπως είναι ο αριθμός των κόμβων και ο αριθμός και η τοποθεσία των πυλών (gateways). Αφού έχουν προσδιοριστεί αυτές οι παράμετροι η προσομοίωση ξεκινά και διαμορφώνει ένα πεδίο κάλυψης.

Στις επόμενες ενότητες αναλύονται λεπτομερώς όλες οι φάσεις της προσομοίωσης.

#### **5.2 Περιγραφή Περιβάλλοντος Προσομοίωσης**

Για τη πραγματοποίηση της προσομοίωσης επιλέχθηκε το εργαλείο προγραμματισμού Matlab. Η matlab ως γλώσσα προσομοίωσης είναι εξαιρετικά εύχρηστη, καθώς παρέχει πληθώρα εργαλείων (toolbox), τα οποία είναι κατάλληλα για έρευνα, και πραγματοποίηση δύσκολων επιστημονικών υπολογισμών.

Η απόδοση ενός ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος εξαρτάται κυρίως από παράγοντες που αφορούν την κτιριακή οικοδόμηση, την απόσταση που πρέπει να καλυφθεί, την θέση και τα χαρακτηριστικά των κεραιών του σταθμού βάσης και των χρηστών, και τις παρεμβολές που δημιουργούνται. Το συγκεκριμένο περιβάλλον διάδοσης θεωρείται ιδανικό, δίχως τα προβλήματα που διέπουν την διάδοση.

Η προσομοίωση αποτελείται από δύο βασικά κομμάτια.

Το πρώτο είναι η δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος, το οποίο εξυπηρετεί την εικονοποίηση του δικτύου, και είναι φιλικό προς τον χρήστη. Το δεύτερο κομμάτι εξάγει στατιστικά αποτελέσματα, για διάφορα σενάρια.

Τα βασικά μέρη που λαμβάνουν μέρος στη προσομοίωση της παρούσας εργασίας είναι :

- Η περιοχή κάλυψης
- Οι μικρής εμβέλειας πύλες (pico-gateways)
- Οι μεγάλης εμβέλειας πύλες (macro-gateways)
- Οι κινητοί κόμβοι

Ως περιοχή κάλυψης λαμβάνεται υπόψιν ένας χάρτης που επιλέγει ο χρήστης είτε από τις προεπιλογές που παρέχει η προσομοίωση, είτε είναι κάποιος χάρτης που έχει επιλέξει ο ίδιος.

Στη προσομοίωση θα συμμετέχουν δύο μορφές πυλών (gateway), micro και macro πύλες, με βασική διαφορά μεταξύ τους τη περίμετρο κάλυψης που παρέχει η καθεμία.

Οι κινητοί κόμβοι παριστάνουν M2M συσκευές. Για τους σκοπούς της προσομοίωσης δημιουργούνται τυχαίοι κόμβοι, με ομοιόμορφη κατανομή μέσα στη περιοχή κάλυψης. Σε κάποια σενάρια θα αναφερόμαστε σε ακίνητες συσκευές, αλλά πάντα θα υπάρχει διευκρίνιση σε τέτοια περίπτωση.

### **5.3 Κίνητρα δημιουργίας της εφαρμογής**

Η συνεχόμενη αύξηση των κινητών συσκευών, των tablets, των έξυπνων ρολογιών έχει δημιουργήσει μία ανάγκη για αδιάλειπτη σύνδεση στο διαδίκτυο. Επιπλέον, η αναδυόμενη τάση του Ιντερνετ των Πραγμάτων (IoT), κάνει αυτή την ανάγκη περισσότερο έντονη, αφού ένας τεράστιος αριθμός συσκευών θα προστεθεί στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα. Όλες αυτές οι συσκευές είναι πιθανόν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους χωρίς να χρειάζεται ανθρώπινη παρέμβαση (M2M συσκευές). Κάνοντας λόγω λοιπόν για αυτές τις M2M συσκευές, ένα από τα δελεαστικά προβλήματα που προκύπτουν είναι η ράδιο - κάλυψη όλων αυτών των συσκευών και η σύνδεση τους στα ήδη υπάρχοντα 4G ή στα μελλοντικά 5G δίκτυα. Επίσης, με την εισαγωγή κρίσιμων εφαρμογών που απαιτούν μηδενική καθυστέρηση, δεν υπάρχουν περιθώρια για προβλήματα στη κάλυψη. Για όλους αυτούς τους λόγους, προέκυψε η επιθυμία για μελέτη της κάλυψης M2M συσκευών που συνδέονται σε πύλες (gateways). Στο προηγούμενο κεφάλαιο έχουν αναφερθεί οι τρόποι με τους οποίους γίνεται ο σχεδιασμός ενός κυψελωτού δικτύου και τι πρέπει να ληφθεί υπόψιν στη πορεία δημιουργίας κάλυψης σε μια περιοχή. Κύριος παράγοντας είναι η φυσιολογία του εδάφους, που προσθέτει μοναδικές δυνατότητες και περιορισμούς σε κάθε περιοχή. Καμιά περιοχή δε μπορεί να θεωρηθεί ίδια και να εφαρμοστεί ακριβώς το ίδιο μοντέλο κάλυψης. Πάντα απαιτείται μελέτη και σχεδιασμός σύμφωνα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που υπάρχουν σε αυτή τη περιοχή. Τα κίνητρα για τη δημιουργία της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι σε περιβάλλον προσομοίωσης να προσφερθεί ένα γραφικό περιβάλλον που να διευκολύνει τον χρήστη να κάνει κάποιους πειραματισμούς για τη περιοχή που ενδιαφέρεται. Επιπλέον, το δεύτερο βασικό κίνητρο της εφαρμογής είναι να προκύψουν συμπεράσματα συγκρίνοντας

την τοποθέτηση μικρής εμβέλειας πυλών σε σχέση με μεγάλης εμβέλειας πυλών και ο συνδυασμός αυτών σε μια περιοχή.

#### 5.4 Ανάλυση Κώδικα

Η τεχνική του κώδικα για τη πραγματοποίηση της προσομοίωσης, βασίστηκε στον γεγονοδοτούμενο προγραμματισμό (event-driven). Σύμφωνα με αυτή τη τεχνική, ο κώδικας ακολουθεί γεγονότα και δεν εκτελείται σειριακά. Κύριο κομμάτι αυτού του είδους προγραμματισμού είναι μια ουρά που συνήθως ονομάζεται "event - list", στην οποία διατηρείται ο χρόνος προσομοίωσης και η βαρύτητα (προτεραιότητα) που δίνεται σε κάθε γεγονός.

#### Παράδειγμα event-list:

```
// Αρχικά ορίζονται οι αρχικές συνθήκες

    Sim_Flag = true;
    Time = 0;

// Αυτό είναι το κομμάτι που αρχικοποιείται το event list. Στη
// συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχουν πέντε γεγονότα (event), τα οποία όλα
// θα ξεκινήσουν με την αρχή της προσομοίωσης εκτός από το τελευταίο
// γεγονός που διαρκεί όσο και η δοθείσα διάρκεια της προσομοίωσης. Όλα
// τα γεγονότα έχουν ίδια προτεραιότητα ίση με 1.

    Event_List = [1:5; 0,0,0,0,Sim_Time; 1,1,1,1,1];

// Ξεκινάει η δομή της προσομοίωσης

    while Sim_Flag

// Ορίζεται ως πρώτο γεγονός το πρώτο στοιχείο της ουράς

    Event = Event_List(1,1);
    Time = Event_List(2,1);

//Ακολουθεί η εκτέλεση του κώδικα που ορίζει το κάθε γεγονός.

    if Event == 1
        {...
        ...}
```



//μέχρι που καταλήγει στο τελικό γεγονός όπου και καλείται το τέλος της προσομοίωσης, που έχει σαν όρισμα τη λογική μεταβλητή Sim\_Flag, και το χρόνο.

```
elseif Event == 5 %simulation end
[ Event_List, Sim_Flag ] = Event5(Time, Event_List);
End
```

// Αυτό το κομμάτι είναι αρκετά σημαντικό καθώς αδειάζει τη πρώτη στήλη της ουράς και συνεχίζεται η διαδικασία μέχρι ο χρόνος προσομοίωσης να είναι ίσος με το χρόνο που έχει οριστεί να τελειώσει η προσομοίωση, ή για κάποιο λόγο να αλλαχθεί η μεταβλητή sim\_flag

```
Event_List(:,1)=[];
Event_List=(sortrows(Event_List',[2,3]))';
```

//Στο πρώτο γεγονός δημιουργούνται και εκτυπώνονται στην οθόνη τα Picogateways. Ως όρισμα λαμβάνει τον αριθμό των Picogateways, τις συντεταγμένες που έχει ορίσει ο χρήστης για το κάθε Gatewayκαι την ακτίνα διάδοσης.

```
if Event == 1 % pico gateways
[ Event_List, gatewaysPico, radiusPico] = Event1(Time, Event_List ,
nGPico, choosenGxPico, choosenGyPico, radiusPico);
```

//Στο δεύτερο γεγονός ακολουθείται η ίδια διαδικασία για τα Macrogateways.

```
elseif Event == 2 % macro gateways
[ Event_List, gatewaysMacro, radiusMacro] = Event2(Time, Event_List ,
nGMacro, choosenGxMacro, choosenGyMacro, radiusMacro);
```

//Στο τρίτο γεγονός δημιουργούνται και εκτυπώνονται στην οθόνη οι κόμβοι (nodes)που κινούνται γρήγορα. Σαν όρισμα το τρίτο γεγονός λαμβάνει τον αριθμό των κόμβων και την εικόνα SelectedMapπου δηλώνει τη πόλη που έχει επιλέχθει για κάλυψη.

```
elseif Event == 3 % fast nodes
[ Event_List,nodes] = Event3(Time, Event_List, nN, SelectedMap);
```

//Στο τέταρτο γεγονός ακολουθείται η ίδια διαδικασία για τα ακίνητα nodes.

```
elseif Event == 4 %slow nodes
[ Event_List,StableNodes] = Event4(Time, Event_List, nNStable,
SelectedMap)
```

//Στο πέμπτο και έκτο γεγονός γίνεται έλεγχος αν τα nodes είναι μέσα στην εμβέλεια των Gateways.

```
elseif Event == 5 %check mobile nodes if they are connected
[ Time, Event_List,connectedDev,nodes,h2] = Event5(Time, Event_List, nN,
nGMacro,nGPico, gatewaysPico,gatewaysMacro, radiusPico, radiusMacro, h,
nodes,h2);
```

```
elseif Event == 6 %check nodes if they are connected
[ Time, Event_List,connectedDevStable] = Event6(Time, Event_List,
nNStable, nGMacro,nGPico, gatewaysPico,gatewaysMacro,
radiusPico,radiusMacro, h, StableNodes);
```

//Στο έβδομο γεγονός ανανεώνεται η θέση των κινούμενων κόμβων αντίστοιχα.

```
elseif Event == 7 % update the mobile nodes
[Time,Event_List, nodes] = Event7(Time, Event_List, nodes,h2,nN);
```

// Στο όγδοο γεγονός αποθηκεύονται περιοδικά κάποιες τιμές που είναι χρήσιμες για την εξαγωγή των γραφημάτων.

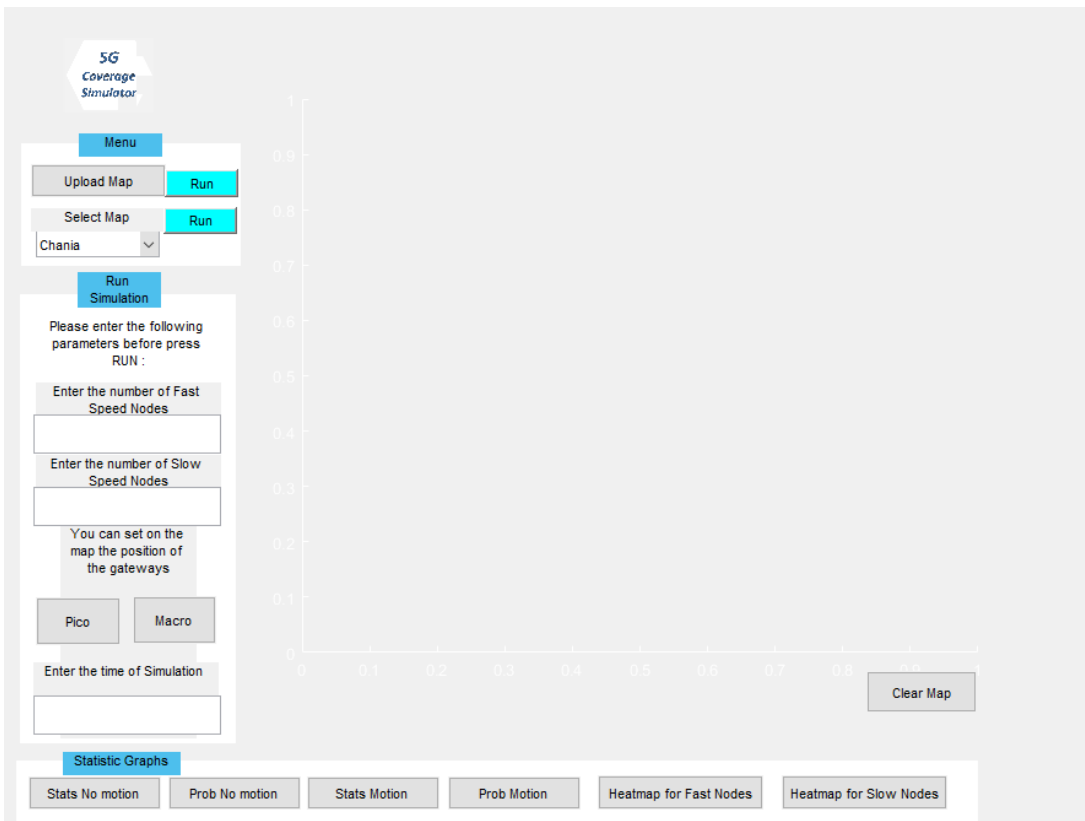
```
elseif Event == 8
[Time, Event_List ,BarStable,BarMoving] = Event8(Time,
Event_List,connectedDevStable,connectedDev ,BarStable,BarMoving);
```

// Το ένατο γεγονός τερματίζει τη προσομοίωση σύμφωνα με το χρόνο που έχει οριστεί.

```
elseif Event == 9 %simulation end
[ Event_List, Sim_Flag ] = Event10(Time, Event_List);
end
```

Ακολουθεί επίδειξη της προσομοίωσης για καλύτερη κατανόηση.

Η εικόνα 36 είναι η αρχική κατάσταση της προσομοίωσης:



Εικόνα 36 : Αρχική σελίδα της προσομοίωσης

Η πρώτη παράμετρος που πρέπει να εισαχθεί στο σύστημα είναι η περιοχή που μελετάται. Υπάρχουν δύο επιλογές, είτε να επιλεγεί μία από τις δέκα ελληνικές πόλεις που βρίσκονται στο **SelectMap** του συστήματος, είτε να εισαχθεί μια περιοχή από το κουμπί **UploadMap**.

Στην επιλογή Select Map το κομμάτι κώδικα που εκτελείται είναι :

```
// Αρχικά χρησιμοποιείται μία switch σύμφωνα με την επιλογή χάρτη που έχει κάνει ο χρήστης.
switch(str{val});

// Εκτελείται το ίδιο κομμάτι κώδικα για κάθε πόλη αντίστοιχα.
case 'Chania'
```

```
//Στη συνέχεια ανοίγει το staticmap της googleapi για να φορτώσει το χάρτη online από το διαδίκτυο.
```

**Στην επιλογή του static google maps api ορίζεται το όνομα της πόλης, τη μεγέθυνση που επιθυμούμε στο χάρτη , και τη μορφή του χάρτη (satellite / roadmap)**

```
pos =  
'https://maps.googleapis.com/maps/api/staticmap?center=Chania, Greece  
&zoom=15&size=750x550&maptype=satellite';
```

```
// Όταν ο χάρτης έχει φορτωθεί στο πρόγραμμα τον αποθηκεύεται σαν εικόνα (στην ουσία σαν πίνακα) σε μια μεταβλητή του συστήματος.
```

```
[I] = imread(pos, 'png');
```

```
// Η εικόνα παίρνει συγκεκριμένες διαστάσεις 550x750 και εκτυπώνεται στην οθόνη μας.
```

```
handles.ImgMap = imresize(I, [550 750]);
```

Στη προσομοίωση, επιλέγεται ως μεγέθυνση η τιμή 15 ή 16 σε όλες τις πόλεις, γιατί έπειτα από πειραματισμούς θεωρήθηκε το ιδανικό μέγεθος για να είναι ευδιάκριτα τα στοιχεία. Στο τύπο του χάρτη επιλέγεται το satellite, χωρίς να είναι περιοριστικό να γίνει επιλογή και το roadmap. Κρίνεται στην επιθυμία του χρήστη.

Στην επιλογή Upload Map το κομμάτι κώδικα που εκτελείται είναι :

```
// Η matlab δίνει τη δυνατότητα να γίνει περιήγηση στον υπολογιστή και να επιλεχθεί αρχείο με την εντολή uigetfile.
```

```
[filename, pathname] = uigetfile('*.*', 'D:\Users\Public\Pictures');
```

```
// Όταν ο χάρτης έχει φορτωθεί στο πρόγραμμα αποθηκεύεται σαν εικόνα (στην ουσία σαν πίνακα) σε μια μεταβλητή του συστήματος.
```

```
[I]=imread([pathname, filename]);
```

```
// Η εικόνα παίρνει συγκεκριμένες διαστάσεις 550x750 και εκτυπώνεται στην οθόνη μας.
```

```
handles.UploadMap = imresize(I, [550 750]);
```

Αποτέλεσμα προσομοίωσης αφού εισαχθεί η περιοχή ενδιαφέροντος φαίνεται στην εικόνα 37.



**Εικόνα 37 : Εισαγωγή περιοχή μελέτης**

Ακολουθεί η εισαγωγή των παραμέτρων από το χρήστη. Ο χρήστης θα ζητηθεί να διευκρινίσει πόσες θέλει να είναι οι κινητές συσκευές με γρήγορη ταχύτητα και πόσες να είναι οι κινητές συσκευές με πιο αργή ταχύτητα. Οι συσκευές με γρήγορη ταχύτητα αντιπροσωπεύουν τους χρήστες που βρίσκονται σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας, ενώ οι συσκευές με πιο αργή ταχύτητα αναφέρονται σε πεζούς χρήστες.

Για να επιτευχθεί αυτός ο διαχωρισμός, γίνεται μια βασική αναγνώριση εικόνας.

Ακόμη ο χρήστης θα πρέπει να τοποθετήσει χειροκίνητα στο χάρτη τις πύλες (gateways) που χρειάζεται. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, καθώς μπορεί να υπάρχουν κάποιες προβλέψεις που θα είναι πιο απαιτητική η κίνηση. (σε πραγματικά δεδομένα, υπάρχει η υπόθεση ότι στα κεντρικά σημεία μιας πόλης είναι πιο απαιτητική η κίνηση που πρέπει να καλύφθει σε σχέση με τις αγροτικές

περιοχές). Παρόλα αυτά στα δεδομένα της προσομοίωσης δε μπορούν να ορίσουν ακριβώς τα σημεία ενδιαφέροντος, αφού οι κόμβοι δημιουργούνται με τυχαιότητα μέσα στο χώρο.

Τα στρόγγυλα σημεία αναπαριστούν τις πύλες που έχει ορίσει ο χρήστης πάνω στο χάρτη. Οι μικρότεροι κύκλοι αναφέρονται στα pico gateways και οι μεγαλύτεροι κύκλοι αναφέρονται στα macro gateways.

Τα pico gateways έχουν περίμετρο κάλυψης 50 μέτρα και τα macro gateways έχουν περίμετρο κάλυψης 150 μέτρα.



**Εικόνα 38 :** Έχει γίνει επιλογή θέσης των πυλών (micro and macro gateways) από το χρήστη στο περιβάλλον της προσομοίωσης.

Το κομμάτι κώδικα που εισάγει τις πύλες (gateway) στο χάρτη, σύμφωνα με τη χειροκίνητη ενέργεια του χρήστη είναι το εξής :

```
% --- Executes on button press in pushbuttonSetPico.  
function pushbuttonSetPico_Callback(hObject, eventdata, handles)  
handles = guidata(hObject);  
set(handles.textStopSelection, 'Visible', 'on');  
axes(handles.axes1);
```

```
// Αρχικοποίηση των παραμέτρων. Η πρώτη μεταβλητή ορίζει τον αριθμό των picogateway. Η δεύτερη και η Τρίτη ορίζουν τις συντεταγμένες των gateway.
```

```
global numGatewaysPico;  
global GxPico ;  
global GyPico ;
```

```
// Με τη συνάρτηση getpts επιλέγεται ένα σύνολο σημείων στους τρέχοντες άξονες του σχήματος χρησιμοποιώντας το ποντίκι. Οι συντεταγμένες των επιλεγμένων σημείων επιστρέφονται στα x και y και στις τελικές μεταβλητές αφού πρώτα έχουν στρογγυλοποιηθεί σε ακέραιους αριθμούς.
```

```
[x, y] = getpts;  
GxPico = round(x);  
GyPico = round(y);
```

```
numGatewaysPico=length(GxPico);
```

Τέλος, ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει πόσο χρόνο θέλει να διαρκήσει η προσομοίωση. Αυτός ο χρόνος δεν αναφέρεται σε πραγματικό χρόνο αλλά σε χρόνο προσομοίωσης.

Αφού έχουν οριστεί όλες οι παράμετροι από το χρήστη η διαδικασία της προσομοίωσης ξεκινά.

Οι κόμβοι αρχίζουν και σχηματίζονται στην οθόνη. Κάθε κόμβος που βρίσκεται μέσα στην εμβέλεια των πυλών θεωρείται συνδεδεμένος.

```
// Χρησιμοποιείται το πυθαγόρειο θεώρημα για να υπολογιστεί η απόσταση κάθε σημείου (κόμβου) από το κέντρο του κύκλου (gateway).
```

```
function [ Time, Event_List,connectedDev,nodes,h2] = Event5(Time,  
Event_List, nN, nGMacro,nGPico, gatewaysPico,gatewaysMacro, radiusPico,  
radiusMacro, h, nodes,h2)
```

```
%check the nodes that are connected to a Pico gateway.
```

```
for i=1:nN  
for j=1:nGPico  
dP(j,i) = radiusPico^2 - ((nodes(i,2)-gatewaysPico(j,2))^2 +  
(nodes(i,3)-gatewaysPico(j,3))^2);  
end  
end
```

```
%check the nodes that are connected to a Macro gateway.
```

```
for i=1:nN  
for j=1:nGMacro  
dM(j,i) = radiusMacro^2 - ((nodes(i,2)-gatewaysMacro(j,2))^2 +  
(nodes(i,3)-gatewaysMacro(j,3))^2);  
end  
end
```

Η εικόνα που ακολουθεί είναι το αποτέλεσμα αφού έχουν δημιουργηθεί οι κόμβοι και έχουν ελεχθεί αν είναι συνδεδεμένοι σε κάποιες από τις πύλες. Οι στρόγγυλοι μωβ κύκλοι είναι οι συνδεδεμένοι ακίνητοι κόμβοι και οι μπλε είναι οι κόμβοι που κινούνται με υψηλή ταχύτητα.

Οι μαύροι σταυροί είναι οι ακίνητοι κόμβοι που δεν έχουν κάλυψη, ενώ οι κόκκινοι σταυροί είναι αυτοί που δε κατάφεραν να έχουν κάλυψη και κινούνται με υψηλή ταχύτητα.

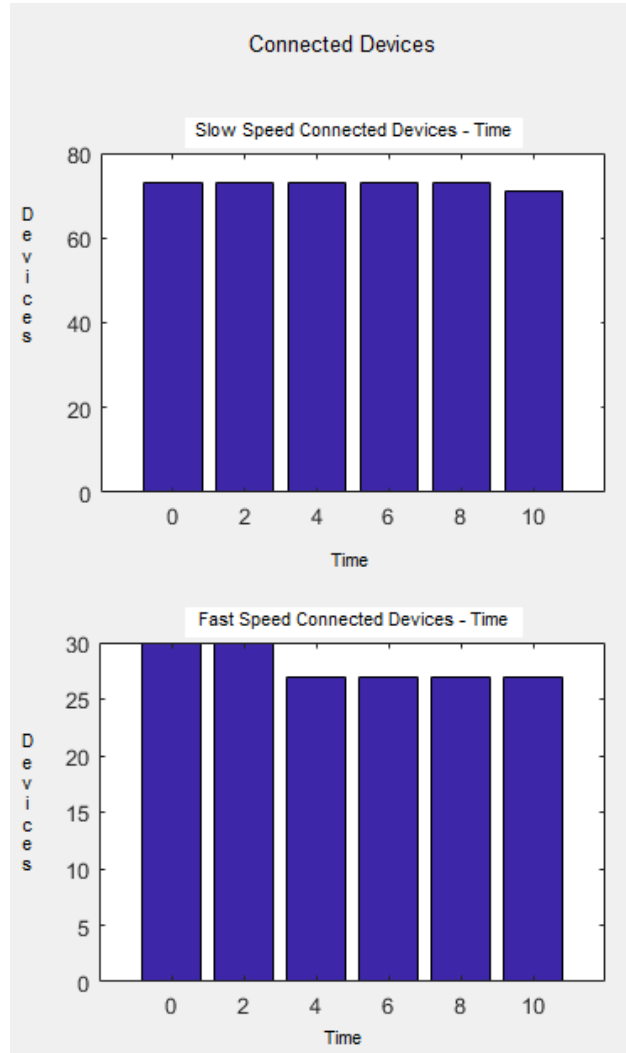
Βέβαια λόγω της κίνησης αυτό αλλάζει από χρονική στιγμή σε χρονική στιγμή.



**Εικόνα 39 : Εμφάνιση των κινούμενων και των ακίνητων κόμβων στο περιβάλλον της προσομοίωσης.**

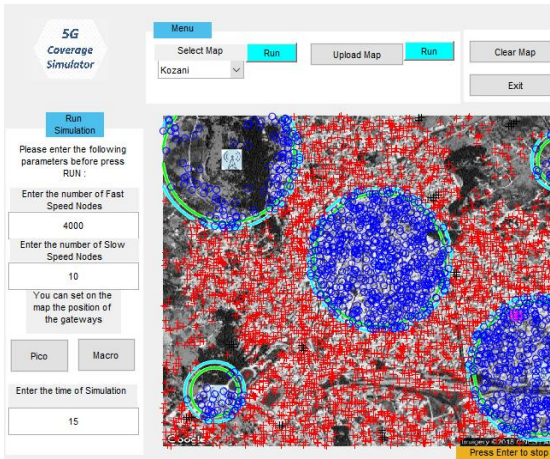
Με σκοπό να απεικονιστεί πως μεταβάλλεται η κάλυψη των κόμβων σε σχέση με τον χρόνο εξάγονται τα εξής γραφήματα.



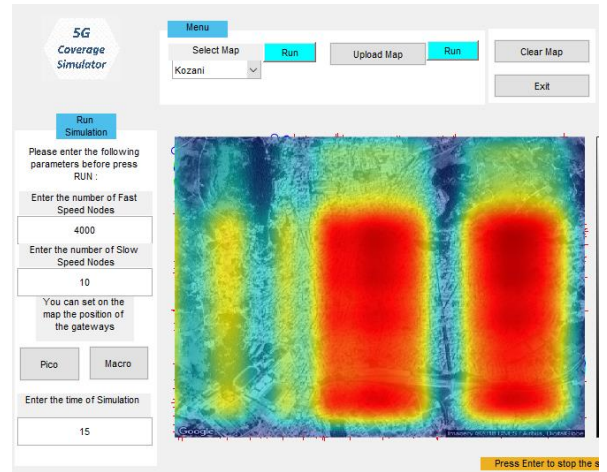


*Εικόνα 40 : Γράφημα των συνδεδεμένων συσκευών σε σχέση με το χρόνο.*

Επιπρόσθετα έχει δημιουργηθεί και μια γραφική αναπαράσταση ενός heatmap. Ένας βασικός περιορισμός για να λειτουργήσει σωστά το heatmap είναι να υπάρχουν αρκετοί κόμβοι για να μπορέσει να χρησιμοποιήσει η συνάρτηση τα δεδομένα ώστε να διαμορφώσει ανάλογα την εικόνα.



**Εικόνα 41 : Παράδειγμα προσομοίωσης**

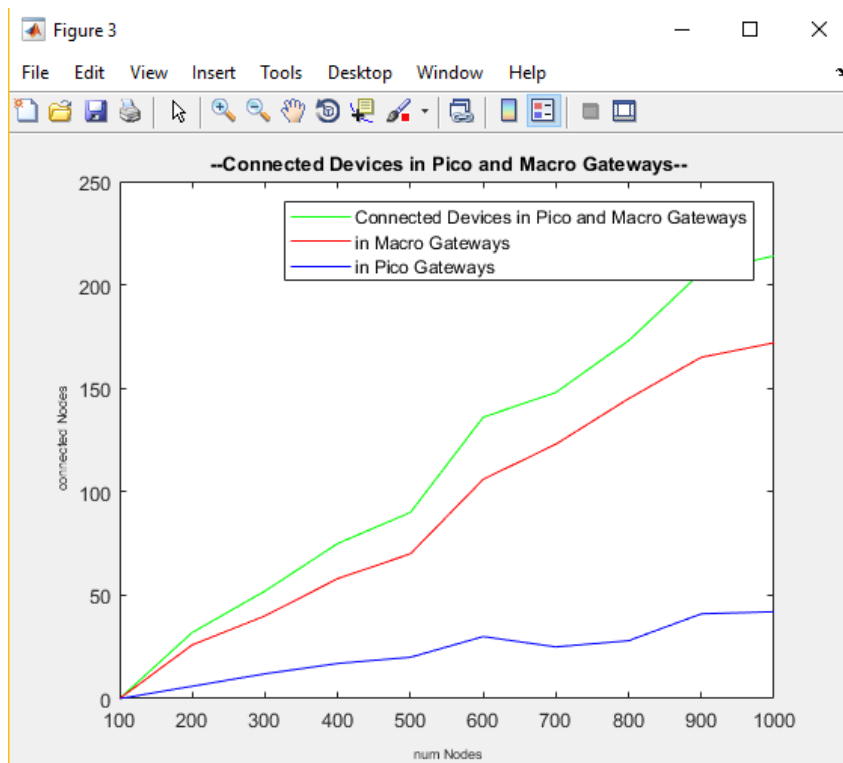


**Εικόνα 42 : Παράδειγμα Heatmap**

## 5.5 Σενάρια Κάλυψης

Και τέλος, θα αναλυθούν τα διάφορα σενάρια κάλυψης που έχουν μελετηθεί και τα σχετικά γραφήματα που προκύπτουν.

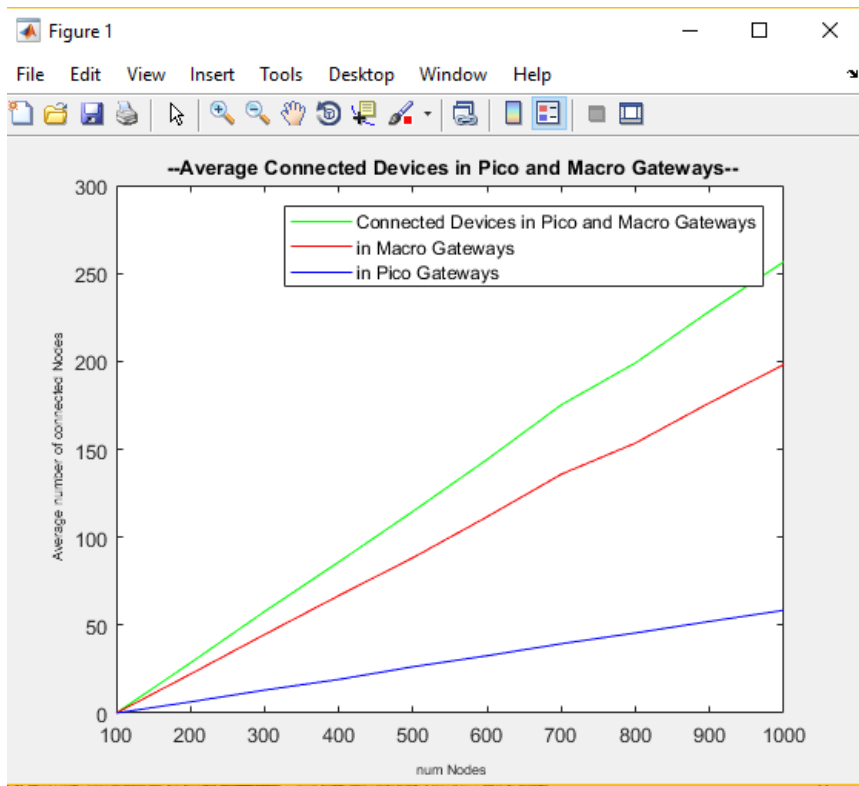
- Στο πρώτο σενάριο κάλυψης έχει επιλεχθεί μία πόλη και η θέση των πυλών (gateways). Δεν υπάρχει κίνηση και οι κόμβοι είναι τυχαία τοποθετημένοι στο χώρο. Θα αλλάζει ο αριθμός των κόμβων σε κάθε επανάληψη της προσομοίωσης από 100 στους 1000. Η ακτίνα κάλυψης των pico gateways θα είναι 50 m και η ακτίνα κάλυψης των macro gateways θα είναι 150 m.



*Εικόνα 43 : Γράφημα συνδεδεμένων συσκευών σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων που αυξάνεται από 100 σε 1000.*

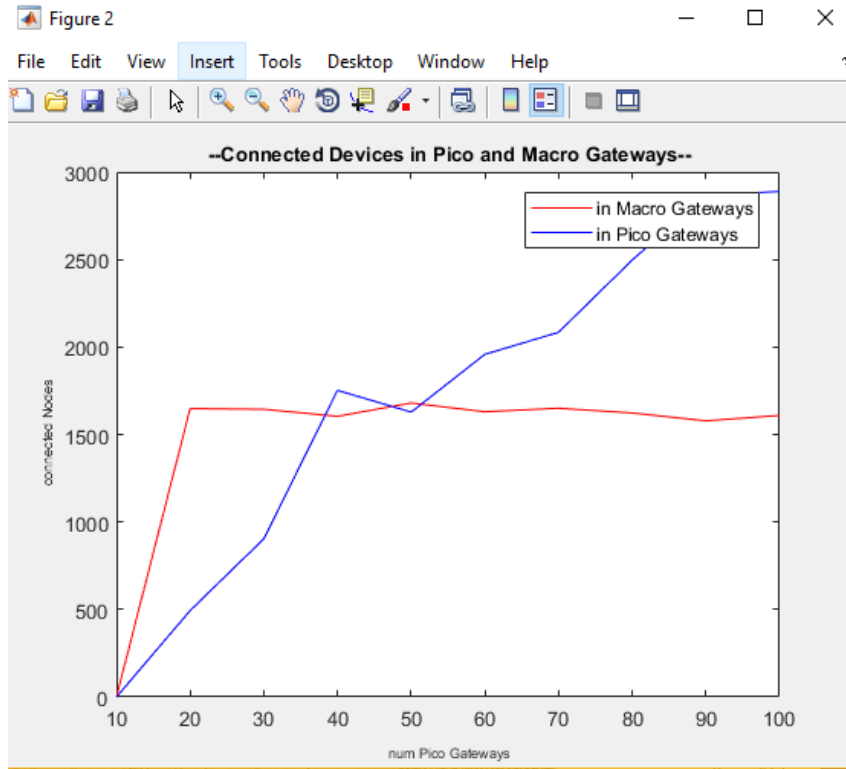
Παρατηρείται ότι καθώς ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται περισσότεροι κόμβοι συνδέονται σε macro gateways.

Για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων η ίδια προσομοίωση επαναλαμβάνεται 100 φορές, προσθέτοντας κόμβους με τυχαιότητα.



**Εικόνα 44 : Επανάληψη προσομοίωσης που αυξάνεται ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών από 100 σε 1000 100 φορές.**

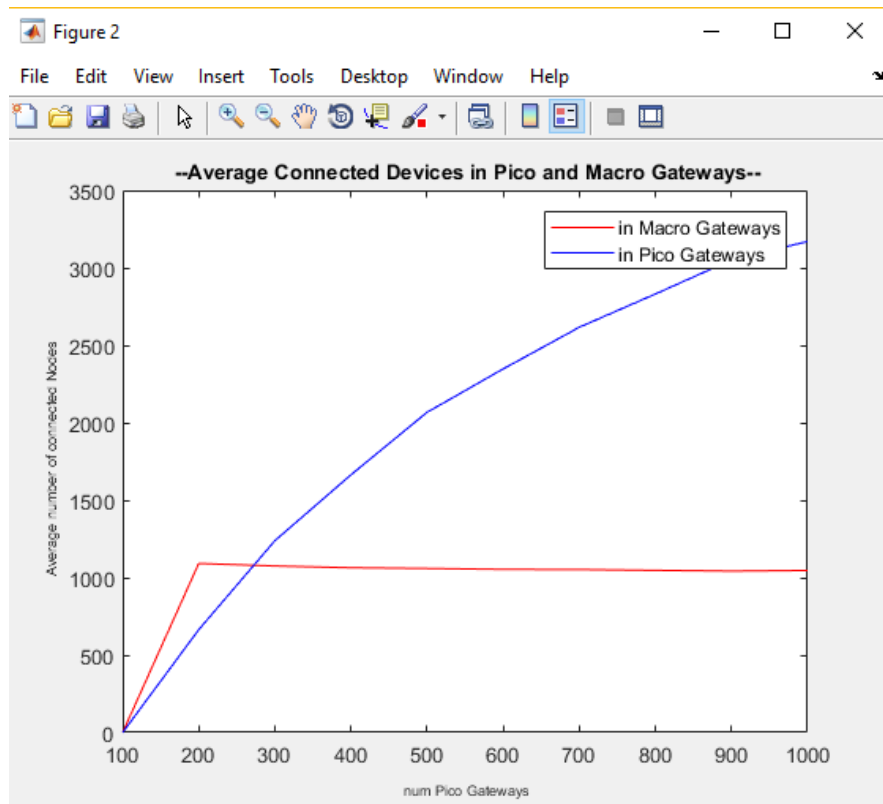
- Στο δεύτερο σενάριο κάλυψης αυξάνεται ο αριθμός των pico gateways από 10 σε 100 και τοποθετούνται στο πεδίο εφαρμογής με τυχαιότητα ενώ τα macro gateways θα παραμένουν ως όρισε ο χρήστης. Οι κόμβοι παραμένουν ακίνητοι και είναι ίσοι με 5000. Η ακτίνα κάλυψης των pico gateways θα είναι 50 m και η ακτίνα κάλυψης των macro gateways θα είναι 150 m.



**Εικόνα 45 :** Γράφημα συνδεδεμένων συσκευών σε σχέση με τον αριθμό των pico gateways που αυξάνεται από 10 σε 100 ενώ τα macro gateways παραμένουν ως όρισε ο χρήστης.

Παρατηρείται ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των pico gateways η κάλυψη των κόμβων αυξάνεται αισθητά από τα pico gateways, μέχρι τη τιμή των 80 κόμβων που μετά παρατηρείται μια μείωση.

Για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων πραγματοποιούμε τη προσομοίωση με τα ίδια χαρακτηριστικά 100 φορές.

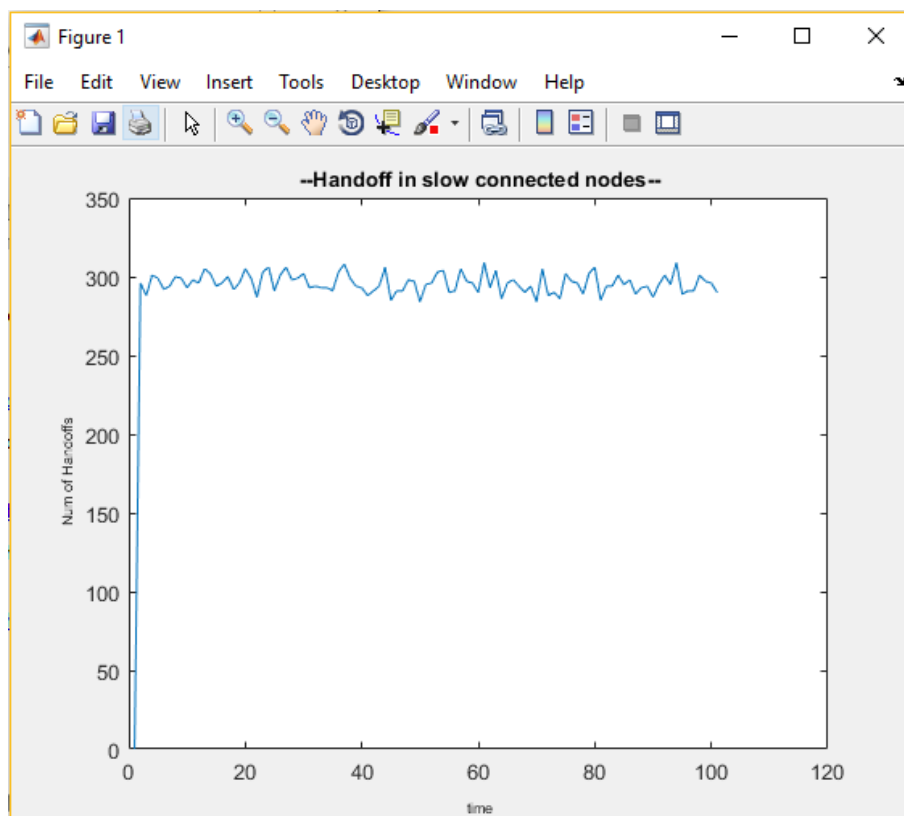


**Εικόνα 46 :** Επανάληψη προσομοίωσης που αυξάνεται ο αριθμός των pico gateways από 10 σε 100 ενώ τα macro gateways παραμένουν ως όρισε ο χρήστης 100 φορές.

Έπειτα πραγματοποιούνται σενάρια κάλυψης για τους κινητούς κόμβους. Ο τρόπος προσέγγισης διαφοροποιείται, αυξάνοντας κατά πολύ το χρόνο προσομοίωσης, ώστε να προκύψουν παρατηρήσεις σχετικά με τις μεταβιβάσεις(handover)

- Στο σενάριο 3 υπάρχει κίνηση και γρήγορη και αργή, και οι κόμβοι είναι τυχαία τοποθετημένοι στο χώρο. Οι γρήγοροι κόμβοι κινούνται κατά κύριο λόγο πάνω σε δρόμους. Οι αργοί είναι τυχαία τοποθετημένοι σε όλη την έκταση της περιοχής με ομοιόμορφη κατανομή.Ο αριθμός των κόμβων είναι 1000 και στις δύο περιπτώσεις.

Σε αυτό το σημείο μελετούνται πόσες μεταβολές υπάρχουν στη κάλυψη σε γρήγορους και αργούς κόμβους στη διάρκεια του χρόνου.



**Εικόνα 47 : Αριθμός διαλλείψεων στη διάρκεια του χρόνου.**

Οι κόμβοι καθώς κινούνται, αποσυνδέονται και συνδέονται στις κεραιές με αποτέλεσμα, να δημιουργούνται αρκετές διαλλείψεις στη διάρκεια του χρόνου. Αυτό θα μπορούσε να βελτιωθεί με τη πυκνή εφαρμογή micro cell στη περιοχή.

---

Η τοποθέτηση μικρής εμβέλειας πυλών (pico cell gateways) φαίνεται να είναι πιο εύκολη σε σύγκριση με την τοποθέτηση μεγάλης εμβέλειας πυλών (macro cell gateways), ειδικά σε περιπτώσεις που οι μικρής εμβέλειας πύλες μπορεί να είναι plug and play και με αυτό τον τρόπο να δίνουν ελευθερία στο χρήστη να καλύψει τις δικές του ανάγκες κάλυψης.



## Κεφάλαιο 6

### **Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα**

Οι απαιτήσεις των χρηστών για μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων, μεγαλύτερο εύρος ζώνης, για παροχή της καλύτερης εμπειρίας χρήσης ακόμα και όταν είναι εν κινήσει ή σε ώρες αιχμής, που το δίκτυο καλείται να ανταποκριθεί σε μεγάλες ποσότητες κίνησης δεδομένων, αυξάνονται όλο και περισσότερο. Για να ανταπεξέλθει το υπάρχον δίκτυο πρόσβασης στις νέες συνθήκες που διαμορφώνονται, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη των νέων δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς.

Όπως έχει αναφερθεί, για την ενσωμάτωση των δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς στα ήδη εφαρμοσμένα δίκτυα δεν απαιτείται να επενδύσουμε σε καινούριες υποδομές και να σχεδιάσει ένα καινούριο κορμό δικτύου. Αρκεί να διαμορφωθούν οι ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες για να εξυπηρετούν τις προδιαγραφές των 5g δικτύων. Κλειδί στην επίτευξη του στόχου αυτού σίγουρα θα αποτελέσει η κατανομή νέου φάσματος στη κλίμακα των μικροκυμάτων - mmwaves και η χρήση πολλαπλών κεραιών (MIMO). Αυτές είναι μόνο το βασικό κλειδί, αλλά υπάρχουν ακόμα πολλές λεπτομέρειες που μελετούνται από την επιστημονική κοινότητα για να κάνουν τα 5g δίκτυα πραγματικότητα. Σημαντικό ρόλο έχουν σε αυτή την εξέλιξη και οι οργανισμοί προτυποποίησης, που φέρουν στο προσκήνιο τα πρώτα πλάνα τους για την επίσημη καθιέρωση των δικτύων επόμενης γενιάς.

Μέσα από την εξέλιξη των 5g δικτύων αναδύεται και μια ακόμα τεχνολογία, αυτή των M2M δικτύων. Στο μέλλον η δομή της κοινωνίας και η αντίληψη μας για τον κόσμο θα αλλάξει, αφού κάθε συσκευή θα είναι έξυπνη και θα αλληλεπιδρά με το περιβάλλον. Αυτό που πρέπει να διασφαλίσουμε εμείς, ως επιστήμονες, είναι αυτή η μετάβαση να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μη βλάψει την περιβαλλοντολογική και ανθρώπινη φύση.

Σίγουρα, ένα θέμα που έχει να αντιμετωπίσει η επιστημονική κοινότητα είναι να βρεθούν οι πιο αποδοτικοί τρόποι έτσι ώστε το νέο δίκτυο να παρέχει συνεχή κάλυψη με τη βέλτιστη ποιότητα υπηρεσιών. Σε αυτό το σημείο βασίζεται και η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Η κύρια συνεισφορά της εργασίας στο χώρο των 5G δικτύων προκύπτει με τη δημιουργία της προσομοίωσης που αφορά M2M κάλυψη σε μια περιοχή, την οποία επιλέγει ο ίδιος ο χρήστης. Πιο λεπτομερώς, η εφαρμογή έχει σκοπό να διευκολύνει τους χρήστες στις αποφάσεις τους για τη τοποθέτηση των πυλών(gateways) τους σε μια δεδομένη περιοχή, χρησιμοποιώντας ένα γραφικό περιβάλλον. Οι παράμετροι αυτής της προσομοίωσης είναι πρώτον, η περιοχή που επιλέγει ο χρήστης, δεύτερον οι κόμβοι, δηλαδή στη περίπτωση μας οι M2M συσκευές οι οποίοι τοποθετούνται με τυχαιότητα στο πεδίο κάλυψης και τέλος οι πύλες, οι οποίες τοποθετούνται στο πεδίο κάλυψης από το χρήστη. Αξίζει να

σημειωθεί, ότι υπάρχουν δύο είδη πυλών, αυτές της μικρής εμβέλειας και αυτές της μεγάλης εμβέλειας. Στη πορεία της εργασίας μελετήθηκαν διάφορα σενάρια κάλυψης, είτε με ακίνητους είτε με κινητούς κόμβους. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτή τη μελέτη είναι ότι ο τεράστιος όγκος συσκευών που θα υπάρχει πρέπει να εξυπηρετηθεί με την εισαγωγή έξυπνων κεραιών που θα προσαρμόζονται δυναμικά στις απαιτήσεις των χρηστών και του περιβάλλοντος.

Πιο συγκεκριμένα, στα πλαίσια των δοκιμών και των σεναρίων κάλυψης εξετάζεται η πυκνότητα των κόμβων, η πυκνότητα των πυλών και τέλος εξετάζεται και ο ρυθμός διαλλείψεων που προκύπτει από τη κίνηση των κόμβων. Αρχικά, ο αριθμός των κόμβων αλλάζει από 100 σε 1000, ενώ οι πύλες παραμένουν ως όρισε ο χρήστης, με τις μικρής εμβέλειας πύλες να έχουν περίμετρο κάλυψης 50m και τις μεγάλης εμβέλειας πύλες να έχουν περίμετρο 150m. Το συμπέρασμα που προκύπτει από αυτό το σενάριο κάλυψης είναι ότι όσο αυξάνονται οι κόμβοι τείνουν να συνδέονται περισσότεροι στις πύλες με τη μεγάλη περίμετρο κάλυψης. Στο επόμενο σενάριο κάλυψης, οι κόμβοι παραμένουν σταθεροί ίσοι 5000 και αυξάνεται ο αριθμός των μικρής εμβέλειας πυλών από 10 σε 100, τοποθετούμενοι στο πεδίο κάλυψης με τυχαιότητα ενώ οι μικρής εμβέλειας πύλες παραμένουν ως όρισε ο χρήστης. Δεν υπάρχει το ίδιο σενάριο κάλυψης με το να αλλάζει ο αριθμός των μεγάλης εμβέλειας πυλών, αφού δεν είναι κάτι που μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα σε πραγματικά δεδομένα. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των μικρής εμβέλειας πυλών είναι πραγματοποιήσιμο να επιτύχουν επαρκή κάλυψη. Επειτα υπάρχει σενάριο κάλυψης με κόμβους που κινούνται και μελετούνται οι διαλλείψεις που συμβαίνουν σε μια χρονική περίοδο. Οι κόμβοι καθώς κινούνται, αποσυνδέονται και συνδέονται στις κεραιές με αποτέλεσμα, να δημιουργούνται αρκετές διαλλείψεις στη διάρκεια του χρόνου. Αυτό θα μπορούσε να βελτιωθεί με τη πυκνή εφαρμογή micro cell στη περιοχή.

Αναμφίβολα, ο σωστός σχεδιασμός των κυψελών και των ραδιοσυχνοτήτων είναι ένα κρίσιμο κομμάτι του σχεδιασμού κυψελωτών δικτύων και για να προκύψει μια καλύτερη εικόνα της αποδοτικότητας του συστήματος κάλυψης, θα μπορούσε να αυξηθεί το μέγεθος του δικτύου, ο όγκος των δεδομένων, συνολικός χρόνος της προσομοίωσης καθώς ακόμα να ληφθούν υπόψιν χαρακτηριστικά των κεραιών που επηρεάζουν τη κάλυψη. Βέβαια όλες αυτές οι λεπτομέρειες αποτελούν έναυσμα για μελλοντική έρευνα και επέκταση της εργασίας, ώστε να αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα κάλυψης.

Συνολικά, τα σημαντικότερα προσωπικά πορίσματα, στα οποία κατέληξα είναι πως τα δίκτυα νέας γενιάς, 5G, κρίνονται απαραίτητα για την μελλοντική εξέλιξη της επιστήμης και του «ανθρώπου της νέας γενιάς». Οι επιστήμονες, και εγώ με τη σειρά μου, μελετούν πώς να κάνουν αυτά τα δίκτυα πραγματικότητα. Ο βαθμός εκπλήρωσης των στόχων, σύμφωνα με τη διπλωματική εργασία, έφτασε σε ένα επιθυμητό επίπεδο, όπου ήρθα αντιμέτωπη με επιστημονικές έννοιες που

---

καλέστηκα να κατανοήσω και στη συνέχεια να αναπτύξω, ώστε να φέρω εις πέρας αυτή την εργασία.

### **Μελλοντική έρευνα**

Είναι γνωστό ότι φύση του ανθρώπου είναι αδιάλλειπτη στο να δημιουργεί και να ανακαλύπτει νέα πράγματα, σε αυτό το σημείο θέλω να αναφέρω ότι ορισμένες ερευνητικές ομάδες ήδη κάνουν έρευνες για 6g δίκτυα. Τα 6g δίκτυα θα βασίζονται στη κβαντική τεχνολογία, που είναι το επόμενο βήμα μετά την οπτική ίνα από την άποψη της ταχύτητας. Αρκετοί ερευνητές κβαντών εξετάζουν τις εξελίξεις στον τομέα της πληροφορικής, συμπεριλαμβανομένων των κβαντικών τσιπ, των μπαταριών και των δικτύων. Το θέμα είναι ότι η κβαντική φυσική είναι ακόμα σχετικά νέα και χρειάζεται πολλή έρευνα προτού ανακοινωθούν ορισμοί.

Επίσης, μιας και η εξέλιξη δε σταματάει στα όρια αυτού του πλανήτη πλέον, υπάρχουν έρευνες που επικεντρώνονται στο πώς να δημιουργήσουν ταιριαστά δίκτυα σε άλλους πλανήτες και να τα συνδέσουν με αυτά τη γης.

Σύμφωνα με όλα αυτά λοιπόν, η τεχνολογία άλλαξε την πορεία της ανθρώπινης ιστορίας και έφερε επαναστατικές αλλαγές σε όλους τους τομείς της ζωής μας και συνεχίζει να εξελίσσεται ραγδαία με σκοπό να εξυπηρετεί τις ανάγκες του ανθρώπου. Η ευθύνη για τη σωστή χρήση της εναπόκειται στον ίδιο τον άνθρωπο και ως επιστήμονες θα συνεχίσουμε να συμμετέχουμε ενεργά σε αυτές τις εξελίξεις. Η τεχνολογία των 5G δε βρίσκεται μακριά μας, οι βασικοί πυλώνες έχουν τοποθετηθεί, οι κύριες τεχνικές έχουν μελετηθεί και βελτιώνονται, οπότε είμαστε έτοιμοι να καλώς ορίσουμε αυτή τη καινούρια δομή δικτύου.

---

## Βιβλιογραφία

[1] "Afif Osseiran, Jose F. Monserrat, Patrick Marsch, and Olav Queseth 5G Mobile and Wireless Communications Technology, ed. A. Osseiran, J. F. Monserrat, and P. Marsch, Cambridge University Press 2016."

[2] "Frame Structure - Downlink", Available: [http://www.sharetechnote.com/html/Handbook\\_UMTS\\_Index.html](http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_UMTS_Index.html), [Jun. 23, 2018]

[3] Sascha Segan, "What is 5G? | PCMag.com", Available: <https://www.pcmag.com/article/345387/what-is-5g>, Mar. 20, 2018, [Jun. 23, 2018]

[4] Series, M. "IMT Vision–Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond." (2015).

[5] ETSI, "Why do we need 5G", Available: <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/5g> [Jun. 23, 2018]

[6] "International Telecommunication Union, ITU-R M.2083-0, "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond", Geneva 2015

[7] "Software-Defined Networking (SDN) Definition | ONF", Available: <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/>

[8] "Fog and IoT: An Overview of Research Opportunities", Available: <https://www.openfogconsortium.org/resources/#definition-of-fog-computing> [Jun. 23, 2018]

[9] Zhao, Xiongwen, et al. "Channel measurements, modeling, simulation and validation at 32 GHz in outdoor microcells for 5G radio systems." IEEE Access 5 (2017): 1062-1072.

[10] "Study paper on Self Organising Network", Available: <http://tec.gov.in/pdf/Studypaper/Self%20Organising%20Network.pdf>

[11] David Scott Brown , "The Future of 5G Mobile: The IMT Vision", Available: <https://www.techopedia.com/2/31634/in-the-news/the-future-of-5g-mobile-the-imt-vision> [April 25, 2016]

[12] Marzetta T.L. Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas. IEEE Trans. Wirel. Commun. 2010;9(11):3590–3600

[13] Dai, Linglong, et al. "MmWave Massive MIMO." O'Reilly | Safari, Que, [www.safaribooksonline.com/library/view/mmwave-massive-mimo/9780128044780/B9780128044186000017.xhtml](http://www.safaribooksonline.com/library/view/mmwave-massive-mimo/9780128044780/B9780128044186000017.xhtml).

- 
- [14] Wong, Vincent WS, and Li-Chun Wang, eds. Key Technologies for 5G Wireless Systems. Cambridge university press, 2017.
- [15] Xiaodong Wang19. "OFDM and Its Application to 4G - IEEE Conference Publication." Design and Implementation of Autonomous Vehicle Valet Parking System - IEEE Conference Publication, Wiley-IEEE Press, 19 Dec. 2005, ieeexplore.ieee.org/document/1553751/
- [16] Dr Rupesh Singh, "Multiple Access Techniques For 4G Mobile Wireless Networks", International Journal of Engineering Research and Development , Volume 5, Issue 11 (February 2013), PP. 86-94  
, Available: <http://www.ijerd.com/paper/vol5-issue11/M05118694.pdf>
- [17] Daniel Benevides da Costa, editor. "Non-Orthogonal Multiple Access for 5G Systems." IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 35, no. 1, 2017, pp. 238–238., doi:10.1109/jsac.2016.2634480.
- [18] S. M. Riazul Islam, Member, IEEE, Ming Zeng, Student Member, IEEE, Octavia A. Dobre, Senior Member IEEE, "NOMA in 5G Systems: Exciting Possibilities for Enhancing Spectral Efficiency", IEEE 5G Tech Focus: Volume 1, Number 2, June 2017  
Available: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1706/1706.08215.pdf>
- [19] Cosmas, John, Yue Zhang, and Xun Zhang. "Internet of Radio-Light: 5G Broadband in Buildings." European Wireless 2017; 23th European Wireless Conference; Proceedings of. VDE, 2017.
- [20] "5G network architecture | 5G protocol stack", Available: <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/5G-network-architecture.html>
- [21] Camps, Frédéric. Connected objects, IoT, M2M, architecture, protocols,. Diss. LAAS-CNRS, 2017.
- [22] CHIH-LIN I, et al. "IEEE Xplore Full-Text PDF:" Design and Implementation of Autonomous Vehicle Valet Parking System - IEEE Conference Publication, Wiley-IEEE Press, 22 Aug. 2014, ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6882182.
- [23] Wang, Li-Chun, et al. "Key Technologies for 5G Wireless Systems." O'Reilly | Safari, Que, [www.safaribooksonline.com/library/view/key-technologies-for/9781316780374/xhtml/ch01.html#sec\\_1.3](http://www.safaribooksonline.com/library/view/key-technologies-for/9781316780374/xhtml/ch01.html#sec_1.3).
- [24] Lee, Moon-Il, et al. "Method and apparatus for enhancing coverage of machine type communication (mtc) devices." U.S. Patent Application No. 14/046,173

- 
- [25] "3G UMTS WCDMA Frequency Bands & UARFCN", Available: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/umts/umts-wcdma-frequency-bands-frequencies.php> [Jun. 23, 2018]
- [26] "LTE Frequency Bands, Spectrum & Channels", Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/frequency-bands-channels-spectrum.php> [Jun. 23, 2018]
- [27] Gandotra, Pimmy, Rakesh Kumar Jha, and Sanjeev Jain. "Green communication in next generation cellular networks: a survey." *IEEE Access* 5 (2017): 11727-11758.
- [28] Demestichas, Panagiotis, et al. "5G on the horizon: Key challenges for the radio-access network." *IEEE Vehicular Technology Magazine* 8.3 (2013): 47-53
- [29] Niu, Yong, et al. "A survey of millimeter wave communications (mmWave) for 5G: opportunities and challenges." *Wireless Networks* 21.8 (2015): 2657-2676.
- [30] Rappaport, Theodore S., et al. "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!." *IEEE access* 1 (2013): 335-349.
- [31] Gupta, Akhil, and Rakesh Kumar Jha. "A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies." *IEEE access* 3 (2015): 1206-1232.
- [32] Taori, Rakesh, and Arun Sridharan. "Point-to-multipoint in-band mmwave backhaul for 5G networks." *IEEE Communications Magazine* 53.1 (2015): 195-201.
- [33] Huh, Hoon, et al. "Achieving" massive MIMO" spectral efficiency with a not-so-large number of antennas." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 11.9 (2012): 3226-3239.
- [34] Clerckx, Bruno, and Claude Oestges. *MIMO wireless networks: channels, techniques and standards for multi-antenna, multi-user and multi-cell systems*. Academic Press, 2013.
- [35] Islam, SM Riazul, et al. "Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 19.2 (2017): 721-742.
- [36] Singh, Sapana, and Pratap Singh. "Key concepts and network architecture for 5G mobile technology." *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET)* 1.5 (2012): 165-170.
- [37] Hersent, Olivier, et al. "M2M Communications: A Systems Approach." O'Reilly | Safari, Que, [www.safaribooksonline.com/library/view/m2m-communications-a/9781119940968/9781119940968c01.xhtml#c01\\_level1\\_1](http://www.safaribooksonline.com/library/view/m2m-communications-a/9781119940968/9781119940968c01.xhtml#c01_level1_1).

---

[38] Energy efficient wireless unicast routing alternatives for machine-to-machine networks

Department of Electrical and Electronics Engineering, Middle East Technical University, Ankara 06531 Turkey [2011]

[39] Dohler, Mischa, and Carles Anton-Haro. "Machine-to-Machine (M2M) Communications." O'Reilly | Safari, Que, [www.safaribooksonline.com/library/view/machine-to-machine-m2m-communications/9781782421023/B9781782421023000010.xhtml#s0010](http://www.safaribooksonline.com/library/view/machine-to-machine-m2m-communications/9781782421023/B9781782421023000010.xhtml#s0010).

[40] Neyre Tekbiyik Elif Uysal Biyikoglu, "Energy efficient wireless unicast routing alternatives for machine-to-machine networks", *Journal of Network and Computer Applications* Volume 34, Issue 5, September 2011, Pages 1587-1614 Available:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804511000439>

[41] Mehmood, Yasir, et al. "M2M communications in 5G: state-of-the-art architecture, recent advances, and research challenges." *IEEE Communications Magazine* 55.9 (2017): 194-201.

[42] Tarik Taleb, et al. "Telecommunications Standards - IEEE Journals & Magazine." Design and Implementation of Autonomous Vehicle Valet Parking System - IEEE Conference Publication, Wiley-IEEE Press, 22 Mar. 2013, [ieeexplore.ieee.org/document/6476869/](http://ieeexplore.ieee.org/document/6476869/).

[43] T. Adame, A. Bel, B. Bellalta, J. Barcelo, M. Oliver, "IEEE 802.11ah: The Wi-Fi Approach for M2M Communications", October 7, 2014 Available:<https://arxiv.org/pdf/1402.4675.pdf>

[44] "ITU, Radio Network Planning Tools Basics, Practical Examples & Demonstration on NGN Network Planning Part I", Available: [https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2005/Belgrade-05/Day%204/Belgrade\\_6\\_5.pdf](https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2005/Belgrade-05/Day%204/Belgrade_6_5.pdf)

[45] Christodoulou, Christos G., and Nathan Blaunstein. "Radio Propagation and Adaptive Antennas for Wireless Communication Networks, 2nd Edition." O'Reilly | Safari, Que, [www.safaribooksonline.com/library/view/radio-propagation-and/9781118816721/c05.xhtml](http://www.safaribooksonline.com/library/view/radio-propagation-and/9781118816721/c05.xhtml).

[46] E. Yaacoub and Z. Dawy, "LTE Radio Network Planning HetNets: BS Placement Optimization Using Simulated Annealing," *IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, April 2014.

[47] Parker, Don, and David C. Zimmermann. "Phased arrays-part 1: theory and architectures." *IEEE transactions on microwave theory and techniques* 50.3 (2002): 678-687.

---

[48] Hafeth Hourani, "An Overview of Adaptive Antenna Systems ", S-72.333 Postgraduate Course in Radio Communications (2004/2005), Available:[http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004\\_2005\\_slides/Adaptive\\_antennas\\_text.pdf](http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004_2005_slides/Adaptive_antennas_text.pdf)

[49] Shafi, Mansoor, et al. "5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 35.6 (2017): 1201-1221.

[50] N. Ahmed, H. Rahman, Md.I. Hussain, "A comparison of 802.11ah and 802.15.4 for IoT", IC Express, Volume 2, Issue 3, 2016

[51] Shaikh, Faisal Karim, Sherali Zeadally, and Ernesto Exposito. "Enabling technologies for green internet of things." *IEEE Systems Journal* 11.2 (2017): 983-994.

[52] "Radio Propagation Modeling", Available: <http://morse.colorado.edu/~tlen5510/text/classwebch3.html>

[53] Peter Kubat, J. MacGregor Smith, Calvin Yum, "Design of Cellular Networks with Diversity and Capacity Constraints" , IEEE transactions on reliability, vol. 49, no. 2, june 2000, Available:<http://www.pitt.edu/~dtipper/3955/Kubat.pdf>

## Εικόνες

[i] Digital image , Available: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/80211-channels-number-frequencies-bandwidth.php>

[ii] Digital image, Available: <https://blogs.cisco.com/sp/cisco-5g-now>

[iii] Digital image , Available: <https://www.safaribooksonline.com/library/view/fundamentals-of-5g/9781118867525/c01.xhtml#head-2-5>

[iv] Digital image , Available: <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/5g>

[v] Digital image , Available: <https://www.vodafone.com/content/dam/vodafone-images/public-policy/reports/pdf/gigabit-society-5g-14032017.pdf>

[vi] Digital image , Available: <https://www.google.gr/search?q=cloud+ran&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ve>



---

d=0ahUKEwjV1OzIqsvZAHUDtBQKHUEUAW8Q\_AUICigB&biw=1920&bih=922#imgsrc=grg2AiXAwifSWM:

[vii] Digital image , Available:  
[https://www.safaribooksonline.com/library/view/key-technologies-for/9781316780374/xhtml/ch01.html#sec\\_1.3](https://www.safaribooksonline.com/library/view/key-technologies-for/9781316780374/xhtml/ch01.html#sec_1.3)

[viii] Digital image , Available:  
<https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/everything-you-need-to-know-about-5g>

[ix] Digital image , Available:  
[https://www.google.gr/search?q=spectrum&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjP5ZroqMvZAHUHRhQKHwTRCE0Q\\_AUICigB&biw=1920&bih=922#imgsrc=DIwCO6SkITCKIM](https://www.google.gr/search?q=spectrum&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjP5ZroqMvZAHUHRhQKHwTRCE0Q_AUICigB&biw=1920&bih=922#imgsrc=DIwCO6SkITCKIM)

[x] Digital image , Available:  
[https://www.safaribooksonline.com/library/view/key-technologies-for/9781316780374/xhtml/ch01.html#sec\\_1.2](https://www.safaribooksonline.com/library/view/key-technologies-for/9781316780374/xhtml/ch01.html#sec_1.2)

[xi] Digital image , Available: <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/5g>

[xii] Digital image , Available:  
[http://berec.europa.eu/files/document\\_register\\_store/2015/10/BoR%20\(15\)%20177\\_BEREC%20Stakeholder%20Forum-M2M-CISCO.pdf](http://berec.europa.eu/files/document_register_store/2015/10/BoR%20(15)%20177_BEREC%20Stakeholder%20Forum-M2M-CISCO.pdf)

[xiii] Digital image , Available:  
<https://www.safaribooksonline.com/library/view/machine-to-machine-m2m-communications/9781782421023/B9781782421023000022.xhtml>

[xiv] Digital image , Available:  
[https://www.safaribooksonline.com/library/view/wireless-device-to-device-communications/9781316234822/0022\\_Chapter11.html#Xlte-arch-X](https://www.safaribooksonline.com/library/view/wireless-device-to-device-communications/9781316234822/0022_Chapter11.html#Xlte-arch-X)

[xv] Digital image , Available:  
[https://www.researchgate.net/publication/264846553\\_Machine-to-Machine\\_Communications\\_Architectures\\_Standards\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/264846553_Machine-to-Machine_Communications_Architectures_Standards_and_Applications)

[xvi] Digital image, Available:  
<http://blog.electronica.de/en/2016/12/06/wireless-transmitting-in-the-internet-of-things/>

[xvii] Digital image, Available:  
<https://commsbusiness.co.uk/features/software-defined-networking-sdn-explained/>

---

[xviii] Digital image , Available:

<https://www.anandtech.com/show/4289/verizon-4g-lte-two-dacards-wifi-hotspot-massively-reviewed/2>

[xix] Digital image, Hackaday, June 24, 2018, Available:

<https://hackaday.com/2016/09/06/hackaday-dictionary-muxdemux/>

[xx] Digital image, electronicnotes, Available: <https://www.electronicnotes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/tdd-fdd-td-lte-duplex-schemes.php>

[xxi] Digital image, Cisco blog

[xxii] Digital image, electronicnotes, Available: <https://www.electronicnotes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/frequency-bands-channels-spectrum.php>

[xxiii] Digital image, Quora, Available: <https://www.quora.com/How-does-5G-technology-work>

[xxiv] Digital image, ece-eee.final-year-projects , Available: <http://ece-eee.final-year-projects.in/a/3136-software-defined-networking-enabled-resource-management-and-security-provisioning-in-5g-heterogeneous-networks.html>

[xxv] Digital image, IEEE spectrum, Apr 1, 2017, Available:

<https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/5g-bytes-full-duplex-explained>

[xxvi] Digital image, Ebay