



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Διπλωματική Εργασία

**“Διαχωρισμός των ασύρματων δικτύων 5G σε
uplink και downlink”**

Συγγραφέας:

Βραχά Αγγελική

A.M.6009

Επιβλέπων:

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

Μέλη Επιτροπής Αξιολόγησης:

Μπερμπερίδης Κωνσταντίνος, Καθηγητής

Βλάχος Κυριάκος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Πάτρα 2020

© Copyright συγγραφέας Βραχά Αγγελική, 2020

© Copyright θέματος Χρήστος Μπούρας

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής του

Πανεπιστημίου Πατρών δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια της προπτυχιακής φοίτησης στο τμήμα των Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής (ΤΜΗΥΠ) του Πανεπιστημίου Πατρών. Ο τίτλος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι «*Διαχωρισμός των ασύρματων 5G δικτύων σε uplink και downlink*».

Πριν όμως ξεκινήσει η θεωρητική ανάπτυξη του θέματος θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά τον υπεύθυνο καθηγητή της διπλωματικής και καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών και Επιστημονικό Υπεύθυνο της Μονάδας 6 του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων (ITYE) κ. Χρήστο Ι. Μπούρα, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας το θέμα της διπλωματικής μου, αλλά και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε κατά την διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου στο Τμήμα.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Βαγγέλη Μίχο του οποίου η βοήθεια και η στήριξη ήταν καθοριστική για το ξεκίνημα της παρούσας διπλωματικής. Παρείχε την ιδέα και τον τρόπο να ξεκινήσω την συγγραφή της εργασίας αυτής.

Τέλος, ένα τεράστιο ευχαριστώ στους γονείς μου και τον αδερφό μου για την συνεχή τους στήριξη καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου ώστε να φτάσω στην επιτυχή ολοκλήρωσή τους. Όπως επίσης θέλω να ευχαριστήσω και τις φίλες μου για την δική τους πολύτιμη στήριξη.

Πάτρα, 2020

Βραχά
Αγγελική

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με το πέρασμα των χρόνων καθώς και με την τεχνολογία να εξελίσσεται τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς (5G) έρχονται για να καταλάβουν θέση στην καθημερινότητά μας. Με μία ανασκόπηση στα δίκτυα 1^{ης} - 4^{ης} γενιάς, φαίνονται έντονα οι διαφορές που θα έχουν με το 5G, τα οποία θα εξελίξουν τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες χρησιμοποιώντας small cells. Πιο αναλυτικά θα αναφερθούν τόσο τα πλεονεκτήματά τους όσο και τα μειονεκτήματά τους καθώς και η αρχιτεκτονική του δικτύου. Ιδιαίτερος στόχος της παρούσας διπλωματικής αποτελεί και ο διαχωρισμός (decoupling) του δικτύου προκειμένου να φανεί η σημαντικότητά του. Για το λόγο αυτό γίνεται η παρουσίαση και ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων μέσω μελέτης διαφόρων εργασιών.

ABSTRACT

With the passage of time as well as with the technology evolving the 5th generation (5G) networks come to take a place in our daily life. An overview of the 1st-4th generation networks clearly shows the differences they will have with 5G, which will evolve the existing technologies using small cells. Both their advantages and disadvantages as well as the network architecture will be mentioned in more detail. A special goal of this thesis is the decoupling of the network in order to show its importance. For this reason, the presentation and analysis of the experimental results are done through the study of various works.

**Κανείς δεν βλέπει το κακό πάνω στον ίδιο του τον εαυτό, αν όμως κάποιος άλλος συμπεριφερθεί κακά, τότε θα το διακρίνει τούτο καθαρά.
Σωκράτης**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	9
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : Δίκτυα 5G.....	13
1.1 Ιστορική εξέλιξη δικτύων	13
1.1.1 1G	13
1.1.2 2G	13
1.1.3 3G	14
1.1.4 4G	15
1.2 Εισαγωγή στα δίκτυα 5G.....	17
1.3 Αρχιτεκτονική δικτύων 5G	19
1.4 Εφαρμογές, υπηρεσίες και τεχνικά χαρακτηριστικά του 5G	22
1.5 Πλεονεκτήματα του 5G.....	25
1.5.1 Παροχή γρήγορης ταχύτητας.....	25
1.5.2 Αυτόνομη τεχνολογία αυτοκινήτων	25
1.5.3 Ρομποτική ιατρική πρόοδος.....	26
1.5.4 Εξέλιξη του IoT.....	27
1.5.5 Καλύτερες εμπειρίες παιχνιδιού	27
1.6 Μειονεκτήματα του 5G	28
1.7 Το 5G στην Ευρώπη	30
1.7.1 Το 5G στην Ελλάδα	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : Small cells.....	34
2.1 Εισαγωγή.....	34
2.2 Βασικά χαρακτηριστικά	35
2.2.1 Η σημαντικότητά τους για τα 5G δίκτυα.....	37
2.2.3 Μειονεκτήματα των small cells	39
2.3 Κατηγοριοποίηση των small cells.....	40
2.3.1 Femtocell.....	40
2.3.2 Picocell	42
2.3.3 Microcell.....	44
2.4 Σύντομη ανασκόπηση παλαιότερων αρχιτεκτονικών και αρχιτεκτονική C-RAN.....	46

2.4.1 Αρχιτεκτονική C-RAN	46
2.4.2 Πλεονεκτήματα της C-RAN.....	48
2.4.3 Μειονεκτήματα της C-RAN.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : Διαχωρισμός σε uplink και downlink	50
3.1 Παρεμβολές στα ασύρματα δίκτυα	50
3.1.1 Co-channel Interference	50
3.1.2 Adjacent channel Interference	52
3.1.3 Intermodulation Interference	53
3.2 Όσον αφορά το coupling/decoupling του UL/DL	55
3.3 Πλεονεκτήματα διαχωρισμού UL/DL	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : Πειραματική Προσέγγιση	60
4.1 Εισαγωγή.....	60
4.2 Μοντελοποίηση της χωρικής κατανομής χρηστών μέσω του μοντέλου Matern ...	60
4.2.1 Εισαγωγικά	60
4.2.2 Μοντέλο Συστήματος.....	61
4.2.3 Προτεινόμενος αλγόριθμος.....	62
4.2.4 Πίνακες παραμέτρων	64
4.2.5 Σχολιασμός αποτελεσμάτων	65
4.2.6 Σύνοψη	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : Συμπεράσματα και σύνοψη.....	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Δομή πρωτοκόλλου κινητής τηλεφωνίας 3G [4] 15
 Εικόνα 2: Η πορεία των ασύρματων δικτύων από το 1981 μέχρι σήμερα [5]..... 16
 Εικόνα 3: Αναπαράσταση αρχιτεκτονικής από άκρο σε άκρο [9] 19
 Εικόνα 4: Αρχιτεκτονική 5G [9]..... 20
 Εικόνα 5: Ετερογενές υπερπυκνό δίκτυο 5G [12] 20
 Εικόνα 6: Ταξινόμηση υπηρεσιών [13]..... 22
 Εικόνα 7: Αριθμός πόλεων με 5G στις χώρες της Ευρώπης [24] 31
 Εικόνα 8: Small cell τοποθετημένο σε στύλο [31] 36
 Εικόνα 9: Απαιτήσεις του δικτύου 5G [31]..... 37
 Εικόνα10:A Verizon and AT&T Femtocell [33] 41
 Εικόνα 11: Ένα μικροκύτταρο σε στήλο του δρόμου [39]..... 45
 Εικόνα 12: Περιοχές κάλυψης των cells [39] 45
 Εικόνα 13: Μία γενική αρχιτεκτονική του C-RAN [40] 47
 Εικόνα 14: Ομοκαναλική Παρεμβολή [45] 51
 Εικόνα 15: Απεικόνιση των ACLR/ACS [47] 53
 Εικόνα 16: Παθητική διαμόρφωση, επιστρέφοντας στη ζώνη δέκτη [48] 54
 Εικόνα 17: Κατανάλωση ενέργειας για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις [51] 57
 Εικόνα 18: Οι 3 περιπτώσεις για το SINR [51] 58
 Εικόνα 19: Απεικόνιση ενός AT-HCN [52] 61
 Εικόνα 20: Επίδραση της πυκνότητας BS χαμηλής ισχύος στις πιθανότητες συσχέτισης για τις περιπτώσεις 1-4 [52] 65
 Εικόνα 21: Πιθανότητα κάλυψης ως συνάρτηση της πυκνότητας BS χαμηλής ισχύος [52]... 66
 Εικόνα 22: Πιθανότητα κάλυψης ως συνάρτηση των συστάδων-UEs, όπου $\lambda_L = 10\lambda_H$, $\alpha_H = 3$ και $\alpha_L = 3,25$ [52]..... 67
 Εικόνα 23: Πιθανότητα συσχέτισης ως συνάρτηση της ισχύος μετάδοσης του UE [52]..... 68
 Εικόνα 24: Κάλυψη πιθανότητας ως συνάρτηση της ισχύος μετάδοσης του UE [52]..... 69

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Διαφορές μεταξύ Picocell και Femtocell.....	43
Πίνακας 2: Οι 4 περιπτώσεις που μελετήθηκαν	64
Πίνακας 3: Οι παράμετροι προσωμοιώσεις με επεξήγηση.....	64

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται όλες οι συντομογραφίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική μαζί με την επεξήγησή τους ταξινομημένες με αλφαβητική σειρά.

ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΙΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
ACI	Adjacent Channel Interference
ACLR	Adjacent Channel Leakage Ratio
AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
AS	Application Server
BBU	Base Band Unit
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
CAPEX	Capital Expenditure
C-RAN	Centralized Ran
DL	Downlink
DN	Data Network
DSL	Digital Subscriber Line
DUDe	Downlink Uplink Decoupling
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FDD	Frequency Division Duplex
GSM	Global System for Mobile communication
HCN	Health Communication Network
HD	High Definition
HQ	High Quality
IoT	Internet of Things

IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMS	Multimedia Messaging Service
MNO	Mobile Network Operator
NFV	Network Function Virtualization
OPEX	Operating Expense
P2P	Peer-2-Peer
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RF	Radio Frequency
RRH	Remote Radio Head
SDN	Software Defined Network
SINR	Signal-to-Interference-plus-noise ratio
SMS	Short Message Service
SNR	Signal-to-Noise-Ratio
TDD	Time Division Duplex
UE	User Equipment
V2V	Vehicle-to-Vehicle
VR	Virtual Reality
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Δίκτυα 5G

1.1 Ιστορική εξέλιξη δικτύων

1.1.1 1G

Η πρώτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, ή αλλιώς 1G, έκανε την εμφάνισή της το 1979 στο Τόκιο και κυκλοφόρησε από το Nippon Telegraph and Telephone (NTT). Η NTT είχε επεκτείνει το 1G για να καλύψει ολόκληρη την Ιαπωνία. Ακολούθως, το 1983 οι ΗΠΑ ενέκριναν τις πρώτες λειτουργίες 1G και το μοντέλο DynaTAC8000X της Motorola έγινε το πρώτο κινητό τηλέφωνο που έλαβε άδεια έγκρισης λειτουργίας. Ως τότε τα κινητά τηλέφωνα ήταν αρκετά ογκώδη και δεν μπορούσαν να έχουν ευρεία χρήση παρά μόνο ήταν τοποθετημένα σε αυτοκίνητα ή γραφεία. Παραλλαγές του δικτύου 1G μερικά χρόνια αργότερα δημιούργησαν το Ηνωμένο Βασίλειο και ο Καναδάς. Όσον αφορά τη μορφή του δικτύου 1G, αυτή ήταν αναλογική και υπέφερε όμως από ορισμένα μειονεκτήματα. Κάποια εξ' αυτών ήταν η χαμηλή χωρητικότητα και η κακή ποιότητα ήχου. Δεν υπήρχε υποστήριξη περιαγωγής μεταξύ διαφόρων χειριστών και, καθώς διαφορετικά συστήματα λειτουργούσαν σε διαφορετικά εύρη συχνοτήτων, δεν υπήρχε συμβατότητα μεταξύ συστημάτων. Το σημαντικότερο μειονέκτημα όμως, ήταν πως οι κλήσεις δεν ήταν κρυπτογραφημένες, κάτι που συνεπάγεται μειωμένη ασφάλεια και παρεμβολές μεταξύ των κλήσεων. Τα σπουδαιότερα συστήματα αυτών των δικτύων ήταν το Advanced Mobile Phone System (AMPS) και το European Total Access Communication system (ETACS). Ωστόσο, πέραν των αδυναμιών που υπήρχαν, εκατομμύρια ήταν οι συνδρομητές αυτού του δικτύου σε όλο τον κόσμο. Έτσι, η επιτυχία του 1G άνοιξε το δρόμο για τη δεύτερη γενιά δικτύων, που ονομάζεται 2G [1] [2].

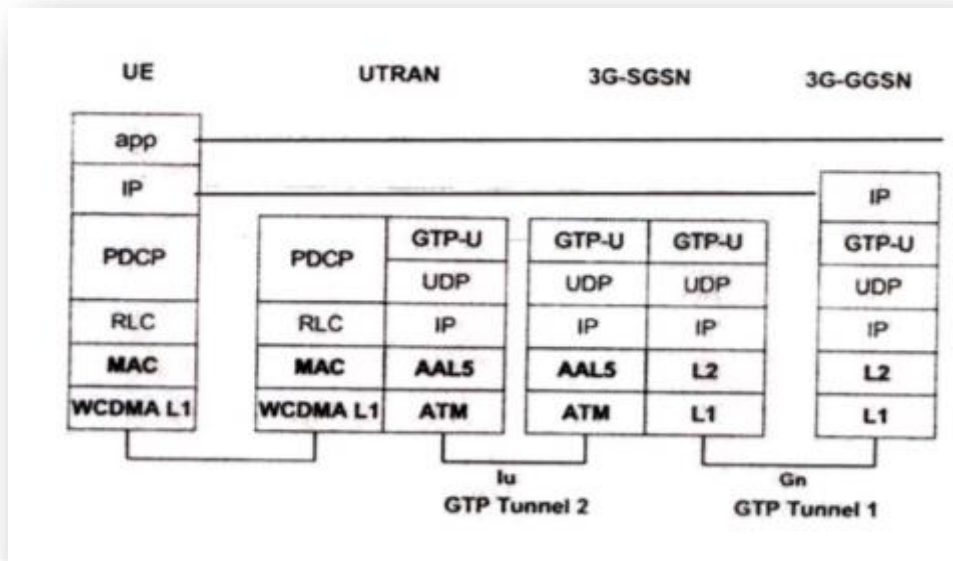
1.1.2 2G

Η αρχή του δικτύου 2G έγινε στη Φινλανδία το 1991. Για πρώτη φορά, οι κλήσεις θα μπορούσαν να κρυπτογραφηθούν και οι ψηφιακές φωνητικές κλήσεις ήταν σημαντικά πιο ξεκάθαρες. Ακόμη, οι χρήστες μπορούσαν να στείλουν μηνύματα κειμένου (Short Message Service, SMS), αλλά και μηνύματα εικόνων και video (Multimedia Messaging Service, MMS) στα τηλέφωνα τους. Η μορφή του δικτύου 2G ήταν ψηφιακή συγκριτικά με τα 1G που ήταν αναλογική και η χωρητικότητα τους ήταν 3 φορές μεγαλύτερη από αυτή του 1G. Έτσι πάρα πολλοί ήταν αυτοί που χρησιμοποιούσαν πια το δίκτυο 2G. Όσον αφορά τις ταχύτητες

μεταφοράς του 2G αρχικά ήταν μόνο γύρω στα 9,6 kbit/s. Πολύ σύντομα όμως οι ταχύτητες έφτασαν τα 40 kbit/s με τις συνδέσεις EDGE να προσφέρουν ταχύτητες έως και 500 kbit/s. Τα πιο σημαντικά πρότυπα της τεχνολογίας ήταν το GSM (Global System for Mobile communication) και το IS-95 που είχαν μεγαλύτερη χωρητικότητα απ' αυτή των προτύπων πρώτης γενιάς. Βελτιωμένη έκδοση του GSM αποτέλεσε το GPRS (General Package Ratio Service). Έτσι, αυτή η επέκταση τεχνολογίας όρισε την γενιά δικτύων 2.5G και το EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) που όρισε τη γενιά δικτύων 2.75G [3].

1.1.3 3G

Μία δεκαετία αργότερα, το 2001 έκαναν την εμφάνισή τους τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς (3G). Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union, ITU) στις αρχές της δεκαετίας του 1980 είχε ξεκινήσει ερευνητικές διαδικασίες που όμως χρησιμοποιήθηκαν 2 δεκαετίες αργότερα. Οι τεχνικές προδιαγραφές διατέθηκαν στο κοινό με το όνομα IMT-2000. Το 3G κυκλοφόρησε για πρώτη φορά από το NTT DoCoMo το 2001 και είχε ως στόχο την τυποποίηση του πρωτοκόλλου δικτύου που χρησιμοποιούν οι προμηθευτές. Βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αποτέλεσαν οι ρυθμοί μετάδοσης που ήταν αρκετά υψηλοί καθώς και η περιαγωγή στο Internet με την δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων, οι οποίες ήταν 4 φορές πιο γρήγορες απ' αυτές του 2G και έτσι οδήγησαν επίσης στην αύξηση νέων υπηρεσιών, όπως η μεταφορά δεδομένων και φωνής και η τηλεδιάσκεψη.



Εικόνα 1: Δομή πρωτοκόλλου κινητής τηλεφωνίας 3G [4]

1.1.4 4G

Τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς (4G) εμφανίστηκαν πρώτη φορά το 2009 στη Στοκχόλμη της Σουηδίας και στο Όσλο της Νορβηγίας ως πρότυπο 4G Long Term Evolution (LTE). Στη συνέχεια παρουσιάστηκε σε ολόκληρο τον κόσμο και έκανε τη ροή βίντεο υψηλής ποιότητας πραγματικότητα για εκατομμύρια καταναλωτές. Η 4G προσφέρει γρήγορη πρόσβαση στον ιστό για κινητά (έως 1 Gigabit ανά δευτερόλεπτο για σταθερούς χρήστες) που διευκολύνει τις υπηρεσίες παιχνιδιών, βίντεο HD και τηλεδιάσκεψη HQ. Τον Σεπτέμβριο του 2009, οι τεχνολογικές προτάσεις υποβλήθηκαν στην ITU ως υποψήφιοι 4G. Οι προτάσεις αυτές βασίζονται σε δύο τεχνολογίες:

- LTE Advanced από την 3GPP
- 802.16 από την IEEE

Το πρώτο σύνολο απαιτήσεων 3GPP στο LTE-Advanced (LTE-A) εγκρίθηκε τον Ιούνιο του 2008. Το LTE-A τυποποιήθηκε το 2010 ως μέρος της έκδοσης 10 των προδιαγραφών 3GPP. Το LTE καθώς και το Mobile Wimax θεωρούνται ως ένα πρώιμο πρότυπο του δικτύου 4G, για το λόγο ότι δεν ταυτίζονται πλήρως με τις πρότυπες απαιτήσεις 1 Gbit/s για σταθερή λήψη και 100 Mbit/s για κινητά. Αυτό προκλήθηκε από ορισμένους παρόχους κινητής τηλεφωνίας που έχουν κυκλοφορήσει προϊόντα που διαφημίζονται ως 4G, αλλά που σύμφωνα με ορισμένες

πηγές είναι εκδόσεις πριν από το 4G, που συνήθως αναφέρονται ως 3.9G, οι οποίες δεν ακολουθούν τις καθορισμένες αρχές ITU-R για τα πρότυπα 4G, αλλά σήμερα μπορεί να ονομαστεί 4G σύμφωνα με το ITU-R.

Παρακάτω, παρατίθεται μια εικόνα που δείχνει την πορεία των κινητών δικτύων (1G-5G) από το 1981 μέχρι και σήμερα.

1G	2G	3G	4G	5G
1981	1992	2001	2010	2020(?)
2 Kbps	64 Kbps	2 Mbps	100 Mbps	10 Gbps
Basic voice service using analog protocols	Designed primarily for voice using the digital standards (GSM/CDMA)	First mobile broadband utilizing IP protocols (WCDMA / CDMA2000)	True mobile broadband on a unified standard (LTE)	'Tactile Internet' with service-aware devices and fiber-like speeds
				

Εικόνα 2: Η πορεία των ασύρματων δικτύων από το 1981 μέχρι σήμερα [5]

Στην επόμενη ενότητα θα γίνει αναλυτική περιγραφή για τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς.

1.2 Εισαγωγή στα δίκτυα 5G

Όπως είδαμε στην παραπάνω ενότητα, στην ιστορική αναδρομή των δικτύων μέχρι και 4^{ης} γενιάς χρειάζεται μια αυξημένη χωρητικότητα για την κάλυψη των αναγκών. Την λύση έρχεται να δώσει το δίκτυο 5^{ης} γενιάς. Σύμφωνα με τον δείκτη Cisco Visual Networking Index, η κινητή κίνηση δεδομένων θα αυξηθεί με συντελεστή ετήσιας ανάπτυξης (Compound Annual Growth Rate, CAGR) 46% φτάνοντας τα 48,3 exabytes το μήνα μέχρι το 2021. Η αύξηση αυτή οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η τεράστια ποσότητα συνδεδεμένων συσκευών και η ανάπτυξη εφαρμογών data greedy.

Με μια τόσο τεράστια κίνηση δεδομένων, χρειάζεται μια επαναστατική αρχιτεκτονική κινητού δικτύου. Το 5G είναι ένα νέο είδος δικτύου, μια πλατφόρμα καινοτομιών που όχι μόνο θα ενισχύσει τις σημερινές κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες αλλά θα επεκτείνει επίσης τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας για να υποστηρίξει μια τεράστια ποικιλία συσκευών και υπηρεσιών και να συνδέσει νέες βιομηχανίες με βελτιωμένη απόδοση και κόστος. Θα επαναπροσδιορίσει ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών με συνδεδεμένες υπηρεσίες από το λιανικό εμπόριο μέχρι την εκπαίδευση, τη μεταφορά στην ψυχαγωγία και όλα τα ενδιάμεσα. Βλέπουμε το 5G ως τεχνολογία μετασχηματισμού όπως το αυτοκίνητο και η ηλεκτρική ενέργεια.

Είναι συγκριτικά πιο προηγμένη τεχνολογία τηλεπικοινωνιών σε κυψελοειδή δίκτυα με υψηλότερη ταχύτητα και ευρεία γκάμα. Η τεχνολογία 5G θα εφαρμοστεί από τη χρονιά που διανύουμε, δηλαδή το 2020, η οποία θα μπορούσε να παρέχει 100 φορές υψηλότερο ρυθμό από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες 4G ή LTE. Σήμερα σχεδόν κάθε πάροχος τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στον ανεπτυγμένο κόσμο αναβαθμίζει την υποδομή του για να προσφέρει λειτουργικότητα 5G [7].

Το φάσμα συχνοτήτων του 5G χωρίζεται σε χιλιοστά κύματα, μεσαία ζώνη και χαμηλή ζώνη. Η χαμηλή ζώνη χρησιμοποιεί παρόμοια περιοχή συχνοτήτων με τον προκάτοχό της, 4G. Το χιλιοστό κύμα 5G είναι το ταχύτερο, με πραγματικές ταχύτητες που συχνά είναι 1-2 Gbit/s κάτω. Οι συχνότητες είναι πάνω από 24 GHz και φθάνουν μέχρι τα 72 GHz και βρίσκονται πάνω από τα κατώτατα όρια της ζώνης εξαιρετικά υψηλής συχνότητας. Η μεσαία ζώνη 5G είναι η πιο εκτεταμένη σε πάνω από 30 δίκτυα. Οι ταχύτητες σε μια ευρεία ζώνη των 100 MHz είναι συνήθως 100-400 Mbit/s. Στο εργαστήριο και περιστασιακά στο πεδίο, οι ταχύτητες μπορούν να υπερβούν ένα Gigabit ανά δευτερόλεπτο. Οι συχνότητες που αναπτύσσονται είναι από 2,4 GHz έως 4,2 GHz. Τα

δίκτυα μεσαίας ζώνης έχουν καλύτερη πρόσβαση, φέρνοντας το κόστος κοντά στο κόστος των 4G.

Και αφού έχουμε αναλύσει αρκετά στοιχεία του 5G στην επόμενη ενότητα θα αναφερθούμε για την αρχιτεκτονική του δικτύου και τα βασικά χαρακτηριστικά της [8].

1.3 Αρχιτεκτονική δικτύων 5G

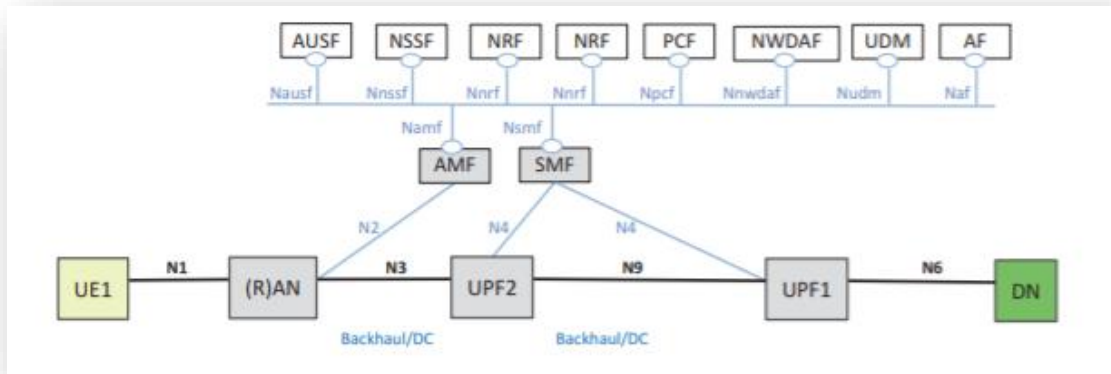
Το δίκτυο 5G είναι μια ένωση των ήδη υπαρχόντων δικτύων και μια επέκτασή τους. Χρησιμοποιεί διάφορες τεχνολογίες για μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών. Όπως στο 4G (LTE/EPC) και τις προηγούμενες γενιές, το σύστημα 3GPP 5G καθορίζει την αρχιτεκτονική για επικοινωνία μεταξύ εξοπλισμού χρήστη (User Equipment, UE) και τελικού σημείου, όπως διακομιστή εφαρμογών (Application Server, AS) στο δίκτυο δεδομένων (Data Network, DN), ή άλλο UE. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του UE και του Δικτύου Δεδομένων γίνεται μέσω του Δικτύου Πρόσβασης και του Κεντρικού Δικτύου όπως ορίζεται από τα πρότυπα 3GPP. Το σχήμα παρακάτω απεικονίζει μια απλή αναπαράσταση μιας αρχιτεκτονικής από άκρο σε άκρο.



Εικόνα 3: Αναπαράσταση αρχιτεκτονικής από άκρο σε άκρο [9]

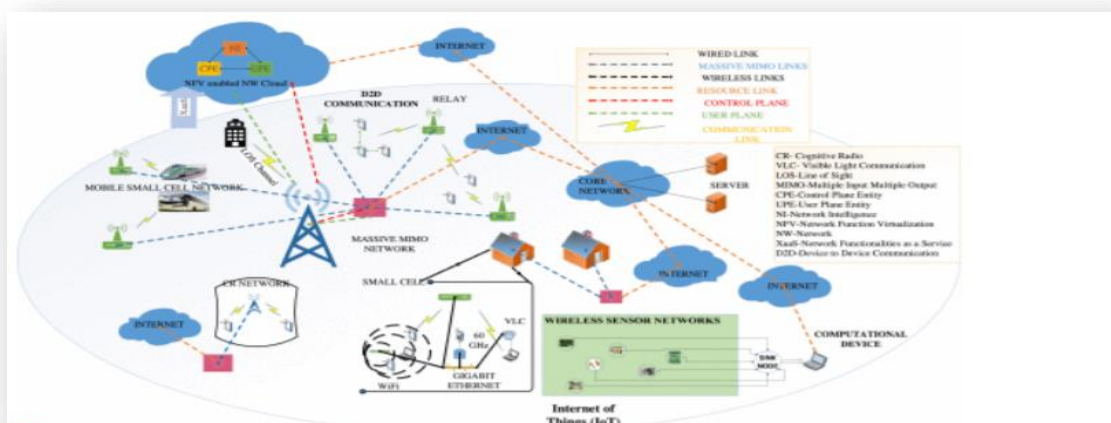
Το δίκτυο πρόσβασης στο 3GPP αναφέρεται ως δίκτυο πρόσβασης ραδιοφώνου (Radio Access Network, RAN). Σε πολύ υψηλό επίπεδο, το Core και το RAN αποτελούνται από διάφορες λειτουργίες δικτύου που σχετίζονται με λειτουργίες Control Plane και User Plane. Τα πραγματικά δεδομένα (αναφέρονται επίσης ως δεδομένα χρήστη) μεταφέρονται συνήθως μέσω μιας διαδρομής στο επίπεδο χρήστη, ενώ το επίπεδο ελέγχου χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της διαδρομής στο επίπεδο χρήστη.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος 5G αντιπροσωπεύεται με δύο τρόπους στα πρότυπα 3GPP, ο ένας είναι μια αναπαράσταση βάσει υπηρεσίας στην οποία οι λειτουργίες δικτύου επιπέδου ελέγχου έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες του άλλου και ο άλλος είναι μια αναπαράσταση σημείου αναφοράς στην οποία η αλληλεπίδραση μεταξύ των λειτουργιών δικτύου εμφανίζονται με σημεία αναφοράς σημείου-κορυφής.



Εικόνα 4: Αρχιτεκτονική 5G [9]

Συνεχίζοντας, στη σημερινή ασύρματη κυτταρική αρχιτεκτονική, για έναν κινητό χρήστη να επικοινωνήσει είτε μέσα είτε έξω η εξωτερική βάση που υπάρχει στη μέση ενός κυττάρου βοηθά στην επικοινωνία. Επομένως, για να επικοινωνούν οι εσωτερικοί χρήστες με εξωτερικό σταθμό βάσης, τα σήματα θα πρέπει να ταξιδεύουν μέσα από τα τοιχώματα των εσωτερικών χώρων και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη απώλεια διείσδυσης, το οποίο με την σειρά του αντιστοιχεί στη μειωμένη φασματική απόδοση, στον χαμηλό ρυθμό δεδομένων και στην χαμηλή ενεργειακή απόδοση ασύρματης επικοινωνίας. Για να αντιμετωπιστεί αυτό είναι απαραίτητο η αρχιτεκτονική δομή να διαχωρίζει τις εξωτερικές και εσωτερικές ρυθμίσεις. Με αυτό τον τρόπο θα μειωθεί σε έναν μικρό βαθμό η διείσδυση μέσω τοίχων. Αυτή η ιδέα θα υλοποιηθεί με τη βοήθεια της μεγάλης τεχνολογίας MIMO (Multiple Input Multiple Output) [10].



Εικόνα 5: Ετερογενές υπερ-πυκνό δίκτυο 5G [12]

Με το παραπάνω σχήμα φαίνεται η σύνδεση μεταξύ διαφόρων σημαντικών αναδύομενων τεχνολογιών 5G όπως το δίκτυο Massive MIMO, το δίκτυο Cognitive Radio, τα κινητά και στατικά δίκτυα μικρών κελιών. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική εξηγεί επίσης τη συμβολή του Cloud Virtualization Function (NFV) στην αρχιτεκτονική κυψελωτού δικτύου 5G καθώς επίσης περικλείει και την ιδέα της επικοινωνίας Device-to-Device (D2D).

Προχωρώντας, και αφού αναφέρθηκε ο όρος NFV, θα αναλύσουμε μια διαφορά των προηγούμενων γενιών ασύρματων δικτύων με τα 5G κι αυτή είναι η διαφοροποίηση του software από το hardware. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων, όπου χρησιμοποιούσαν ένα συγκεντρωτικό πρότυπο για το software και το hardware, το δίκτυο 5G διαχωρίζει τις λειτουργίες αυτών των δύο μέσω τεχνικών διαμοιρασμού. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται διαχωρισμός (decoupling). Η αρχιτεκτονική αυτή αξιοποιεί όλες τις τεχνολογίες του SDN (Software Defined Network) και του NFV και έχει ένα σύνολο από διεπαφές προγραμματιζόμενων εφαρμογών (Application Programming Interfaces, APIs) ικανών να υποστηρίξουν το σύνολο διαφορετικών χρηστών που αναμένεται να έχει η τεχνολογία 5G.

✓ SDN

Αποτελεί μία αρχιτεκτονική με χαμηλό κόστος που είναι ιδανική για υψηλό εύρος ζώνης. Η τεχνολογία δικτύωσης που καθορίζεται από λογισμικό SDN είναι μια προσέγγιση στη διαχείριση δικτύου που επιτρέπει την αποσύνδεση λειτουργιών δικτύου με αποδοτικό τρόπο έτσι ώστε να βελτιωθεί η απόδοση και η παρακολούθηση του δικτύου, καθιστώντας το περισσότερο σαν cloud computing από την παραδοσιακή διαχείριση δικτύου. Το SDN προορίζεται να αντιμετωπίσει το γεγονός ότι η στατική αρχιτεκτονική των παραδοσιακών δικτύων είναι αποκεντρωμένη και πολύπλοκη, ενώ τα τρέχοντα δίκτυα απαιτούν μεγαλύτερη ευελιξία και εύκολη αντιμετώπιση προβλημάτων. Το SDN επιχειρεί να συγκεντρώσει τη νοημοσύνη δικτύου σε ένα στοιχείο δικτύου αποσυνδέοντας τη διαδικασία προώθησης πακέτων δικτύου (επίπεδο δεδομένων) από τη διαδικασία δρομολόγησης (επίπεδο ελέγχου). Το επίπεδο ελέγχου αποτελείται από έναν ή περισσότερους ελεγκτές που θεωρούνται ως ο εγκέφαλος του δικτύου SDN όπου ενσωματώνεται ολόκληρη η νοημοσύνη.

✓ NFV

Είναι μια συμπληρωματική τεχνολογία του SDN, η οποία εικονοποιεί τις περισσότερες λειτουργίες ενός δικτύου. Το NFV βασίζεται, χωρίς όμως να ταυτίζεται με τις παραδοσιακές τεχνικές εικονικοποίησης διακομιστή,

όπως αυτές που χρησιμοποιούνται στην εταιρική πληροφορική. Μια εικονικοποιημένη λειτουργία δικτύου, ή VNF, μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες εικονικές μηχανές που εκτελούν διαφορετικό λογισμικό και διαδικασίες, πάνω από τυπικούς διακομιστές μεγάλου όγκου, διακόπτες και συσκευές αποθήκευσης ή ακόμη και υποδομή υπολογιστικού νέφους, αντί να έχουν προσαρμοσμένες συσκευές υλικού για κάθε λειτουργία δικτύου [11][12].

1.4 Εφαρμογές, υπηρεσίες και τεχνικά χαρακτηριστικά του 5G

Οι εφαρμογές των δικτύων 5G αναμένεται να παρέχουν συγκριτικά με τις προηγούμενες γενιές δικτύων βελτιωμένη ποιότητα σε όλους τους τομείς της καθημερινότητας.

Παρακάτω, γίνεται αναφορά στις διάφορες υπηρεσίες 5G, την κατηγοριοποίησή τους και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά που ορίζονται από διαφορετικές ομάδες, όπως ITU-R, 3GPP υπηρεσίες και τεχνολογίες αγορών (SMARTER) και NGMN. Όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω, το ITU-R ταξινομεί τις υπηρεσίες 5G σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες είναι οι eMBB, mMTC και URLLC.

Service category	Peak Data rate	User felt data rate	Spectrum efficiency	Mobility	Response time	Connection density	Network energy efficiency	Area traffic capability
eMBB	High	High	High	High	Medium	Medium	High	High
mMTC	Low	Low	Low	Low	High	High	Medium	Low
URLLC	Low	Low	Low	High	Low	Low	Low	Low

Εικόνα 6: Ταξινόμηση υπηρεσιών [13]

Επιπλέον, χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιούνται από τους καταναλωτές μέσω του δικτύου 5G είναι:

- ✓ Μπορεί να εξυπηρετήσει έως και 1.000.000 συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και επιτρέπει μέγιστες ταχύτητες που θα φτάνουν έως και τα 10Gbps
- ✓ Η μηδενική καθυστέρηση και οι χρόνοι απόκρισης λιγότερο από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου σε λανθάνουσα κατάσταση
- ✓ Η παρακολούθηση video streaming, δηλαδή καλύτερη

ποιότητα εικόνας και ήχου

- ✓ Ελάττωση κατανάλωσης της ενέργειας, δηλαδή η ενέργεια ανά bit χρήσης θα μειωθεί κατά ένα παράγοντα για την βελτίωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας της συσκευής
- ✓ Σημαντικό στοιχείο αποτελεί το IoT (Internet of things) που θα βελτιστοποιήσει την επικοινωνία μεταξύ συσκευών αλλά και την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ οχημάτων μέσα από εφαρμογές [14].

Με βάση τα μέχρι τώρα στοιχεία που υπάρχουν, το 5G αναμένεται να είναι 10 φορές ταχύτερο από τα τρέχοντα δίκτυα 4G. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι η ταχύτερη επικοινωνία των συσκευών IoT καθώς και η γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων. Έτσι, τα δίκτυα 5G θα λειτουργούν πιο αξιόπιστα δημιουργώντας πιο σταθερές συνδέσεις. Έχοντας συνεχή επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, με βάση τις σωστές συνθήκες δικτύου, συσκευές όπως συστήματα ασφαλείας, κάμερες κτλ. Θα ενημερώνονται απευθείας χωρίς καθυστερήσεις.

Το 5G έχει την ικανότητα να ελέγχει ταυτόχρονα πολλές συνδεδεμένες συσκευές, οι χρήστες θα κερδίσουν από μεγαλύτερη αξιοπιστία των συνδεδεμένων συσκευών τους. Για να προκύψει αυτές οι βελτιώσεις, οι κατασκευαστές είναι ανάγκη να επενδύσουν στην κατασκευή συσκευών συμβατών με 5G. Από την άλλη όμως, είναι αναγκαίο να κάνουν δοκιμές ώστε να είναι διασφαλισμένη η ποιότητα και το λογισμικό των συσκευών σε πραγματικές συνθήκες [14][15][16].

1.5 Πλεονεκτήματα του 5G

Σ' αυτήν την ενότητα θα αναπτυχθούν περισσότερο τα θετικά που θα επιφέρει η χρήση του 5G. Η τεχνολογία 5G με τις καινοτόμες συνθήκες της είναι έτοιμη να κάνει το επόμενο βήμα και να προσδώσει εμπειρίες στην εξελιγμένη εποχή του Διαδικτύου. Με ταχύτητες που είναι έως και τέσσερις φορές πιο γρήγορες από την τεχνολογία 4G και τις προγενέστερες. Οι πληθώρα των χρηστών και οι γρηγορότερες λήψεις δεδομένων αποτελούν σημείο εκκίνησης για όλα τα υπόλοιπα. Τα πλεονεκτήματα του 5G είναι απεριόριστα και έτσι θα κατανεμηθούν σε κατηγορίες αναλύοντας τα ένα προς ένα.

1.5.1 Παροχή γρήγορης ταχύτητας

Η μέση ταχύτητα του δικτύου 5G θα κυμαίνεται από 150-200 Mbps και η μέγιστη θα φτάνει τα 1Gbps. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι θα μπορεί κάποιος να «κατεβάσει» μια full HD ταινία μέσα σε περίπου 3 λεπτά, συγκριτικά με το 4G που θα χρειαζόταν 15 λεπτά. Μέχρι στιγμής αναμένεται να λειτουργεί σε μια μπάντα υψηλής συχνότητας του ασύρματου φάσματος, κάπου μεταξύ 30-300 GHz. Σε αυτά τα κύματα, η μεταφορά δεδομένων πραγματοποιείται σε ιδιαιτέρως υψηλές ταχύτητες αλλά βρίσκουν δύσκολο να παρακάμπτουν εμπόδια όπως τοίχους και κτίρια. Ακόμη, το 5G θα φέρει επανάσταση στο P2P (Peer-to-Peer) και θα εξαλείψει εντελώς την ανάγκη για διακομιστές. Θα γίνεται εύκολη η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα.

1.5.2 Αυτόνομη τεχνολογία αυτοκινήτων

Παγκοσμίως, ετήσια χάνονται πολλές χιλιάδες άνθρωποι από τροχαία ατυχήματα, αν αναλογιστούμε ότι μόνο στις ΗΠΑ πεθαίνουν 37.000 περίπου το χρόνο. Φανταστείτε έναν κόσμο που μέσω της τεχνολογίας 5G σαν μία πιθανότητα οι θάνατοι από οχήματα θα μπορούν να είναι μηδαμινοί. Η επικοινωνία 5G επιτρέπει στα αυτοκίνητα που συνδέονται με έξυπνα συστήματα διαχείρισης (Vehicle-to-Vehicle, V2V) της κυκλοφορίας να ανταλλάσσουν πληροφορίες όπως η τοποθεσία, η ταχύτητα και ο προορισμός. Μέσω αυτών των πληροφοριών, τα αυτοκίνητα μπορούν να ειδοποιήσουν τους οδηγούς για μια ποικιλία οδικών συνθηκών και πιθανούς κινδύνους. Επιπλέον, με την επικοινωνία V2V, οι συγκρούσεις οχημάτων μπορούν να αποφευχθούν δραστικά. Σε μεγάλες πόλεις με εκατομμύρια κατοίκους το 5G αναμένεται να μειώσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση κατά πολύ καθώς επίσης να βοηθά στην εύρεση χώρου στάθμευσης με έναν έξυπνο τρόπο, ο οποίος θα εξαλείψει εντελώς την παλιά ταλαιπωρία αναζητώντας χώρο στάθμευσης και θα αυτοματοποιήσετε τη στάθμευση μία για πάντα. Ακόμη, οι

μετεωρολογικές προβλέψεις σε πραγματικό χρόνο μπορούν να προειδοποιήσουν τους οδηγούς για μη ασφαλείς συνθήκες οδήγησης, οι οποίες θα βοηθήσουν στην άρση των τροχαίων ατυχημάτων που σχετίζονται με τον καιρό.

1.5.3 Ρομποτική ιατρική πρόοδος

Ένας ακόμη κλάδος που θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη η τεχνολογία αυτή είναι αυτός της ιατρικής επιστήμης. Το 5G μπορεί να γίνει σύμμαχος της ιατρικής. Χάρη στο 5G, θα παρέχονται ιατρικές υπηρεσίες οπουδήποτε και οποτεδήποτε, αφού θα υπάρχει η δυνατότητα πραγματοποίησης εξ αποστάσεως εξετάσεων, ακόμη και χειρουργικών επεμβάσεων. Θα καταρρίψει τα σύνορα και θα επιτρέψει στους γιατρούς να προσεγγίσουν ασθενείς από κάθε γωνιά του πλανήτη. Μέσω συγκεκριμένης εφαρμογής θα δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης ιατρικής επέμβασης από απόσταση μέσω μάσκας εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality, VR). Για τους ασθενείς θα υπάρχει δυνατότητα, με την τοποθέτηση αισθητήρων να καταγράφονται και να μεταφέρονται ιατρικά δεδομένα, τα οποία θα εξετάζει ο γιατρός, με στόχο την άμεση παροχή περίθαλψης και λήψης σχετικών αποφάσεων. Ότι αφορά τις αρμοδιότητες των γιατρών και του νοσηλευτικού προσωπικού, θα μπορεί να επιτευχθεί μέσω της τηλεϊατρικής. Οι ασθενείς έτσι μπορούν να εξοικονομήσουν χρόνο και χρήματα. Όσον αφορά την τεχνική νοημοσύνη έχει μεγάλες δυνατότητες διάγνωσης και θεραπείας ανθρώπων. Τα διαγνωστικά AI (Artificial Intelligence) μπορούν να ανιχνεύσουν ασθένειες στον άνθρωπο και να παρέχουν αναλύσεις σε πραγματικό χρόνο που είναι ζωτικής σημασίας κατά τη θεραπεία ασθενειών. Με μια εφαρμογή smartphone, η υγειονομική περίθαλψη είναι πιο εύκολα προσβάσιμη.

1.5.4 Εξέλιξη του IoT

Το IoT αποτελεί το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας συσκευών, αυτοκινήτων καθώς και κάθε αντικειμένου που ενσωματώνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό και αισθητήρες. Σε ότι αφορά συστήματα ασφάλειας με το 5G θα γίνονται ταχύτατα χωρίς επιπλέον καθυστερήσεις. Σε μερικά λεπτά, ένα σύστημα συναγερμού που υποστηρίζεται από 5G θα ειδοποιεί την αστυνομία σε πραγματικό χρόνο για να προστατεύσει τόσο την ιδιοκτησία όσο και τις ανθρώπινες ζωές. Η σταθερότητα και η ταχύτητα με την οποία λειτουργούν τα συστήματα συναγερμού 5G θα αλλάξουν το πρόσωπο του κλάδου ασφαλείας.

1.5.5 Καλύτερες εμπειρίες παιχνιδιού

Το 5G έχει τη δυνατότητα να καταλύσει την πιο διαδεδομένη υιοθέτηση της Augmented Reality (AR) και της VR από τον κλάδο. Σήμερα, ενώ το 55% των οργανισμών που συμμετείχαν στην έρευνα βλέπουν την ελκυστικότητα αυτών των συναρπαστικών τεχνολογιών, μόνο οι μισοί από αυτούς τον χρησιμοποιούν. Η ικανότητα της 5G να αφαιρεί την επεξεργασία δεδομένων από τον εξοπλισμό θα μπορούσε να ενισχύσει την παραγωγή φθηνότερων και ελαφρύτερων ακουστικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε υπάρχει συνδεσιμότητα 5G. Αυτό είναι κρίσιμο υπάρχει μεγάλη αντίληψη για την αξία που μπορεί να φέρει η AR και η VR [18][19].

1.6 Μειονεκτήματα του 5G

Στην αντίπερα όχθη, πέραν των θετικών που μπορεί να προσφέρει υπάρχει και πληθώρα από τα αρνητικά που μπορεί να προκληθούν.

1. Πρώτον, και σημαντικό όσον αφορά την υγεία των ανθρώπων. Επειδή τα σήματα που εκπέμπονται σε κύματα χιλιοστών είναι περιορισμένα σε εμβέλεια και δεν μπορούν να διεισδύσουν σε εμπόδια όπως τοίχους, τα δίκτυα που χρησιμοποιούν αυτές τις συχνότητες θα απαιτούν ραδιόφωνα σε κάθε πόλη, έναντι του 4G. Κάποιες προβλέψεις αναφέρουν ότι ακόμη και η βροχή θα μπορούσε ενδεχομένως να είναι πρόβλημα για συνδέσεις 5G. Αυτό σημαίνει ότι το 5G θα απαιτήσει έως και πέντε φορές το μέγεθος της υποδομής σε ανάπτυξη 3G ή 4G. Όχι μόνο θα υπάρχουν περισσότερα σήματα εκπομπής 5G, αλλά και τα ραδιόφωνα θα πρέπει να είναι πιο κοντά μας. Ως αποτέλεσμα, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών θα αναπτύξουν πολύ περισσότερα μικρά κυψελοειδή δίκτυα ή κεραιές, τα λεγόμενα small cells σε περιοχές που λαμβάνουν σήμα 5G - τόσο κοντά ο ένας στον άλλο όσο εκατοντάδες μέτρα μακριά. Η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών χρησιμοποιεί ήδη μικρά κελιά για να επεκτείνει τα 3G, 4G και LTE, αλλά αναμένεται να χρησιμοποιηθούν πάνω από 2 εκατομμύρια έως το 2021 [20].
2. Σε συνέχεια των παραπάνω, κάτοικοι αστικών περιοχών σε διάφορα σημεία του πλανήτη εκφράζουν έντονα τις ανησυχίες τους για την πληθώρα εγκαταστάσεων, πολλές από τις οποίες θα βρίσκονται κοντά σε σπίτια, θεωρώντας ότι οι κεραιές μικρών κυττάρων θα μπορούσαν να εκπέμπουν επιβλαβή ηλεκτρομαγνητικά κύματα, παρά τις αναφορές για το αντίθετο που πολλοί οργανισμοί υποστηρίζουν.
3. Όσον αφορά την μπαταρία του κινητού τα τηλέφωνα που θα λειτουργούν σε 5G θα αντιμετωπίσουν γρήγορη πτώση της μπαταρίας. Θα χρειαστεί καλύτερη τεχνολογία μπαταρίας εάν η χρήση 5G γίνεται κατά την διάρκεια όλης της μέρας. Οι χρήστες αναφέρουν επίσης ότι τα τηλέφωνα είναι σχεδόν ζεστά στην αφή ενώ εκτελούν 5G.
4. Επιπλέον, σε ότι αφορά το κόστος εξοπλισμού 5G είναι δαπανηρό και απαιτεί εξειδικευμένους μηχανικούς να εγκαταστήσουν και να συντηρήσουν ένα δίκτυο 5G. Αυτό αυξάνει το κόστος των φάσεων ανάπτυξης και συντήρησης 5G. Τα smartphone 5G θα κοστίζουν αρκετά περισσότερο. Ως εκ τούτου, θα χρειαστεί χρόνος για το ευρύ κοινό να κάνει χρήση της τεχνολογίας 5G.
5. Συνεχίζοντας, το ζήτημα ασφάλειας και απορρήτου δεν έχει ακόμη

λυθεί για το 5G. Χρειάζονται ισχυρές αρχιτεκτονικές και λύσεις ασφαλείας, καθώς θα συνδέει κάθε πτυχή της ζωής με δίκτυα επικοινωνίας. Η ασφάλεια ραδιοεπαφών, δηλαδή κλειδιά κρυπτογράφησης διεπαφής ραδιοφώνου που αποστέλλονται μέσω ανασφαλών καναλιών, οι περιορισμοί από την υπηρεσία στην αρχιτεκτονική ασφαλείας που οδηγούν στην προαιρετική χρήση μέτρων ασφαλείας καθώς επίσης το γεγονός ότι δεν υπάρχουν μέτρα ασφαλείας για λειτουργικά συστήματα, εφαρμογές και δεδομένα διαμόρφωσης σε συσκευές χρήστη είναι κάποιες απ' τις προκλήσεις ασφαλείας [21][22].

1.7 Το 5G στην Ευρώπη

Στην αγορά του 5G κυριαρχούσαν πανευρωπαϊκά δύο εταιρείες: η Huawei και η Ericsson, με τη Nokia να ακολουθεί, όπως σημειώνει σε δημοσίευσμά του και ο ιστόχωρος Quartz. Σύμφωνα με έρευνες, το 2019 14 πάροχοι έθεσαν δίκτυα 5G σε 9 χώρες τις Ευρώπης, καθιστώντας την πρωτοπόρα περιοχή για την νέα τεχνολογία. Στην πορεία κι άλλες χώρες προστέθηκαν ξεκινώντας διαδικασίες για την δημιουργία 5G δικτύου.

Μερικές από αυτές είναι η Φιλανδία, η οποία πραγματοποίησε δημοπρασία για φάσμα 5G το 2018. Σε αυτό, οι τρεις τηλεπικοινωνιακοί φορείς Elisa, DNA και Telia κέρδισαν όλοι άδεια χρήσης του φάσματος 3,5 GHz. Μία ακόμη είναι η Γερμανία, η οποία πραγματοποίησε δημοπρασία για φάσμα 5G τον Ιούνιο του 2019. Οι εταιρείες που κερδίζουν δεσμεύονται να παρέχουν κάλυψη 5G στο 98% του πληθυσμού έως το 2022. Από τον Μάιο του 2019, η VodafoneRomania προσφέρει συνδεσιμότητα 5G στο Βουκουρέστι, το Cluj-Napoca και το Mamaia.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει εγκρίνει από την πλευρά της, ήδη από τον περασμένο Ιανουάριο, μια εργαλειοθήκη μέτρων για την ασφάλεια των δικτύων 5G, υπογραμμίζοντας για παράδειγμα την ανάγκη «διαφοροποίησης των προμηθευτών» και περιορισμού-αποκλεισμού προμηθευτών ανάλογα με το προφίλ κινδύνου τους. Ωστόσο, σύμφωνα με το περιοδικό Foreign Policy, η εργαλειοθήκη των Ευρωπαίων προς το παρόν δεν δουλεύει όπως θα έπρεπε, ενώ οι εκκλήσεις των ΗΠΑ για απαγόρευση χρήσης του εξοπλισμού της κινεζικής εταιρείας στα ευρωπαϊκά δίκτυα 5G έχουν αποτύχει να κερδίσουν έδαφος στις περισσότερες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες [23].

1.7.1 Το 5G στην Ελλάδα

Συνεχίζοντας και εμβαθύνοντας περισσότερο για την Ελλάδα οι Vodafone και WIND έχουν συνεργαστεί σε πιλοτικά προγράμματα 5G, σε Τρίκαλα και Καλαμάτα, με τη Huawei. Από την άλλη η Cosmote σε συνεργασία με την Ericsson πρόκειται να προχωρήσει στην ανάπτυξη δικτύου 5G στην Ελλάδα, έπειτα από σχετική διαγωνιστική διαδικασία. Η ανάπτυξη του Cosmote 5G θα πραγματοποιηθεί σε συνάρτηση με τη δημοπρασία του φάσματος που απαιτείται, και η οποία προγραμματίζεται από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων για το 4ο τρίμηνο του 2020. Η εμπορική διάθεση υπηρεσιών 5G θα ξεκινήσει από την Cosmote με τα τωρινά δεδομένα μετά τα 2^ο τρίμηνο του 2021. Έχει ήδη πραγματοποιήσει επίδειξη λειτουργίας δικτύου 5G με ταχύτητες 12,7 Gbps, ήτοι τουλάχιστον 100 φορές ταχύτερο από τα υφιστάμενα εμπορικά δίκτυα, τόσο της κινητής όσο και της σταθερής. Οι πιλοτικές εφαρμογές ξεκίνησαν στον Δήμο Ζωγράφου, Τρικάλων και Καλαμάτας, με την τελευταία να έχει κάνει προσωρινή διακοπή της λειτουργίας. Σχετικά σε πρόσφατη ομιλία του τον Ιούνιο ο Γενικός Γραμματέας Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων, Αντώνης Τζωρτζακάκης ανέφερε πως η μέλημα της κυβέρνησης η συνέχιση της ανάπτυξης 5G και ότι θα τεθεί σε εμπορικά το 2^ο τρίμηνο του 2021 [25].

Παρακάτω θα παρατεθούν κάποια ποσοστά και η ανάλυσή τους σύμφωνα με την μελέτη που πραγματοποίησε η εταιρία Accenture με θέμα «*Fuel for Innovation: Greece's race to 5G*» [26]. Αρχικά το μεγαλύτερο ποσοστό των Ελλήνων, 92%, που συμμετείχαν στην έρευνα θεωρεί πως με την έλευση του δικτύου 5G θα υπάρξουν σημαντικές αλλαγές τόσο στην οικονομία όσο και στην ζωή των ανθρώπων. Από την άλλη, 6 στους 10 φοβούνται πως το 5G θα επιφέρει επιπτώσεις στην υγεία λόγω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Εδώ να σημειωθεί πως παρ' όλα τα θετικά που μπορεί να προσφέρει σε ότι αφορά την υγεία αλλά και το κόστος συγκριτικά με τις προηγούμενες τεχνολογίες (2G, 3G, 4G) θα χρειαστούν πολύ περισσότερες κεραιές να τοποθετηθούν με τις οποίες από την μία να παρέχουν γρήγορες ταχύτητες λήψης και μετάδοσης δεδομένων αλλά από την άλλη να εκπέμπουν να υψηλότερες συχνότητες από τις ήδη υπάρχουσες και με μεγαλύτερη ισχύ. Συνεχίζοντας, λοιπόν, με την ανάλυση της μελέτης παρά τη θετική στάση που διατηρούν στην έλευση της νέας τεχνολογίας, περισσότεροι από 1 στους 2 παραμένουν επιφυλακτικοί εξαιτίας των υψηλών μηνιαίων τελών ένα 65%, των επιπτώσεων που μπορεί να έχει το 5G στην υγείας μας ένα 59% αλλά και του κόστους απόκτησης κινητών νέας γενιάς ένα 51%. Παράγοντες που αποτελούν σημαντικό τροχοπέδι για την υιοθέτηση του νέου δικτύου. Η συνεργασία μεταξύ των παρόχων αποτελεί, σύμφωνα με

τη μελέτη, καλή πρακτική σε χώρες όπως η Βρετανία, η Ιταλία, η Ισπανία, η Γαλλία, η Κίνα, η Σουηδία, η Πολωνία και η Ελλάδα. Τονίζεται επίσης στην μελέτη το γεγονός ότι η νέα αυτή τεχνολογία θα δημιουργήσει νέες εργασίας και συγκεκριμένα πιστεύουν ότι μέχρι το 2028 θα δημιουργηθούν 31.000 θέσεις στη χώρα μας. Βέβαια οι κλάδοι που θα επωφεληθούν των θέσεων είναι κυρίως αυτοί που ασχολούνται με την Πληροφορική, τις Τηλεπικοινωνίες, τα ΜΜΕ καθώς και τον τουρισμό. Η Accenture στη μελέτη κλείνει αναφέροντας ότι η πορεία προς το 5G τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τις επιχειρήσεις δεν θα είναι εύκολη και απλή υπόθεση [27].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Small cells

2.1 Εισαγωγή

Με τα τωρινά δεδομένα η πληθώρα των χρηστών αναζητά γρήγορες και αξιόπιστες συνδέσεις. Το 5G υπόσχεται να τα προσφέρει αυτά καθώς και. Μ' ένα ογκώδη αριθμό χρηστών κινητής τηλεφωνίας αλλά και η ζήτησή τους για δεδομένα αυξάνεται, το 5G θα πρέπει να χειριστεί πολύ περισσότερη κίνηση σε πολύ υψηλότερες ταχύτητες από ό, τι οι σταθμοί βάσης που αποτελούν τα σημερινά κυψελοειδή δίκτυα. Για να έρθει αυτό στην πράξη, οι τεχνικοί σχεδιάζουν μια σειρά από καινοτόμες τεχνολογίες. Σε συνδυασμό, αυτές οι τεχνολογίες θα παρέχουν δεδομένα με καθυστέρηση μικρότερη από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου (σε σύγκριση με περίπου 70 ms στα δίκτυα 4G) και θα αυξήσουν τις μέγιστες ταχύτητες λήψης στα 20 gigabits ανά δευτερόλεπτο (σε σύγκριση με 1 Gb/s στα 4G). Κάποιες εξ' αυτών είναι κύματα χιλιοστών, small cells, massive MIMO, full duplex και beamforming [28].

Εμείς, θα επικεντρωθούμε στα small cells τα οποία είναι κόμβοι ραδιοεπικοινωνίας χαμηλής ισχύος που λειτουργούν σε φάσμα με άδεια και χωρίς άδεια και έχουν εύρος από 10 μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα. Καθώς οι ασύρματοι πάροχοι επιδιώκουν να «συμπυκνώσουν» τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα για να παρέχουν τις απαιτήσεις χωρητικότητας δεδομένων του 5G, τα small cells θεωρούνται επί του παρόντος ως μια λύση που επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων και ως σημαντική μέθοδο αύξησης της χωρητικότητας, της ποιότητας και της ανθεκτικότητας του κυψελοειδούς δικτύου με αυξανόμενη εστίαση χρησιμοποιώντας το LTE-A [29].

Στην συνέχεια, θα αναφερθούμε εκτενέστερα για τα βασικά τους χαρακτηριστικά, την λειτουργία τους, την κατηγοριοποίησή τους αλλά και την σημαντικότητά τους για τα 5G δίκτυα.

2.2 Βασικά χαρακτηριστικά

Μια εγκατάσταση μικρών κυψελών αποτελείται από μικρό ραδιοεξοπλισμό και κεραιές που μπορούν να τοποθετηθούν σε κατασκευές όπως φώτα δρόμου, πλευρές κτιρίων ή στύλους. Λειτουργούν σε φάσμα εύρους από 10 μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα. Έχουν μέγεθος το οποίο δεν υπερβαίνει το μέγεθος μιας οθόνης υπολογιστή, και είναι απαραίτητα για τη μετάδοση δεδομένων από και προς μια ασύρματη συσκευή. Τα small cells φαίνονται εντελώς διαφορετικά από την ασύρματη υποδομή που έχουμε δει στο παρελθόν. Είμαστε συνηθισμένοι σε αυτά που λέγονται macrocells (μακροκυψέλες), ψηλοί πύργοι που τους βλέπουμε κατά μήκος εθνικών οδών. Τα small cells είναι σαφώς πολύ μικρότερα, χαμηλότερης ισχύος που εγκαθίστανται κάθε λίγα τετράγωνα, αντί για χιλιόμετρα αλλά μπορούν να προσφέρουν αυξημένη χωρητικότητα. Είναι σαφώς προτιμότερο να είναι πιο πολλά small cells για να καλύπτουν τους χρήστες παρά με λιγότερα macrocells να υπάρχουν παρεμβολές και εξασθένιση σήματος λόγω των περισσότερων χρηστών. Όλα αυτά αφορούν την ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση και όχι για κάτι παραπάνω. Τα small cells δεν μπορούν να μεταδώσουν μόνο σε χαμηλό φάσμα συχνοτήτων αλλά και σε μεσαίο και σε υψηλό. Με τις συχνότητες αυτές να βοηθούν στην ενίσχυση της χωρητικότητας του δικτύου 5G, λόγω της ικανότητάς τους να στέλνουν μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων σε υψηλότερες ταχύτητες. Για παράδειγμα, η λήψη ενός video μπορεί να γίνεται σε λίγα μόλις δευτερόλεπτα [30].

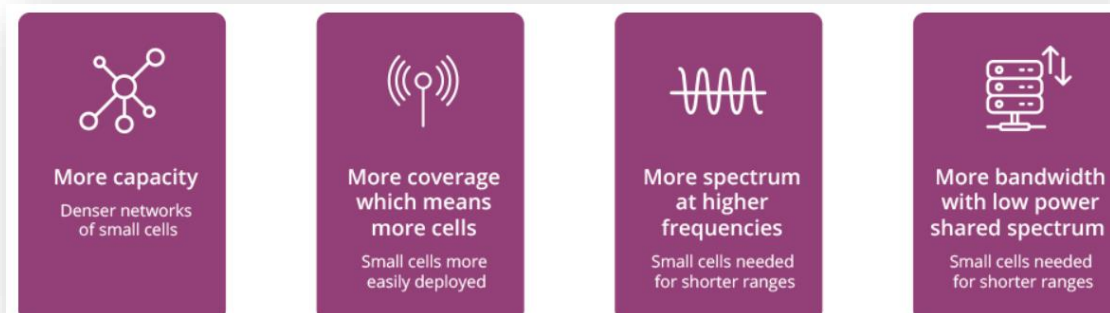


Εικόνα 8: Small cell τοποθετημένο σε στύλο [31]

Μπορούν να τοποθετηθούν κάθε 250 μέτρα περίπου σε όλες τις πόλεις. Για να αποφευχθεί η πτώση σημάτων, οι αερομεταφορείς θα μπορούσαν να καλύψουν μια πόλη με χιλιάδες από αυτούς τους σταθμούς. Μαζί, θα σχηματίσουν ένα πυκνό δίκτυο που λειτουργεί σαν ομάδα αναμετάδοσης, παραδίδοντας σήματα και δρομολογώντας δεδομένα σε χρήστες σε οποιαδήποτε τοποθεσία. Ενώ τα μέχρι τώρα δίκτυα έχουν βασιστεί σε έναν αυξανόμενο αριθμό σταθμών βάσης, το 5G θα απαιτήσει μια ακόμη μεγαλύτερη υποδομή. Με τις κεραίες σε small cells να είναι πολύ μικρότερες σε μέγεθος από αυτές που ξέραμε ως τώρα. Έτσι, αυτή η διαφορά μεγέθους καθιστά ακόμη πιο εύκολο να τοποθετηθούν τα κύτταρα σε στύλους και πάνω στα κτίρια. Η ύπαρξη περισσότερων σταθμών σημαίνει ότι οι συχνότητες που χρησιμοποιεί ένας σταθμός για να συνδέονται με συσκευές στη μικρή περιοχή μετάδοσης μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν από άλλο σταθμό σε διαφορετική περιοχή για να εξυπηρετήσουν έναν άλλο πελάτη. Υπάρχει ένα πρόβλημα, ωστόσο. Ο τεράστιος αριθμός μικρών κυψελών που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός δικτύου 5G μπορεί να καταστήσει ανέφικτη τη δημιουργία σε αγροτικές περιοχές.

2.2.1 Η σημαντικότητά τους για τα 5G δίκτυα

Τα small cells θα είναι ένα κρίσιμο συστατικό των δικτύων 5G, επειδή αυξάνουν την χωρητικότητα, την πυκνότητα και την κάλυψη του δικτύου, ειδικά σε εσωτερικούς χώρους. Από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού 5G έως τη λεπτομερή εξέλιξη των απαιτήσεων 5G, είναι σαφές ότι τα μικρά κύτταρα αποτελούν βασικό συστατικό για την πρακτική και κερδοφόρα πορεία προς το 5G.



Εικόνα 9: Απαιτήσεις του δικτύου 5G [31]

Ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών αυξάνεται εκθετικά, όπως επίσης και ο αριθμός των προβλεπόμενων συσκευών IoT ανέρχεται σε δισεκατομμύρια ή τρισεκατομμύρια. Η IDC προβλέπει ότι οι παγκόσμιες δαπάνες για IoT θα φτάσουν τα 1,2 τρισεκατομμύρια δολάρια έως το 2022. Η αύξηση των συσκευών σημαίνει αύξηση της ζήτησης σε πόρους δικτύου. Η αποτελεσματικότητα που δημιουργείται από νέες προσεγγίσεις όπως η διαμόρφωση ακτινών και τα κύματα χιλιοστών θα βοηθήσει τα μικρά κύτταρα να βελτιώσουν την κατώτατη γραμμή των κυτταρικών παρόχων. Και ενώ τα μικροκύτταρα ενδέχεται να μην προσφέρουν κάλυψη σε μεγάλες αποστάσεις πύργων μακροκυψέλων, προσφέρουν το πλεονέκτημα της αυξημένης κάλυψης λόγω της αυξημένης πυκνότητάς τους. Small cells αναμένεται να τοποθετηθούν παντού σε κτίρια, μέσα και πάνω σε στύλους δημιουργώντας ένα είδος μιας ομάδας κεραιών σε όλες τις περιοχές και πόλεις. Τα small cells λειτουργούν με χαμηλή ισχύ σε μικρές αποστάσεις. Πρόκειται για συστήματα μετάδοσης που μπορούν να θεωρηθούν σταθμοί βάσης όπως τα μακροκύτταρα, αλλά έχουν πολύ μικρότερο αποτύπωμα. Αυτοί οι πομποί χαμηλής ισχύος είναι πιο ευέλικτοι από τους αντίστοιχους μακροκύτταρους. Έχουν εσωτερικές και εξωτερικές εφαρμογές. Ένα

πυκνό δίκτυο μικρών κυψελών μπορεί να μεταδώσει δεδομένα σε όλη την πόλη και να μεταδώσει εύκολα σήματα από το ένα κελί στο άλλο.

Και είναι σαφές ότι τα small cells είναι η μόνη επιλογή για πολλά βασικά σενάρια ανάπτυξης της εποχής 5G όπως:

- ✓ Ραδιόφωνα που χρησιμοποιούν κοινόχρηστο και απαλλαγμένο από άδεια φάσμα, το οποίο γενικά επιβάλλει χαμηλότερη ισχύ
- ✓ Μικρές/μεσαίες επιχειρήσεις που απαιτούν κάλυψη εσωτερικού χώρου
- ✓ Περιοχές ζήτησης κυκλοφοριακής πυκνότητας σε πόλεις, στάδια, κόμβους μεταφορών κ.λπ.

Ο πυρήνας ενός μικρού κυττάρου είναι ένας ασύρματος πομπός και δέκτης, σχεδιασμένοι να παρέχουν κάλυψη δικτύου σε μια μικρή περιοχή. Επομένως, οι πύργοι μακροεντολών υψηλής ισχύος μπορούν να διατηρούν ισχυρά σήματα δικτύου σε μεγάλες αποστάσεις και τα μικρά κελιά είναι κατάλληλα για πυκνότερα περιβάλλοντα όπως πόλεις. Ο απώτερος στόχος της τεχνολογίας μικρών κυψελών είναι η βελτίωση της εμπειρίας των τελικών χρηστών σε κινητές συσκευές. Υπάρχει ενίσχυση της ταχύτητας κάλυψης και μεταφοράς δεδομένων όπου οι συσκευές θα μπορούσαν διαφορετικά να ανταγωνίζονται για εύρος ζώνης. Επιπλέον, με τα μικρά κελιά έχει αποδειχθεί ότι επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας της συσκευής μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας, έτσι ώστε οι συσκευές να μπορούν να διαρκέσουν περισσότερο μεταξύ των φορτίων. Στην πραγματικότητα, ο Διευθύνων Σύμβουλος της Verizon Lowell McAdam προέβλεψε μια εικονική ουτοπία τηλεφώνου 5G, με διάρκεια ζωής μπαταρίας ακουστικού για ένα μήνα. Το αποτέλεσμα προκύπτει λόγω της πολύ χαμηλής καθυστέρησης που υπόσχεται το νέο ασύρματο περιβάλλον [32].

2.2.3 Μειονεκτήματα των small cells

Από την άλλη πλευρά πέραν των θετικών υπάρχουν και οι αρνητικές πλευρές της κάθε τεχνολογίας. Έτσι και τα small cells έχουν κάποια μειονεκτήματα τα οποία θα αναπτυχθούν στην συνέχεια αυτής της ενότητας. Ξεκινώντας ένα από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα της τεχνολογίας είναι ο τεράστιος αριθμός που απαιτείται για να λειτουργήσει το 5G. Ενώ οι προσδοκίες είναι υψηλές για αυτό που η ITU χαρακτήρισε το IMT-2020, τη συμφωνία για την επίτευξη τεχνολογικών προτύπων 5G έως το 2020, ορισμένοι νέοι έχουν εκφράσει ανησυχίες σχετικά με το χρόνο που θα χρειαστεί για να υλοποιηθεί πραγματικά η υποδομή.

Αν και η χαμηλή ισχύς των μικρών κυψελών μπορεί να τα καθιστά εύκολο στην ανάπτυξη, περιορίζει ταυτόχρονα την κάλυψη μεμονωμένων κελιών. Για να αποφευχθούν παρεμβολές μεταξύ πομπών που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες, οι συχνότητες πρέπει να κατανέμονται προσεκτικά. Από τη μία πλευρά, οι παρεμβολές θα πρέπει να αποφεύγονται από την άλλη, μόνο ένας περιορισμένος αριθμός συχνοτήτων είναι διαθέσιμος. Ορισμένες περιοχές που υποβάλλονται σε διάθεση 5G παραπονιούνται για την τοποθέτηση όλων των κεραιών σε κάθε πιθανό μέρος. Η εξάπλωση ισχύος σε αυτές τις μικρές συσκευές σε όλη την αρχιτεκτονική της πόλης μπορεί επίσης να είναι μια πρόκληση, για να μην αναφέρουμε τις πρόσθετες απαιτήσεις ανάπτυξης, όπως μισθώσεις, άδειες, λειτουργικά κόστη και συνεχή συντήρηση.

Τα small cells μπορεί να είναι μικρά και ευπροσάρμοστα, αλλά πολλά από αυτά απαιτούνται για τη δημιουργία ενός δικτύου. Οποια εξοικονόμηση κόστους λαμβάνεται από την εκάστοτε εγκατάσταση πρέπει να ισορροπεί με τον υψηλό όγκο μονάδων που πρόκειται να εγκατασταθούν. Ακριβώς όπως ο νέος κόσμος του IoT θα αποτελείται από έναν τεράστιο αριθμό συσκευών, το 5G θα απαιτεί περισσότερα μικρά κελιά από όσα μπορούμε να φανταστούμε. Ένα ακόμη σημαντικό μειονέκτημα αφορά τα πιθανά περιβαλλοντικά ζητήματα και τις επιπτώσεις τους, με τους μεν και τους δε να αναφέρουν τις δικές τους απόψεις πάνω στο ζήτημα αυτό. Μια δήλωση από έναν οργανισμό που ονομάζεται Environmental Health Trust διακηρύσσει μια λίστα για τους λόγους που τα 5G small cells δεν πρέπει να τεθούν σε λειτουργία [32].

2.3 Κατηγοριοποίηση των small cells

Τα μικρά κύτταρα μπορεί να περιλαμβάνουν femtocells, picocells και microcells. Τα δίκτυα μικρών κυψελών μπορούν επίσης να πραγματοποιηθούν μέσω καταναμημένης τεχνολογίας ραδιοφώνου χρησιμοποιώντας κεντρικές μονάδες βάσης και απομακρυσμένες κεφαλές ραδιοφώνου. Η τεχνολογία Beamforming (εστίαση ενός ραδιοφωνικού σήματος σε μια πολύ συγκεκριμένη περιοχή) μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω ή να εστιάσει την κάλυψη μικρών κυψελών. Παρακάτω θα αναπτύξουμε μία προς μία τις τρεις κατηγορίες.

2.3.1 Femtocell

Το femtocell είναι ο μικρότερος τύπος μικρού κυττάρου σε ότι αφορά την περιοχή κάλυψης και χρησιμοποιείται για την επέκταση της συνδεσιμότητας του δικτύου κινητής τηλεφωνίας εντός μιας στοχευμένης γεωγραφικής περιοχής. Είναι ένας μικρός κυψελοειδής σταθμός βάσης χαμηλής ισχύος, που χρησιμοποιείται για χρήση σε οικείες ή μικρές επιχειρήσεις. Πολύ εύκολο στην εγκατάσταση χωρίς απαραίτητα με τη βοήθεια κάποιου τεχνικού. Ένας ευρύτερος όρος που είναι πιο διαδεδομένος στη βιομηχανία είναι το μικρό κύτταρο, με το femtocell ως υποσύνολο. Το femtocell επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να επεκτείνουν την κάλυψη των υπηρεσιών σε εσωτερικούς χώρους όταν η πρόσβαση θα μπορούσε να είναι περιορισμένη ή μη διαθέσιμη. Αν και πολλή προσοχή εστιάζεται στο WCDMA, η ιδέα ισχύει για όλα τα πρότυπα, συμπεριλαμβανομένων των λύσεων GSM, CDMA2000, TD-SCDMA, WiMAX και LTE [33].



Εικόνα10:Α Verizon and AT&T Femtocell [33]

Τα femtocells πωλούνται ή δανείζονται από έναν πάροχο δικτύου κινητής τηλεφωνίας (Mobile Network Operator, MNO) σε οικιακούς ή εταιρικούς πελάτες. Ένα femtocell είναι συνήθως το μέγεθος μιας πύλης κατοικιών ή μικρότερο και συνδέεται με την ευρυζωνική γραμμή του χρήστη. Υπάρχουν επίσης ενσωματωμένα femtocells (τα οποία περιλαμβάνουν έναν δρομολογητή DSL και femtocell). Μόλις γίνει η σύνδεση του femtocell με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας του MNO και παρέχει επιπλέον κάλυψη. Ο χρήστης δεν απαιτείται να έχει συγκεκριμένη εγκατάσταση ή τεχνικές γνώσεις, ο καθένας μπορεί να εγκαταστήσει ένα femtocell στο σπίτι. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο κάτοχος πρέπει να δηλώσει ποιοι αριθμοί κινητών τηλεφώνων επιτρέπεται να συνδεθούν στο femtocell του όταν αυτοί βρεθούν εντός εμβέλειας, συνήθως μέσω μιας διεπαφής ιστού που παρέχεται από το MNO. Αυτό γίνεται μόνο μία φορά κι αυτό στην αρχή της εγκατάστασης. Όταν τα κινητά τηλέφωνα βρεθούν εντός εμβέλειας κάτω του femtocell, αλλάζουν αυτόματα από το macrocell (outdoor) στο femtocell. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται handover. Μόλις εγκατασταθεί σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, τα περισσότερα femtocells διαθέτουν μηχανισμούς προστασίας, έτσι ώστε μια αλλαγή τοποθεσίας να αναφέρεται στο MNO. Εάν το MNO επιτρέπει στα femtocells να λειτουργούν σε διαφορετική τοποθεσία εξαρτάται από

την πολιτική του MNO [34].

Παρόλο που το εύρος και η χωρητικότητα του δικτύου femtocell είναι σχετικά περιορισμένα, η φύση τους με χαμηλή ισχύ είναι που τα καθιστά συχνά το μικρό κελί επιλογής. Πριν ξεκινήσει η ανάπτυξη ενός δικτύου μικρών κυψελών, ο στοχευμένος χώρος πρέπει να αναλυθεί για ορισμένους περιοριστικούς παράγοντες που ενδέχεται να προκαλέσουν παρεμβολές στο σήμα δικτύου και το αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης περιορίζει συχνά τη χρήση μεγαλύτερων τεχνολογιών μικρών κυψελών λόγω της πιθανότητας παρεμβολής σήματος. Λόγω του μικροσκοπικού της αποτυπώματος, η αρχιτεκτονική femtocell επιτρέπει την τοποθέτηση πολλαπλών κεραιών γύρω από το χώρο, παρέχοντας την απαραίτητη συνδεσιμότητα δικτύου χωρίς να διαταράζει το σήμα δικτύου femtocell και ταυτόχρονα να αναιρεί τα αποτελέσματα των παρεμποδιστικών εμποδίων. Σε αυτό το σενάριο, τα femtocells μπορούν να τοποθετηθούν στρατηγικά κοντά και γύρω από τους θαλάμους, καθώς και μέσα σε κάθε κλειστή αίθουσα συσκέψεων προκειμένου να παρέχουν μια σταθερή κυψελοειδή σύνδεση και να αποφευχθεί το φαινόμενο σκίασης.

2.3.2 Picocell

Ένα picocell είναι ένας μικρός κυψελοειδής σταθμός βάσης (Base Station, BS) που είναι μια εναλλακτική λύση για έναν επαναλήπτη ή κατανεμημένο σύστημα κεραίας. Χρησιμοποιείται για την επέκταση ασύρματων υπηρεσιών σε εσωτερικούς χώρους κτιρίων ή σε άλλες περιοχές που δεν είναι προσβάσιμες από δίκτυα που εξυπηρετούν μεγαλύτερους πύργους κυψελών. Είναι επίσης χρήσιμο για τη διασφάλιση της σύνδεσης φωνής και δεδομένων σε μικρότερους εσωτερικούς χώρους. Το μεγεθός τους κυμαίνεται από φορητό υπολογιστή έως ολόκληρο δωμάτιο ή χώρο. Διάφοροι τύποι δικτύων τηλεπικοινωνιών χρησιμοποιούν picocells για την παροχή υπηρεσιών σε περισσότερους χρήστες. Κατά κάποιον τρόπο, αυτές οι ρυθμίσεις μοιάζουν με τα τοπικά δίκτυα (Local Area Network, LAN) που εξυπηρετούνται από μεμονωμένους ασύρματους δρομολογητές, όπου ένας σταθμός picocell λαμβάνει ένα σήμα από ένα μεγαλύτερο δίκτυο και το διανέμει σε ένα πολύ τοπικό εύρος. Τα picocells παρέχουν κάλυψη και χωρητικότητα σε περιοχές που είναι δύσκολο ή ακριβό να προσεγγιστούν χρησιμοποιώντας την πιο παραδοσιακή προσέγγιση macrocell [35].

Σε κυψελοειδή ασύρματα δίκτυα, όπως το GSM, ο σταθμός βάσης picocell είναι συνήθως ένας χαμηλός, μικρός, αρκετά απλή μονάδα που συνδέεται με έναν ελεγκτή σταθμού βάσης (Base Station Controller, BSC). Πολλαπλά picocell συνδέονται σε κάθε BSC. Το BSC εκτελεί

λειτουργίες διαχείρισης πόρων και παράδοσης ραδιοσυχνοτήτων και συγκεντρώνει δεδομένα που πρέπει να μεταβιβαστούν στο κινητό μεταγωγικό κέντρο (Mobile Switching Centre, MSC) ή στον κόμβο υποστήριξης πύλης GPRS (GPRS Core Network, GGSN). Η συνδεσιμότητα μεταξύ των κεφαλών picocell και του BSC αποτελείται συνήθως από καλωδίωση εντός του κτιρίου. Τα πιο πρόσφατα συστήματα χρησιμοποιούν καλωδίωση Ethernet. Τα picocells είναι διαθέσιμα για τις περισσότερες κυτταρικές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των GSM, CDMA, UMTS και LTE από κατασκευαστές, συμπεριλαμβανομένων των ip.access, ZTE, Huawei και Airwalk.

Τα κυψελοειδή συστήματα αυξάνουν την ικανότητα επαναχρησιμοποιώντας την ίδια ραδιοσυχνότητα σε πολλά κελιά (μια πυκνή αστική περιοχή μόλις 200 μέτρων). Προκειμένου να παρέχεται επαρκής χωρητικότητα, καθώς και καλή κάλυψη εντός του κτηρίου και επομένως ποιότητα, απαιτείται μεγάλος αριθμός μικρών κυψελών. Το picocell συνήθως εγκαθίσταται και συντηρείται απευθείας από διαχειριστές δικτύου, οι οποίοι θα πληρώνουν για ενοικίαση ιστότοπου, τροφοδοτικό και σταθερές συνδέσεις δικτύου πίσω από το διακόπτη. Η διαφορά μεταξύ κυττάρων femto και κυττάρων pico είναι ότι στοχεύουν να γίνουν πιο ανεξάρτητα. Εγκαθίστανται από τον τελικό χρήστη στο σπίτι ή στο γραφείο τους, κυρίως για δικό τους όφελος. Τα femtocells καθορίζουν αυτόματα σε ποια συχνότητα και επίπεδα ισχύος πρέπει να λειτουργούν, αντί να κατευθύνονται από ένα κεντρικά καθορισμένο σχέδιο. Το μειονέκτημα είναι ότι τα femtocells κατά ομολογία δεν μεταδίδουν μια σειρά γειτονικών κυττάρων. Τα κινητά τηλέφωνα θα διατηρούσαν έτσι τη σύνδεση στο femtocell όσο το δυνατόν περισσότερο, αλλά κινδυνεύουν να εγκαταλείψουν την κλήση ή να έχουν σύντομη διακοπή [36].

ASPECT	PICOCELL	FEMTOCELL
Installation	Operator	Customer
Transmission to operator's network	Operator	Customer
Frequency/radio parameters	Centrally planned	Locally determined
Site rental	Operator	Customer

Πίνακας 1: Διαφορές μεταξύ picocell και femtocell [37]

2.3.3 Microcell

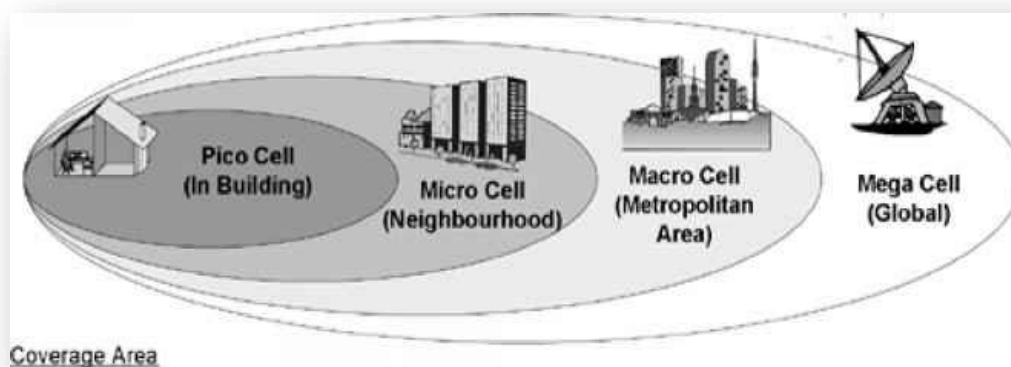
Ένα microcell είναι ένα κελί σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που εξυπηρετείται από έναν σταθμό κινητής τηλεφωνίας χαμηλής ισχύος (πύργος), που καλύπτει μια περιορισμένη περιοχή όπως ένα εμπορικό κέντρο, ένα ξενοδοχείο ή ένα κέντρο μεταφοράς. Ένα μικροκύτταρο είναι συνήθως μεγαλύτερο από ένα picocell και χρησιμοποιεί έλεγχο ισχύος για να περιορίσει την ακτίνα της περιοχής κάλυψης. Τα μικροκύτταρα και άλλα συστήματα μικρών κυψελών παρέχουν στους προγραμματιστές κινητής τηλεφωνίας τη δυνατότητα πυκνότητας ενός δικτύου που αντιμετωπίζει προβλήματα, επεκτείνοντας την κάλυψη σήματος και δίνοντας στους καταναλωτές περισσότερα σημεία πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Μετά την προσθήκη του μικροκυττάρου στο δίκτυο, θα εμφανιστεί ένα φαινόμενο στρώσης, όπου ο συνδεδεμένος χρήστης θα κατεβάσει αυτόματα από το σήμα μακρο στο σήμα μικροκυττάρου, με αποτέλεσμα να καταλήγουν σε υψηλότερες ταχύτητες εύρους ζώνης και καλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας λόγω της εγγύτητας του χρήστη με το μικροκύτταρο και του χαμηλότερου - σήμα ισχύος [38].

Εάν τα microcells ακούγονται παρόμοια με τα femtocells λόγω της παρόμοιας τεχνολογίας που χρησιμοποιούν, έχουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους. Με την πιο σημαντική εξ'αυτών να πυκνοποιούν το δίκτυο. Τα femtocells, τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν μόνο δώδεκα περίπου κινητές συνδέσεις κάθε φορά, αναπτύσσονται κυρίως σε μικρές εσωτερικές και εξωτερικές τοποθεσίες, ενώ τα μικροκύτταρα συνήθως αναπτύσσονται σε μεγαλύτερες εξωτερικές τοποθεσίες όπως γήπεδα, αμφιθέατρα και πανεπιστημιούπολεις, καθώς είναι σε θέση να υποστηρίξουν περισσότερους από λίγους χρήστες. Παρόλο που τα μικροκύτταρα έχουν μεγαλύτερη επίδραση πυκνότητας, τα μικροκύτταρα καταναλώνουν επίσης περισσότερη ισχύ από τα femtocells και κοστίζουν επίσης σημαντικά περισσότερο για την κατασκευή, εγκατάσταση και συντήρηση. Επομένως, όταν προσπαθείτε να συμπιέσετε το δίκτυο, είναι σημαντικό για τους προγραμματιστές να αξιολογήσουν την πίεση που μπορεί να αντιμετωπίσει το δίκτυο στις καθημερινές λειτουργίες, αλλιώς το δίκτυο μπορεί να οδηγηθεί σε πολύ μικρό ή πολύ μεγάλο εύρος ζώνης, αυξάνοντας έτσι το κόστος απόδοσης.



Εικόνα 11: Ένα μικροκύτταρο σε στήλο του δρόμου [39]

Λόγω των αμέτρητων πλεονεκτημάτων των microcells έναντι των picocells θα αποτελέσουν μία από τις πρωταρχικές μεθόδους για προσπάθειες επέκτασης δικτύου. Με τα microcells, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας μπορούν να επεκτείνουν και να βελτιώσουν τη συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο σε κάθε γωνιά και σε ολόκληρη τη χώρα. Αλλά δεν είναι μόνο αυτό, επειδή αυτές οι τεχνολογίες εξακολουθούν να εξελίσσονται με το πέρασμα των χρόνων, τα μικροκύτταρα δεν θα εξαρτώνται πλέον από το backhaul καθώς νέοι ασύρματοι πομποί έρχονται στην αγορά. Αυτοί οι πομποί είναι πιθανό να υιοθετήσουν το νέο πρότυπο 5G, έτσι ώστε να παρέχουν ταχύτητες δεδομένων πολύ πιο γρήγορα από ό, τι είναι διαθέσιμες σήμερα.



Εικόνα 12: Περιοχές κάλυψης των cells [39]

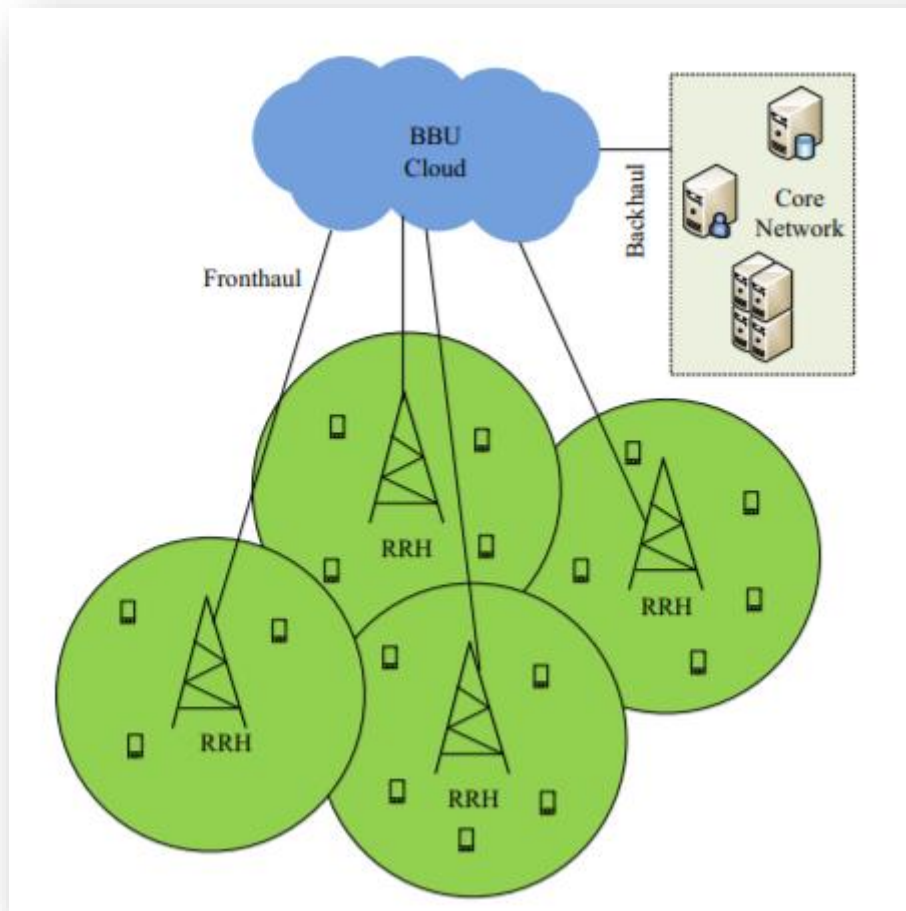
2.4 Σύντομη ανασκόπηση παλαιότερων αρχιτεκτονικών και αρχιτεκτονική C-RAN

Οι παραδοσιακές αρχιτεκτονικές των κυψελοειδών δικτύων αντιμετώπιζαν τεράστιες προκλήσεις λόγω της ταχύτατης αύξησης κίνησης των δεδομένων κινητής τηλεφωνίας, της περιορισμένης διαθεσιμότητας φάσματος και της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας. Για το σκοπό αυτό οι βιομηχανίες καθώς και οι ερευνητικές κοινότητες αναζητούσαν διαρκείς σημαντικές ανακαλύψεις στην ανάπτυξη νέων αρχιτεκτονικών δικτύων για την υποστήριξη της αυξανόμενης ζήτησης χρηστών, μειώνοντας παράλληλα τις δαπάνες για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων. Έτσι ανακαλύφθηκε η αρχιτεκτονική C-RAN, μια αρχιτεκτονική ασύρματης πρόσβασης στο cloud είναι μια ιδέα μετατόπισης παραδείγματος για κυψελοειδή δίκτυα, η οποία επίσης θεωρείται ενεργά ως βασικός υποψήφιος για μελλοντικά κυψελοειδή συστήματα 5G και 6G.

2.4.1 Αρχιτεκτονική C-RAN

Το C-RAN, μερικές φορές αναφέρεται ως Centralized-RAN, είναι μια αρχιτεκτονική για κινητά δίκτυα. Παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από το China Mobile Research Institute τον Απρίλιο του 2010 στο Πεκίνο της Κίνας. Πρόκειται ουσιαστικά για μια κεντρική αρχιτεκτονική cloud computing που βασίζεται σε δίκτυα ραδιοπρόσβασης που υποστηρίζει δίκτυα 2G, 3G, 4G και μελλοντικά πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας 5G. Το όνομά του προέρχεται από τα τέσσερα 'C' στα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος C-RAN, <Clean, Centralized processing, Collaborative radio, και σε πραγματικό χρόνο Cloud-Radio-Access-Network>. Αυτή είναι η αρχιτεκτονική δικτύου όπου οι λειτουργίες βάσης και υψηλότερου επιπέδου των BS εκτελούνται σε ένα cloud. Η αρχιτεκτονική C-RAN έχει τρία συστατικά στοιχεία:

- ένα “κουτί” BBU (Backup Battery Unit) που αποτελείται από πολλά BBU με κεντρικούς επεξεργαστές
- απομακρυσμένες ραδιοφωνικές κεφαλές (Remote Radio Heads, RRHs) με κεραίες και,
- ένα δίκτυο fronthaul που συνδέει μία RRH με την ομάδα BBU



Εικόνα 13: Μία γενική αρχιτεκτονική του C-RAN [40]

Στο C-RAN, τα παραδοσιακά BS χωρίζονται σε δύο μέρη, τα κατακεκομημένα RRHs και τα BBU συγκεντρώνονται σε μια ομάδα. Η δεξαμενή τοποθετείται σε μια κεντρική τοποθεσία, το cloud, που έχει ένα σύνολο BBU. Αυτό σημαίνει ότι οι πόροι ραδιοφώνου διαφορετικών BBU μπορούν να μοιραστούν για να καλύψουν τη δυναμική ζήτηση χρήστη με χρονική χωρική παραλλαγή. Το cloud ελέγχει τα RRH και είναι επίσης δυναμικά διαμορφώσιμο, δηλαδή, ο αριθμός των BBU μπορεί να αλλάξει με το χρόνο. Το cloud λειτουργεί ως εικονικός σταθμός βάσης που εκτελεί επεξεργασία baseband με τη βοήθεια επεξεργαστών γενικού σκοπού. Οι πόροι επεξεργασίας σήματος στο cloud κατανέμονται δυναμικά κατά παραγγελία. Το σύννεφο εκτελεί επίσης διάφορες λειτουργίες, όπως διαμόρφωση, κωδικοποίηση, γρήγορος μετασχηματισμός Fourier και επιλογή της κατάλληλης συχνότητας ή καναλιού. Οι κύριες λειτουργίες των RRH περιλαμβάνουν ενίσχυση ραδιοσυχνότητας (Radio Frequency, RF), φιλτράρισμα, ψηφιακή επεξεργασία, αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή, ψηφιακή σε αναλογική μετατροπή και προσαρμογή διεπαφής. Το τρίτο στοιχείο, το

fronthaul παρέχει μια σύνδεση επικοινωνίας μεταξύ του BBU και του RRH. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνολογίες όπως η επικοινωνία οπτικών ινών, η τυπική ασύρματη επικοινωνία και ακόμη και η επικοινωνία κυμάτων χιλιοστών (millimetre Wave, mmWave) για την πραγματοποίηση αυτών των συνδέσεων από απόσταση.

2.4.2 Πλεονεκτήματα της C-RAN

Παρακάτω θα αναφερθούν κάποια από τα πλεονεκτήματα αυτής της αρχιτεκτονικής.

1. Μειωμένες λειτουργικές δαπάνες: Η ανάπτυξη και θέση σε λειτουργία ενός macrocell BS είναι δαπανηρή και χρονοβόρα. Αντίθετα, το C-RAN συνεπάγεται μικρότερο κόστος, χώρο και χρόνο για την ανάπτυξη, εγκατάσταση και λειτουργία RRHs. Ακόμη, μπορεί να καταστήσει δυνατή την αποτελεσματικότερη κοινή χρήση εξοπλισμού που οδηγεί σε μειωμένο CAPEX.
2. Μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε από την ZTE εκτιμά ότι το C-RAN μπορεί να επιτύχει έως και 80% εξοικονόμηση ενέργειας σε σύγκριση με το παραδοσιακό RAN.
3. Τα σύγχρονα κυψελοειδή δίκτυα παρουσιάζουν σημαντικό αριθμό χρονικής και χωρικής ποικιλομορφίας στην κίνηση. Ωστόσο, οι BS έχουν διαστάσεις για ώρες εργασίας που συνεπάγονται σπατάλη ισχύος επεξεργασίας κατά τις ώρες offpeak. Ξέροντας ότι στο C-RAN, η επεξεργασία βασικών ζωνών πολλαπλών BS πραγματοποιείται στην κεντρική ομάδα BBU, οι πόροι για τα BS μπορούν να εκχωρηθούν με τον βέλτιστο τρόπο με βάση τη στιγμιαία ζήτηση κυκλοφορίας και έτσι το συνολικό ποσοστό χρήσης πόρων μπορεί να βελτιωθεί.
4. Μειωμένος λανθάνων χρόνος: Το C-RAN έχει τη δυνατότητα να μειώσει τον λανθάνοντα χρόνο στην εκτέλεση διαφόρων λειτουργιών. Για παράδειγμα, ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση μεταβιβάσεων θα μειωθεί καθώς μπορεί να γίνει μέσα σε ένα σύννεφο αντί μεταξύ των BS [41].

2.4.3 Μειονεκτήματα της C-RAN

Από την άλλη πλευρά πέρα από τα θετικά που μπορεί να προσφέρει έχει και κάποια αρνητικά στοιχεία τα οποία θα πρέπει να αντιμετωπισθούν. Το πρόβλημα ασφάλειας και εμπιστοσύνης του C-RAN είναι ένα από τα μεγάλα προβλήματα, το οποίο έχει προκαλέσει ιδιαίτερη ανησυχία. Σε ασύρματα δίκτυα, λόγω του ανοίγματος της μετάδοσης, οι εξουσιοδοτημένοι ή παράνομοι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτό. Επιπλέον, το C-RAN έχει τεράστιο κίνδυνο για ένα μόνο σημείο αποτυχίας, δηλαδή, εάν το σύννεφο αποτύχει, ολόκληρο το δίκτυο θα παραλύσει. Από την άλλη, η αρχιτεκτονική C-RAN φέρνει μια τεράστια επιβάρυνση στις οπτικές συνδέσεις fronthaul μεταξύ RRHs και cloud, οι οποίες είναι 50 φορές υψηλότερες σε σχέση με τις απαιτήσεις backhaul. Υπάρχει επίσης δυνατότητα αύξησης του λανθάνοντος χρόνου σε ορισμένες περιπτώσεις λόγω της κεντρικής επεξεργασίας σήματος [42].

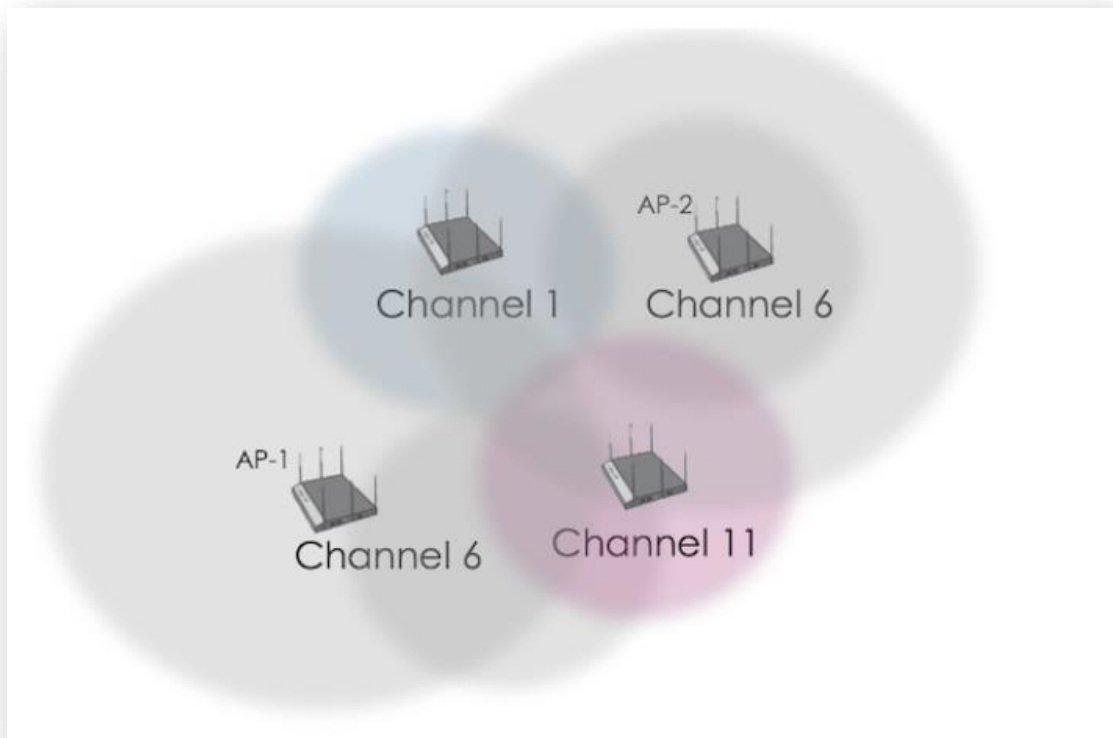
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Διαχωρισμός σε uplink και downlink

3.1 Παρεμβολές στα ασύρματα δίκτυα

Τα 5G δίκτυα έχουν ήδη ξεκινήσει με ένα νέο εύρος υπηρεσιών και εφαρμογών. Όπως όμως και σε όλα τα ασύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιών έτσι και σ' αυτά υπάρχουν διάφοροι τύποι παρεμβολών. Έτσι παρακάτω θα αναλύσουμε αυτού του είδους τις παρεμβολές [43].

3.1.1 Co-channel Interference

Πρώτο είδος παρεμβολών, η παρεμβολή ίδιων καναλιών (Co-Channel Interference, CCI). Είναι διασταύρωση από δύο διαφορετικούς πομπούς ραδιοφώνου χρησιμοποιώντας το ίδιο κανάλι. Οι παρεμβολές ίδιων καναλιών μπορούν να προκληθούν από πολλούς παράγοντες, όπως από τις καιρικές συνθήκες έως και θέματα διαχείρισης και σχεδιασμού. Η παρεμβολή αυτή μπορεί να ελέγχεται από διάφορα σχήματα διαχείρισης πόρων ραδιοφώνου. Οφείλεται στην επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων αφού υπάρχουν κυψέλες στις οποίες χρησιμοποιούνται οι ίδιες ομάδες συχνοτήτων. Ειδικότερα, η ομοκαναλική παρεμβολή δημιουργείται όταν ο πομποδέκτης ενός BS εκπέμπει σήμα στη ίδια συχνότητα φέροντος με το πομποδέκτη που βρίσκεται σε άλλο BS. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το εύρος ζώνης ενός σήματος να καλύπτει το εύρος ζώνης του άλλου. Αυτό συμβαίνει επειδή στις κυψελοειδείς κινητές επικοινωνίες, το φάσμα συχνοτήτων είναι ένας πολύτιμος πόρος και χωρίζεται σε μη επικαλυπτόμενες ζώνες φάσματος που κατανέμονται σε διαφορετικά κελιά. Ωστόσο, μετά από μία συγκεκριμένη γεωγραφική απόσταση, αυτές οι ζώνες συχνοτήτων επαναχρησιμοποιούνται, δηλαδή οι ίδιες ζώνες φάσματος εκχωρούνται σε άλλα απομακρυσμένα κελιά. Έτσι η ομοκαναλική παρεμβολή προκύπτει στα κινητά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας λόγω αυτού του φαινομένου επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Στην πραγματικότητα δεν είναι μια παρέμβαση αλλά περισσότερο ένα είδος συμφόρησης. Εμποδίζει την απόδοση αυξάνοντας τον χρόνο αναμονής, καθώς το ίδιο κανάλι χρησιμοποιείται από διαφορετικές συσκευές. Το CCI αναγκάζει άλλες συσκευές να αναβάλουν τις μεταδόσεις και να περιμένουν σε μια ουρά έως ότου ολοκληρωθεί η πρώτη συσκευή χρησιμοποιώντας τη γραμμή μετάδοσης και το κανάλι είναι ελεύθερο [44].

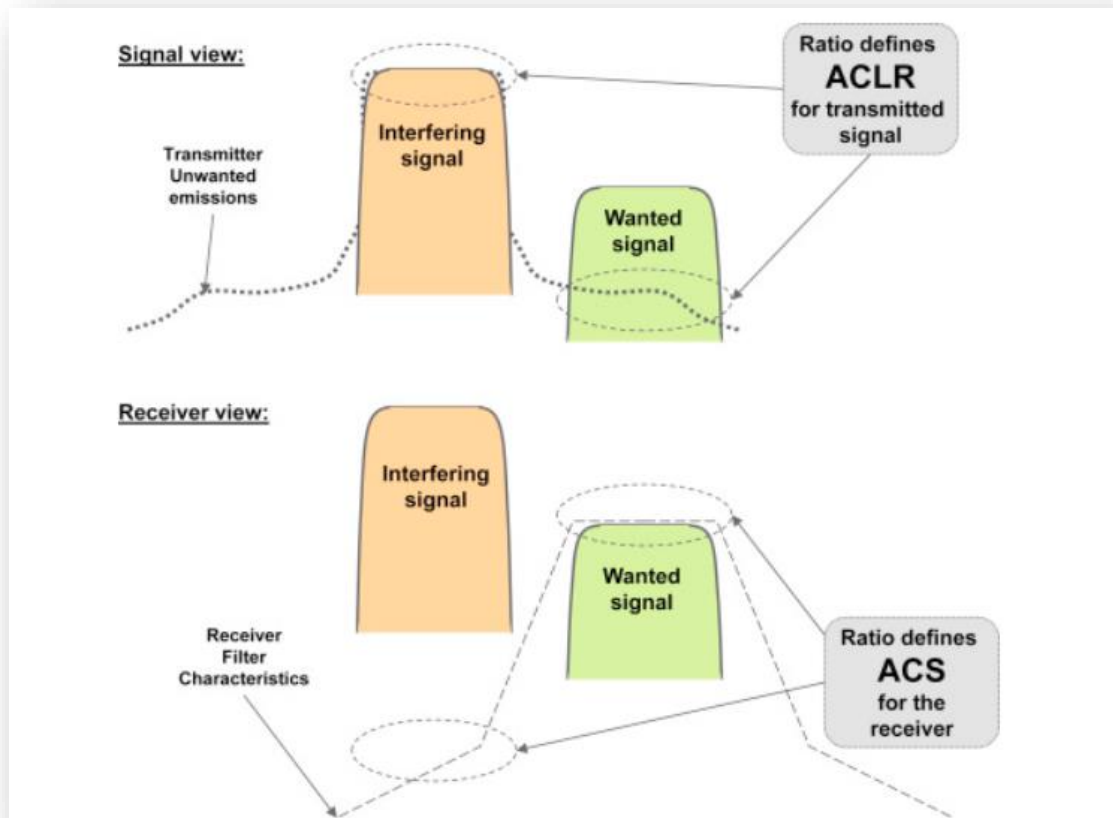


Εικόνα 14: Ομοκαναλική Παρεμβολή [45]

Κάποτε ο Keith Parsons είχε επισημάνει ότι «Το Wi-Fi είναι 100 φορές πιο ευαίσθητο σε άλλα Wi-Fi από τις παρεμβολές χωρίς Wi-Fi» [45]. Όπως φαίνεται και απ' αυτό σχήμα παρά το μοτίβο επαναχρησιμοποίησης τριών καναλιών, τα AP στο ίδιο κανάλι θα ακούσουν το ένα το άλλο και θα αναβάλουν. Όλες αυτές οι αναβολές δημιουργούν μεσαία διαφωνία γενικά και καταναλώνουν πολύτιμο χρόνο ομιλίας επειδή υπάρχουν δύο βασικά σεντ υπηρεσιών στο ίδιο κανάλι που μπορούν να ακούσουν το ένα το άλλο.

3.1.2 Adjacent channel Interference

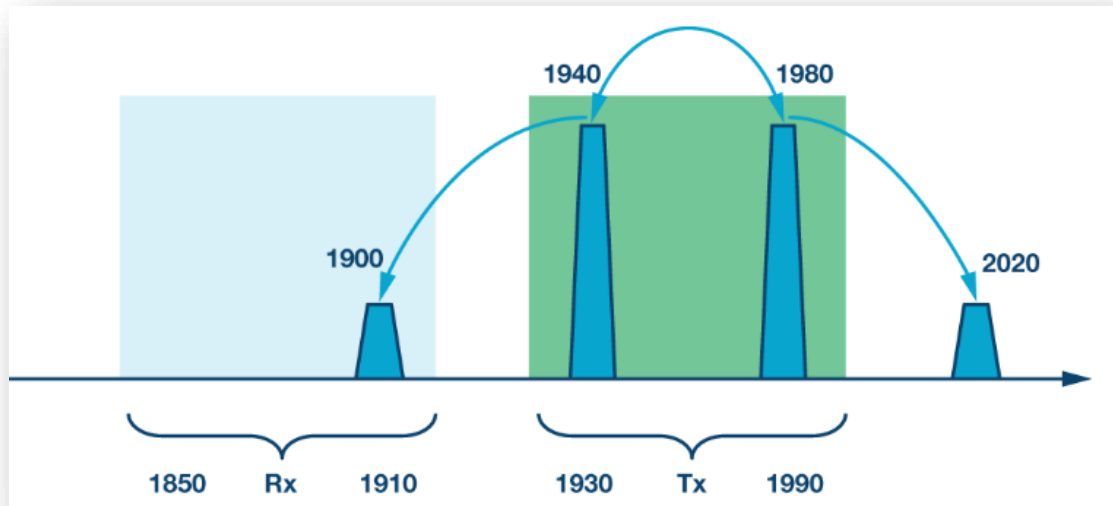
Η παρεμβολή γειτονικών καναλιών (Adjacent Channel Interference, ACI) είναι παρεμβολές που προκαλούνται από ένα κανάλι που βρίσκεται κοντά σε ένα γειτονικό κανάλι και χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες μ' αυτό. Το ACI μπορεί να προκληθεί από ανεπαρκές φιλτράρισμα (όπως ελλιπές φιλτράρισμα ανεπιθύμητων προϊόντων διαμόρφωσης σε συστήματα FM), ακατάλληλο συντονισμό ή κακό έλεγχο συχνότητας. Η παρεμβολή γειτονικών καναλιών που δέχεται ο δέκτης A από έναν πομπό B είναι το άθροισμα της ισχύος που εκπέμπει ο B στο κανάλι A, γνωστό ως "ανεπιθύμητη εκπομπή" και αντιπροσωπεύεται από το δείκτη διαρροής καναλιού δίπλα (Adjacent Channel Leakage Ratio, ACLR) και την ισχύ που το A παίρνει από το κανάλι B, το οποίο αντιπροσωπεύεται από την γειτονική επιλεκτικότητα καναλιών (Adjacent Channel Selectivity, ACS). Αυτό οφείλεται κυρίως στην αδυναμία των φίλτρων των πομποδεκτών να ανακόψουν όλες τις συχνότητες οι οποίες διαφεύγουν στα γειτονικά κανάλια. Για την αντιμετώπιση της παρεμβολής γειτονικού καναλιού χρησιμοποιούνται φίλτρα με υψηλή διακριτική ικανότητα τα οποία όμως κοστίζουν ακριβά και η υλοποίηση της συνάρτησης μεταφοράς τους είναι εξαιρετικά δύσκολη. Για αυτούς τους λόγους, η αντιμετώπιση τέτοιου είδους παρεμβολών γίνεται με τη προσεχτική ανάθεση καναλιών στις κυψέλες ώστε να αποφεύγεται η χρήση γειτονικών συχνοτήτων σε γειτονικές κυψέλες. Επίσης, διατηρείται μια ελάχιστη φασματική απόσταση μεταξύ των καναλιών [46].



Εικόνα 15: Απεικόνιση των ACLR/ACS [47]

3.1.3 Intermodulation Interference

Η παρεμβολή ενδοδιαμόρφωσης (intermodulation interference) ανήκει στις παρεμβολές οι οποίες είναι προβλέψιμες και εμφανίζεται στα κυκλώματα εισόδου των δεκτών ή στα κυκλώματα εξόδου των πομπών όταν δύο ή περισσότερα σήματα διέρχονται από ένα μη γραμμικό κύκλωμα. Είναι ο ανεπιθύμητος συνδυασμός πολλών σημάτων σε μια μη γραμμική συσκευή, παράγοντας νέες ανεπιθύμητες συχνότητες, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν παρεμβολές στους δέκτες που βρίσκονται σε τοποθεσίες επαναληπτών. Οι περισσότερες διαμορφώσεις συμβαίνουν στον μη γραμμικό ενισχυτή ισχύος του πομπού. Το επόμενο πιο κοινό σημείο ανάμειξης είναι στο μπροστινό άκρο ενός δέκτη. Συνήθως εμφανίζεται στον μη προστατευμένο πρώτο μίκτη ραδιοφώνων παλαιότερου μοντέλου ή σε μερικές περιπτώσεις έναν υπερπροστατευμένο ενισχυτή RF front-end [48].



Εικόνα 16: Παθητική διαμόρφωση, επιστρέφοντας στη ζώνη δέκτη [48]

Όσον αφορά, πιο συγκεκριμένα, τις παρεμβολές σε uplink και downlink: Το 5G φέρνει μια άλλη νέα πτυχή στο πεδίο, είναι η πρώτη φορά που τα δίκτυα διμερούς διαίρεσης χρόνου (Time Division Duplex, TDD) θα έχουν παγκόσμια επίδραση. Για πολλούς χρήστες, η πρόκληση ξεκινά με την κατανόηση των επιπτώσεων της διαχείρισης ενός δικτύου TDD, ειδικά όταν οι παρεμβαίνοντες απειλούν να μειώσουν την απόδοση και την αξιοπιστία. Στην ανερχόμενη ζεύξη (Uplink, UL) επικοινωνιών είναι πιο πιθανό να προκύψουν παρεμβολές απ' ότι στην κατερχόμενη ζεύξη (Downlink, DL). Στα δίκτυα FDD (Frequency Division Duplex), είναι εύκολο να επικεντρωθούμε στο εύρος συχνοτήτων που έχει εκχωρηθεί στην ανερχόμενη ζεύξη και, είτε με έναν αναλυτή φάσματος είτε με έναν φορητό δέκτη, να εντοπίσουμε και να εντοπίσουμε την πηγή παρεμβολών. Στα δίκτυα TDD, η κατώτερη ζεύξη και η ανερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα, που σημαίνει ότι τα σήματα κατερχόμενης ζεύξης καλύπτουν την ανερχόμενη ζεύξη και οποιαδήποτε άλλα σημερινά σήματα.

3.2 Όσον αφορά το coupling/decoupling του UL/DL

Κάνοντας μία ανασκόπηση από το 1G έως και το 4G δίκτυο κινητής τηλεπικοινωνίας, φαίνεται πως μέχρι τότε είχαν συνδέσει την κατώτερη ζεύξη με την ανώτερη ζεύξη επιπέδων δικτύων ως ένα ενιαίο ζεύγος. Ιστορικά, αυτή ήταν μια σχεδόν βέλτιστη προσέγγιση, καθώς η ισχυρότερη σύνδεση BS-UE ήταν η ίδια και στις δύο κατευθύνσεις. Με άλλα λόγια μία κινητή συσκευή που θέλει να συνδεθεί με ένα σταθμό βάσης θα έπρεπε ταυτόχρονα να συνδεθεί και με το DL και με το UL επίπεδο. Η αποσύνδεση και των δύο συνδέσεων απαιτεί επίσης ισχυρό συγχρονισμό και συνδεσιμότητα δεδομένων μεταξύ των BS. Από την προοπτική ανάπτυξης και τοπολογίας, μέχρι πριν από λίγα χρόνια, τα κυτταρικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί υπό την προϋπόθεση ενός ομοιογενούς δικτύου με μακροκυψέλες που μεταδίδουν όλα με την ίδια ισχύ. Από την άποψη της κυκλοφορίας, το φορτίο και στις δύο κατευθύνσεις ήταν περίπου το ίδιο στα φωνητικά κεντρικά συστήματα 2G και 3G. Επιπλέον, τα συστήματα 3,5G όπως HSPA και 4G κυριαρχούνται από την κατερχόμενη κίνηση, δικαιολογώντας τη χρήση διαδικασιών συσχέτισης DL αντί για UL.

Ωστόσο, με τα χρόνια νέες τεχνολογίες και καινοτομίες εφευρέθηκαν. Το Downlink and Uplink Decoupling (DUDe), είναι ένα νέο αρχιτεκτονικό παράδειγμα όπου τα DL και UL μπορούν να συνδέονται σε διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Έτσι, ένας χρήστης που έχει πρόσβαση σε πολλά BS σε ένα πυκνό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας μπορεί να συνδεθεί στο DL από ένα BS και να στείλει την κυκλοφορία UL μέσω ενός άλλου κερδίζοντας έτσι χωρητικότητα και καλύτερη κάλυψη (όσον αφορά τον αριθμό χρηστών). Σύμφωνα με μια πολιτική DUDe, ένα UE που βρίσκεται στην κάλυψη ενός απομακρυσμένου macrocell και ενός στενού small cell θα μπορούσε να λάβει υψηλότερη ισχύ από το μακρινό macrocell στο DL λόγω της υψηλής ισχύος και του κέρδους του macrocell BS, το UE θα συνδεόταν με το macrocell στο DL, μεγιστοποιώντας το ρυθμό κυκλοφορίας. Ωστόσο, δεδομένης της περιορισμένης ισχύος του UE στο UL, η σύνδεση με το κοντινό small cell θα ήταν προτιμότερη στο UL από τη σύνδεση με το μακρινό macrocell. Έτσι, ο διαχωρισμός των UL και DL στο DUDe παρέχει ευελιξία που μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη για το δίκτυο. Πλήθος ερευνητικών έργων μέχρι στιγμής έχουν τεκμηριώσει τα οφέλη που προκύπτουν από την απασχόληση του DUDe σε πυκνά κυψελοειδή δίκτυα. Παρακάτω στην επόμενη ενότητα θα αναφερθούν εκτενέστερα τα πλεονεκτήματα αυτού του διαχωρισμού για τα δίκτυα πέμπτης γενιάς [49].

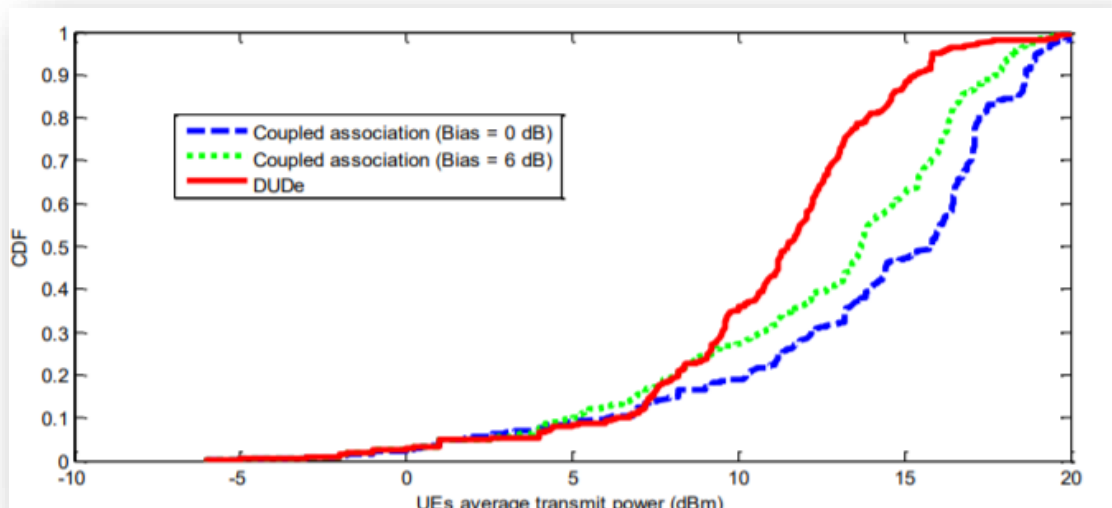
3.3 Πλεονεκτήματα διαχωρισμού UL/DL

Προχωρώντας, σ' αυτή την ενότητα θα αναλύσουμε τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον διαχωρισμό του δικτύου μέσα από μελέτες τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο.

1. Αυξημένη SNR ανερχόμενης ζεύξης και μειωμένη ισχύ μετάδοσης:

Όσον αφορά την κατερχόμενη ζεύξη ένα BS macrocell εκπέμπει σε μεγαλύτερη ισχύ από έναν small cell. Αυτό οφείλεται κυρίως στις διαφορετικές δυνάμεις μετάδοσης της κατερχόμενης ζεύξης, αλλά και επίσης στα επίπεδα BS και στα οφέλη της κεραίας. Για το λόγο αυτό μπορεί να καλύψει μια ευρύτερη μεγάλη περιοχή συγκριτικά με το small cell. Από την άλλη πλευρά, στην ανερχόμενη ζεύξη όλοι οι πομποί έχουν περίπου την ίδια μέγιστη ισχύ μετάδοσης, λόγω της μετάδοσης που γίνεται από τους UEs σε BS. Επομένως, μια συσκευή που σχετίζεται με ένα macrocell στην κατερχόμενη ζεύξη θα μπορούσε να συσχετιστεί με ένα small cell στην ανερχόμενη ζεύξη, για να επωφεληθεί από τη μειωμένη απώλεια στο μεταδιδόμενο σήμα σε σχέση με μία πιθανή συσχέτιση με ένα macrocell. Έτσι και στις δύο αυτές περιπτώσεις θα ανάγκαζε να συνδεθεί στον ίδιο σταθμό βάσης. Με το διαχωρισμό προκύπτουν τα εξής θετικά. Για τους UE που εκπέμπουν στην μέγιστη ισχύ, συνδέοντας στον πλησιέστερο BS παρέχεται υψηλότερο SNR. Επίσης, για συγκεκριμένη τιμή SNR είναι εφικτό να έχουμε μειώσεις στην ισχύ εκπομπής λόγω μειωμένης απόσβεσης σήματος στην περίπτωση UL όπου αντί η συσκευή να συνδεθεί με ένα macrocell συνδέεται με το κοντινότερο small cell.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα εξομοιώσεων που προέκυψαν από μελέτες φαίνονται παρακάτω στην γραφική παράσταση της εικόνας τρεις διαφορετικές περιπτώσεις.



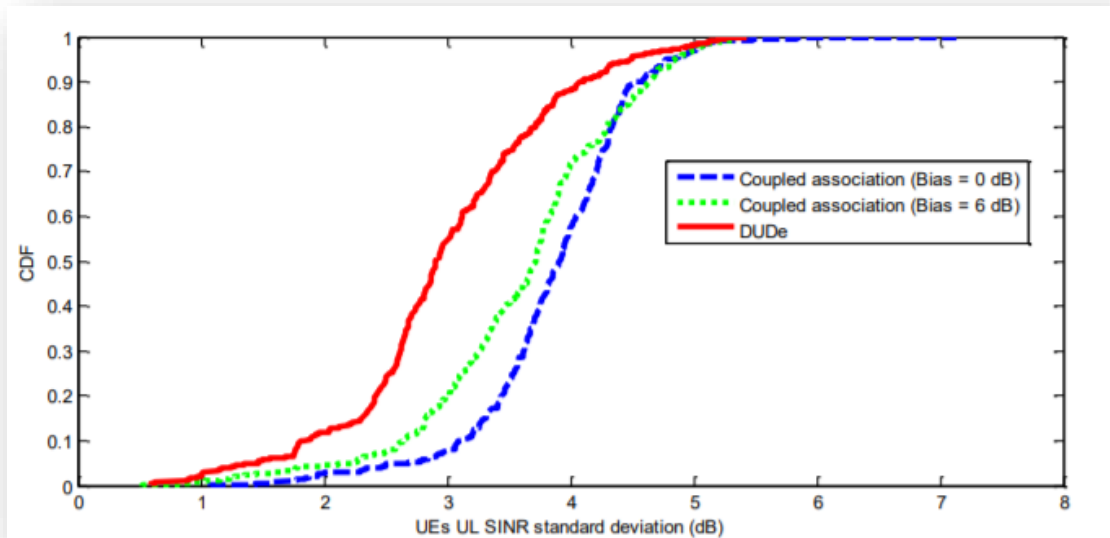
Εικόνα 17: Κατανάλωση ενέργειας για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις [51]

Η 1^η, η οποία είναι με μπλε χρώμα, είναι ο συζευγμένος σύνδεσμος για την μέση ισχύ UL/DL χωρίς υποδομές small cells. Η 2^η, η οποία είναι με το πράσινο χρώμα, είναι η μέση ισχύς κατανάλωσης με ενοποιημένα επίπεδα UL/DL αλλά με υποδομές small cells. Τέλος, η 3^η περίπτωση αφορά το DUDe.

2. Βελτιωμένες συνθήκες παρεμβολών uplink:

Το DUDe όσον αφορά το UL επίπεδο μειώνει τις παρεμβολές και άρα έχουμε καλύτερη απόδοση. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό ειδικά για τα χαμηλά SINR UEs στην ανερχόμενη ζεύξη, καθώς στο χαμηλό SINR σε ένα πυκνό δίκτυο, η μείωση της παρεμβολής συνεπάγεται κατά προσέγγιση διπλασιασμό του ρυθμού δεδομένων. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα ανεξάρτητης επιλογής της συσκευής για το αν θέλει ή όχι να συνδεθεί σε διαφορετικούς σταθμούς βάσης στα διαχωρισμένα δίκτυα. Πολύ σημαντικό όφελος από μόνο του, αφού για το UL επίπεδο η παρεμβολή σε μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων είναι ένα σύνολο πολλών διαφορετικών μεταδόσεων UE σε διαφορετικά κελιά όπως λαμβάνονται από ένα δεδομένο BS. Η παρεμβολή που δημιουργείται εξαρτάται από την απόσταση της συσκευής από το επιθυμητό BS. Από την άλλη για το DL η παρεμβολή σε ένα δεδομένο UE εξαρτάται από την ισχύ μετάδοσης του BS, τα βάρη διαμόρφωσης δέσμης ζεύξης και την απόσταση από τα υπόλοιπα διαφορετικά BS. Έτσι, αναιρείται η απαίτηση μια συσκευή να συνδέεται με ένα σταθμό βάσης και στα δύο επίπεδα με βάση τις DL επιδόσεις. Εκτός από τη μείωση του μέσου όρου των

παρεμβολών, το DUDe επιτρέπει επίσης τη μείωση της διακύμανσης SINR ανερχόμενης ζεύξης. Αυτό φαίνεται και μέσα από την γραφική παράσταση που ακολουθεί.



Εικόνα 18: Οι 3 περιπτώσεις για το SINR [51]

Στην εικόνα η 1^η περίπτωση είναι με μπλε χρώμα και αναπαριστά την SINR μετρική στα UEs σε δίκτυο με ενοποιημένα τα επίπεδα UL/DL χωρίς υποδομές small cells, η 2^η είναι με πράσινο χρώμα και αναπαριστά την SINR με ενοποιημένα επίπεδα UL/DL αλλά με υποδομές small cells και η 3^η με κόκκινο χρώμα που αναπαριστά το μεταβαλλόμενο SINR μέσω DUDe μηχανισμού.

3. Βελτιωμένος ρυθμός δεδομένων ανόδου στο UL:

Προχωρώντας, η αύξηση της επιθυμητής λαμβανόμενης ισχύος και η μείωση της παρεμβολής οδηγεί σε υψηλότερο SINR, και συνεπώς σε υψηλότερη φασματική απόδοση και ρυθμό δεδομένων. Σύμφωνα με μελέτες, για παράδειγμα, ένα LTE HetNet (Heterogeneous Network) με επέκταση μικρού εύρους κυττάρων, το οποίο επιτυγχάνεται με πόλωση των UE προς τα μικρά κελιά, που σημαίνει ότι συσχετίζονται με ένα μικρό κύτταρο BS, ακόμη και αν η ληφθείσα ισχύς τους είναι μικρότερη από macrocell του BS. Κατά μέσο όρο, η βέλτιστη ισχύς κάτω ζεύξης βρίσκεται μεταξύ των 5-10 dB, αν και με αποφυγή παρεμβολών, μπορεί να χρησιμοποιηθούν έως και 18-20 dB σε ορισμένα σενάρια. Η DL οδηγεί σε καλύτερη σύνδεση και στις δύο κατευθύνσεις, ακόμη και με συζευγμένη σύνδεση, καθώς με την επέκταση της περιοχής κάλυψης small cells DL, περισσότερα UE συσχετίζονται με τα κοντινά small cells στο UL, το οποίο είναι επίσης το κύριο σημείο του DUDe. Παρ' όλα αυτά, εξακολουθούμε να παρατηρούμε πολύ σημαντικά κέρδη για το

DUDe.

4. Διαφορετική εξισορρόπηση φορτίου UL/DL:

Το φορτίο που έχει ένα δεδομένο BS στο UL μπορεί να είναι διαφορετικό από το φορτίο που μπορεί να έχει το ίδιο BS στο DL. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν είναι βέλτιστο να υπάρχει το ίδιο σύνολο UE συνδεδεμένο με το ίδιο BS τόσο σε UL όσο και σε DL. Αυτό γίνεται ώστε οι συσκευές να μπορούν να συνδεθούν σε small cell αντί σε macrocell. Το DUDe επιτρέπει την ώθηση περισσότερων UE σε μικρότερα κελιά στο UL μόνο εφόσον δεν περιορίζεται από παρεμβολές όπως συμβαίνει στην DL. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη κατανομή των UE μεταξύ macrocell και small cell που επιτρέπουν μια πιο αποτελεσματική χρήση πόρων και υψηλότερους ρυθμούς UL.

5. Χαμηλό κόστος ανάπτυξης με συγκέντρωση RAN:

Η εφαρμογή μιας αποσυνδεδεμένης κυψέλης σε πραγματικό δίκτυο απαιτεί εξαιρετική συνδεσιμότητα και μέτρια συνεργασία μεταξύ διαφορετικών σταθμών βάσης με όσο το δυνατόν μικρότερη καθυστέρηση για να επιτρέπεται η γρήγορη ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου. Το DUDe επιτρέπει κέρδη παρόμοια με την κοινή σύνδεση άνω ζεύξης αλλά με χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης. Σε σύγκριση με τη χρήση MIMO ή νέου φάσματος για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, η σύγκριση κόστους είναι πιο επωφελής για το DUDe. Το MIMO είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί πολλαπλές μεταδόσεις και υποδοχές μιας κεραίας για τον πολλαπλασιασμό της χωρητικότητας της ραδιοζεύξης για τη χρήση πολλαπλής διάδοσης διαδρομών. Το MIMO έχει γίνει βασικό στοιχείο των προτύπων ασύρματης επικοινωνίας αλλά οι συσκευές αναγκαστικά περιορίζονται όσον αφορά το μέγιστο πλήθος κεραιών που μπορούν να ενσωματωθούν. Ο DUDe μηχανισμός προσφέρει το πλεονέκτημα του ότι δεν απαιτεί κανέναν περιορισμό όσον αναφορά τις ανάγκες σε backhaul υποδομές δικτύου. Μέσω του μηχανισμού αυτού, το δίκτυο επωφελείται όχι μόνο από τις υψηλές ταχύτητες που παρέχει, αλλά και από το πολύ χαμηλό κόστος ενσωμάτωσης του μηχανισμού [50].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Πειραματική Προσέγγιση

4.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει μελετηθεί μέχρι στιγμής το θεωρητικό υπόβαθρο του δικτύου 5G, των small cells καθώς και του DUDe. Είναι σκόπιμο όμως να μελετηθεί και σε πρακτικό επίπεδο για να δούμε τα αποτελέσματα των όσων αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Για το λόγο αυτό μελετήθηκαν αρκετές επιστημονικές εργασίες με τους διάφορους μηχανισμούς που χρησιμοποιούν και θα αναλυθούν στις επόμενες ενότητες παραθέτοντας και τα αποτελέσματά τους. Δίνεται έμφαση στον μηχανισμό DUDe ώστε και πρακτικά να αποδειχθούν τα πλεονεκτήματά του.

4.2 Μοντελοποίηση της χωρικής κατανομής χρηστών μέσω του μοντέλου Matern

4.2.1 Εισαγωγικά

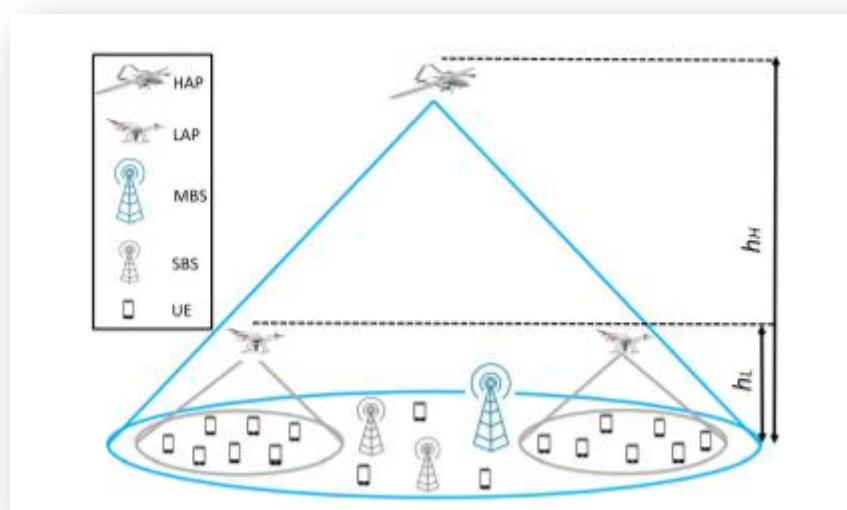
Όπως ήδη αναφέρεται και από τα προηγούμενα κεφάλαια οι καινοτόμες τεχνολογίες και υπηρεσίες που προσφέρονται από ασύρματα δίκτυα 5ης γενιάς, μαζί με ελπιδοφόρες βελτιώσεις απόδοσης, αναμένεται να φέρουν τεράστιο πολλαπλασιασμό στην κλίμακα ασύρματων δικτύων, απαιτήσεων δεδομένων κινητής τηλεφωνίας και τύπων υπηρεσιών δικτύου. Η εξέλιξη στο μέγεθος των κυψελών από μικρά σε μικροσκοπικά και η φύση των σταθμών βάσης από επίγεια σταθερά σε εναέρια είναι από τις πολλά υποσχόμενες ερευνητικές κατευθύνσεις για το σχεδιασμό ασύρματων δικτύων φάσματος, ενέργειας και κόστους. Τέτοια εναέρια και χερσαία ογκομετρικά ετερογενή δίκτυα BS έχουν τη δυνατότητα να επαναχρησιμοποιούν έξυπνα τους πόρους του δικτύου. Έτσι, για την βελτίωση της ποιότητας (Quality of Service, QoS) μία έξυπνη λύση είναι η εφαρμογή μικρών σταθμών βάσης μικρής ισχύος (Small Base Station, SBS) σε συνδυασμό με τη macro BS υψηλής ισχύος (Macro Base Station, MBS) στο επίγειο ετερογενές κυψελοειδές δίκτυο (Terrestrial Heterogeneous Cellular Network, T-HCN). Από την άλλη πλευρά, ως λύση για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπως και διαφόρων άλλων η ανάπτυξη μη επανδρωμένων εναέριων μέσων (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) θεωρείται επίσης εξαιρετικά σημαντική για την επίλυση του οικονομικού δικτύου περιορισμοί. Τα BS που βασίζονται σε UAV συμβάλλουν επίσης στη διασφάλιση ευνοϊκών συνθηκών καναλιού για

τον εξοπλισμό χρήστη, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της απόδοσης τέτοιων εναέριων ετερογενών κυψελοειδών δικτύων (Aerial Heterogeneous Cellular Network, A-HCNs). Το A-HCN είναι μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για την παροχή κάλυψης στους συγκεντρωμένους χρήστες.

Σύμφωνα με την μελέτη που αναφέρεται στην εργασία [52], αναλύεται το σενάριο της μοντελοποίησης σε μία σειρά τεσσάρων περιπτώσεων καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως η τεχνική διαχωρισμού του δικτύου επιφέρει ισχυρή βελτίωση στην απόδοση κάλυψης αλλά και την φασματική απόδοση. Με βάση τα ληφθέντα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται η εγκυρότητα του μοντέλου.

4.2.2 Μοντέλο Συστήματος

Θεωρείτε ένα AT-HCN (Aerial Terrestrial Heterogeneous Cellular Network) δύο επιπέδων, το οποίο είναι η ένωση των δύο δικτύων A-HCN και T-HCN, στο οποίο οι BS στο k -οστο επίπεδο διανέμονται ως ανεξάρτητο HPPP δ_k , δηλαδή, $k \in \{H, L\}$, όπου τα H και L αντιπροσωπεύουν BS υψηλής ισχύος και χαμηλής ισχύος BS, αντίστοιχα. Τα BS διαχωρίζονται περαιτέρω ως εναέρια ή επίγεια χρησιμοποιώντας $q_k \in [0, 1]$, όπου $q_k = 1$ υποδεικνύει ότι στο επίπεδο k -οστού όλα τα BS είναι επίγεια. Σ' αυτό το μοντέλο, η πυκνότητα, το ύψος της κεραίας, η ισχύς μετάδοσης και εκθέτης pathloss των BS k -οστού βαθμίδας αντιπροσωπεύεται από λ_k , h_k , P_k και α_k , αντίστοιχα.



Εικόνα 19: Απεικόνιση ενός AT-HCN [52]

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf) των ομοιόμορφα καταναμημένων UE με απόσταση $|y|$ σε ένα σύμπλεγμα είναι

$$fm(y) = \frac{1}{\pi r^2}, |y| \leq r_p \quad (1)$$

Για την επιτυχή ανίχνευση του ληφθέντος σήματος, η ισχύς που μεταδίδεται από το UE, όταν σχετίζεται με υψηλή και χαμηλή ισχύ BS είναι Q_H και Q_L , αντίστοιχα. Θεωρείτε ότι η σταθερή ισχύς μετάδοσης του UE καθιστά την ανάλυση των περιπτώσεων 1-4 λιγότερο περίπλοκη και για την παρακολούθηση της επίδρασης των διαφορών Q_H και Q_L στην ένωση πιθανότητες των παραγόμενων περιπτώσεων χρήσης. Η πρόσθετη ισχύς θορύβου Gauss στον δέκτη είναι σ^2 και τ είναι το λαμβανόμενο όριο σήματος προς παρεμβολή-συν-θορύβου (Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR). Έτσι η συνάρτηση του SINR UL είναι

$$SINR_{X_k}^{UL} \triangleq \frac{Q_k g x_k \|X_k\|^{-\alpha_k}}{\sum_{j \in \Phi_I} Q_k g x_j \|X_j - X_k\|^{-\alpha_k} + \sigma^2} \quad (2)$$

4.2.3 Προτεινόμενος αλγόριθμος

Algorithm 1: Dynamic UL-DL Algorithm

- 1: **The implementation at each SCBS b**
- 2: **Initialization:** pick a sequence of time frames $\{t_b^{(1)}, t_b^{(2)}, \dots, t_b^{(n)}, \dots\}$, set $t_b^{(0)}=0$, $J_b(0) = (0, \dots, 0)$ and $\pi_i(0) = 1/N_b(1, \dots, 1)$
- 3: **for each i** $t_b^{(n)}$ **do**
- 4: Select an action according to the probability distribution $\pi_i(t_b^{(n-1)})$.
- 5: Calculate the cell load according to (6)
- 6: Calculate the observed cost function (10)
- 7: Update the estimated cost for the selected action and probability distribution vector (13)
- 8: **end for**

Ο παραπάνω αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη το φορτίο UL και DL και την παρεμβολή γειτονικών small cells. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι χρησιμοποιώντας τον προτεινόμενο αλγόριθμο, το μικρό κελί BS μπορεί να μάθει και να εκτιμήσει το τρέχον φορτίο του και στη συνέχεια να το χρησιμοποιήσει για να βελτιστοποιήσει τη στρατηγική

του για να επιλέξει ένα κατάλληλο σημείο μεταγωγής UL / DL. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης έχουν δείξει ότι η προτεινόμενη προσέγγιση βελτιώνει σημαντικά την απόδοση του δικτύου, από την άποψη της μέσης απόδοσης πακέτων, σε σύγκριση με τις συμβατικές σταθερές και τυχαίες αναπτύξεις TDD.

4.2.4 Πίνακες παραμέτρων

Association	DL	UL	Case
Coupled	High power BS	High power BS	1
Coupled	Low power BS	Low power BS	2
Decoupled	High power BS	Low power BS	3
Decoupled	Low power BS	High power BS	4

Πίνακας 2: Οι 4 περιπτώσεις που μελετήθηκαν

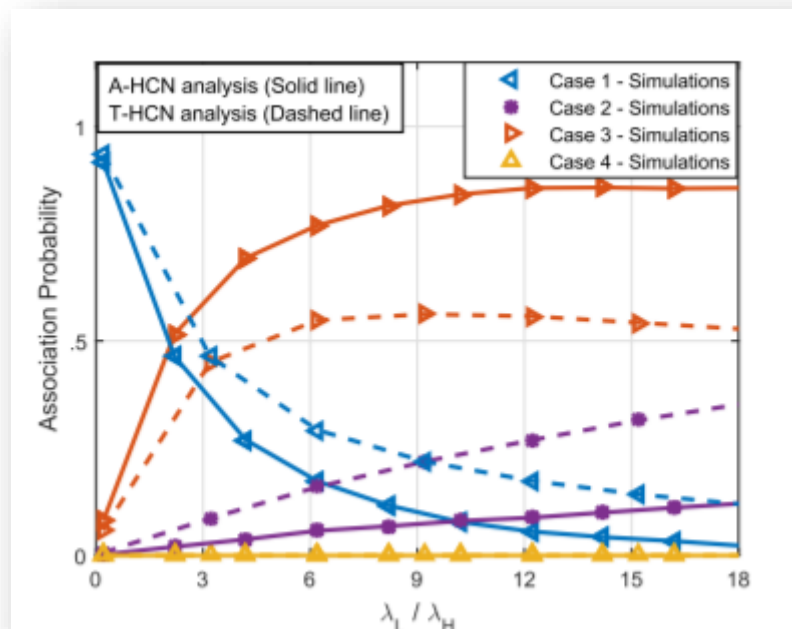
Notation	Description	Value
λ_H	High power BS density	$1/\pi 500^2 \text{ m}^{-2}$
λ_L	Low power BS density	$5\lambda_H$
α_H	High power BS pathloss exponent	2.75
α_L	Low power BS pathloss exponent	3
P_H	High power BS transmit power	46dBm
P_L	Low power BS transmit power	30 dBm
h_H	High power BS height	300 m
h_L	Low power BS height	100 m
Q_h	Transmit power of th UE associated to high power BS	30 dBm
Q_L	Transmit power of UE to low power BS	30 dBm
c	Average UEs per cluster	20
λ_p	Parent clusters for UEs	$2/\pi 500^2 \text{ m}^{-2}$
r_p	Cluster radius	40 m
σ^2	Noise power	-90 dBm
τ	SINR threshold	-20 dB
B	System bandwidth	20 MHz

Πίνακας 3: Οι παράμετροι προσομοιώσεις με επεξήγηση

Με βάση τη σύνδεση του UE με το επισημασμένο BS με την αντίστοιχη ισχύ στο UL και DL προκύπτουν τέσσερις πιθανές περιπτώσεις, δύο για την συζευγμένη ένωση και δύο για τον διαχωρισμό του δικτύου. Αυτές οι τέσσερις περιπτώσεις είναι:

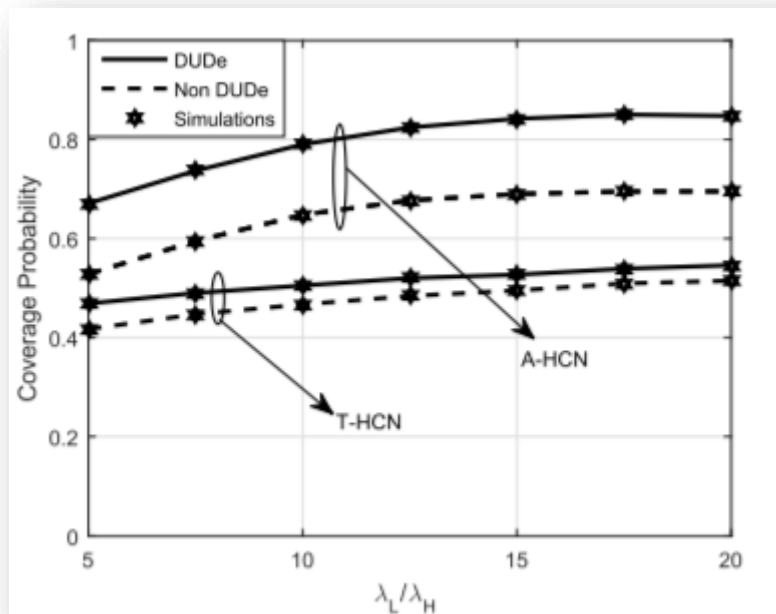
- 1) Συζευγμένη ένωση του DL/UL στην υψηλή ισχύ του BS
- 2) Συζευγμένη ένωση του DL/UL στην χαμηλή ισχύ του BS
- 3) Σύνδεση του DL στην υψηλή ισχύ του BS και του UL στην χαμηλή ισχύ του BS
- 4) Σύνδεση του DL στην χαμηλή ισχύ του BS και του UL στην υψηλή ισχύ του BS

4.2.5 Σχολιασμός αποτελεσμάτων



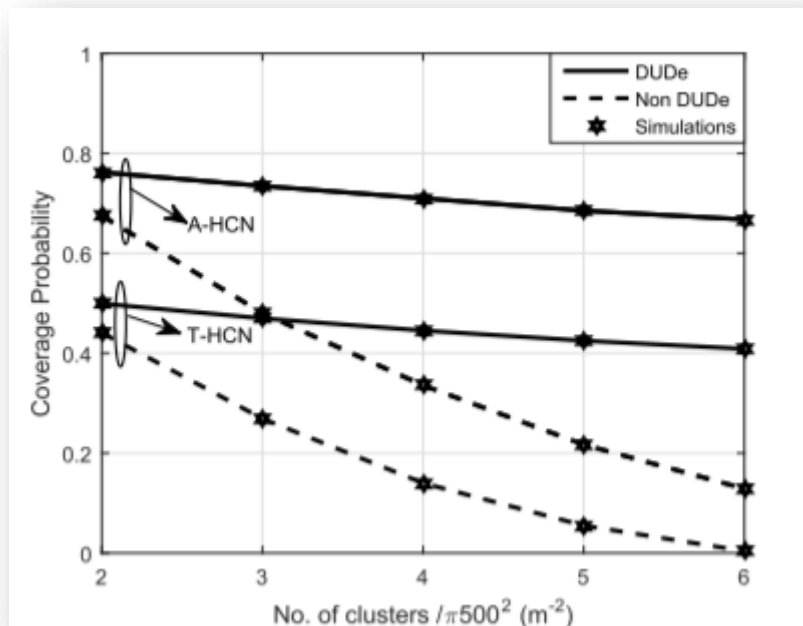
Εικόνα 20: Επίδραση της πυκνότητας BS χαμηλής ισχύος στις πιθανότητες συσχέτισης για τις περιπτώσεις 1-4 [52]

Το σχήμα στην Εικόνα 20 μας δείχνει την πιθανότητα συσχέτισης ως συνάρτηση της πυκνότητας των BS χαμηλής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη την περίπτωση 3 που είναι το επίκεντρο αυτής της εργασίας, παρατηρείται ότι καθώς αυξάνεται η πυκνότητα BS χαμηλής ισχύος, μεγαλύτερος αριθμός UE προτιμούν την αποσύνδεση.



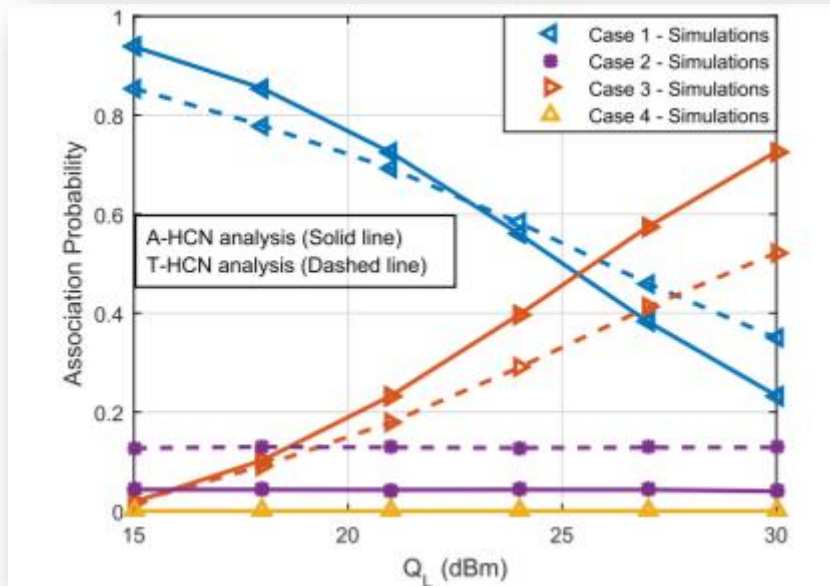
Εικόνα 21: Πιθανότητα κάλυψης ως συνάρτηση της πυκνότητας BS χαμηλής ισχύος [52]

Το σχήμα της Εικόνας 21 δείχνει ότι η πιθανότητα κάλυψης και των δύο συστημάτων πρόσβασης, δηλαδή, αυτό της αποσυνδεδεμένης και αυτό της μη αποσυνδεδεμένης πρόσβασης αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας BS χαμηλής ισχύος έως ότου ξεπεραστεί ένα ορισμένο όριο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μειώνεται η εξάρτηση από την απόσταση μεταξύ του UE με το BS που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του λαμβανόμενου SINR και την αντίστοιχη πιθανότητα κάλυψης.



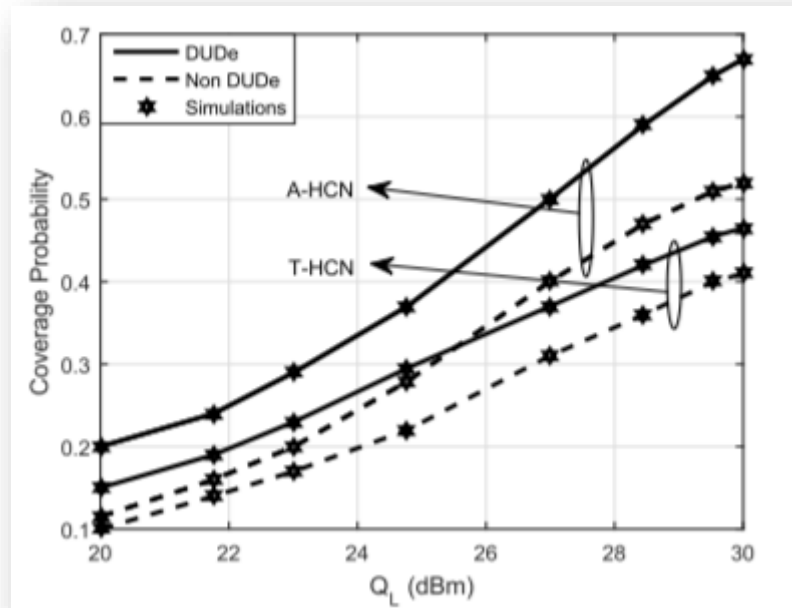
Εικόνα 22: Πιθανότητα κάλυψης ως συνάρτηση των συστάδων-UEs, όπου $\lambda_L = 10\lambda_H$, $\alpha_H = 3$ και $\alpha_L = 3,25$ [52]

Το σχήμα στην Εικόνα 22 μας δείχνει την πιθανότητα κάλυψης ως συνάρτηση του αριθμού των συστάδων UE. Η πιθανότητα κάλυψης της DUDe και της Non-DUDe μειώνεται με την αύξηση των συστάδων λόγω της αθροιστικής παρεμβολής στις επισημασμένες BS αυξήσεις που οδηγούν σε μείωση του ληφθέντος SINR και της αντίστοιχης πιθανότητας κάλυψης. Η πιθανότητα κάλυψης της αποσυνδεδεμένης πρόσβασης είναι σημαντικά υψηλότερη από τη μη αποσυνδεδεμένη πρόσβαση, λόγω του γεγονότος ότι η απόσταση που εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ της τυπικής UE και της ετικέτας BS χαμηλής ισχύος είναι μικρότερη από την ετικέτα BS υψηλής ισχύος με αποτέλεσμα την αύξηση της ληφθείσας SINR και η αντίστοιχη πιθανότητα κάλυψης.



Εικόνα 23: Πιθανότητα συσχέτισης ως συνάρτηση της ισχύος μετάδοσης του UE [52]

Το σχήμα στην Εικόνα 23 μας δείχνει την πιθανότητα συσχέτισης ως συνάρτηση της ισχύος μετάδοσης του UE. Με βάση την περ.3 παρατηρείται ότι καθώς η ισχύς μετάδοσης του UE που σχετίζεται με τη χαμηλή ισχύ BS αυξάνεται, μεγαλύτερος αριθμός των UE προτιμούν την αποσύνδεση της συσχέτισης UE. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με την αύξηση του Q_L , προστίθενται περισσότερα UE στην αποσυνδεδεμένη περιοχή, περ.3, στο κόστος της μείωσης του συζευγμένου συνδέσμου BS UE υψηλής ισχύος.



Εικόνα 24: Κάλυψη πιθανότητας ως συνάρτηση της ισχύος μετάδοσης του UE [52]

Στο σχήμα της Εικόνας 24 φαίνεται η πιθανότητα κάλυψης ως συνάρτηση της ισχύος μετάδοσης του UE. Παρατηρείται ότι η πιθανότητα κάλυψης της DUDe και της Non-DUDe αυξάνεται με την αύξηση του Q_L . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι προστίθενται περισσότερα UE στην περιοχή με δυνατότητα αποσύνδεσης με την αύξηση του Q_L .

4.2.6 Σύνοψη

Καταλήγοντας, και μετά την μελέτη και την προσωμοίωση που αναλύθηκε παραπάνω τα αποτελέσματα που προέκυψαν και με βάση την μελέτη των εργασιών [52][53][54][55] δείχνουν ότι η απόδοση της αποσυνδεδεμένης πρόσβασης (DUDe) είναι σημαντικά υψηλότερη από τη μη αποσυνδεδεμένη πρόσβαση (Non-DUDe). Έτσι και πρακτικά φαίνονται τα πλεονεκτήματα του διαχωρισμού του δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Συμπεράσματα και σύνοψη

Κλείνοντας λοιπόν αυτή την εργασία, θα πρέπει να συνοψιστούν όλα τα παραπάνω κεφάλαια καταλήγοντας σε ένα συμπέρασμα. Αρχικά, το 5G δίκτυο αποτελεί μια συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία νέας γενιάς η οποία μπορεί να προσφέρει μεγάλες ταχύτητες και ταυτόχρονα μεγάλη χωρητικότητα, για το λόγο αυτό η χρήση της τεχνολογίας αυτής και η ανάπτυξή της ήταν αναγκαία για τον κόσμο του δικτύου. Πρακτικά ο καθένας από όπου κι αν βρίσκεται θα έχει την δυνατότητα ίδιας ταχύτητας και δεν θα υπάρχει ελάττωσή της. Ακόμη, είδαμε ότι ορισμένες βασικές αναδυόμενες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ασύρματα δίκτυα 5G για να ικανοποιήσουν τις βασικές ανάγκες απόδοσης όπως για παράδειγμα το massive mimo και η επικοινωνία D2D. Όμως, για να μπορέσει να προσφέρει όλα αυτά τα οφέλη είναι αναγκαίο να μελετηθούν σωστά και σε βάθος αποδοτικοί τρόποι για να ενσωματωθεί στην υπάρχον δίκτυο με βελτίωσή του. Έτσι, έρχονται τα small cells να παίξουν το ρόλο αυτό. Είναι πιο μικροί και οικονομικοί, απ' ότι τα macrocells που χρησιμοποιούνται, σταθμοί πρόσβασης. Βοηθούν για την καλή ποιότητα σύνδεσης των χρηστών το οποίο είναι σημαντικό πλεονέκτημα για το διαχωρισμό του δικτύου (decoupling).

Μέσω του decoupling είδαμε τη μείωση των παρεμβολών στις συσκευές καθώς και τα θετικά για μία συσκευή να συνδεθεί ξεχωριστά στο DL και UL επίπεδο. Γι' αυτό σ' αυτή την διπλωματική εργασία δόθηκε έμφαση για των διαχωρισμό των δικτύων μελετώντας εργασίες που φαίνονται πρακτικά σε πειραματικό επίπεδο τα αποτελέσματά του.

Σύμφωνα με τις εργασίες που μελετήθηκαν καταλήγουμε στα συμπεράσματα πως ότι η καλύτερη μορφή συγκέντρωσης φάσματος για χρήστες στις αποσυνδεδεμένες περιοχές είναι να επιτρέψουμε τη διάσπαση του UL και του DL, καθώς τότε μπορούν να διατεθούν σημαντικά κέρδη απόδοσης με λιγότερες παρεμβολές. Παρ'όλα αυτά είναι σκόπιμο, όμως, να δωθεί ιδιαίτερη σημασία και στις αρνητικές επιπτώσεις του 5G τόσο για την υγεία όσο και για το περιβάλλον πριν εφαρμοστούν στην πράξη όλες αυτές οι τεχνολογίες.

- [21] <https://www.kioskmarketplace.com/blogs/the-pros-and-cons-of-5g/>
- [22] Ahmad, I., Kumar, T., Liyanage, M., Okwuibe, J., Ylianttila, M., & Gurtov, A. (2018). Overview of 5G security challenges and solutions. IEEE Communications Standards Magazine, 2(1), 36-43.
- [23] <https://ypodomos.com/eyropi-80-nea-diktya-5g-entos-toy-2020/>
- [24] <https://www.mobilenews.gr/proto-vima-gia-ta-diktya-5is-genias-stin/>
- [25] <https://www.home-biology.gr/ilektromagnitikes-aktinovolies/aktinovolies-ipsilon-sixnotiton/aktinovolianeeskeraies5g>
- [26] <https://www.kathimerini.gr/economy/local/1089143/thetikoi-gia-ta-nea-diktya-5g-katanalotes-kai-epicheiriseis/>
- [27] <https://mindigital.gr/old/index.php/deltia-typou/3560-5g-5>
- [28] <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/5g-bytes-small-cells-explained>
- [29] https://en.wikipedia.org/wiki/Small_cell
- [30] <https://www.ctia.org/news/what-is-a-small-cell>
- [31] <https://www.smallcellforum.org/what-is-a-small-cell/>
- [32] <https://medium.com/@michaelgolomb/small-cells-the-good-the-bad-and-the-unstoppable-233ae101830c>
- [33] <https://en.wikipedia.org/wiki/Femtocell>
- [34] <https://www.landmarkdividend.com/femtocells/>
- [35] <https://en.wikipedia.org/wiki/Picocell>
- [36] <https://www.techopedia.com/definition/16860/picocell>
- [37] <https://www.thinksmallcell.com/FAQs/whats-the-difference-between-picocells-and-femtocells.html>
- [38] <https://www.fishercom.xyz/wireless-networks-2/introduction-kkb.html>
- [39] <https://www.landmarkdividend.com/microcells-technology-what-is-it-and-how-does-it-work/>
- [40] Hossain, Md Farhad, et al. "Recent research in cloud radio access network (c-ran) for 5g cellular systems-a survey." Journal of Network and Computer Applications 139 (2019): 31-48.
- [41] https://en.wikipedia.org/wiki/C-RAN#Evolution_of_Base_Station_Architecture
- [42] Hadzialic, Mesud, et al. "Cloud-RAN: Innovative radio access network architecture." Proceedings ELMAR-2013. IEEE, 2013.
- [43] https://www.rohde-schwarz.com/ph/applications/5g-nr-interference-hunting-in-the-uplink-of-tdd-networks-application-card_56279-629440.html
- [44] https://en.wikipedia.org/wiki/Co-channel_interference
- [45] <https://www.extremenetworks.com/extreme-networks-blog/whats-the-biggest-cause-of-co-channel-interference/>
- [46] https://en.wikipedia.org/wiki/Adjacent-channel_interference

- [47] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/adjacent-channel-interference>
- [48] https://static1.squarespace.com/static/53062f8de4b09e63a23ce552/t/532689a3e4b0825c71c80bc5/1395034531223/what_is_intermodulation_interference.pdf
- [49] A. Aravanis, A. Pascual-Iserte, and O. M. Medina, "Closed-form capacity bounds for downlink and uplink decoupling." WSA 2018; 22nd International ITG Workshop on Smart Antennas. VDE, 2018.
- [50] Muhammad, Fazal, et al. "Decoupled downlink-uplink coverage analysis with interference management for enriched heterogeneous cellular networks." IEEE Access 4 (2016): 6250-6260.
- [51] Boccardi, Federico, et al. "Why to decouple the uplink and downlink in cellular networks and how to do it." IEEE Communications Magazine 54.3 (2016): 110-117.
- [52] Arif, Mohammad, et al. "Decoupled downlink and uplink access for aerial terrestrial heterogeneous cellular networks." IEEE Access 8 (2020): 111172-111185.
- [53] Lema, A. Maria, et al. "Flexible dual-connectivity spectrum aggregation for decoupled uplink and downlink access in 5G heterogeneous systems." IEEE Journal on Selected Areas in Communications 34.11 (2016): 2851-2865.
- [54] El. Bamby, S. Mohammed, et al. "Dynamic uplink-downlink optimization in TDD-based small cell networks." 2014 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS). IEEE, 2014.
- [55] Uekumasu, Takumi, et al. "An access strategy for downlink and uplink decoupling in multi-channel wireless networks." 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC). IEEE, 2017.