



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ

ΔΙΚΤΥΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΕΣ DENSIFICATION ΣΕ 5G
ΔΙΚΤΥΑ

ΒΛΑΧΟΣΠΥΡΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

A.M <1047058>

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2019

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	1
1.1.1 ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ ΤΕΤΑΡΤΗ ΓΕΝΙΑ (1G TO 4G).....	3
1.1.2 ΓΙΑΤΙ ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟ 5 ^{ης} ΓΕΝΙΑΣ ΚΑΙ ΣΕ ΤΙ ΔΙΑΦΕΡΕΙ.	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G	6
2.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ 5G ΔΙΚΤΥΟΥ	6
2.1.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	6
2.1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ.....	7
2.1.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: NETWORK DENSIFICATION ΣΕ 5G ΔΙΚΤΥΑ	13
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΙΑ DENSIFICATION ΚΑΙ SMALL CELLS.....	13
3.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΟΡΟΥ DENSIFICATION	13
3.1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ SMALL CELLS	16
3.2 DENSIFICATION ΜΕ ΧΡΗΣΗ SMALL CELLS.....	17
3.2.1 MACROCELLS	18

3.2.2 MICROCELLS	18
3.2.3 PICOCELL.....	19
3.2.4 FEMTOCELLS	19
3.2.5 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ MACROCELLS, PICOCELLS ΚΑΙ FEMTOCELLS	20
3.2.6 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΜΙΚΡΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΠΥΚΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ.....	21
3.3 DENSIFICATION OVER FREQUENCY	22
3.3.1 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ MMWAVE ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ	23
ΕΠΙΛΟΓΟΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	25
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	27

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

1G	First generation
2G	Second generation
3G	Third generation
4G	Forth generation
5G	Fifth generation
SMS	Short Message Service
FM	Frequency modulation
FDD	Frequency-division duplex
FDMA	Frequency division multiple access
TDMA	Time-division multiplexing
CDMA	Code-division multiple access
GPRS	General Packet Radio Service
IoT	Internet of Things
LTE	Long Term Evolution
ICT	Information and Communication Technology
QoS	Quality of Service
TCO	Total cost of ownership
IP	Internet protocol

RAN	Random Access Network
MIMO	multiple-input and multiple-output
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
DSL	Digital subscriber line
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
BS	Base Station
SIR	Susceptible-Infectious-Recovered
NLOS	Non-line-of-sight propagation
MMW	Mili Meter Wave
FCC	Federal Communications Commission

πιο σύγχρονα το διαδίκτυο, είναι πολύ κοινές στα περισσότερα μέρη του πλανήτη. Υπάρχει επίσης μια απέραντη σειρά δικτύων που διασυνδέουν αυτές τις συσκευές, όπως τα δίκτυα υπολογιστών, τα δημόσια τηλεφωνικά δίκτυα, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, καθώς και τα ραδιοφωνικά και τηλεοπτικά δίκτυα. Η επικοινωνία και η ενημέρωση αποτελούν αναπόσπαστα στοιχεία της ανθρώπινης φύσης καθώς και δομικό στοιχείο στη συνοχή της κοινωνίας. Στα πλαίσια της αυξημένης ανάγκης για επικοινωνία και της δεδομένης τεχνολογικής εξέλιξης, η κινητή τηλεφωνία εισήλθε δυναμικά στην καθημερινότητα σε παγκόσμιο επίπεδο.[16] Το πρώτο αυτοματοποιημένο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας λειτούργησε στις αρχές της δεκαετίας του '80 στη Σκανδιναβία. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '80 τα κινητά τηλέφωνα ήταν ογκώδη για να μεταφέρονται στην τσέπη κι έτσι ήταν εγκατεστημένα κυρίως σε αυτοκίνητα. Στην αρχή της δεκαετίας του '90 άρχισε η απογείωση των κινητών τηλεφώνων, με την ψηφιοποίηση δικτύων (GSM) και συσκευών. Τα κινητά έγιναν μικρότερα (100-200 γραμμάρια), χωρούσαν στην παλάμη και έμπαιναν έστω και με δυσκολία στην τσέπη του χρήστη τους.[28] Πέρασαμε στα κινητά της δεύτερης γενιάς (2G), που παρείχαν και άλλες ευκολίες, όπως την αποστολή σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SMS) και τη λήψη φωτογραφιών.[29] Στις αρχές του 21ου αιώνα ήλθαν τα κινητά τρίτης γενιάς (3G), με τις απεριόριστες δυνατότητες των πολυμέσων. [30]Στη συνέχεια η κινητή τηλεφωνία και το ίντερνετ θα συγχωνευθούν σε μια πλατφόρμα επικοινωνίας ψηλές ταχύτητες και πλήθος υπηρεσιών θα φέρουν την τέταρτη γενιά κινητής τηλεφωνίας. Στις μέρες μας είμαστε πλέον έτοιμοι να δεχτούμε την 5^η γενιά με ότι έχει να μας προσφέρει. [8],[23],[31],[32]

1.1.1 Από την πρώτη μέχρι την τέταρτη γενιά (1G to 4G)

Αρχίζοντας από τα δίκτυα πρώτης γενιάς αυτό που τα κάνει να ξεχωρίζουν από όλα τα υπόλοιπα αρχικά είναι το γεγονός ότι η τεχνολογία που χρησιμοποιούσαν ήταν αναλογική. Ήταν τα μονά δίκτυα καθώς από την δεύτερη γενιά και μετρά έχουμε ψηφιακή τεχνολογία. Χρησιμοποιούσαν ακόμα τεχνολογία διαμόρφωσης πλάτους(FM), πολυπλεξία στην συχνότητα(FDMA) και αμφίδρομη επικοινωνία(FDD). Η μετάδοση των δεδομένων ήταν γενικά αργή και κακής ποιότητας και η πληροφορία που μετέφεραν ήταν για σήματα ομιλίας και μόνο. Προβλήματα αντιμετώπιζε αυτή η γενιά και σε θέματα που αφορούσαν την ασφάλεια καθώς ήταν πολύ εύκολο τα σήματα αυτά να κλαπούν. Οι ταχύτητες (1G) κυμαίνονται μεταξύ των 28kbps και 56kbps. Το πρώτο δίκτυο 1G ξεκίνησε στις ΗΠΑ με έδρα το Σικάγο, Ameritech το 1983 χρησιμοποιώντας το Motorola DynaTAC κινητό τηλέφωνο. Ακολουθήσαν αρκετές χώρες μετα όπως τον το Ηνωμένο Βασίλειο, το Μεξικό και τον Καναδάς. [8],[28],[40]

Την πρώτη γενιά ακολούθησε η δεύτερη η οποία ήρθε να καλύψει τα κενά της σε θέματα μετάδοσης δεδομένων, ήταν εμφανές ότι θέλαμε να αυξήσουμε τον ρυθμό, σε θέματα αναβάθμισης του ασύρματου δικτύου καθώς και σε βελτίωση της μετάδοσης της φωνής. Η νέα γενιά αλλάζει το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό και φέρνει επανάσταση χρησιμοποιώντας αυτή την φορά TDMA (Time Division Multiple Access) και η CDMA (Code Division Multiple Access) μαζί με την FDD καταφέρνει και αυξάνει το φάσμα κάνοντας την αποδοτικότητα αυτής της γενιά τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή της προηγούμενης. Χρονικά η δεύτερη γενιά εισήλθε τη δεκαετία του '90 φέρνοντας μαζί νέα κινητά πιο μικρά με δυνατότητα αποστολής μηνυμάτων και λήψη φωτογραφιών. [8],[28],[29], [40]

Τα πρώτα δίκτυα 3G εισήχθησαν το 1998 παίρνοντας την θέση από τα αντίστοιχα 2G και 2.5G. Το νέο αυτό δίκτυο ήρθε για να φέρει στα κινητά την δυνατότητα πρόσβασης στο internet, τις βινεοκλήσεις καθώς και της κινητή τηλεόραση. Στα πλαίσια της εξέλιξης των ήδη υπαρχόντων δικτύων 2ης γενιάς, προέκυψαν το πρότυπο CDMA2000 σαν συνέχεια του CDMA και το Wideband-CDMA (W-CDMA) ή αλλιώς Universal Mobile Telecommunications System

(UMTS) σαν συνέχεια των GSM. Τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών 3G υποστηρίζουν υπηρεσίες που παρέχουν ρυθμό μετάδοσης πληροφοριών τουλάχιστον 0,2 Mbit/s. Οι μεταγενέστερες αναβαθμίσεις του 3G δικτύου, οι οποίες συχνά υποδηλώνονται ως 3.5G και 3.75G, παρέχουν επίσης ευζωνική πρόσβαση κινητής τηλεφωνίας αρκετών Mbit/s σε smartphones και κινητά μόντεμ. [8],[29],[30], [40]

Name	1st Generation Mobile Network	2nd Generation Mobile Network	3rd Generation Mobile Network	4th Generation Mobile Network
Introduced in year	1980s	1993	2001	2009
Technology	AMPS (Advanced Mobile Phone System), NMT, TACS	IS-95, GSM	IMT2000, WCDMA	LTE, WiMAX
Multiple Address /Access system	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA
Speed (data rates)	2.4 Kbps to 14.4 kbps	14.4 Kbps	3.1 Mbps	100 Mbps
Special Characteristic	First wireless communication	Digital version of 1G technology	Digital broadband, speed increments	Very high speeds, All IP
Features	Voice only	Multiple users on single channel	Multimedia features, Video Call	High Speed, real time streaming
Bandwidth	Analog	25 MHz	25 MHz	100 MHz

Εικόνα 2. Γενιές δικτύων τηλεπικοινωνιών [34]

Η τέταρτη γενιά δικτύων τηλεπικοινωνιών δεν άλλαξε πολλά σε ότι αφορά νέες υπηρεσίες προς τους χρήστες έφερε όμως μεγαλύτερες ταχύτητες και μεγαλύτερη ευρυζωνικότητα στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι ενώ στο 3g για να έχει κάποιος πρόσβαση στο διαδίκτυο έπρεπε να είναι σε απόσταση τουλάχιστον 100 μέτρα από ένα wi-fi σημείο τώρα μπορεί να έχει πρόσβαση και με μεγαλύτερες ταχύτητες σε απόσταση πολύ μεγαλύτερη περίπου 35 χιλιομέτρων. Οι νέες τεχνολογίες που έφερε το 4g στηρίζονται πάνω στην τεχνολογία WiMAX και LTE Advanced. Η WiMAX λειτουργεί παρόμοια με το Wi-fi, όμως, εξασφαλίζει πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια επικοινωνίας όπως είπαμε και πιο πριν σε αντίθεση με τα 100 μέτρα περίπου που εξασφαλίζει το Wi-Fi. Επιπλέον, βελτιώθηκε και η ταχύτητα κατεβάσματος αρχείων η οποία έφτασε σχεδόν στα 100Mbps για τα κινητά τηλέφωνα. Η τεχνολογία LTE-Advanced είναι ουσιαστικά η πρόοδος του 3g μια αρκετά βελτιωμένη εκδότης του που δεν έφερε νέες επαναστατικές υπηρεσίες αλλά βελτίωσε σε μεγάλο βαθμό τις ιδεί υπάρχουσες. [8],[23],[30],[31], [40]

1.1.2 Γιατί υπάρχει ανάγκη για δίκτυο 5^{ης} γενιάς και σε τι διαφέρει.

Τα αμέσως επόμενα χρόνια αναμένεται μια μεγάλη αύξηση της κίνησης των δεδομένων στο δίκτυο μας, λόγω της ραγδαίας αύξησης των smartphones και tablets διεθνώς και της συνεχούς μείωσης του κόστους τους. Σήμερα ένα μεγάλο μέρος της παγκόσμιας κίνησης είναι λόγω βίντεο και ταινιών. Επίσης, καταλυτικό ρόλο έχουν τα δίκτυα 5G καθώς αναμένεται να υπάρχουν περισσότερες από 1,5 δισ. συνδέσεις IoT μέσω κινητών επικοινωνιών (από 400 εκατ. που είναι σήμερα). [1],[10],[32]

Όπως αναφέρουν μελέτες στις προηγούμενες γενιές στόχευαν στην εξυπηρέτηση κυρίως των καταναλωτών, για φωνή και κείμενο στη αρχή (2G), για περιήγηση στο διαδίκτυο (3G) μετέπειτα και για μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας και βίντεο σήμερα (4G).[1] Το 5G απευθύνεται, κατά κύριο λόγο, σε διάφορους κλάδους της οικονομίας, και σε διάφορα industries, και θα αποτελέσει τον καταλύτη και τον απαραίτητο "όχημα" για τον ραγδαίο ψηφιακό μετασχηματισμό τους και την ανάπτυξη εντελώς νέων αγορών, επιχειρηματικών μοντέλων, ευκαιριών και κερδών, μέσω της διασύνδεσης (μέσω του IOT) των αντικειμένων και των διαφόρων συσκευών που μας περιβάλλουν. [10],[17],[19]

Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες περιπτώσεων χρήσης όπου αναμένεται να χρησιμοποιηθεί το 5G:

- Για την παροχή εξαιρετικής κάλυψης και ομοιόμορφης συνδεσιμότητας.
- Για μαζική επικοινωνία μεταξύ συσκευών συμπεριλαμβανομένου και των νέων συσκευών που θα προστεθούν.
- Επίσης, για την παροχή συνδεσιμότητας παντού με χαμηλή πολυπλοκότητα υλικού και λογισμικού και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

Οι επιδόσεις των δικτύων 5G αναμένεται να είναι 10 με 100 φορές ταχύτερα σε σχέση με τα σημερινά δίκτυα, επιτρέποντας την διακίνηση 1000 φορές περισσότερου όγκου δεδομένων, με 5 φορές χαμηλότερη καθυστέρηση δικτύου. Αυτά τα δίκτυα θα προσφέρουν ταχύτητες μεταξύ 1Gbps και 5Gbps καθώς και πολύ μικρότερο latency σε σχέση με τα 4G LTE networks. Είναι πιθανό ότι τα απεριόριστα πακέτα να είναι πραγματικά απεριόριστα πλέον, σε τιμές πολύ μικρότερες από τις σημερινές. [10],[32]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G

2.1 Αρχιτεκτονική και λειτουργία του 5G δικτύου



Εικόνα 3. 5^η γενιά δικτύων τηλεπικοινωνιών [35]

2.1.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Το 5g έρχεται να αλλάξει την πραγματικότητα όπως την ξέρουμε σήμερα, μεγάλες ταχύτητες , ελάχιστες καθυστερήσεις και πλήρη εκμετάλλευση ενεργείας και φάσματος θα φέρουν μεγάλες αλλαγές καθώς και νέες καινοτομίες, ανέσεις και υπηρεσίες όπως το IoT(internet of things) που έχουμε ανέφερε και παραπάνω. Η αύξηση των συσκευών που θα μπορούν να συνδεθούν στο ιντερνέτ θα είναι πολύ μεγάλη, συσκευές που ούτε καν σκεφτόμαστε αυτή την στιγμή θα είμαστε σε θέση να τις ελέγχουμε μέσω αυτού του τεράστιου δικτύου. Όλα αυτά θα πραγματοποιηθούν μέσω ενός δικτύου με μειωμένα κόστη τόσο σε επίπεδα λειτουργίας όσο και σε επίπεδα εγκατάστασης, με μικρή κατανάλωση ενεργείας, ευέλικτο και προγραμματισμό. [3],[18], [22]

Σύμφωνα με το 5GPPP, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δικτύων 5ης γενιάς αναμένεται να είναι οι εξής:

- Αύξηση των δεδομένων που διακινούνται μέσω του δικτιού κινητής τηλεφωνίας. Εκτιμάται ότι το ποσό αυτό θα είναι της τάξης του 10TB/s/km².
- Αύξηση των συνδεδεμένων συσκευών στο δίκτυο. Υπολογίζεται ότι θα έχουμε 1.000.000 συνδεδεμένες συσκευές ανά χιλιόμετρο.
- Αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, σε ταχύτητες από 1-10 Gb/s.
- 90% μείωση στην κατανάλωση ενέργειας του δικτύου σε σχέση με το 2010.
- 80% μείωση του λειτουργικού κόστους του δικτύου (OPEX).
- Μείωση του latency σε τιμές από 5ms έως 1ms.
- Σημαντική μείωση του χρόνου που απαιτείται για την δημιουργία και την εγκατάσταση μιας υπηρεσίας από την αρχή. Ο χρόνος αυτός εκτιμάται ότι θα είναι λιγότερος από 90 λεπτά. [22]

2.1.2 Χαρακτηριστικά σχεδίασης

Για να γίνουν όσα είπαμε πιο πάνω πραγματικότητα είναι πολλά αυτά που πρέπει να αλλάξουμε στο υπάρχον δίκτυο. παρακάτω αναλύουμε κάποια από τα χαρακτηριστικά τα οποία οφείλει να έχει το δίκτυο μας για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις :

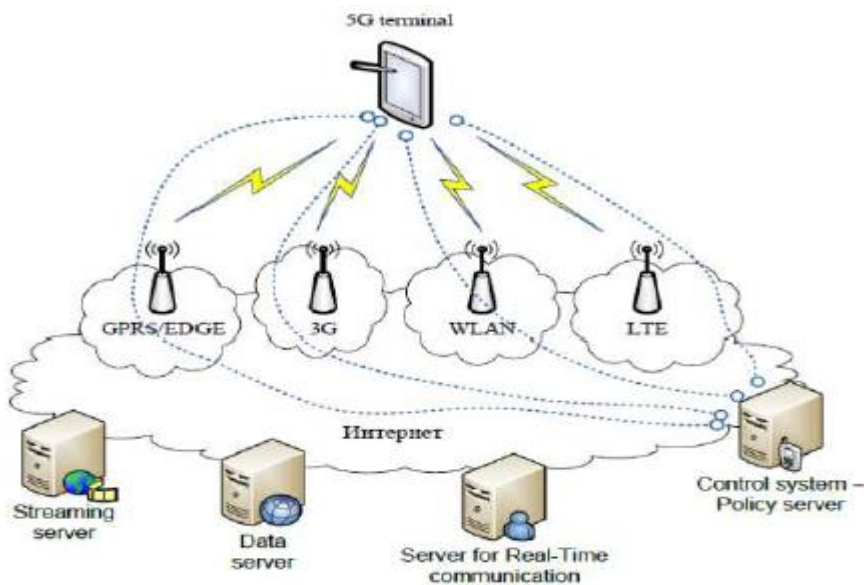
- **QoS:** Το καινούργιο δίκτυο οφείλει να καλύπτει τις ανάγκες του χρήστη ανεξάρτητα από το που αυτός βρίσκεται. Τα περισσότερα δίκτυα σήμερα καλύπτουν τις υπηρεσίες που ο χρήστης χρειάζεται μόνο αν αυτός είναι κοντά στις κεραιές βάσης του δικτύου. Κάτι τέτοιο στο νέο μας δίκτυο δεν πρέπει να σημαίνει χωρίς αυτό βεβαία να έχει σαν αντίκτυπο ένα απαγορευτικά μεγάλο κόστος για τον χρήστη. [22]
- **Multi-tenancy:** Το νέο δίκτυο πρέπει να εκμεταλλεύεται όλους τους υπάρχοντες φυσικούς πόρους και να καλύπτει όλους τους χρήστες ανεξάρτητα από το αν κάποιο από αυτούς τους πόρους ανήκουν σε άλλους παρόδους. Οι παροχή οφείλουν να συνεργάζονται να μειώνουν και τις παρεμβολές τους

στους άλλους παρόδους έτσι ώστε όλοι οι χρήστες να έχουν μια καλή εμπειρία στην χρήση του δικτιού. [22]

- **Density:** Για να επιτύχουμε την εισαγωγή όλων αυτών των νέων συσκευών το δίκτυο πρέπει να πυκνώσει και να εκμεταλλευτή πληροίς όλο το διαθέσιμο φάσμα η ακόμα και να το επεκτείνει σε άλλες περιοχές. Το πρόβλημα είναι ότι όσο μειώνουμε τις κυψέλες και πυκνώνουμε το δίκτυο έχουμε παρεμβολές. Ο έλεγχος των παρεμβολών, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση CoMP η με συντονισμένη κωδικοποίηση πριν την αποστολή ή με άλλους αλγορίθμους συντονισμού. [22]
- **Manageability:** Στο νέο μας δίκτυο θέλουμε να έχουμε ένα κέντρο απομακρυσμένου ελέγχου όλου του δικτύου ώστε να επιτύχουμε να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερη ανάμιξη του ανθρώπινου παράγοντα όσο και μείωση του λειτουργικού κόστους. [22]
- **Resource management:** Το επίπεδο ελέγχου που αναφέραμε πιο πριν πρέπει να έχει την δυνατότητα δυναμικού ελέγχου του δικτύου σε ότι αφορά τη δέσμευση πόρων (εύρος ζώνης, μνήμη, επεξεργαστική ισχύ) στα να κάνει σωστό και δίκαιο μοίρασμα των πόρων αυτών ανάλογα με την περίσσια που ζητείται κάθε φορά. [22]
- **Evolution:** Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του δικτύου πρέπει να είναι η ευκολία επεκτασιμότητας του. Δηλαδή κάθε νέα υπηρεσία η πόρος να μπορεί να εισαχθεί με ευκολία και μικρό κόστος στο δίκτυο παρακινώντας έτσι και τους παρόδους να προσπαθήσουν για αυτό. [22]
- **Compatibility:** Τέλος το δίκτυο μας πρέπει να είναι σε θέση να είναι συμβατό με κάθε προηγούμενη τεχνολογία και γενιά ώστε να μην αποκλείσει από αυτό τυχών χρήστες που δεν έχουν πρόσβαση σε αυτό. [22]

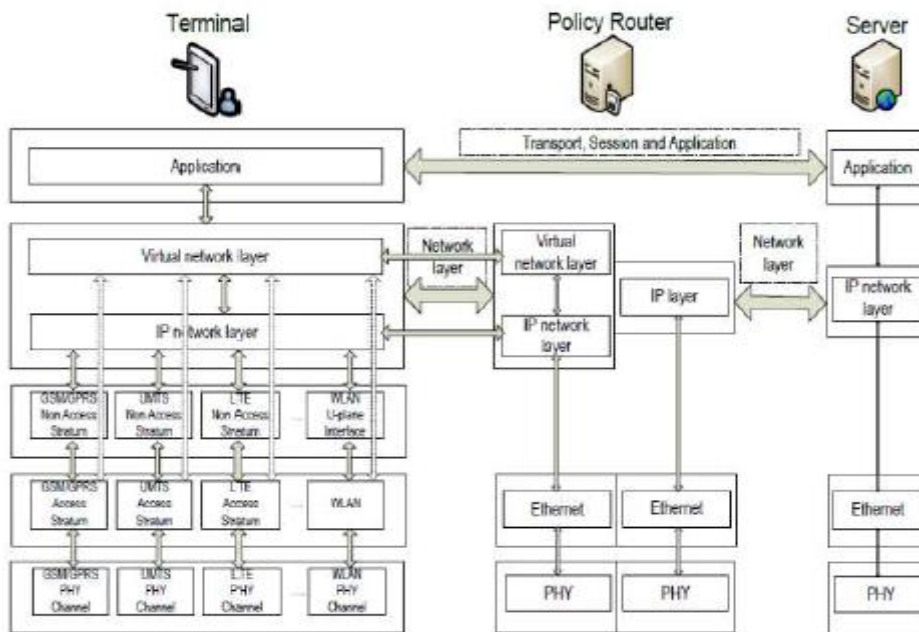
2.1.3 Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική του 5G είναι ιδιαίτερα προηγμένη, όλα τα στοιχεία του δικτύου και τα διάφορα τερματικά αναβαθμίστηκαν χαρακτηριστικά για να αντέξουν στη νέα κατάσταση. Η δυνατότητα αναβάθμισης βασίζεται στην γνωστική ραδιοτεχνολογία που περιλαμβάνει διάφορα σημαντικά χαρακτηριστικά όπως η ικανότητα των συσκευών να εντοπίζουν τη γεωγραφική τους θέση καθώς και τον καιρό, θερμοκρασία, κλπ. Η γνωστική ραδιοφωνο τεχνολογία λειτουργεί πομποδέκτης που έξυπνα μπορεί να λάβει και να μεταδώσει ραδιοσήματα στο περιβάλλον λειτουργίας του. Επίσης, διακρίνει αμέσως τις αλλαγές στο περιβάλλον του και, ως εκ τούτου, μπορεί να ανταποκριθεί αναλόγως ώστε να παρέχει αδιάκοπη ποιότητα υπηρεσία. [15]



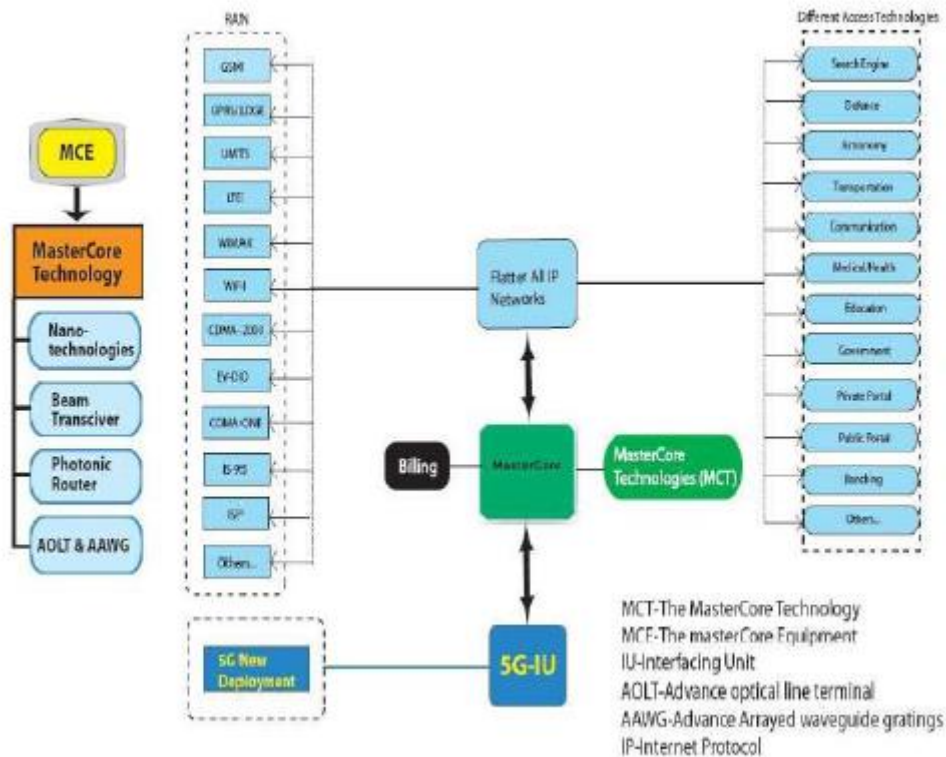
Εικόνα 4. Αρχιτεκτονική 5G δικτύου [15]

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, το μοντέλο του 5G είναι εξ ολοκλήρου βασισμένο στο IP μοντέλο σχεδιασμένο για ασύρματα και κινητά δίκτυα. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα κύριο τερματικό χρήστη και έπειτα έναν αριθμό ανεξάρτητων και αυτόνομων τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης. Κάθε ραδιοφωνική τεχνολογία θεωρείται ως ο σύνδεσμος IP για τον κόσμο του Διαδικτύου. Η τεχνολογία IP έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για την εξασφάλιση επαρκούς ελέγχου δεδομένα για κατάλληλη δρομολόγηση πακέτων IP που σχετίζονται με συγκεκριμένες συνδέσεις εφαρμογών, δηλαδή συνδέσεις μεταξύ εφαρμογών του πελάτη και διακομιστών κάπου στο Διαδίκτυο. Επιπλέον, για να γίνει πρόσβαση η δρομολόγηση των πακέτων πρέπει να καθορίζεται σύμφωνα με τις πολιτικές του χρήστη



Εικόνα 5. Το IP πρότυπο στο 5G [15]

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, το 5G MasterCore είναι ένα σημείο σύγκλισης για τις άλλες τεχνολογίες δικτύου, που έχουν τους δικούς τους λόγους για να υπάρχουν στο υφιστάμενο ασύρματο δίκτυο. Είναι ενδιαφέρον ότι ο σχεδιασμός του διευκολύνει το MasterCore ώστε να λειτουργεί σε παράλληλο multimode συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας δικτύου IP και του δικτύου 5G. Σε αυτό το mode λειτουργίας όπως φαίνεται και στην εικόνα από κάτω, ελέγχει όλες τις τεχνολογίες δικτύου RAN και Διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης(Different Access Networks). Από την στιγμή που η τεχνολογία είναι συμβατή και διαχειρίζεται όλες τις νέες κυκλοφορίες βασισμένες στο 5G , είναι πιο αποτελεσματική, λιγότερο περίπλοκη και ισχυρότερη. [15]



Εικόνα 6. 5G MasterCore [15]

Παραδόξως, οποιαδήποτε λειτουργία υπηρεσίας μπορεί να ανοίξει με τη λειτουργία 5G New Deployment ως World Combination Service Mode (WCSM). Το WCSM είναι ένα θαυμάσιο χαρακτηριστικό αυτής της τεχνολογίας, για παράδειγμα, εάν ένας καθηγητής γράφει σε ένα λευκό πίνακα σε μια χώρα - μπορεί να εμφανιστεί σε έναν άλλον λευκό πίνακα σε ένα οποιοδήποτε μέρος του κόσμου εκτός από συνομιλία και βίντεο. Επιπλέον, μια νέα υπηρεσία μπορεί εύκολα να προστεθεί μέσω της παράλληλης υπηρεσίας πολλαπλών κλήσεων. [15]

Η χωρητικότητα του δικτύου αναμένεται να γίνει περίπου χίλιες φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τα συστήματα που υπήρχαν. Πιο συγκεκριμένα αυξάνουμε την χωρητικότητα, έχουμε καινούργιες τεχνικές διαμόρφωσης σήματος, κερδίζουμε ακόμα πολύ και από το φάσμα χρησιμοποιώντας περισσότερο δανειοδοτημένο και μη, επιπλέον μια καινούργια σκέψη είναι και η χρησιμοποίηση μη δανειοδοτούμενου φάσματος των 5GHz και τέλος από την συνεργασία ετερογενών δικτύων χρησιμοποιώντας τεχνικές network densification.[3],[20]

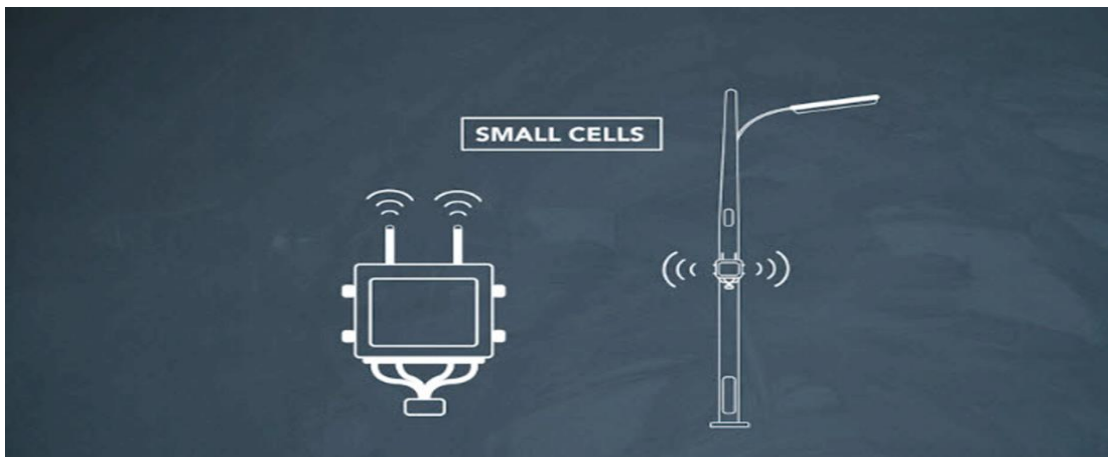
Παρακάτω πέρα από όσα είπαμε μέχρι τώρα έχουμε συγκεντρώσει συνοπτικά όλα τα σενάρια αρχιτεκτονικής ενός 5G δικτύου που μελετούμε έχουμε :

- **Επισκόπηση των ήδη υπαρχουσών τεχνολογιών και λύσεων:** σήμερα χρησιμοποιείται ορθογώνια πολυπλεξία σήματος (OFDMA), προηγμένες τεχνολογίες κεραιών(MIMO), CoMP, Relaying. Στο μέλλον υπάρχει και η περίπτωση εμφάνισης στα δίκτυα πέμπτης γενιάς η χρήση Multi-hierarchical CoMP μαζί με Multi-hierarchical Relaying. [20]
- **Αρχιτεκτονικές βασισμένες στην πυκνοποίηση του δικτύου :** εδώ χρησιμοποιούμε τεχνικές πύκνωσης του δικτύου μας, μέσα από τις οποίες χρησιμοποιούνται πολλές ζώνες φάσματος(1800,2100,3.5GHz,~60GHz) από μια πληθώρα κόμβων. [20]
- **Αρχιτεκτονικές βασισμένες στην κεντρική διαχείριση πόρων και στις ετερογενείς τεχνολογίες :** Η αρχιτεκτονική αυτή προσπαθεί να αντιμετωπίσει κάθε χρήστη είτε είναι άνθρωπος είτε συσκευή δίκαια παρέχοντας του το 100% της δυνατότητας μετάδοσης δεδομένων του δικτύου μας[9]. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της ασύρματης τεχνολογίας Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO). [20]
- **Αρχιτεκτονικές βασισμένες στην εικονικοποίηση του δικτύου :** Σε αυτή την αρχιτεκτονική προσπαθούμε να εκμεταλλευτούμε τις υπηρεσίες του cloud έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι μεγάλες απαιτήσεις των χρηστών για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και αξιόπιστης επεξεργασίας δεδομένων. [20]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: NETWORK

DENSIFICATION ΣΕ 5G ΔΙΚΤΥΑ

3.1 Εισαγωγή για densification και small cells



Εικόνα 7. Small cells [33]

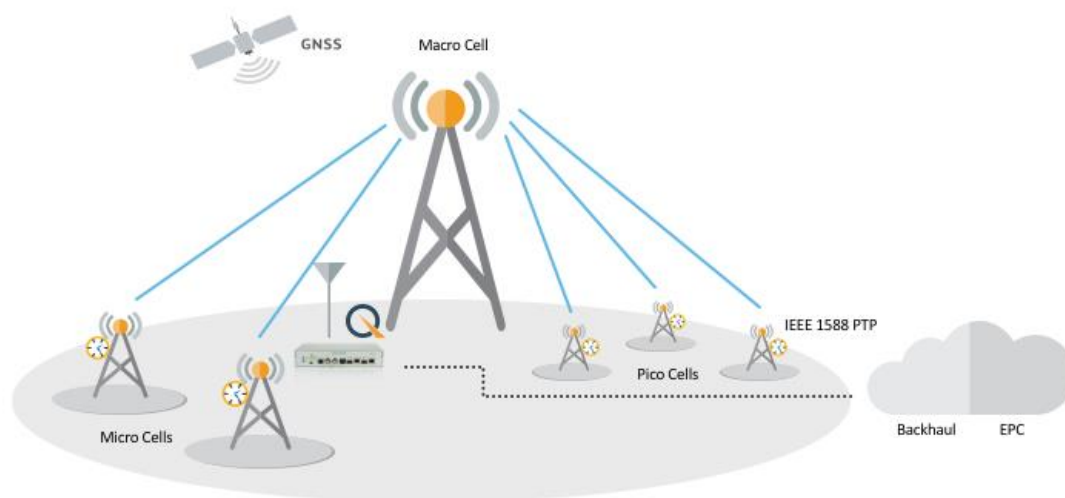
3.1.1 Ορισμός και ανάλυση του ορού *Densification*

Θα ξεκινήσουμε την ενότητα αυτή αναλύοντας τον ορό densification, έναν ορό που συναντάμε αρκετά στα δίκτυα γενικά και όχι μόνο στις κινητές τηλεπικοινωνίες. Η λέξη σημαίνει πυκνοποίηση αρά κατά συνεπεία στα δίκτυα έχουμε πυκνοποίηση του δικτύου μας. Η τεχνική network densification περιλαμβάνει τη χωρική πυκνότητα (densification over space) όπου εγκαθιστούμε σε μεγάλη πυκνότητα νέα Small Cells (Picocells, Femtocells) και τη συχνοτική πυκνότητα (densification over frequency) όπου χρησιμοποιούμε μεγαλύτερες περιοχές του ραδιοφάσματος σε διαφορετικές συχνότητες. Κατά την χωρική πυκνωση (spatial densification) αυξάνουμε τον αριθμό των κεραιών ανά κόμβο, αυξάνουμε την πυκνότητα των εγκατεστημένων σταθμών βάσης σε μια γεωγραφική περιοχή και προσπαθούμε να διανέμουμε ομοιόμορφα τους χρήστες στους σταθμούς βάσης. Κατά την συχνοτική πυκνωση χρησιμοποιούμε μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από τα 500 Mhz ως τις υπερχαμηλές συχνότητες (30-300Mhz). [2],[4],[5]

Η αύξηση της χωρητικότητας των ασύρματων δικτύων εξαρτιόταν ανέκαθεν από τους εξής τρεις παράγοντες:

1. Αύξηση του αριθμού των ασύρματων κόμβων του δικτύου.
2. Βέλτιστη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.
3. Βελτίωση της αποδοτικότητας των συνδέσεων.

Το εύρος ζώνης κάθε σταθμού βάσης, μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας επιπλέον φάσμα το οποίο οδηγεί σε γραμμική αύξηση της χωρητικότητας. Όσο αφορά την κίνηση που δέχεται κάθε κόμβος, μπορούμε να την μειώσουμε εγκαθιστώντας νέους σταθμούς βάσης και φροντίζοντας να διαμοιράζεται το φορτίο του δικτύου όσο καλύτερα γίνεται σε κάθε κόμβο. Οι αστικές περιοχές και οι μεγάλοι δημόσιοι χώροι είναι υποψήφιοι για να αυξήσουμε την πυκνότητα του δικτύου λόγω της υψηλής συγκέντρωσης χρηστών κινητής τηλεφωνίας. Ένα πλεονέκτημα σε μια ομοιόμορφη συμπύκνωση του στρώματος των macrocell είναι ότι μπορούμε να αναπτύξουμε πρόσθετους κόμβους χαμηλότερης ισχύος κάτω από την περιοχή κάλυψης ενός macrocell. Σε αυτήν την ετερογενή ή πολυεπίπεδη ανάπτυξη του δικτύου, το στρώμα picocell που θα βάλουμε δεν χρειάζεται να παρέχει κάλυψη πλήρους περιοχής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της χωρητικότητας και την επίτευξη των ρυθμών δεδομένων που χρειαζόμαστε. Στην εικόνα από κάτω βλέπουμε αυτό ακριβώς το πράγμα πως δηλαδή σε μια περιοχή που καλύπτετε από ένα macrocell και όλοι οι χρήστες μέσα σε αυτή την περιοχή έχουν πρόσβαση στο δίκτυο μπορούμε να βρούμε τα σημεία όπου έχουν την περισσότερη κίνηση να βάλουμε επιπλέον κάποια microcell και να καταφέρουμε να αυξήσουμε την απόδοση του δικτύου μας. [2],[4],[33]



Εικόνα 8 Δίκτυο αποτελούμενο από Macro, Micro, Pico Cells [37]

Η αύξηση της πυκνότητας είναι αναγκαία όπως έχουμε δει και στα παραπάνω κεφάλαια για να καταφέρει το 5G να εδραιωθεί και να αντικαταστήσει τον προκατόχο του. Με την αύξηση του αριθμού των κυψελών, η κίνηση ανά τετραγωνικό μέτρο μπορεί να αυξηθεί χωρίς να απαιτείται αντίστοιχη αύξηση της κυκλοφορίας που πρέπει να υποστηρίξει ο κάθε κόμβος του δικτύου και με την αύξηση του αριθμού των κόμβων, οι αποστάσεις από το σταθμός βάσης προς τις τερματικές συσκευές θα είναι μικρότερες και αντίστοιχα θα βελτιώσουμε και τον ρυθμό δεδομένων. [2],[5]

Οι αρχιτεκτονικές που βασίζονται στην πυκνοποίηση του δικτύου παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, τα οποία περιλαμβάνουν μειωμένη εκπομπή ενέργειας και μειωμένες παρεμβολές, καθώς επίσης και ομαδική μετάδοση και διασύνδεση κάθε δικτυακού κόμβου άμεσα με όλους τους υπόλοιπους (mesh networking). Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρουν οι αρχιτεκτονικές αυτές είναι η αναβαθμισμένη ασφάλεια που παρέχεται λόγω της απουσίας ενδιάμεσης δρομολόγησης δικτύου, όπως και η αυξημένη χωρητικότητα μέσω της εκφόρτωσης όπου είναι απαραίτητο. Όμως, οι αρχιτεκτονικές αυτές δεν είναι απαλλαγμένες μειονεκτημάτων, τα οποία πρέπει να μελετηθούν αναλυτικά. Για παράδειγμα, απαιτούνται νέα μοντέλα μετάδοσης, καθώς και αναλυτικά μοντέλα συστήματος ώστε να αναπτυχθούν αλγόριθμοι δρομολόγησης και επεξεργασίας σήματος στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο ζεύξης. Κάποια ακόμη αποτελέσματα τα οποία πρέπει να επιτευχθούν ώστε να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις που εγείρονται από την εν λόγω

κατηγορία αρχιτεκτονικών είναι η μείωση των παρεμβολών αλλά και η διαχείριση κινητικότητας, αφού μία τυπική κινητή συσκευή θα βρίσκεται υπό την κάλυψη πολλών μικρών κυψελών. Συνεπώς, ο καθορισμός του προτύπου και του φάσματος που θα χρησιμοποιηθεί αποτελεί μία πολύπλοκη διαδικασία. Επίσης, οι μικρές κυψέλες θα πρέπει να είναι σε θέση να αδρανούν όταν δεν εξυπηρετούν κάποια κινητή συσκευή, ώστε να εξοικονομούν ενέργεια. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι οι σταθμοί βάσης σε τέτοιου είδους αρχιτεκτονικές θα πρέπει να είναι σε θέση να εκτελούν αυτόνομα λειτουργίες αυτό-οργάνωσης. [2],[5]

3.1.2 Εισαγωγή στην τεχνολογία *small cells*

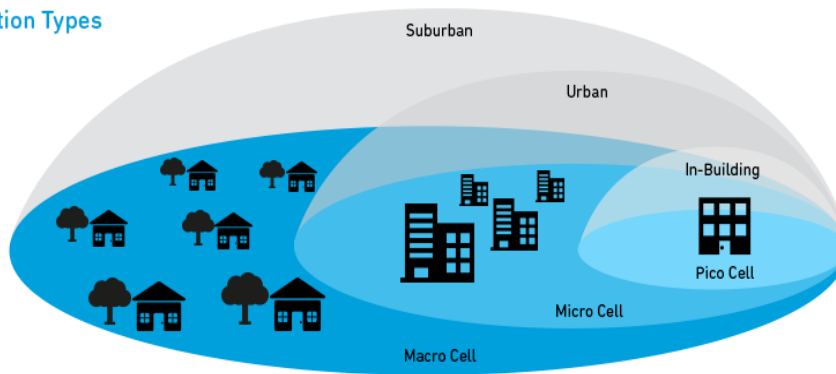
Οι μικρές κυψέλες έχουν πρόσφατα μετατραπεί σε μείζον θέμα για έρευνα όπως υποδεικνύεται από μία σημαντική αύξηση των δημοσιεύσεων σε αυτόν τον τομέα, και η τεχνολογία των μικρών κυψελών έχει προοδεύσει σε μεγάλο βαθμό. Για παράδειγμα, ο αριθμός των δημοσιεύσεων που περιλαμβάνουν τις φεμτοκυψέλες στο θέμα τους και που καταγράφηκαν στη βάση δεδομένων του IEEE έχουν αυξηθεί από 3 το 2007 σε 10 το 2008, 51 το 2009, 116 το 2010 και συνεχίζει να επιταχύνει. [14]

Τα *small cells* είναι κόμβοι κυψελοειδούς ασύρματης πρόσβασης με χαμηλή ισχύ που λειτουργούν σε φάσμα που κυμαίνεται από 10 μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα. Είναι "μικρές" σε σύγκριση με ένα κινητό *macrocell*, κυρίως επειδή έχουν μικρότερο εύρος και επειδή χειρίζονται συνήθως λιγότερες ταυτόχρονες κλήσεις ή συνεδρίες. Αξιοποιούν με τον καλύτερο τρόπο το διαθέσιμο φάσμα επαναχρησιμοποιώντας τις ίδιες συχνότητες πολλές φορές σε μια γεωγραφική περιοχή. Ο όρος μικρές κυψέλες περιλαμβάνει τις φεμτο-κυψέλες, τις πικο-κυψέλες και τις μικροκυψέλες. Τα δίκτυα μικρών κυψελών μπορούν να επιτευχθούν με χρήση κατανεμημένης ραδιοτεχνολογίας που αποτελείται από κεντρικοποιημένες μονάδες που λειτουργούν στη βασική ζώνη (*baseband*). Τεχνολογίες διαμόρφωσης δέσμης (*beamforming technologies*), οι οποίες συγκεντρώνουν το ραδιοσήμα σε μία πολύ συγκεκριμένη και εντοπισμένη περιοχή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω ενισχυμένη ή εστιασμένη κάλυψη της κυψέλης. Ένας κοινός παράγοντας σε όλες αυτές τις προσεγγίσεις των μικρών κυψελών είναι η κεντρική διαχείρισή τους από διαχειριστές κινητών δικτύων. Οι μικρές κυψέλες παρέχουν μικρό εμβαδόν κάλυψης, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από 10 m σε αστικές περιοχές και σε περιοχές εντός κτιρίων,

έως 2 km σε αγροτικές περιοχές. Οι πικοκυψέλες και οι μικρο-κυψέλες μπορούν επίσης να έχουν μία διακύμανση από μερικές εκατοντάδες μέτρων έως μερικά χιλιόμετρα, αλλά διαφέρουν από τις φεμτο-κυψέλες, λόγω του ότι δεν έχουν πάντα δυνατότητα αυτοοργάνωσης και αυτοδιαχείρισης. Οι μικρές κυψέλες είναι διαθέσιμες για ένα μεγάλο εύρος ραδιοδιεπαφών, μεταξύ άλλων GSM, CDMA2000, SCDMA, W-CDMA, LTE και WiMax. Η λεπτομέρεια και η βέλτιστη τακτική που σχετίζεται με την εγκατάσταση μικρών κυψελών ποικίλλει ανάλογα με την περίπτωση χρήσης και τη χρησιμοποιούμενη ραδιοτεχνολογία. Οι μικρές κυψέλες είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα των μελλοντικών δικτύων LTE. Στα δίκτυα τρίτης γενιάς, οι μικρές κυψέλες αντιμετωπίζονται ως τεχνική αποσυμφόρησης. Στα δίκτυα τέταρτης γενιάς, η κύρια αρχή του ετερογενούς δικτύου εισάγεται όπου το κινητό δίκτυο έχει κατασκευαστεί με επίπεδα (layers, tiers) μικρών και μεγάλων κυψελών. [14]

3.2 Densification με χρήση small cells

Base Station Types



Cell Type	Output Power (W)	Cell Radius (km)	Users	Locations
Femtocell	0.001 to 0.25	0.010 to 0.1	1 to 30	Indoor
Pico Cell	0.25 to 1	0.1 to 0.2	30 to 100	Indoor/Outdoor
Micro Cell	1 to 10	0.2 to 2.0	100 to 2000	Indoor/Outdoor
Macro Cell	10 to >50	8 to 30	>2000	Outdoor

Qorvo

©2017 Qorvo, Inc.

Εικόνα 9 Διάφορες μεταξύ των cells [36]

Όπως είδαμε και πιο πάνω τα small cells χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος και με το εύρος το οποίο έχουν. Έτσι έχουμε τις έξι κατηγορίες: macro, micro, pico, femto όπου έχουμε το macro να είναι το μεγαλύτερου εύρους και μεγέθους και το femto το μικρότερο. Τα macrocell βρίσκονται στις αγροτικές περιοχές ή κατά μήκος των εθνικών οδών. Σε μια μικρότερη περιοχή, ένα microcell χρησιμοποιείται σε μια πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή. Τα picocells

χρησιμοποιούνται για περιοχές μικρότερες από τα microcell, όπως ένα μεγάλο γραφείο, ένα εμπορικό κέντρο ή ένας σιδηροδρομικός σταθμός. Μέχρι σήμερα η μικρότερη περιοχή κάλυψης που μπορεί να εφαρμοστεί είναι ένα σπίτι ή ένα μικρό γραφείο με την χρήση femtocell. [14]

3.2.1 Macrocells

Ένα macrocell ή macrosite είναι ένα κύτταρο σε ένα κινητό τηλεφωνικό δίκτυο που παρέχει ραδιοκάλυψη η οποία παρέχεται από μια κυτταρο-κεραία. Γενικά, τα μακροκύτταρα παρέχουν κάλυψη μεγαλύτερη από τα μικροκύτταρα. Οι κεραίες τοποθετούνται σε ιστούς, στέγες και άλλες υπάρχουσες κατασκευές, σε ύψος που παρέχει μια καθαρή θέα στα γύρω κτίρια και το έδαφος. Οι σταθμοί βάσης των Macrocell έχουν εξόδους ισχύος δεκάδων Watt. Η απόδοση των Macrocell μπορεί να αυξηθεί αυξάνοντας την απόδοση του transreceiver(δέκτη). [27]

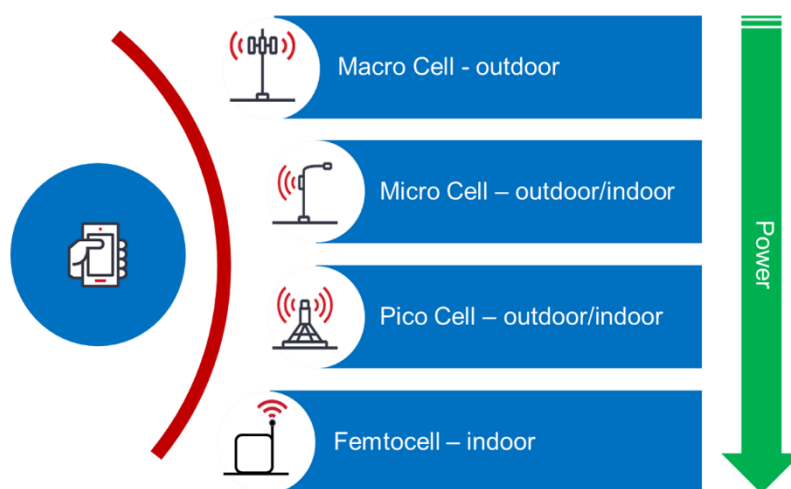
3.2.2 Microcells

Μια μικροκυψέλη είναι μια κυψέλη σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που εξυπηρετείται από έναν κυψελωτό σταθμό βάσης χαμηλής ισχύος (πύργος), που καλύπτει μια περιορισμένη περιοχή όπως ένα εμπορικό κέντρο, ένα ξενοδοχείο ή ένα κόμβο μεταφοράς. Μια μικροκυψέλη είναι συνήθως μεγαλύτερη από ένα picocell , αν και η διάκριση δεν είναι πάντα ξεκάθαρη. Συνήθως χρησιμοποιείται έλεγχος ισχύος για να περιοριστεί η ακτίνα της περιοχής κάλυψης της κυψέλης. Το εύρος ενός μικροκυττάρου είναι μικρότερο από δύο χιλιόμετρα πλάτος, ενώ οι τυποποιημένοι σταθμοί βάσης μπορεί να κυμαίνονται έως 35 χιλιόμετρα. Ένα μικροκυψελοειδές δίκτυο είναι για παράδειγμα αυτό ενός ραδιοφώνου που αποτελείται από μικροκύτταρα. Τα microcell χρησιμοποιούνται συνήθως για να προσθέσουν χωρητικότητα δικτύου σε περιοχές με πολύ πυκνή χρήση τηλεφώνου, όπως για παράδειγμα σταθμούς τρένων. Τα μικροκύτταρα πολλές φορές χρησιμοποιούνται προσωρινά κατά τη διάρκεια αθλητικών εκδηλώσεων και σε άλλες περιπτώσεις όπου είναι γνωστό ότι απαιτείται επιπλέον χωρητικότητα σε συγκεκριμένη τοποθεσία εκ των προτέρων. Η ευελιξία αυτή του κυττάρου είναι χαρακτηριστικό και αποτελεί σημαντικό μέρος του τρόπου με τον οποίο τα δίκτυα έχουν καταφέρει να βελτιώσουν την ικανότητά τους. Τα χειριστήρια ισχύος που εφαρμόζονται σε ψηφιακά δίκτυα διευκολύνουν την αποφυγή παρεμβολών από κοντινά κελιά χρησιμοποιώντας τις ίδιες

συχνότητες. Με την υποδιαίρεση των κυψελών και τη δημιουργία περισσότερων για την εξυπηρέτηση περιοχών υψηλής πυκνότητας, ένας χειριστής ενός τηλεφωνικού δικτύου μπορεί να βελτιστοποιήσει τη χρήση του φάσματος και να διασφαλίσει την αύξηση της χωρητικότητας. Έχουμε δηλαδή με αυτόν τον τρόπο ένα δυναμικό δίκτυο το οποίο μπορούμε ανά πασα στιγμή χωρίς καμία ζημιά να αλλάξουμε και να το τροποποιήσουμε κατά το πως εμείς το θέλουμε βελτιώνοντας την εμπειρία των χρηστών του χωρίς καν να το καταλαβαίνουν.[9]

3.2.3 Picocell

Τα picocell χρησιμοποιούνται συνήθως για την επέκταση της κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους όπου τα υπαίθρια σήματα δεν φτάνουν καλά ή για την προσθήκη χωρητικότητας δικτύου σε περιοχές με πολύ πυκνή χρήση τηλεφώνου, όπως σταθμούς τρένων ή στάδια. Τα Picocells παρέχουν κάλυψη και χωρητικότητα σε περιοχές δύσκολες ή δαπανηρές για να προσεγγιστούν χρησιμοποιώντας την πιο παραδοσιακή προσέγγιση των macrocell. Συνήθως το εύρος ενός picocell είναι 200 μέτρα ή λιγότερο.[25]



Εικόνα 10 Cells χρήση και κατανάλωση ενεργείας [33]

3.2.4 Femtocells

Ένα femtocell είναι ένας μικρός, χαμηλής ισχύος κυψελοειδής σταθμός βάσης, τυπικά σχεδιασμένος για χρήση σε ένα σπίτι ή μικρή επιχείρηση. Ονομάζεται επίσης femto AccessPoint (AP). Συνδέεται με το δίκτυο του παροχέα υπηρεσιών μέσω ευρυζωνικών συνδέσεων (όπως DSL ή καλώδιο). Τα τρέχοντα σχέδια τυπικά υποστηρίζουν τέσσερα έως οκτώ ταυτόχρονα ενεργά κινητά τηλέφωνα σε μια

οικιστική τοπολογία ανάλογα με τον αριθμό και το υλικό femtocell που χρησιμοποιείται και από οκτώ έως δεκαέξι κινητά τηλέφωνα στις επιχειρηματικές τοπολογίες. Ένα femtocell επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να επεκτείνουν την κάλυψη της υπηρεσίας τους σε εσωτερικούς χώρους, και σε χώρους ειδικά που η πρόσβαση θα ήταν διαφορετικά περιορισμένη ή μη διαθέσιμη. Παρόλο που η προσοχή επικεντρώνεται στην WCDMA, η έννοια εφαρμόζεται σε όλα τα πρότυπα τηλεπικοινωνιών. Τα Femtocells πωλούνται από έναν φορέα κινητής τηλεφωνίας στους οικιακούς ή επιχειρηματικούς πελάτες του. Ένα femtocell είναι συνήθως στο μέγεθος ενός modem internet ή μικρότερο και συνδέεται σε την ευρυζωνική γραμμή του χρήστη. Υπάρχουν επίσης ενσωματωμένα femtocells μέσα σε modem internet (τα οποία περιλαμβάνουν και δρομολογητή DSL και femtocell). Μόλις συνδεθεί, το femtocell συνδέεται με το κινητό δίκτυο του παρόχου και παρέχει επιπλέον κάλυψη. Από την οπτική γωνία του χρήστη, είναι plug and play, δεν απαιτείται ειδική εγκατάσταση ή τεχνικές γνώσεις - ο καθένας μπορεί να εγκαταστήσει ένα femtocell στο σπίτι. Αφού εγκατασταθεί σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, τα περισσότερα femtocells διαθέτουν μηχανισμούς προστασίας, έτσι ώστε η αλλαγή τοποθεσίας να αναφέρεται στον πάροχο. Το κατά πόσον ο πάροχος επιτρέπει στα femtocells να λειτουργούν σε διαφορετική θέση εξαρτάται από την πολιτική του. Η διεθνής αλλαγή τοποθεσίας ενός femtocell δεν επιτρέπεται επειδή το femtocell μεταδίδει τις αδειοδοτημένες συχνότητες που ανήκουν σε διαφορετικούς διαχειριστές δικτύου σε διαφορετικές χώρες.[26]

3.2.5 Διαφορές και χαρακτηριστικά των macrocells, picocells και femtocells

Η εγκατάσταση και η συντήρηση ενός macrocell σταθμού βάσης έχει υψηλό κόστος και προϋποθέτει αρκετά απαιτητικό σχεδιασμό. Ακόμη, για την καλύτερη εξυπηρέτηση χρηστών οι οποίοι βρίσκονται στο εσωτερικό ενός κτιρίου, απαιτεί αύξηση της ισχύς μετάδοσης του small cell σταθμού βάσης με στόχο να καλύψει την απώλεια που θα προκύψει εξαιτίας των εξωτερικών τοιχωμάτων.[14]

Τα picocells ή relaying κόμβοι παρέχουν πιο αξιόπιστες και αποδοτικές λύσεις για την αξιόλογη εσωτερική κάλυψη σε σύγκριση με τα macrocells. Παρ' όλα αυτά, όμως, παρατηρείται ότι είναι πιο ακριβές και χρησιμοποιούνται συνήθως σε περιπτώσεις όπως οικιακά δίκτυα ή εταιρικά γραφεία.[25],[9]

Τα femtocells είναι μια καλή εσωτερική λύση και σε σύγκριση με τα υπόλοιπα είναι φθηνότερη και έχει το προνόμιο να είναι διαθέσιμα για εγκατάσταση από τους ίδιους τους χρήστες. Παράλληλα, βελτιώνουν και την απόδοση του στρώματος macrocell και προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας στα τερματικά. Αυτό, επιτυγχάνεται διότι οι διαρροές μετάδοσης εξαιτίας των τοιχωμάτων προς το εσωτερικό femtocell είναι πολύ πιο μικρές σε σχέση με την διαδρομή προς τον εξωτερικό σταθμό βάσης του macrocell, και έτσι η συνολική απαιτούμενη ισχύς εκπομπής ελαχιστοποιείται σε σημαντικό βαθμό. Τα femtocells, σε σύγκριση πάντα με τα picocells, είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο του παροχέα διαμέσω ευρυζωνικής σύνδεσης των χρηστών. Το femtocell είναι ένας ανεξάρτητος σταθμός βάσης και μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο κορμού, χρησιμοποιώντας IP διεύθυνση. Σύμφωνα με το παραπάνω και για να εξακολουθήσει να υπάρχει αυτονομία, το femtocell έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζεται μόνο του, κάτι που με το picocell δεν συμβαίνει διότι πρέπει να ρυθμίζεται από τον πάροχό του.[14]

3.2.6 Προβλήματα της σμίκρυνσης και πύκνωσης των κυψελών

Με τη συρρίκνωση των κυψελών, καταφέραμε να επωφεληθούμε πολύ, με τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα να είναι η επαναχρησιμοποίηση του φάσματος σε μια γεωγραφική περιοχή και η επακόλουθη μείωση του αριθμού των χρηστών που ανταγωνίζονται για πόρους σε κάθε σταθμό. [4],[6],[12] Παρόλο που τα κύτταρα μπορούν να συρρικνωθούν σχεδόν απεριόριστα χωρίς προβλήματα στο SIR(signal to interference ratio), έως ότου σχεδόν κάθε σταθμός να εξυπηρετεί έναν μόνο χρήστη (ή να είναι αδρανής) και κατά συνέπεια να επιτρέπει σε κάθε BS να αφιερώσει τους πόρους του, καθώς και τη σύνδεση backhaul, σε έναν ολόένα και μικρότερο αριθμό χρήστες, δυστυχώς, με τη συρρίκνωση των κυττάρων και την πολλαπλή συμπύκνωση τους, προκύπτουν ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να λάβουμε υπόψιν :

- Καθορισμός των κατάλληλων συσχετισμών μεταξύ χρηστών και σταθμών σε πολλαπλές ραδιοεπικοινωνίες (RAT), που είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση του τελικού ρυθμού.
- Την υποστήριξη της κινητικότητας μέσα σε ένα τόσο ανομοιογενές δίκτυο.
- Με την αύξηση της πυκνότητας παρατηρούμε και την αύξηση του κόστους εγκατάστασης, συντήρησης και επισκευής.

- Η ενεργειακή απόδοση ορίζεται ως ο λόγος της φασματικής απόδοσης της περιοχής προς τη συνολική κατανάλωση ενέργειας σε ένα δίκτυο. Παρόλο που η πύκνωση του δικτύου θεωρείται αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της χωρητικότητας και της κάλυψης του συστήματος, το κέρδος αυτό αποβαίνει εις βάρος της αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας.
- Η διαχείριση παρεμβολών είναι ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε με την πυκνοποίηση του δικτύου. Τα προβλήματα αυξάνονται το χρονικό διάστημα κατά το οποίο τα διαφορετικά ίχνη κάλυψης, τα συστήματα πρόσβασης και οι δυνατότητες μετάδοσης μοιράζονται το ίδιο φάσμα συχνοτήτων. [4],[6],[12],[20],[21]

3.3 Densification over frequency

Το φάσμα για τις τηλεπικοινωνίες αποτελεί την κυρία πηγή πόρων. Όσο περνάνε τα χρονιά εκμεταλλευόμαστε το φάσμα όλο και καλύτερα μέσω διάφορων τεχνικών απλώς αυτή της επαναχρησιμοποίησης του φάσματος αλλά παρόλα αυτή η ποσότητα του φάσματος που έχουμε διαθέσιμη όλα αυτά τα χρονιά δεν αλλάζει. Για να καταφέρει να κάνει το 5g την αλλαγή που ζητάμε το ζήτημα αυτό πρέπει να λυθεί καθώς το φάσμα περιορίζει τον ρυθμό μετάδοσης των bit και την ποιότητα των καναλιών μας. [7] Το φάσμα έχει ένα μέρος που στις μέρες μας δεν χρησιμοποιηθεί πολύ. Η μπάντα mmWave όπως λέγεται ενδέχεται να αποτελέσει την λύση που ψάχνουμε στο πρόβλημα μας καθώς μπορεί να προσφέρει μέχρι και 100 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σχέση με τα σημερινά 4G cellular δίκτυα. Ο λόγος που μέχρι σήμερα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί αυτές οι μπάντες είναι η μικρή τους ακτίνα κάλυψης και το γεγονός ότι είναι ευαίσθητα σε παρεμβολές και πρέπει να διατηρούν την οπτική επαφή τους με τον χρήστη για να υπάρχει σήμα. Κατά την συχνοτική πύκνωση χρησιμοποιούμε μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από τα 500 Mhz ως τις υπερχαμηλές συχνότητες (30-300Mhz).[11] Το γεγονός ότι αν κάτι μπει αναμεσα στον πομπό και τον δεκτή διακόπτει την επικοινωνία είναι κάτι που οι εταιρίες καλούνται να λύσουν. Οι λύσεις που έχουν προταθεί είναι δυο το beamforming και beamtracking. Η λύση του beamforming λέει ότι το κινητό του δεκτή πρέπει να έχει σε διαφορά σημεία πολλές μικρές καριέρες έτσι ώστε ανά πασά

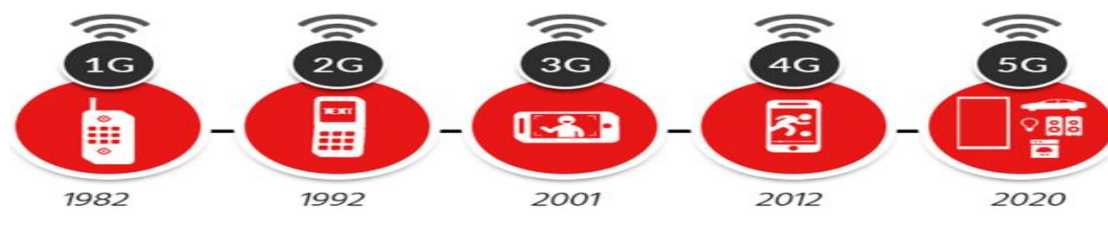
στιγμή να υπάρχει μια που να μην καλύπτεται από κάτι και ταυτόχρονα αυτή η καιρέ θα λαμβάνει το πιο ισχυρό από τα σήματα που θα δέχεται από μια από τις πολλές καριέρες του πομπού. Υπάρχουν επίσης πολλά περισσότερα που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν με τη δημιουργία πιο ευφυούς και προγνωστικού λογισμικού δικτύωσης. Οι αλγόριθμοι μάθησης στο κυψελοειδές δίκτυο θα βοηθούσαν στη μεγιστοποίηση των οφελών και της χρησιμότητας του 5G. Αυτά τα είδη τεχνολογικών εξελίξεων, βασισμένα στις υπάρχουσες λύσεις και τεχνογνωσία στη δικτύωση, στην επεξεργασία σήματος και στις προηγμένες δυνατότητες λογισμικού, θα είναι απαραίτητες για την επίτευξη των επιθυμητών οφελών των δικτύων 5G. [22]

3.3.1 Οι επιπτώσεις του mmWave στην υγεία

Παρά τα μεγάλα οφέλη που προσφέρει στο δίκτυο μας η εφαρμογή των όσον είπαμε παραπάνω δεν παύουν να υπάρχουν και ορισμένοι κίνδυνοι. Τα mmw απορροφούνται ως επί το πλείστον από 1 έως 2 χιλιοστόμετρα ανθρώπινου δέρματος και στα επιφανειακά στρώματα του κερατοειδούς χιτώνα. Θερμικά φαινόμενα εμφανίζονται όταν η πυκνότητα ισχύος των κυμάτων υπερβαίνει τα 5-10 mW / cm². Αυτά τα mmw υψηλής έντασης δρουν στο ανθρώπινο δέρμα και στον κερατοειδή χιτώνα αρχίζοντας από αίσθηση θερμότητας που ακολουθείται από πόνο και σωματική βλάβη σε υψηλότερες εκθέσεις.[24] Η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη, τη μορφολογία και το μεταβολισμό των κυττάρων και να βλάψει το DNA. Η μέγιστη επιτρεπτή έκθεση που επιτρέπεται από το FCC για το ευρύ κοινό είναι 1,0 mW / cm² κατά μέσο όρο για 30 λεπτά για συχνότητες που κυμαίνονται από 1,5 GHz έως 100 GHz. Αυτή η κατευθυντήρια γραμμή υιοθετήθηκε το 1996 για την προστασία των ανθρώπων από την οξεία έκθεση σε θερμικά επίπεδα ακτινοβολίας ραδιοσυχνότητας. [24] Ωστόσο, οι κατευθυντήριες γραμμές δεν σχεδιάστηκαν για να μας προστατεύσουν από μη θερμικούς κινδύνους που μπορεί να προκύψουν με παρατεταμένη ή μακροχρόνια έκθεση σε ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας. Με την ανάπτυξη της ασύρματης υποδομής πέμπτης γενιάς (5G), μεγάλο μέρος του πληθυσμού θα εκτεθεί σε mmw για πρώτη φορά σε συνεχή βάση. Λόγω των οδηγιών της FCC, αυτές οι εκθέσεις πιθανόν να είναι χαμηλής έντασης. Συνεπώς, οι συνέπειες της έκθεσης 5G στην υγεία θα περιορίζονται σε μη θερμικές επιδράσεις που παράγονται από παρατεταμένη έκθεση σε mmw σε συνδυασμό με έκθεση σε ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας χαμηλής και μέσης συχνότητας. Δυστυχώς, λίγες μελέτες έχουν εξετάσει την παρατεταμένη έκθεση σε mmw χαμηλής έντασης

και καμία έρευνα δεν έχει επικεντρωθεί στην έκθεση σε mmw σε συνδυασμό με άλλες ακτινοβολίες ραδιοσυχνοτήτων. Εν ολίγοις, από έρευνες που έγιναν ξέρουμε ότι η βραχυχρόνια έκθεση σε ακτινοβολία χιλιοστόμετρου κύματος χαμηλής έντασης (MMW) όχι μόνο επηρεάζει τα ανθρώπινα κύτταρα, μπορεί όμως να έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη βακτηρίων ανθεκτικών σε πολύ-φάρμακα επιβλαβών για τον άνθρωπο. Επειδή έχουν διεξαχθεί λίγες έρευνες για τις συνέπειες της μακροχρόνιας έκθεσης σε MMW, η εκτεταμένη ανάπτυξη της ασύρματης υποδομής 5G ή 5ης γενιάς αποτελεί ένα τεράστιο πείραμα που μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του κοινού.[24]

ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Εικόνα 11. Χρονοδιάγραμμα των τηλεπικοινωνιακών γενιών [38]

Ολοκληρώνοντας την εργασία αυτή είδαμε από την αρχή την πορεία που ακολούθησε η εξέλιξη του δικτύου τηλεπικοινωνιών μέσα στα χρόνια τις αλλαγές αλλά και τις ανάγκες που είχαν οι χρήστες. Η σημερινή εποχή είναι κομβική για την συνέχεια και την εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών καθώς είστε ένα βήμα πριν την εισαγωγή της 5^{ης} γενιάς, μιας γενιάς διαφορετικής από τις άλλες που ήρθε για να φέρει αλλαγές που θα είναι αισθητές σε όλους μας και όχι αλλαγές που απλά θα διευκολύνουν και θα κάνουν καλύτερη την επικοινωνία μας. Οι αλλαγές αυτές θα δημιουργήσουν νέα δεδομένα σε πολλούς τομείς όπως η οικονομία και οι μεταφορές. Νέες προοπτικές και ευκαιρίες δίνονται τόσο σε εταιρίες που ιδεί υπάρχουν στον χώρο όσο και σε νέους επενδυτές. Η ανάγκη να εγκατασταθεί η 5^η γενιά είναι τεράστια στις μέρες μας και εμείς είμαστε αυτοί που καλούμαστε να τα βγάλουμε σε πέρας και να δώσουμε στην γενιά μας την δυνατότητα να κάνει άλματα και όχι απλά βήματα σε διαφορετικούς τομείς. Στην εργασία αυτή νομίζω γίνεται κατανοητό όλα όσα πρέπει να αλλάξουν όλα όσα πρέπει να προσέξουμε και όλα όσα θα μας προσφέρει η 5^η γενιά. Επικεντρωθήκαμε κυρίως σε τεχνικές πύκνωσης του δικτύου μια αρχή όχι καινούργια αλλά απαραίτητη να επεκταθεί για την συνέχεια. Είδαμε βέβαια και ορισμένα αρνητικά αυτής της εξέλιξης καθώς και εμπόδια που καλούμαστε να ξεπεράσουμε. Η 5^η γενιά δικτύων κινητής τηλεπικοινωνίας είναι κοντά και έρχεται για να αλλάξει την καθημερινότητα μας προς το καλύτερο προσφέροντας μας απλόχερα ανέσεις και υπηρεσίες που δεν υπήρχαν στο παρελθόν. Το μόνο που μένει λείπουν είναι να την ανακαλύψουμε και να την εκμεταλλευτούμε στο επαρκώς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ [1].AlissaFleck. “The Shift From 4G to 5G Will Change Just About Everything.” – *Adweek*, Adweek, 18 June 2018, www.adweek.com/digital/the-shift-from-4g-to-5g-will-change-just-about-everything/.
- ❖ [2].Erik Lilieholm. “CommScope Definitions: What Is Network Densification?” *Commscope*, www.commscope.com/Blog/CommScope-Definitions-What-Is-Network-Densification/.
- ❖ [3]. “Defining 5G Architecture – What You Need to Know.” *SDxCentral*, SDxCentral, www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-architecture/.
- ❖ [4].Gupta, A., and R. K. Jha. “A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies.” *IEEE Access*, vol. 3, 2015, pp. 1206–1232., doi:10.1109/access.2015.2461602.
- ❖ [5].Kinney, Sean. “What Is Network Densification and Why Is It Needed for 5G?” *RCR Wireless News*, RCR Wireless News, 10 Nov. 2016, www.rcrwireless.com/20161109/fundamentals/network-densification-5g-tag31-tag99.
- ❖ [6].Liu, Junyu, et al. “Network Densification in 5G: From the Short-Range Communications Perspective.” *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 12, 2017, pp. 96–102., doi:10.1109/mcom.2017.1700487.

- ❖ [7].Low, Cherlynn. “How 5G Makes Use of Millimeter Waves.” *Engadget*, 23 July 2018, www.engadget.com/2018/07/23/how-5g-makes-use-of-millimeter-waves/?guccounter=1.
- ❖ [8].mansi07. “1G,2G,3G,4G And 5G.” *Mansipruthi*, 2 Sept. 2015, mansipruthi.wordpress.com/2015/09/02/1g2g3g4g-and-5g/.
- ❖ [9]. “Microcell.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 15 Aug. 2018, en.wikipedia.org/wiki/Microcell.
- ❖ [10].“Mobile World Congress: Τι Είναι Το 5G, Πότε Έρχεται Εμπορικά Και Γιατί Αλλάζει Τα Πάντα.” *ProtoThema*, ProtoThema.gr, 28 Feb. 2017, www.protothema.gr/technology/article/658112/mobile-world-congress-ti-einai-to-5g-pote-erhetai-eborika-kai-giati-allazei-ta-pada/.
- ❖ [11]. “Reality Check: Riding the MmWave to 5G.” *Cyber Warfare at the Tactical Edge: Information Ballistics and Cyber Bombs | LGS Innovations*, 25 Sept. 2018, www.lgsinnovations.com/reality-check-riding-the-mmwave-to-5g.
- ❖ [12].Santana, Thomas Varela, et al. “The Virtual Small Cells Based on UE Positioning: a Network Densification Solution.” *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Nature Publishing Group, 26 June 2018, asp-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13634-018-0561-9.
- ❖ [13].Santo, Brian. “The Top 5 5G Wireless Technologies.” *EDN*, www.edn.com/electronics-blogs/5g-waves/4459612/The-top-5-5G-wireless-technologies-.
- ❖ [14]. “Small Cell.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 6 Oct. 2018, en.wikipedia.org/wiki/Small_cell.

- ❖ [15].tutorialspoint.com. “5G Architecture.” *Www.tutorialspoint.com*, Tutorials Point, www.tutorialspoint.com/5g/5g_architecture.htm.
- ❖ [16]. “Ασύρματο Δίκτυο.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 18 Feb. 2017, el.wikipedia.org/wiki/Ασύρματο_δίκτυο.
- ❖ [17].Μπουρας, Χρήστος. “Γιατί Είναι Χρήσιμο Το 5G.” *Www.thebest.gr*, 3 Apr. 2018, www.thebest.gr/news/index/viewStory/481926.
- ❖ [18].ΣΚΑΪ. “Δίκτυα 5G: Πότε Έρχονται Και Γιατί Θα Αλλάξουν Τα Πάντα.” *Επισκεφτείτε Τη Σελίδα ΣΚΑΪ.GR*, 28 Feb. 2017, www.skai.gr/news/technology/article/340097/diktua-5g-pote-erhodai-kai-giati-tha-allaxoun-ta-pada/.
- ❖ [19].“Το Πρώτο Βήμα Για Το 5G Μόλις Πραγματοποιήθηκε!” *Myphone.gr*, www.myphone.gr/forum/showthread.php?t=461884.
- ❖ [20].Παναγιώτης Γ. Τζαγκαράκης «Τεχνολογίες κινητών δικτύων πέμπτης γενιάς» Εθνικο και Καποδιστριακο Πανεπιστημιο Αθηνων 2016
- ❖ [21].Αδαμοπουλος Παναγιωτης «ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ 5G» Χαροκοποιο Πανεπιστημιο 2016
- ❖ [22].Νταρζάνος Παναγιώτης «Τεχνοοικονομική Μελέτη των Ultra-Dense Deployments σε Κινητά Δίκτυα 5G.» Πανεπιστημιο Πατρων 2016
- ❖ [23].Χρηστος Μπουρας «ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ» πανεπιστημιακες σημειωσεις 2008
- ❖ [24].Joel M. Moskowitz. “5G Wireless Technology: Millimeter Wave Health Effects.” *Hybrid & Electric Cars: Electromagnetic Radiation Risks*, www.saferemr.com/2017/08/5g-wireless-technology-millimeter-wave.html

- ❖ [25].“Picocell.” Wikipedia, Wikimedia Foundation, 3 Jan. 2018,
en.wikipedia.org/wiki/Picocell.
- ❖ [26].“Femtocell.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 4 Dec. 2018,
en.wikipedia.org/wiki/Femtocell.
- ❖ [27].“Macrocell.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 10 May 2018,
en.wikipedia.org/wiki/Macrocell.
- ❖ [28].“1G.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 5 Jan. 2019,
en.wikipedia.org/wiki/1G.
- ❖ [29].“2G.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 13 Jan. 2019,
en.wikipedia.org/wiki/2G.
- ❖ [30].“3G.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 5 Jan. 2019,
en.wikipedia.org/wiki/3G.
- ❖ [31].“4G.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 11 Jan. 2019,
en.wikipedia.org/wiki/4G.
- ❖ [32].“5G.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 14 Jan. 2019,
en.wikipedia.org/wiki/5G.
- ❖ [33].“Densifying the Network, One Small Cell at a Time - Ciena.” Ciena
Experience. Outcomes, www.ciena.com/insights/articles/Densifying-the-Network-One-Small-Cell-at-a-Time.html.
- ❖ [34].“318.” *IAS Score*, blog.iasscore.in/upsc_prelims/mobile-generation/attachment/318/.

- ❖ [35].“5G Technology Could Redefine the Smartphone Industry.” *HOB International, Inc.*, hobi.com/5g-technology-could-redefine-the-smartphone-industry/5g-technology-could-redefine-the-smartphone-industry/.
- ❖ [36].“Qorvo.” *Home - Qorvo*, www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g.
- ❖ [37].*Google Search*, Google, www.google.com/search?q=small cells&rlz=1C1CAFA_enGR755GR755&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwje05D3sPDfAhUPaFAKHdwJBWQQ_AUIDigB&biw=1366&bih=657#imgdii=kn8DkbtpiqehIM:&imgsrc=QoQb1zVVqPzF-M:
- ❖ [38] “How Will 5G Impact IoT Product Development?” *Design 1st / Product Design Company*, 22 Mar. 2018, www.design1st.com/impact-5g-on-iot-product-development/.
- ❖ [39] <https://www.udemy.com/mastering-modbus-rs485-network-communication/>
- ❖ [40] «Οι Γενιές των Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας και Παρουσίαση των Συστημάτων 4ης Γενιάς LTE και LTE-Advanced» Λύκου Άννα Αικατερίνη 2014