



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

< Ευρυζωνικές Τεχνολογίες >

*< MILLIMETER WAVE (MMWAVE)
COMMUNICATIONS >*

< ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΡΙΣΒΑΣ >

A.M <236346>

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>	I
<u>ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ</u>	III
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: <5G></u>	2
<u>1.1<ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΔΙΚΤΥΟ 5G ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ></u>	2
<u>1.2<ΚΕΡΑΙΕΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ 5G></u>	3
<u>1.3<ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΕΡΑΙΩΝ></u>	4
<u>1.4<ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G></u>	5
<u>1.4.1< ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ 5G></u>	7
<u>1.5 <Radio Access Network></u>	8
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: MM-WAVE</u>	9
<u>2.1 <ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ MM-WAVE></u>	9
<u>2.2 <ΤΙ ΕΙΝΑΙ MMWAVE COMMUNICATIONS></u>	9
<u>2.2.1 <ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ MMWAVE COMMUNICATIONS></u>	10
<u>2.3 < ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ MMWAVE COMMUNICATIONS></u>	12
<u>2.4 <ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ MMWAVES COMMUNICATIONS></u>	13
<u>2.5 <MMWAVES & 5G></u>	15
<u>2.6 <Κινητοποίηση MM-WAVES></u>	17
<u>2.7 <Αρχιτεκτονική MM-WAVES></u>	18
<u>2.8 <Εφαρμογές></u>	19
<u>2.9 < Antennas & MM-WAVES></u>	21
<u>2.10 <Η ΕΠΙΡΡΟΗ MM-WAVE ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ></u>	22
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	23

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

- ΟΕΕ(Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών)
- BICMOS(Bipolar cmos)
- DVD(Digital Video Disc)
- 5G (five generation)
- 4G(four generation)
- HDVT (High-definition television)
- LOS(line of sight)
- LTE(Long Tern Evolution)
- MMWAVE(millimeter wave)
- NFV(network functions virtualization)
- NLOS(non line of sight)
- OFDMA (Orthogonal frequency-division multiple access)
- RAN(Radio Access Networks)
- SDN(software-defined networking)
- WLAN (wireless local area networks)
- WPAN (wireless personal area networks)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 < 5G >

Η τεχνολογία 5G έχει ήδη αρχίσει να χρησιμοποιείται σε πρώιμο στάδιο σε αρκετές πόλεις του εξωτερικού, αλλά και της Ελλάδας. Μέσα στο 2020 οι μεγαλύτερες εταιρείες κινητής τηλεφωνίας ανά τον κόσμο σκοπεύουν να προσαρμόσουν το δίκτυο τους, ώστε να υποστηρίξει αυτή την τεχνολογία, ενσωματώνοντάς την στην καθημερινότητα, όπως είναι τώρα το 4G.

1.1 Τι είναι δίκτυο 5G και οι εφαρμογές του;

Κάθε νέα γενιά δικτύου, που αναπτύσσεται προσπαθεί να ανταγωνιστεί την προκάτοχό της για να μπορέσει να διεκδικήσει του χρήστες της. Από το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης μέσα από τη μουσική και video streaming για τον έλεγχο των οικιακών συσκευών σας από οπουδήποτε στον κόσμο, έχει φέρει τεράστια οφέλη και έχει αλλάξει ριζικά τις ζωές πολλών ανθρώπων μέσα από υπηρεσίες που παρέχονται από τους φορείς εκμετάλλευσης.

Με το 5G, εννοείται η επόμενη γενιά σύνδεσης των συσκευών στο διαδίκτυο, που αναμένεται να προσφέρει πολύ πιο γρήγορη και πιο αξιόπιστη σύνδεση κινητών τηλεφώνων και άλλων συσκευών. Ενδεικτικά, στην καθημερινότητα και την συνδεσιμότητα, οι ταχύτητες αναμένεται να είναι 100 έως και 1.000 φορές μεγαλύτερες σε σχέση με το 4G. Από το 2017, η ανάπτυξη του 5G διευθύνεται από αρκετές εταιρείες, όπως η [Samsung](#), η [Intel](#), η Qualcomm, η [Nokia](#), η [Huawei](#), η [Ericsson](#), η [ZTE](#) και άλλοι. Οι κλάδοι που αναμένεται να επηρεαστούν από την ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G είναι οι λεγόμενες "κάθετες" αγορές (B2B Verticals) όπως η Αυτοκινητοβιομηχανία, οι Μεταφορές και η Εφοδιαστική Αλυσίδα, η Βιομηχανία, τα Δίκτυα Υποδομών και η Υγεία.

Διεθνή στελέχη από σημαντικές εταιρείες έχουν εκφράσει τις αμφιβολίες σχετικά με την εφαρμογή του δικτύου 5G. Τα συστήματα 5G όμως αναμένεται να έχουν καλύτερα αποτελέσματα από το 4G, όσον αφορά τις υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, καθώς και πολύ βελτιωμένα επίπεδα συνδεσιμότητας.



Εικόνα 1 Το 5G στο κινητό τηλέφωνο.(

ΠΗΓΗ:https://economytoday.sigmalive.com/oikonomia/ellada/19632_i-ellada-mpainei-sto-diktyo-toy-5g)

1.2 ΚΕΡΑΙΕΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ 5G

Μέχρι το 2021 ετοιμάζονται να εγκατασταθούν χιλιάδες κεραιές κινητής τηλεφωνίας 5G. Οι πάροχοι κάθε χώρας, είναι υποχρεωμένοι να αλλάξουν τις κεραιές για τη βελτίωση των υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες. Σε σχέση με τις υπάρχουσες κεραιές (2G, 3G, 4G) οι κεραιές αυτές θα παρέχουν μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων, αλλά θα εκπέμπουν σε υψηλότερες συχνότητες με συνέπεια να απαιτούν μεγαλύτερο αριθμό κεραιών ή/και ισχύ εκπομπής για να είναι λειτουργικές. Ήδη στη Περιφέρεια Αττικής σε πολλούς Δήμους έχουν εγκατασταθεί αυτές οι κατάλληλες κεραιές. Στο Δήμο Καλαμάτας τα έργα έχουν διακοπεί εξ' αιτίας κάποιων προβλημάτων.

Πολλοί επιστήμονες, αλλά και απλός κόσμος έχει εκφράσει τα παράπονά του, ώστε οι εταιρείες και οι φορείς να σταματήσουν την εγκατάσταση αυτού του τύπου κεραιών, επειδή υπάρχουν ενδείξεις ότι παρουσιάζει επιπλοκές στην υγεία των ανθρώπων. Αυτό που ζητούν είναι να γίνουν περισσότερες μελέτες και έρευνες πριν την λειτουργία τους. Διάσημος γιατρός σε γνωστό νοσοκομείο του εξωτερικού, υποστηρίζει ότι *«Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα 5 χιλιοστών είναι γνωστό ότι θερμαίνουν τα μάτια, το δέρμα και τους όρχεις... Μεγαλύτερη ανησυχία υπάρχει για τις πιο ευάλωτες ομάδες όπως τα έμβρυα, τα παιδιά, τους ασθενείς, τους ηλικιωμένους και τους ανάπηρους. Αναμένεται επίσης ότι ο αριθμός των μελισσών και των πτηνών θα μειωθεί σημαντικά.»* (TEMPERTON 2020)

Οι ασύρματες ακτινοβολίες ανήκουν στην λίστα με τα πιθανά καρκινογόνα και έχει προταθεί η ένταξη τους στα αποδεδειγμένα καρκινογόνα.

Τα σύγχρονα δίκτυα οπτικών ινών προσφέρουν αντίστοιχη απόδοση σε ταχύτητες, αλλά πολύ μικρότερες εκπομπές ακτινοβολίας.



Εικόνα 2 Η χρήση του 5G στην σύγχρονη εποχή.

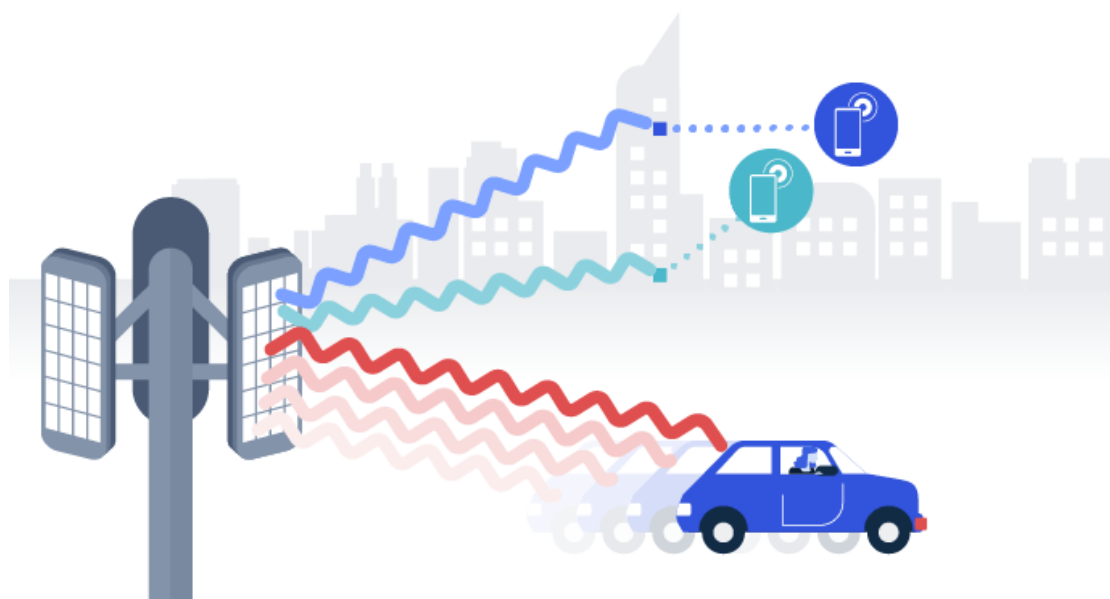
(ΠΗΓΗ: <https://www.fosonline.gr/plus/ey-zin/article/78637/ta-yper-kai-ta-kata-tis-syndesis-5g-vid>)

1.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΕΡΑΙΩΝ

Οι νέες κεραίες 5G (μικροκυψέλες ή πικοκυψέλες όπως παραπλανητικά τις ονομάζουν οι εταιρείες), ειδικά όταν εγκατασταθούν και τα επόμενης γενιάς δίκτυα, θα πρέπει να τοποθετούνται παντού, σε κάθε γειτονιά, σε κάθε σημείο που μπορεί εύκολα ή με μικρές τροποποιήσεις να γίνει εγκατάσταση: σε προσόψεις κτιρίων, σε φώτα και φανάρια στους δρόμους, σε στάσεις λεωφορείων. Κάθε σταθμός βάσης 5G θα περιέχει εκατοντάδες ή και χιλιάδες κεραίες με πολλαπλές ακτίνες τύπου laser που θα στοχεύουν όλες μαζί σε όλα τα κινητά τηλέφωνα και άλλες συσκευές χρηστών στην περιοχή όπου θα ενεργοποιείται ("phased arrays" - η τεχνολογία ονομάζεται πολλαπλή είσοδος - πολλαπλή έξοδος η MIMO), ενώ θα ακτινοβολεί με πολύ υψηλότερη ισχύ σε σχέση με τους υπάρχοντες σταθμούς βάσης .

Οι στύλοι φωτισμού ή ρεύματος που θα επιστρατευτούν, ενδεχομένως να χρειαστούν τροποποιήσεις σκλήρυνσης ή αντικατάσταση για να κρατήσουν το βάρος των νέων κεραιών. Επιπλέον, κάθε εγκατάσταση θα περιλαμβάνει και ερμάρια εξοπλισμού μεγέθους ψυγείων (τα οποία η βιομηχανία τα αναφέρει ως "έπιπλα δρόμου"). Η διαμάχη ξεκίνησε μετά την απόφαση του Δήμου Καλαμάτας (τα προβλήματα που ανφέραμε γιατί διεκόπει) να διακόψει την λειτουργία των πιλοτικού δικτύου 5G και το πλήγμα που δέχτηκε η εταιρεία κινητής τηλεφωνίας Wind, έχει ξεσπάσει ένα πόλεμος

ανακοινώσεων και δημοσιευμάτων, με σκοπό τον καθησυχασμό των πολιτών και την απαξίωση/αποσιώπηση όσων αναφέρονται σε πιθανούς κινδύνους στην υγεία. Επιπλέον, κάθε φορά που εγκαθίσταται μία νέου τύπου κεραία δεν σταματάει η εκπομπή των παλαιότερου τύπου κεραιών καθώς υπάρχουν πολλοί συνδρομητές με τηλέφωνα που δεν υποστηρίζουν τα νέα σήματα. Για παράδειγμα όταν θα εγκατασταθούν οι χιλιάδες νέες κεραιές τύπου 5G, δεν θα σταματήσει η ταυτόχρονη εκπομπή των κεραιών τύπου 4G, 3G ακόμα και 2G για να μπορούν να λειτουργούν ακόμα και τα παλαιότερης τεχνολογία κινητά τηλέφωνα, γεγονός που αυξάνει κάθε χρόνο τις συνολικές εκπομπές από τους σταθμούς βάσης κεραιών κινητής τηλεφωνίας.



Εικόνα 3 Η σύνδεση του αυτοκινήτου με τις κεραιές 5G.

(ΠΗΓΗ: <https://www.5g-networks.net/5g-technology/5g-coverage-using-fr2-mmwave-frequencies/>)

1.4 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G

Οι σύγχρονες τεχνολογίες όπως το OFDMA θα βρίσκονται στην αγορά και θα λειτουργούν τουλάχιστον για τα επόμενα 50 χρόνια.

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι εταιρείες θα βασιστούν επάνω στην εγκατάσταση των ήδη υπάρχοντων δικτύων 1^{ης} έως 4^{ης} γενιάς. Τα δίκτυα 5G είναι ένα κυψελοειδούς τύπου δίκτυο και βοηθούν τον άνθρωπο να επικοινωνεί σε οποιαδήποτε μέρος του πλανήτη με τον σταθμό βάσης όπου το σήμα θα ταξιδεύει μέσα από τοίχους και άλλα πράγματα. Για αυτό είναι απαραίτητο η τεχνολογία αυτή να διαχωρίζει ποια είναι τα συστήματα βάσης ποιο το εσωτερικό ποιο το εξωτερικό μέρος του σήματος.

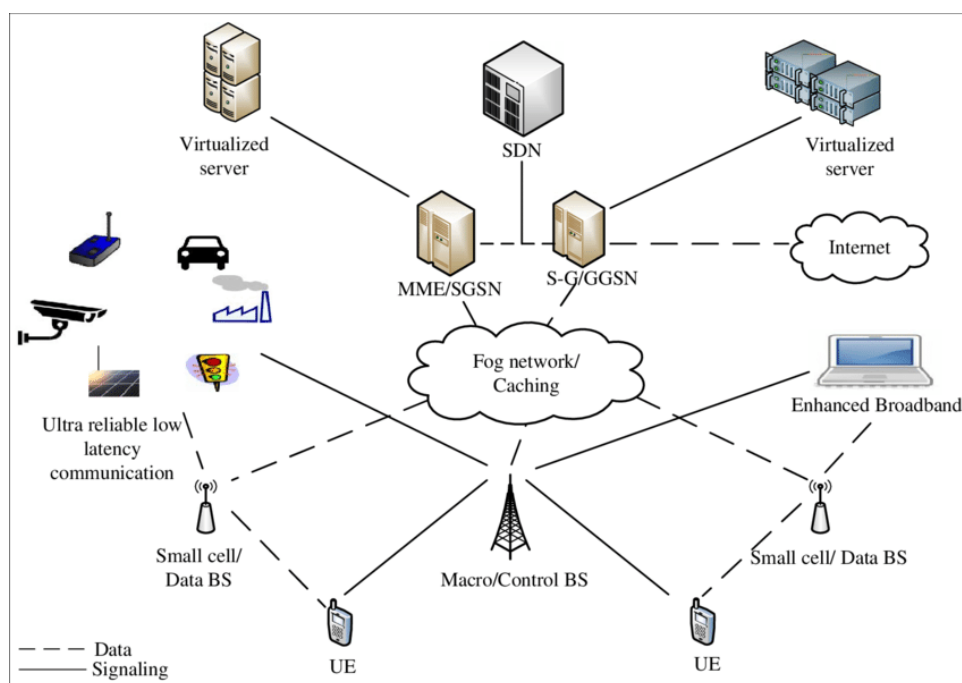
Ακόμη η 5G αρχιτεκτονική είναι μια αρχιτεκτονική SDN / NFV που καλύπτει περιεχόμενα που κυμαίνονται από συσκευές, υποδομές, λειτουργίες δικτύου, δυνατότητες ενεργοποίησης της αξίας και όλες τις λειτουργίες διαχείρισης που

δημιουργούν το σύστημα των 5G. Ο πρωταρχικός στόχος των προηγούμενων γενεών δικτύων κινητής τηλεφωνίας ήταν να προσφέρει απλώς γρήγορες, αξιόπιστες υπηρεσίες δεδομένων κινητής τηλεφωνίας σε χρήστες του δικτύου. Η 5G έχει διευρύνει αυτό το πεδίο για να προσφέρει ένα ευρύ φάσμα ασύρματων υπηρεσιών που παρέχονται στον τελικό χρήστη σε πολλαπλές πλατφόρμες πρόσβασης και δίκτυα πολλαπλών επιπέδων. Το 5G είναι ουσιαστικά ένα δυναμικό, συνεκτικό και ευέλικτο πλαίσιο πολλαπλών προηγμένων τεχνολογιών που υποστηρίζουν μια ποικιλία εφαρμογών.

Το 5G χρησιμοποιεί μια πιο έξυπνη αρχιτεκτονική, με τα Δίκτυα Πρόσβασης Ραδιοφώνου (RAN) να μην περιορίζονται πλέον από την εγγύτητα σταθμών βάσης ή από πολύπλοκες υποδομές. Το 5G οδηγεί στο δρόμο προς αναλυτικό, ευέλικτο και εικονικό RAN με νέες διεπαφές δημιουργώντας πρόσθετα σημεία πρόσβασης δεδομένων.

Η αρχιτεκτονική αυτή χωρίζεται σε επίπεδα:

- 1) Το επίπεδο πόρων υποδομής.
- 2) Το επίπεδο ενεργοποίησης επιχειρήσεων.
- 3) Το επίπεδο εφαρμογής των επιχειρήσεων.
- 4) Οντότητα διαχείρισης και δημιουργία συστήματος 5G.



Εικόνα 4 Η αρχιτεκτονική 5G.

(ΠΗΓΗ: https://www.researchgate.net/figure/A-candidate-architecture-for-5G-cellular-network-8_fig3_319002827)

1.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ 5G

Το 5G βασίζεται στο OFDM (ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας), μια μέθοδο διαμόρφωσης ενός ψηφιακού σήματος σε διάφορα κανάλια για τη μείωση των παρεμβολών. Το 5G χρησιμοποιεί διεπαφή αέρα 5G NR παράλληλα με τις αρχές του OFDM. Το 5G χρησιμοποιεί επίσης ευρύτερες τεχνολογίες εύρους ζώνης όπως sub-6 GHz και mmWave.

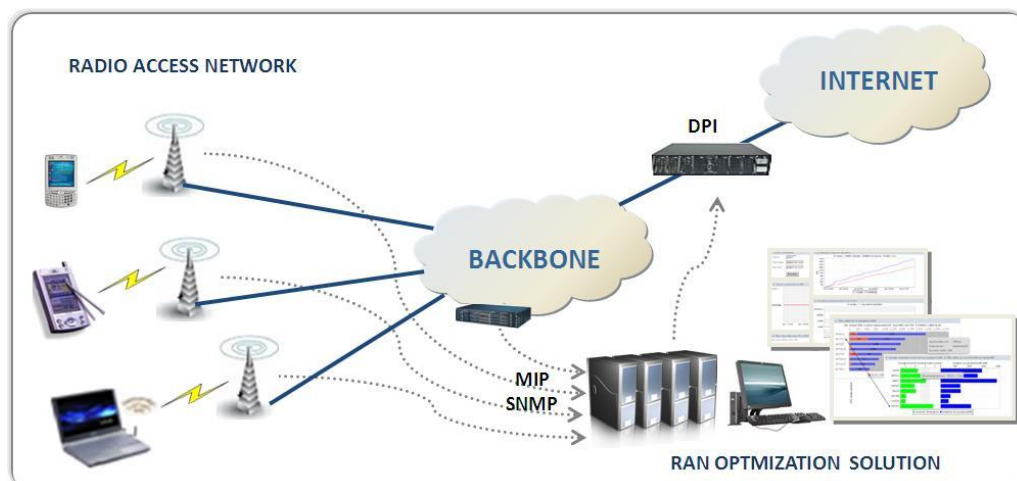
Εκτιμάται λοιπόν ότι το 5G θα φέρει ευρύτερο εύρος ζώνης επεκτείνοντας τη χρήση πόρων φάσματος, από τα υπο-3 GHz που χρησιμοποιούνται στα 4G έως τα 100 GHz και πέραν αυτής. Το 5G μπορεί να λειτουργήσει και στις δύο χαμηλότερες ζώνες (π.χ. sub-6 GHz) καθώς και στο mmWave (π.χ. 24 GHz και πάνω), τα οποία θα φέρουν εξαιρετική χωρητικότητα, απόδοση πολλαπλών Gbps και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Το 5G έχει σχεδιαστεί για να παρέχει όχι μόνο ταχύτερες, καλύτερες υπηρεσίες ευρυζωνικών κινητών συσκευών σε σύγκριση με το 4G LTE, αλλά μπορεί επίσης να επεκταθεί σε νέους τομείς υπηρεσιών, όπως επικοινωνίες κρίσιμης σημασίας και σύνδεση του τεράστιου IoT. Αυτό ενεργοποιείται από πολλές νέες τεχνικές σχεδίασης διεπαφής αέρα 5G NR, όπως μια νέα αυτοτελής σχεδίαση υποπλαισίου TDD.

Η βελτιωμένη κινητή ευρυζωνική σύνδεση θα μπορέσει να βελτιώσει τα smartphone. Η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας 5G μπορεί να προσφέρει νέες συναρπαστικές εμπειρίες, όπως VR και AR με ταχύτερους, πιο ομοιόμορφους ρυθμούς δεδομένων, χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο και χαμηλότερο κόστος ανά bit. Το 5G μπορεί να επιτρέψει νέες υπηρεσίες που μπορούν να μετασηματίσουν βιομηχανίες με εξαιρετικά αξιόπιστους, διαθέσιμους συνδέσμους χαμηλού λανθάνοντος χρόνου, όπως τηλεχειριστήριο κρίσιμων υποδομών, οχήματα και ιατρικές διαδικασίες.

1.5 Radio Access Network

Το Δίκτυο Πρόσβασης Ραδιοφώνου - αποτελείται από διάφορους τύπους εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένων μικρών κυψελών, πύργων, ιστών και ειδικών συστημάτων εσωτερικού και κτιρίου που συνδέουν φορητούς χρήστες και ασύρματες συσκευές με το κύριο κεντρικό δίκτυο. Τα μικρά κελιά θα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των δικτύων 5G ιδιαίτερα στις νέες συχνότητες κύματος χιλιοστών (mmWave) όπου το εύρος σύνδεσης είναι πολύ μικρό. Για να παρέχεται μια συνεχής σύνδεση, μικρά κελιά θα διανέμονται σε ομάδες ανάλογα με το πού οι χρήστες χρειάζονται σύνδεση, το οποίο θα συμπληρώνει το μακροοικονομικό δίκτυο που παρέχει κάλυψη ευρείας περιοχής. Τα 5G Macro Cells θα χρησιμοποιούν κεραίες MIMO (πολλαπλές είσοδοι, πολλαπλές έξοδοι) που έχουν πολλά στοιχεία ή συνδέσεις για την αποστολή και λήψη περισσότερων δεδομένων ταυτόχρονα. Το όφελος για τους χρήστες είναι ότι περισσότερα άτομα μπορούν ταυτόχρονα να συνδεθούν στο δίκτυο και να διατηρήσουν υψηλή απόδοση. Όταν οι κεραίες MIMO χρησιμοποιούν πολύ μεγάλο

αριθμό στοιχείων κεραίας, συχνά αναφέρονται ως «τεράστιο MIMO», ωστόσο, το φυσικό μέγεθος είναι παρόμοιο με τις υπάρχουσες κεραίες σταθμού βάσης 3G και 4G.



Εικόνα 5 Το δίκτυο RAN.

(ΠΗΓΗ:<http://new.commverge.com/Solutions/SubscribersServicesManagement/RANOptimization/tabid/174/Default.aspx>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <MM-WAVE>

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ MM-WAVE

Τα τελευταία χρόνια, η επικοινωνία κύματος χιλιοστών (mmWave) έχει προσελκύσει σημαντική προσοχή τόσο από τη βιομηχανία όσο και από τον ακαδημαϊκό χώρο, λόγω του μεγάλου διαθέσιμου φάσματος στις ζώνες συχνοτήτων mmWave. Με το σημαντικά αυξημένο εύρος ζώνης επικοινωνίας, η επικοινωνία mmWave μπορεί να επιτύχει τεράστιο ρυθμό δεδομένων (π.χ. με τάξη δεκάδων Gbps) για να ικανοποιήσει την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση κίνησης σε ασύρματα δίκτυα 5G. Η μικροκυματική ζώνη επικοινωνιών ή αλλιώς MM-WAVE (communications) έχει βοηθήσει στην εξέλιξη της τεχνολογίας δικτύων. MM-WAVE είναι το φάσμα πολύ υψηλών συχνοτήτων άνω των 24GHz, κοινώς γνωστό ως χιλιοστομετρικό κύμα.

Με την συνεχόμενη «κίνηση» στο διαδίκτυο και την αύξηση στον όγκο μετάδοσης δεδομένων, είναι επιτακτική ανάγκη για πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου. Η συγκεκριμένη ζώνη κυμάτων αρχίζει να εμφανίζεται στην τεχνολογία 5G (5th γενιάς κινητών δικτύων). Με την εξέλιξη της τεχνολογίας η λειτουργία αυτή έχει γίνει σημαντική για την καλύτερη ανάλυση βίντεο, φωτογραφιών καθώς και μεγαλύτερων ταχυτήτων στην αποστολή δεδομένων. Η ολοένα αυξανόμενη πρόοδος και εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών, όπως για παράδειγμα τα κινητά τηλέφωνα και οι ασύρματοι υπολογιστές γενικότερα, αποτελούν πρόκληση για τις τηλεπικοινωνιακές εταιρείες και παρόχους όλων των χωρών του κόσμου.

Η αυξανόμενη πυκνότητα ασύρματων συσκευών, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και η έλλειψη φάσματος στις ζώνες υπο-6 GHz κάνουν χρήση των συχνοτήτων πλούσιου σε φάσμα χιλιοστομετρικών κυμάτων MM-WAVE μεταξύ των πιο σημαντικών συστατικών του μελλοντικά ασύρματα δίκτυα. Το σημαντικό εμπορικό δυναμικό των δικτύων mmWave οδήγησε το mmWave να θεωρείται βασικό στοιχείο των κινητών κυψελοειδών δικτύων 5G και πέρα από αυτήν, καθώς και για τα αναδυόμενα δίκτυα Wi-Fi ταχύτητας Gbps που βασίζονται στο IEEE 802.11ad και το σχέδιο IEEE 802.11ay πρότυπα. Παρά το έντονο ενδιαφέρον για το MM-WAVE τόσο από την ερευνητική κοινότητα όσο και από τη βιομηχανία, απαιτείται ακόμη πολύ θεμελιώδης έρευνα, ειδικά στα επίπεδα δικτύωσης.

Η απόδοση του επιπέδου σύνδεσης του ασύρματου συστήματος MM-WAVE εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του σχήματος μετάδοσης (δηλαδή, αν χρησιμοποιείται διαμόρφωση δέσμης, πολυπλεξία ή και τα δύο), την προσέγγιση αναγνώρισης του καναλιού, τον τρόπο σχεδιασμού της δομής κυματομορφής μεταδιδόμενου σήματος και στρατηγικές πρόσβασης. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια

λεπτομερή συζήτηση για αυτές τις τεχνικές ενεργοποίησης με έμφαση στα συστήματα MM-WAVE και τις επιδόσεις επιπέδου σύνδεσης που προκύπτουν.

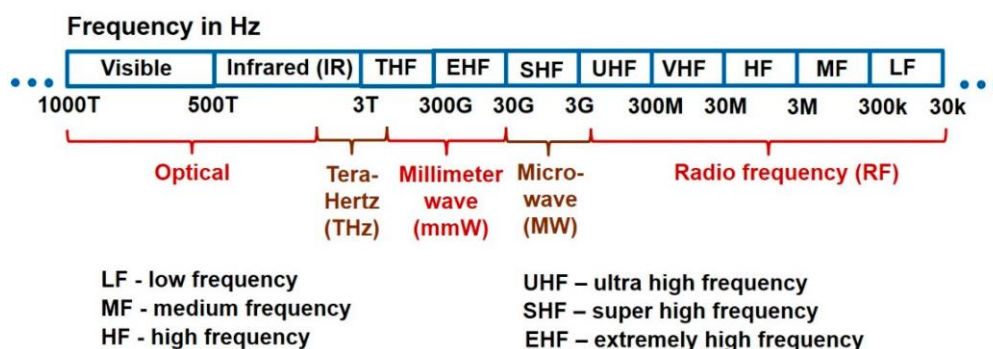
2.2 <ΤΙ ΕΙΝΑΙ MM-WAVE COMMUNICATIONS;>

Το φάσμα συχνοτήτων χιλιοστών είναι η ζώνη φάσματος μεταξύ 30 GHz και 300 GHz. Ενσωματωμένο μεταξύ κυμάτων μικροκυμάτων και υπέρυθρων, αυτό το φάσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ασύρματες επικοινωνίες υψηλής ταχύτητας, όπως φαίνεται με το τελευταίο πρότυπο IEEE 802.11ad(λειτουργεί στα 60 GHz). Θεωρείται από τον οργανισμό τυποποίησης, την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών ότι η λειτουργία του βοηθά στο έπακρο για την ανάπτυξη της 5G στις μέρες μας.

2.2.1 <ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ MMWAVE COMMUNICATIONS>

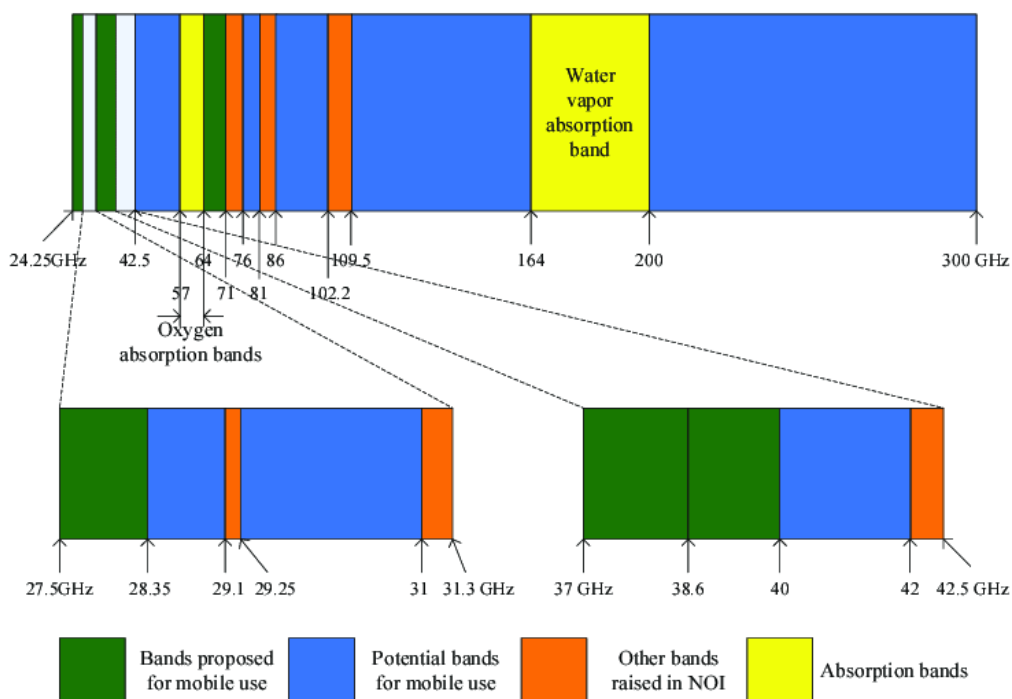
Τα παλαιότερα χρόνια η χρήση των κυμάτων αυτών δεν ήταν τόσο αποτελεσματική και έτσι απορρίφθηκε εξαιτίας της χαμηλής ποιότητας διάδοσής τους. Όμως όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G, απαιτεί μεγαλύτερη χωρητικότητα και διάδοση δεδομένων με αποτέλεσμα οι επικοινωνίες χιλιοστών να γίνονται σημαντική εναλλακτική πρόταση. Η κινητικότητα των χρηστών θα επιβαρύνει με σημαντικές αλλαγές την κατάσταση του καναλιού.

Στη πορεία της εξέλιξης των κινητών δικτύων, δημιουργήθηκαν προβλήματα και κάποια εμπόδια. Εμπόδια που θα καλούνταν οι μηχανικοί και οι επιστήμονες, δηλαδή ειδικοί σε θέματα ευριζωνικών τεχνολογιών, να τα λύσουν και να τα ξεπεράσουν. Για να υπάρξει καλύτερη απόδοση στο δίκτυο θα πρέπει να αντιμετωπιστούν προκλήσεις όπως, ο προγραμματισμός μετάδοσης δεδομένων, η κινητικότητα των χρηστών μιας και πρόκειται για επικοινωνία αλλά και το πώς θα αλλάξει και θα διαμορφωθεί το μεταδιδόμενο σήμα. Με το πέρασμα των χρόνων κατανοήσαμε ότι οι MM-WAVE communications επηρεάζονται από εξωτερικές συνθήκες όπως βροχή, ατμοσφαιρική ανωμαλία, αλλά και η μείωση του εύρους ζώνης πάνω στο οποίο το διαπερνούν.



Τα MM-WAVES ανήκουν σε ένα σχετικά στενό εύρος ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με μήκη κύματος από 1 έως 10 mm. Οι γεννήτριες MM-WAVE και ο σχετικός εξοπλισμός παρήχθησαν κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς (ραντάρ μικρής εμβέλειας), το οποίο, σε μεγάλο βαθμό, εξηγεί το απόρρητο και την επικράτηση των ελλιπών δημοσιεύσεων σχετικά με αυτό το θέμα στην πρώην ΕΣΣΔ. Το βάθος διείσδυσης των MM-WAVES σε βιολογικούς ιστούς είναι πολύ μικρό. Σε αντίθεση με τα κύματα του εκατοστόμετρου και του δεκαμετρικού, τα MM-WAVES απορροφώνται σε νερό και μέσα που περιέχουν νερό (συμπεριλαμβανομένων των βιολογικών δομών) εντός των πρώτων 0,3-0,5 mm από την επιφάνεια, ανάλογα με τη συχνότητα που χρησιμοποιείται. Μέση πυκνότητα ισχύος περιστατικού $<20 \text{ mW} / \text{cm}^2$, τα MM-WAVES παράγουν συνήθως μια μέση θέρμανση μιας ακτινοβολημένης επιφάνειας της τάξης των δέκατων των βαθμών C, η οποία είναι συνήθως αντιληπτή.

Προφανώς το εύρος των αναφερόμενων βιολογικών και ιατρικών επιπτώσεων των MM-WAVE δεν μπορεί να εξηγηθεί από αυτό μια μικρή μαζική θέρμανση δομών. Αρκετά πειράματα που δείχνουν την εξάρτηση της στενής συντονιστικής συχνότητας των βιολογικών επιδράσεων των MM-WAVE φαίνεται να υποστηρίζουν. Αυτή η υπόθεση Ωστόσο, άλλοι φυσικοί μηχανισμοί μπορεί επίσης να είναι υπεύθυνοι για τις βιολογικές επιπτώσεις των MM-WAVES. Έχει αποδειχθεί, τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά, ότι όχι μόνο η απόλυτη τιμή, αλλά και ο ρυθμός θέρμανσης είναι κρίσιμης σημασίας για βιολογικές επιδράσεις. Ο αρχικός ρυθμός θέρμανσης λόγω έκθεσης σε MM-WAVE είναι συνήθως πολύ υψηλός, φτάνοντας τους $0,1-0,5 \text{ }^\circ \text{C} / \text{s}$, και είναι επαρκής για την παραγωγή ορισμένων βιολογικών επιδράσεων, όπως αύξηση των ποσοστών πυροδότησης νευρώνων. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των MM-WAVES είναι η ετερογενής κατανομή τους στην επιφάνεια των εκτεθειμένων αντικειμένων. Όπως φαίνεται από την υπέρυθη θερμογραφία, τα λεγόμενα «εντοπισμένα καυτά σημεία» με υπόμετρο θερμοκρασίας αρκετούς βαθμούς Κελσίου υψηλότερο από το μέσο όρο μπορούν να σχηματιστούν στην επιφάνεια του δέρματος.



ΕΙΚΟΝΑ 7 Η λειτουργία ενός MM-WAVE. (ΠΗΓΗ:

https://www.researchgate.net/figure/Spectrum-usage-in-mmWave-bands_fig1_316999341/)

Το MM-WAVE είναι σίγουρα η τεχνολογία μικρής εμβέλειας που χρησιμοποιείται για δίκτυα επόμενης γενιάς, αλλά δεν είναι τόσο σύντομη ώστε να είναι άχρηστη. Οι σταθμοί βάσης πιθανότατα προσφέρουν έως και ένα χιλιόμετρο κατευθυνόμενης κάλυψης, αν και 500 μέτρα (περίπου 1.500 πόδια) είναι πιθανώς ένα ασφαλέστερο στοίχημα, αφού ληφθούν υπόψη τα εμπόδια και το φύλλωμα. Προφανώς δεν πρόκειται για τεράστια περιοχή. Πολλοί περισσότεροι σταθμοί βάσης θα πρέπει να συσκευαστούν πιο κοντά μαζί για να καλύψουν τις ίδιες περιοχές που καλύπτουν τα δίκτυα 4G τώρα. Γι' αυτό είναι απίθανο το MM-WAVE να αναπτύσσεται στην ύπαιθρο ή σε μικρές πόλεις. Πιθανότατα θα χρησιμοποιηθεί μόνο σε αστικά κέντρα, όπου καλύπτει τον μέγιστο αριθμό καταναλωτών σε ένα μικρό χώρο. Είναι καλό κάποιος να θυμηθεί ότι, το MM-WAVE είναι μόνο ένα μικρό μέρος του μεγαλύτερου φάσματος 5G. Το Wi-Fi που μοιάζει με sub-6GHz και το φάσμα χαμηλής ζώνης θα πρέπει να καλύπτει όταν τα σήματα υψηλής συχνότητας δεν μπορούν να φτάσουν στους χρήστες, παρέχοντας μια ραχοκοκαλιά που εξακολουθεί να προσφέρει γρήγορες ταχύτητες δεδομένων.

2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Παρέχουν ακριβέστερες μετρήσεις απόστασης των κοντινών εμποδίων (δηλαδή αντικειμένων και ατόμων) όταν εγκαθίστανται στο αυτοκίνητο. Αυτό βοηθά τόσο το

αυτοκίνητο όσο και το μη αυτόματο αυτοκίνητο για πολλούς λόγους. Ο υπολογιστής δηλαδή, το μηχανογραφημένο σύστημα ραντάρ MM-WAVE στέλνει προειδοποιητικά μηνύματα πριν από την πιθανή σύγκρουση, προκειμένου να ληφθεί προφύλαξη. Στέλνει επίσης μηνύματα στα μέλη του ιδιοκτήτη του αυτοκινήτου σύμφωνα με τον προγραμματισμό του συστήματος ραντάρ MM-WAVE.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας MM-WAVE, το σύστημα ραντάρ MM-WAVE έχει γίνει συμπαγές και δεν καταλαμβάνει περισσότερο χώρο. Αυτό οδήγησε τους ανθρώπους να υιοθετήσουν τεχνολογία ραντάρ MMWAVE για τη χρήση τους. Τα μεγέθη κεραίας NtAntenna είναι πολύ μικρά και ως εκ τούτου μεγάλος αριθμός κεραιών συσκευάζεται σε μια μικρή περιοχή. Αυτό οδηγεί στη χρήση τεχνολογίας κυμάτων χιλιοστών για βελτίωση της χωρητικότητας. Η ιδέα όπως το Massive MIMO in 5G Wireless είναι αποτέλεσμα αυτού.

Επιπροσθέτως, το μεγαλύτερο εύρος ζώνης ενός τέτοιου συστήματος είναι σε θέση να παρέχει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης, ικανότητα φάσματος εξάπλωσης και είναι πιο ανθεκτικό στις παρεμβολές. Οι εξαιρετικά υψηλές συχνότητες επιτρέπουν πολλαπλές χρήσεις μικρών αποστάσεων στην ίδια συχνότητα χωρίς να παρεμβαίνουν μεταξύ τους. Για αυτό απαιτεί το στενό πλάτος της δέσμης. Για το ίδιο μέγεθος κεραίας, όταν αυξάνεται η συχνότητα, το πλάτος της δέσμης μειώνεται. Μειώνει το μέγεθος του υλικού. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα, τόσο μικρότερο μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μέγεθος της κεραίας.

2.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Κατά τη διάδοση των MM -WAVES communications παρατηρούνται κάποιες ιδιαιτερότητες, που δημιουργούν σημαντικά προβλήματα. Όπως, απώλεια του σήματος λόγω διάδοσης στον ελεύθερο χώρο, εξασθένηση σήματος λόγω απορρόφησης οξυγόνου και υδρατμών και απώλειες λόγω διείσδυσης.

Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά ασύρματα συστήματα επικοινωνίας, τα ειδικά χαρακτηριστικά διάδοσης και οι περιορισμοί υλικού των συστημάτων MM-WAVE εισάγουν πολλές νέες προκλήσεις στο σχεδιασμό αποτελεσματικών και στιβαρών μέσων πρόσβασης, δρομολόγησης και πρωτοκόλλων μεταφοράς. Η επικοινωνία σε τέτοιες υψηλές συχνότητες μεγιστοποιεί την εξασθένηση και απορρόφηση σήματος καθώς και την απώλεια διείσδυσης, απαιτώντας τη χρήση κεραιών υψηλής κατεύθυνσης. Αυτή η μετάβαση από συμβατικά πανκατευθυντικά δίκτυα σε κατευθυντήρια, επιρρεπείς σε μπλοκαρίσματα συνδεσιμότητα MM-WAVE σηματοδοτεί μια πραγματική αλλαγή παραδείγματος για τη δικτύωση MM-WAVE, επηρεάζοντας το σχεδιασμό όλων των πτυχών του ελέγχου δικτύου και της διαχείρισης πόρων. Οι εξαιρετικά υψηλοί ρυθμοί δεδομένων που επιτυγχάνονται στο MM-WAVE έρχονται στην τιμή του υψηλού γενικού συντονισμού. Αυτό με τη σειρά του απαιτεί μια

ριζική επανεξέταση του σχεδιασμού όλων των πτυχών του συντονισμού του δικτύου και της διαχείρισης πόρων, συμπεριλαμβανομένης της ανακάλυψης κυττάρων και της αρχικής πρόσβασης, της διαχείρισης κινητικότητας, της δρομολόγησης, του συντονισμού, του προγραμματισμού, της σύνδεσης χρηστών, της κατανομής πόρων και του σχεδιασμού δικτύου.

Ένα τέτοιο σύστημα είναι ευάλωτο στην ατμόσφαιρα και σε άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους. Ως εκ τούτου, δεν παρέχει ακριβείς μετρήσεις απόστασης κοντινών αντικειμένων. Αυτό αποδυναμώνει τη διαδικασία αναγνώρισης απειλών. Είναι υπερβολικά ευαίσθητο και συχνά δημιουργεί ψεύτικο συναγερμό ακόμη και αν δεν υπάρχει πραγματική απειλή. Η τεχνολογία ραντάρ MM-WAVE έχει περιορισμένη εμβέλεια, η οποία πρέπει να βελτιωθεί προκειμένου να επεκταθεί η αγορά αυτοκινούμενων αυτοκινήτων. Η λειτουργία του ραντάρ κύματος χιλιοστών επηρεάζεται λόγω παρεμβολών από κοντινούς ηλεκτρικούς πόλους, κυψελωτούς πύργους, WiFi / κινητά σημεία κλπ. Έτσι η υψηλή απώλεια διείσδυσης και η κακή διάθλαση είναι μερικές από τις προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν στο ραντάρ MM-WAVE.

Η χρήση κυμάτων χιλιοστών έχει ένα σημαντικό μειονέκτημα. Τα κύματα χιλιοστών δεν είναι ικανά να διεισδύσουν σε δομές και άλλα εμπόδια. Ακόμα και φύλλα ή βροχή μπορούν να απορροφήσουν αυτά τα σήματα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο τα δίκτυα 5G θα πρέπει να υιοθετήσουν τη μέθοδο του μικρού σταθμού βάσης για την ενίσχυση της παραδοσιακής υποδομής πύργων κυψελών. Επειδή τα κύματα χιλιοστών έχουν υψηλές συχνότητες και μικρά μήκη κύματος, οι κεραίες που χρησιμοποιούνται για τη λήψη τους μπορεί να είναι μικρότερες, επιτρέποντας την κατασκευή μικρών σταθμών βάσης. Μπορούμε να προβλέψουμε ότι, στο μέλλον, η κινητή επικοινωνία 5G δεν θα εξαρτάται πλέον από την κατασκευή σταθμών βάσης μεγάλης κλίμακας, αλλά από πολλούς μικρούς σταθμούς βάσης. Αυτό θα επιτρέψει στο 5G να καλύψει περιφερειακές περιοχές που δεν προσεγγίζονται από μεγάλους σταθμούς βάσης.

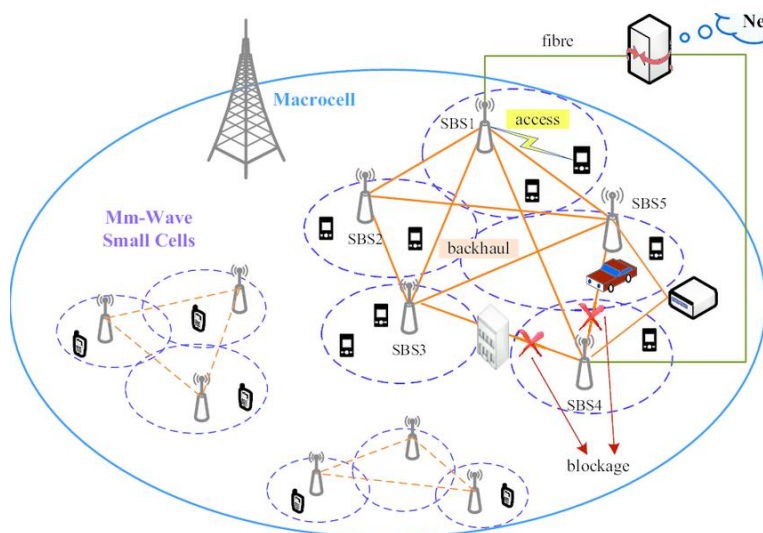
Χρησιμοποιώντας κύματα χιλιοστών και άλλη τεχνολογία 5G, οι μηχανικοί ελπίζουν ότι τα δίκτυα 5G όχι μόνο θα εξυπηρετούν χρήστες smartphone, αλλά θα διαδραματίσουν επίσης κρίσιμο ρόλο σε αυτοκίνητα αυτο-οδήγησης, VR, IoT και σε άλλους τομείς. Οι ερευνητές και οι εταιρείες έχουν ήδη μεγάλες ελπίδες για 5G, υπόσχοντας στους καταναλωτές ότι θα παρέχει εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και άνευ προηγουμένου ταχύτητες δεδομένων. Εάν μπορούν να ξεπεράσουν τις υπόλοιπες προκλήσεις και να βρουν έναν σαφή τρόπο για να επιτρέψουν τη συνεργασία σε ολόκληρο το οικοσύστημα, μπορούμε να περιμένουμε να δούμε την εμπορική ανάπτυξη υπηρεσιών 5G μέσα στα επόμενα πέντε χρόνια.

2.5 MMwaves & 5G

Η τεχνολογία MM-WAVE είναι ο ακρογωνιαίος λίθος των επερχόμενων δικτύων 5G, επιτρέποντας γρηγορότερες ταχύτητες δεδομένων και πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης από ποτέ. Η τεχνολογία έχει όρια, κυρίως όσον αφορά την περιοχή και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί. Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας και οι προμηθευτές εξοπλισμού όπως η Samsung και η Qualcomm ισχυρίζονται ότι λειτουργεί πολύ καλά.

Παρόλο που οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας λατρεύουν να αυξάνουν τη φανταχτερή νέα τεχνολογία τους, το MM-WAVE δεν είναι η μόνη περιοχή φάσματος που θα βοηθήσει στη δημιουργία δικτύων επόμενης γενιάς. Όχι μόνο παρέχει υψηλή απόδοση, αλλά επίσης επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση του φάσματος, καθώς οι συχνότητες μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε σχετικά μικρές αποστάσεις. Ένα σημαντικό μέρος της απόδοσης των 5G MM-WAVE εξαρτάται επομένως από τη διάδοση των οπτικών σημείων (LOS) και τη μη οπτική (NLOS) διάδοση των σημάτων και του σχεδιασμού της κεραίας. Ευτυχώς, έχουν γίνει μεγάλες εξελίξεις στο πυρίτιο RF που επιτρέπουν σε μεγάλο αριθμό αλυσίδων RF να υποστηρίζονται σε μεγάλες συστοιχίες κεραιών.

Η διαθέσιμη υπολογιστική και μεταγωγική χωρητικότητα επιτρέπει τις κεραιές «τεράστιας πολλαπλής εισόδου-πολλαπλής εξόδου (Massive MIMO)» για τη δημιουργία ακτίνων υψηλής κατεύθυνσης που εστιάζουν τη μεταδιδόμενη ενέργεια με τρόπους που μπορούν να ξεπεράσουν τις απώλειες διαδρομών και τις συνθήκες NLOS. Ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό του MM-WAVE, τα μικρά μήκη κύματος, σημαίνει ότι ακόμη και οι μαζικές κεραιές MIMO μπορούν να είναι σχετικά συμπαγείς και μικρές αποτελεσματικές κεραιές μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε συσκευές χρήστη. Ενώ οι κεραιές MIMO για ασύρματα κάτω των 6 GHz μπορούν να υποστηρίξουν οκτώ στοιχεία, σε συχνότητες MM-WAVE ο αριθμός των τεράστιων στοιχείων MIMO μπορεί να είναι 128, 256 ή υψηλότερος. Αυτές οι φάσεις εκτελούν τις τεχνικές σχηματισμού δέσμης, διεύθυνσης δέσμης και εντοπισμού δέσμης που επιτρέπουν σε ένα δίκτυο 5G MM-WAVE να προσφέρει τόσο υψηλή χωρητικότητα και αποδοτικότητα.



Εικόνα 8 Η ανάλυση συστήματος MM-WAVE. (ΠΗΓΗ:
https://www.researchgate.net/figure/System-overview-for-5G-mm-wave-backhauling_fig1_304029662)

Τα MM-WAVE και 5G χρησιμοποιούνται σχεδόν συνώνυμα, αλλά υπάρχουν βασικές διαφορές μεταξύ των δύο. Η τεχνολογία MM-WAVE είναι μόνο ένα μέρος αυτού που θα χρησιμοποιούν τα μελλοντικά δίκτυα 5G. Μπορεί επίσης να έχει ακουστεί για συχνότητες "χαμηλής ζώνης" και "sub-6GHz", και οι δύο θα είναι επίσης μέρος του προτύπου και όταν συνδυάζονται θα προσφέρουν πολύ πιο γρήγορες ταχύτητες δεδομένων στους πελάτες, μεταξύ άλλων πλεονεκτημάτων.

Όσον αφορά αυτά τα μικροκύματα, επικρατεί και ανφέρεται συνεχώς ένας μύθος. Ο μύθος αυτός κάνει λόγο ότι οι επικοινωνίες MM-WAVES δεν διαπερνούν τους τοίχους. Αυτό είναι ίσως το πιο κοινό ζήτημα που αναφέρεται στα επερχόμενα δίκτυα 5G και είναι αλήθεια σε κάποιο βαθμό. Τα περισσότερα οικοδομικά υλικά, όπως τσιμέντο και τούβλο, εξασθενούν και αντανακλούν σήματα πολύ υψηλής συχνότητας με αρκετά μεγάλη απώλεια, είναι απίθανο να λάβει κάποιος ένα πολύ χρήσιμο σήμα που κινείται από μέσα προς τα έξω. Ακόμη και ο αέρας παράγει απώλεια σήματος, η οποία περιορίζει συχνότητες άνω των 28GHz σε περίπου ένα χιλιόμετρο ούτως ή άλλως.

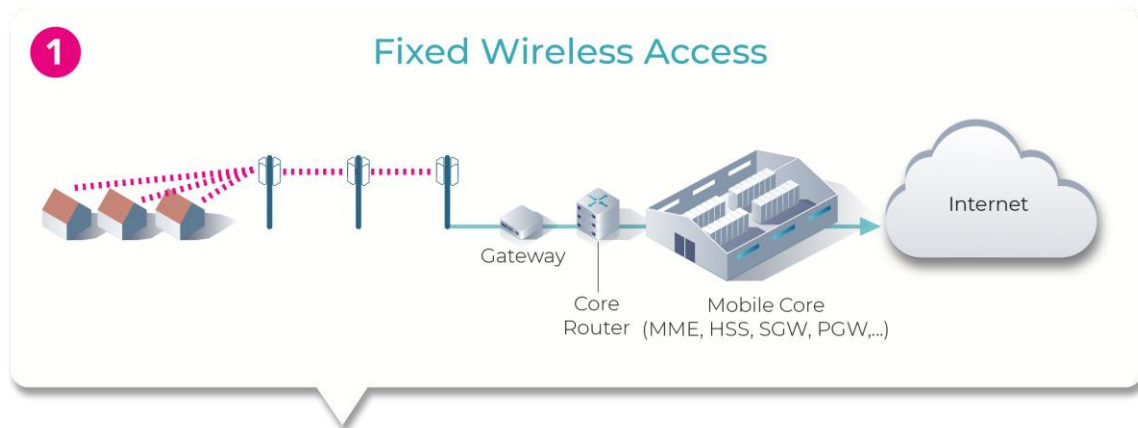
Το ξύλο και το γυαλί εξασθενίζουν τα σήματα υψηλής συχνότητας σε μικρότερο βαθμό, οπότε πιθανότατα θα εξακολουθείτε να μπορείτε να χρησιμοποιήσετε 5G MM-WAVE δίπλα σε ένα παράθυρο. Αυτή η ανακλαστική ιδιότητα λειτουργεί αμφίδρομα - δεν χρειάζεται οπτική επαφή με κεραία 5G για να λαμβάνονται τα σήματα. Τα δίκτυα 5G θα χρησιμοποιούν διαμόρφωση δέσμης για να κατευθύνουν τα κύματα εκτός και γύρω από εμπόδια στο τηλέφωνό. Αυτό λειτουργεί εν μέρει επειδή ο εξοπλισμός 5G χρησιμοποιεί πολλές κεραίες για την αποστολή και λήψη σημάτων, συνδυάζοντας τα δεδομένα από πολλές ροές για να ενισχύσει το συνολικό σήμα και να αυξήσει το εύρος ζώνης. Αυτό λειτουργεί τόσο σε εξωτερικούς χώρους, αντανακλώντας σήματα από κτίρια, όσο και σε εσωτερικούς χώρους, αντανακλώντας σήματα από τοίχους.

Οι μεταφορείς θα μπορούσαν σίγουρα να εγκαταστήσουν πομπούς διαμόρφωσης δοκών μέσα σε στάδια ή μεγάλα εμπορικά κέντρα. Συνοπτικά, τα σήματα πολύ υψηλής συχνότητας 5G δεν ταξιδεύουν πολύ μακριά και δεν μεταβαίνουν πολύ καλά από εσωτερικούς χώρους σε εξωτερικούς χώρους. Ωστόσο, το τεράστιο MIMO και η διαμόρφωση δέσμης διασφαλίζουν ότι η αυστηρή οπτική επαφή δεν είναι απαίτηση για χρήση κύματος χιλιοστών. Ένα σήμα MM-WAVE μπορεί να μην μπορεί να διεισδύσει σε κτίρια, αλλά θα αναπηδήσει γύρω τους για να εξασφαλίσει ένα αξιοπρεπές σήμα. Στο εσωτερικό, οι άνθρωποι θα πρέπει απλώς να βασίζονται περισσότερο σε σήματα sub-6GHz και LTE.

- Υψηλότερο κόστος στην κατασκευή υλικού μεγαλύτερης ακρίβειας λόγω εξαρτημάτων με μικρότερο μέγεθος.

- Μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερη ευαισθησία σε ένα σύστημα λήψης λόγω της μικρότερης ενέργειας που συλλέγεται από την κεραία μικρότερου μεγέθους.
- Σε εξαιρετικά υψηλές συχνότητες, υπάρχει σημαντική εξασθένηση.

Ως εκ τούτου, τα κύματα χιλιοστών δύσκολα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές μεγάλων αποστάσεων.



Εικόνα 9 Το δίκτυο δικτύωσης χιλιοστών. ΠΗΓΗ: (<https://telecominfraproject.com/mmwave/>)

2.6 ΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗ MM-WAVES

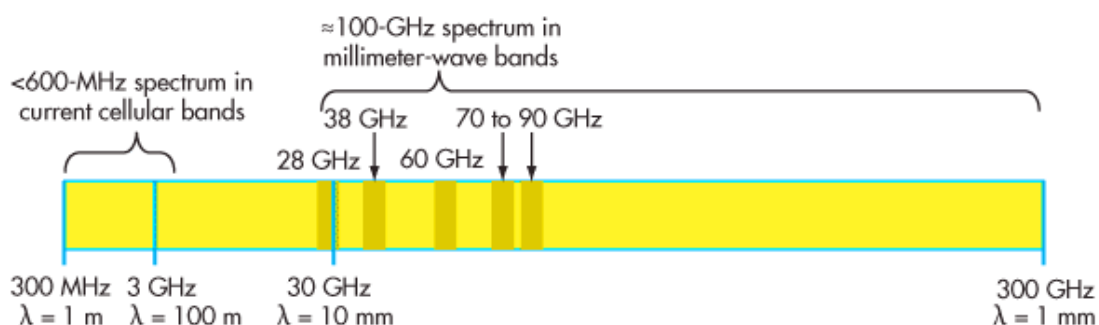
Η πρόκληση με το MM-Wave είναι ότι αυτά τα κύματα δεν ταξιδεύουν πολύ μακριά. Επίσης αποκλείονται εύκολα. Απλά βάζοντας το χέρι κάποιος πάνω από την κεραία στο smartphone του θα εμπόδιζε το σήμα. Οι μηχανικοί εργάζονται επιμελώς για να ξεπεράσουν αυτό το ζήτημα χρησιμοποιώντας μια σειρά κεραιών για τη διαμόρφωση δέσμης, η οποία συγκεντρώνει τη ραδιοενέργεια για να επεκτείνει το εύρος. Αλλά αυτό δημιούργησε ένα άλλο πρόβλημα: Πώς θα μπορούσε να χωρέσει μια τέτοια κεραία μέσα σε κινητές συσκευές; Για αυτούς τους λόγους, η βιομηχανική συναίνεση ήταν ότι η MM-WAVE δεν θα λειτουργούσε ποτέ για κινητά. Όμως, η Qualcomm Technologies, ανακαλύπτει πρωτοποριακές τεχνολογίες που μεταμορφώνουν τον τρόπο με τον οποίο συνδέεται ο κόσμος - και αυτό συμβαίνει συχνά για αυτό που οι άλλοι λένε ότι είναι αδύνατο.

Η Qualcomm Technologies δημιούργησε μια λύση για να κάνει το MM-WAVE πραγματικότητα για κινητά, χρησιμοποιώντας προηγμένη τεχνολογία δέσμης. Σχεδιάσε τη μονάδα κεραίας QTM052 MM-WAVE και το διαμόρφωσε μέχρι που θα ταιριάζει στην άκρη του δείκτη ή στην πλαϊνή στεφάνη ενός τηλεφώνου. Αυτές οι μονάδες έχουν σχεδιαστεί για προσαρμοστική διαμόρφωση δέσμης, εναλλαγή και παρακολούθηση. Οι έξυπνοι αλγόριθμοι κλειστού βρόχου που έχουν αναπτυχθεί καθορίζουν τις πιο ελπιδοφόρες διαδρομές σήματος μεταξύ της συσκευής του χρήστη και του δικτύου. Σε συνδυασμό με μικρά κελιά (σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας χαμηλής ισχύος που

επεκτείνουν την κάλυψη και έχουν ήδη ενσωματώσει το Gigabit LTE), είναι δυνατή η ταχύτερη, πιο αξιόπιστη υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας με το MM-WAVE.

2.7 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ MM-WAVES

Ο σταθμός βάσης mill cell (BS) είναι εξοπλισμένος με έναν διακομιστή cloud νέφους με πόρους αποθήκευσης και υπολογισμού, που επιτρέπει τον περιορισμό της κυκλοφορίας στην ενσύρματη backhaul και τον χαμηλό λανθάνοντα χρόνο που απαιτείται σε κρίσιμες εφαρμογές όπως αυτοκινούμενα αυτοκίνητα και εικονική πραγματικότητα, με προκαταρκτική λήψη / εξαργύρωση δεδομένων που μεταδίδονται μέσω ασύρματης ταχύτητας MM-WAVE υψηλής ταχύτητας. Η τεχνολογία mm-wave μελετάται ως ενεργοποιητής για άλλες τεχνολογικές λειτουργίες και δυναμικές αναπτύξεις που παρέχουν τεχνολογίες και λύσεις για ασύρματο backhaul και fronthaul.



Εικόνα 10 Η επικοινωνία κύματος χιλιοστών.

(ΠΗΓΗ: <https://zhihuicao.wordpress.com/2014/12/22/millimeter-wave-communication-for-5g-book-recommendation>)

Το Backhaul γενικά ορίζεται ως οποιαδήποτε σύνδεση επικοινωνίας από σημείο σε σημείο (P2P) μεταξύ απομακρυσμένων συνδεδεμένων ιστότοπων. Μπορεί να είναι ενσύρματο ή ασύρματο. Στις τηλεπικοινωνίες, οι οπτικές και οι μικροκυμάτων είναι συνηθισμένες. Οι ιστότοποι κυψελοειδούς βάσης συνδέονται με το κεντρικό γραφείο εναλλαγής μέσω backhaul. Ενώ οι ίνες κυριαρχούν πιθανώς στο χώρο της αναστροφής λόγω της ικανότητάς της υψηλής ταχύτητας, το κύμα μικροκυμάτων και το κύμα χιλιοστομέτρου γίνονται πιο διαδεδομένα.

Η κίνηση των χιλιοστών είναι ιδιαίτερα ελκυστική για τη νέα κίνηση των μικρών κυττάρων. Μικρότεροι σταθμοί βάσης που ονομάζονται picocells, microcells και metro cell αναμένεται να είναι ευρέως διαδεδομένοι στην ανάπτυξη κυψελοειδών υπηρεσιών LTE 4G σε περιοχές υψηλής πυκνότητας. Φαίνεται ότι ο καλύτερος τρόπος για να συνδέσετε αυτά τα κελιά στο κεντρικό γραφείο είναι οι σύνδεσμοι κύματος χιλιοστών. Οι τυπικές ζώνες ανάκτησης μικροκυμάτων είναι 6, 11, 18, 23 και 38 GHz. Ο εξοπλισμός μετάβασης 60 GHz χωρίς άδεια είναι φθηνός, αλλά προσφέρει

περιορισμένο εύρος λόγω των υψηλών επιπέδων απορρόφησης οξυγόνου. Περίπου 80-GHz μονάδες ανάκτησης είναι επίσης διαθέσιμες. Η πιο δημοφιλής νέα ζώνη χιλιοστών είναι η ζώνη E, η οποία καλύπτει 71 έως 76 GHz, 81 έως 86 GHz και 92 έως 95 GHz.

2.8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τα σήματα βίντεο απαιτούν το μεγαλύτερο εύρος ζώνης και, κατά συνέπεια, υψηλότερο ρυθμό δεδομένων. Απαιτούνται ταχύτητες πολλών gigabits ανά δευτερόλεπτο για τη μετάδοση βίντεο υψηλής ευκρίνειας (HD) 1080p. Αυτός ο ρυθμός δεδομένων μπορεί να μειωθεί εάν χρησιμοποιούνται τεχνικές συμπίεσης βίντεο πριν από τη μετάδοση.

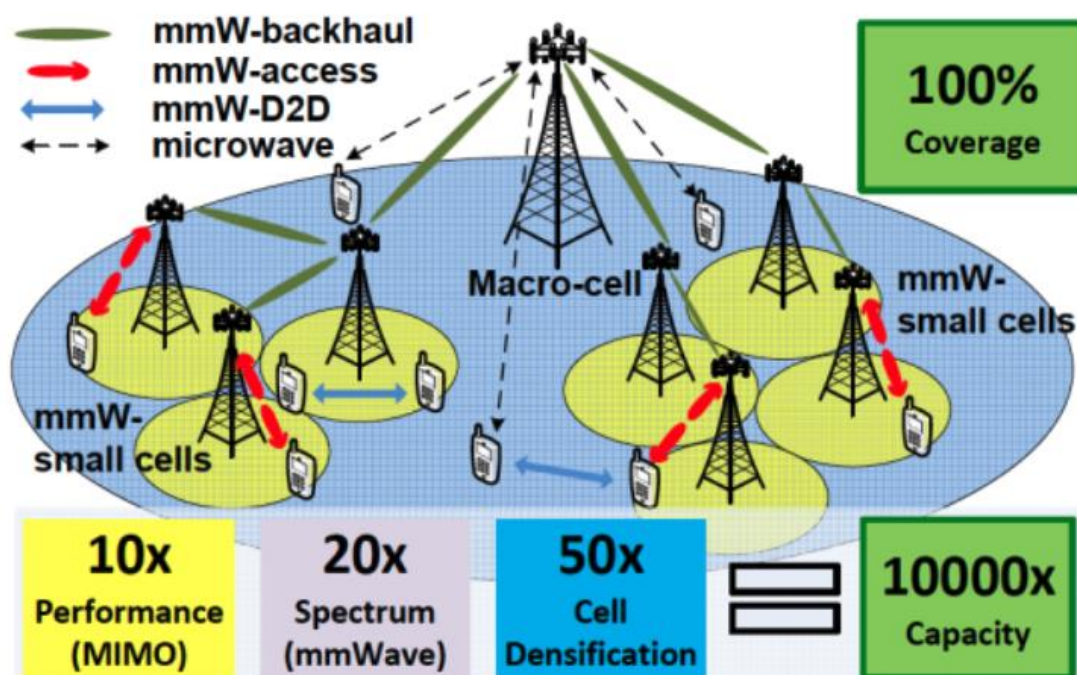
Στη συνέχεια, οι ρυθμοί δεδομένων αρκετών εκατοντάδων μεγαμπίτ ανά δευτερόλεπτο μπορούν να ολοκληρώσουν τη δουλειά, αλλά συνήθως σε βάρος της ποιότητας του βίντεο. Οι τεχνικές συμπίεσης μειώνουν πάντοτε την ποιότητα για να επιτρέπουν τη χρήση διαθέσιμων ασύρματων προτύπων όπως το Wi-Fi 802.11n. Πρότυπα όπως το 802.11ac που χρησιμοποιούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης στη ζώνη 5 GHz είναι πλέον διαθέσιμα για την επίτευξη ταχύτητας δεδομένων gigabit. Οι τεχνολογίες κύματος χιλιοστών καθιστούν τους ρυθμούς gigabit συνηθισμένους και σχετικά εύκολο να επιτευχθούν, καθιστώντας το ασυμπίεστο βίντεο πραγματικότητα.

Οι κοινές εφαρμογές περιλαμβάνουν μετάδοση βίντεο από ένα αποκωδικοποιητή (STB) σε ένα σετ HDTV ή μετάδοση μεταξύ μιας συσκευής αναπαραγωγής DVD και της τηλεόρασης ή από ένα πρόγραμμα αναπαραγωγής παιχνιδιών στην τηλεόραση. Το βίντεο μπορεί επίσης να αποσταλεί ασύρματα από υπολογιστή ή φορητό υπολογιστή σε οθόνη βίντεο ή βάση σύνδεσης. Η μετάδοση σημάτων από φορητό υπολογιστή ή tablet απευθείας στην οθόνη HDTV είναι επίσης δημοφιλής. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν ασύρματους προβολείς HD και ασύρματες βιντεοκάμερες. Οι τεχνολογίες κύματος χιλιοστών επιτρέπουν την ασύρματη μετάδοση δημοφιλών διεπαφών βίντεο, όπως HDMI 1.3 ή DisplayPort 1.2. Διατίθεται επίσης μια ασύρματη έκδοση του PCI Express. Άλλες εφαρμογές για εξοπλισμό κύματος χιλιοστομέτρου περιλαμβάνουν backhaul για ασύρματους σταθμούς βάσης, ραντάρ μικρής εμβέλειας και σαρωτές σώματος αεροδρομίου.

Μια ενδιαφέρουσα πιθανή χρήση είναι οι ασύρματες συνδέσεις PCB-to-PCB (πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος) ή chip-to-chip. Στις συχνότητες των χιλιοστομετρικών κυμάτων, τα καλώδια, οι σύνδεσμοι, ακόμη και οι μικρές ροές PCB προσθέτουν εξασθένηση. Ένας σύντομος (ίντσες ή λιγότερο) ασύρματος σύνδεσμος εξαλείφει το πρόβλημα. Η ζώνη βιομηχανικής-επιστημονικής-ιατρικής (ISM) χωρίς άδεια 60 GHz από 57 έως 64 GHz προσελκύει πολλή προσοχή. Χρησιμοποιείται ήδη για ασύρματο backhaul και αναμένεται μεγαλύτερη χρήση. Δύο ασύρματες τεχνολογίες

μικρής εμβέλειας αντιμετωπίζουν επίσης τις δυνατότητες αυτής της ζώνης: IEEE 802.11ad και WirelessHD.

Μαζί, το κέντρο δεδομένων και οι βελτιώσεις υπολογιστικής πλατφόρμας επεκτείνουν την εμβέλεια του cloud computing μέσω νέων μη παραδοσιακών ασύρματων εφαρμογών. Τα κυψελοειδή συστήματα μπορεί να ενσωματώνουν το MM-WAVE για να παρέχουν υψηλότερα εύρη ζώνης για την επίλυση του φάσματος, παρέχοντας δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, peer-to-peer μεταφορά δεδομένων και backhaul στις ίδιες ζώνες. Ωστόσο, δεν έχουν προηγηθεί όλες οι αναδυόμενες εφαρμογές των ασύρματων συσκευών 60 GHz και MM-WAVE. Οι ασύρματες συνδέσεις Backhaul, η ευρυζωνική κυψελοειδής επικοινωνία, η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων, η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και η αεροδιαστημική επικοινωνία έχουν αποτελέσει αντικείμενο έρευνας και ορισμένων εξελίξεων στην αγορά. Αρκετές τεχνολογικές ανακαλύψεις στο MM-WAVE, ωστόσο, ελπίζουν να φέρουν αυτές τις εφαρμογές σε μεγαλύτερες αγορές με τεράστιες δυνατότητες.



Εικόνα 11 Η επικοινωνία MM-WAVE.

(ΠΗΓΗ: <http://www.profratnarajah.org/mmwave-communication.html>)

Με τεράστιο φάσμα MM-WAVE και ηλεκτρονικά χαμηλού κόστους που είναι τώρα διαθέσιμα για πρώτη φορά, η μεταφορά πληροφοριών θα γίνει πραγματικά πανταχού παρούσα και σχεδόν απεριόριστη. Αντικαθιστώντας την καλωδίωση χαλκού με τεράστιους ραδιο συνδέσμους εύρους ζώνης που βρίσκονται στις εισόδους κτιρίων, στους διαδρόμους, στις ράμπες των δρόμων και στους λαμπτήρες, σύντομα θα είναι δυνατή η μετάδοση ολόκληρων βιβλιοθηκών πληροφοριών σε άτομα καθώς περπατούν ή οδηγούν. Σκεφτείτε τον σημερινό μαθητή, ο οποίος κουβαλά ένα βαρύ σακίδιο γεμάτο βιβλία μεταξύ τάξεων. Χρησιμοποιώντας μια ιδέα γνωστή ως πληροφοριακό ντους,

τεράστιος όγκος περιεχομένου μπορεί να μεταφερθεί σε δευτερόλεπτα, με ή χωρίς τη γνώση του μαθητή.

Η τεχνολογία ημιαγωγών επιτρέπει πλέον τα κυκλώματα κύματος χιλιοστών να συσκευάζονται σε IC. Σήμερα έχουμε τσιπ ραντάρ μονής μάρκας που αναζητούν νέες εφαρμογές. Τα ραντάρ των χιλιοστομετρικών κυμάτων λειτουργούν εδώ και χρόνια στη στρατιωτική θητεία, αλλά αυτή η τεχνολογία δεν έχει αναπτυχθεί ευρέως σε εμπορικές ή καταναλωτικές εφαρμογές λόγω του κόστους της. Με τα σημερινά διπολικά τρανζίστορ SiGe heterojunction (HBT) ή BiCMOS single-chip ραντάρ, ωστόσο, υπάρχουν πολλές νέες εφαρμογές.

Το ραντάρ ενός τσιπ BGT24MTR11 24-GHz της Infineon λειτουργεί μέσω της ζώνης ISM 24 έως 24,25-GHz. Τόσο ο δέκτης όσο και ο πομποδέκτης βρίσκονται σε ένα τσιπ χρησιμοποιώντας ένα τυπικό πακέτο IC τύπου QFN (quad flat no-lead). Η συσκευή είναι εύχρηστη καθώς δεν απαιτείται αντιστοίχιση ραδιοσυχνοτήτων ή γραμμές μετάδοσης στο PCB. Η συσκευή έχει μέγιστο εύρος 160 μέτρων. Το BGT24MTR11 χρησιμοποιεί την τεχνική Doppler συνεχούς κύματος, η οποία αναπτύσσεται σε μια ποικιλία εφαρμογών, όπως μέτρηση στάθμης υγρού σε δεξαμενές. Άλλες χρήσεις περιλαμβάνουν φωτισμό δρόμου, ανίχνευση κίνησης, ανοίγματα θυρών, συναγερμούς εισβολής, μετρητές ταχύτητας αστυνομίας και αποφυγή σύγκρουσης σε βιομηχανικά οχήματα.

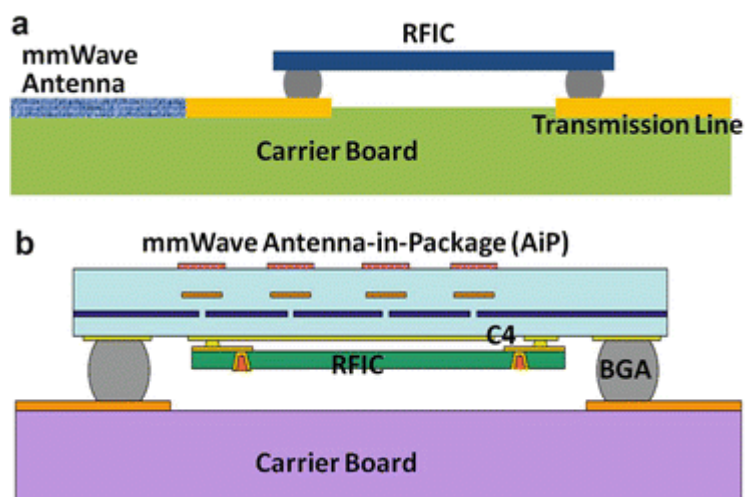
2.9 Antennas & MM-WAVES

Η συμπεριφορά των τελικών χρηστών και η ανάπτυξη της τεχνολογίας αλληλεπιδρούν, επαναλαμβάνουν και αυξάνουν την ταχύτητα της καινοτομίας σε καθημερινή βάση. Αυτό μπορεί να φανεί σε κάθε γωνιά της κοινωνίας που κυμαίνεται από τις πυκνές μητροπολιτικές περιοχές με φιλοδοξίες «έξυπνης πόλης» έως το περίχωρο των αγροτικών περιοχών, όπου ένα συνδεδεμένο σπίτι ή ένα συνδεδεμένο χωριό μπορεί να είναι η διαφορά μεταξύ πείνας και ευημερίας. Αυτή η ταχεία ανάπτυξη θέτει συνεχώς νέες απαιτήσεις σε προϊόντα και λύσεις και τροφοδοτεί την καινοτομία σε καθημερινή βάση.

Το εύρος ζώνης και η ταχύτητα είναι παράμετροι που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον όταν οι τελικοί χρήστες καταναλώνουν «gigabits ανά ώρα». Παραδοσιακά, οι συνδέσεις με βάση τις ίνες και η οπτική τεχνολογία θεωρούνται ως η μόνη πραγματική μελλοντική απόδειξη για την υποστήριξη της ατέρμονης όρεξης για χωρητικότητα. Πρόσφατα όμως, διαπιστώθηκαν αποδεικτικά στοιχεία, ότι η προσέγγιση που βασίζεται σε ίνες δεν επιλύει αυτήν την πρόκληση, καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψη οι σκέψεις σχετικά με το κόστος και την ταχύτητα της διάθεσης για να αποκτηθεί μια βιώσιμη επιχειρηματική υπόθεση για τον χειριστή και τον τελικό χρήστη.

Η κεραία είναι ένα σημαντικό μέρος της λύσης, τόσο από άποψη απόδοσης όσο και από πλευράς κόστους. Η κεραία είναι το βασικό στοιχείο για την αντιμετώπιση

παρεμβολών και απόστασης. Ανάλογα με το σχεδιασμό της κεραίας, μπορείτε να έχετε μια ευρύτερη ή πιο στενή δέσμη κεραίας που μπορεί να σας βοηθήσει να αποτρέψετε παρεμβολές και διαταραχές από άλλες πηγές ραδιοφώνου. Μπορείτε επίσης να σχεδιάσετε μια κεραία για να παρέχει περισσότερο ή λιγότερο κέρδος κεραίας, όπου ένα υψηλότερο κέρδος θα σας βοηθήσει να φτάσετε περαιτέρω. Δεδομένου ότι η κεραία συγκεντρώνει την εκπεμπόμενη ενέργεια στη δέσμη κεραίων, όσο στενότερη είναι η δέσμη, τόσο υψηλότερο κέρδος μπορεί να προσφέρει η κεραία.



Εικόνα 12 Κεραίες και συστοιχίες χιλιοστομέτρου.

(ΠΗΓΗ: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-981-4560-44-3_64)

Παραδοσιακά, η πιο κοινή τεχνολογία κεραίων ήταν οι παραβολικές κεραίες για συνδέσεις από σημείο σε σημείο. Η παραβολική κεραία χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες περιπτώσεις χρήσης που κυμαίνονται από τεράστιες κεραίες δορυφορικής επικοινωνίας με διάμετρο δίσκου διαμέτρου αρκετών μέτρων έως θήκη χρήσης ραδιοζεύξης από σημείο σε σημείο, όπου η διάμετρος του πιάτου είναι συνήθως 0,2 έως 0,6 m ανάλογα με τη συχνότητα. Το τυπικό κέρδος κεραίας είναι μεταξύ 30 και 46 dBi. Δεδομένου ότι η παραδοσιακή επικοινωνία από σημείο σε σημείο αποστέλλει σε μια συχνότητα και λαμβάνει σε άλλη ταυτόχρονα (λειτουργία FDD), υπάρχει ανάγκη διαχωρισμού του λαμβανόμενου σήματος από το μεταδιδόμενο σήμα για αποφυγή παρεμβολών. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας ένα αμφίδρομο μεταξύ της κεραίας και του πομποδέκτη ραδιοφώνου. Αυτά τα αμφίπλευρα προσθέτουν τόσο κόστος όσο και πολυπλοκότητα, καθώς συχνά απαιτούν συντονισμό κατά την παραγωγή.

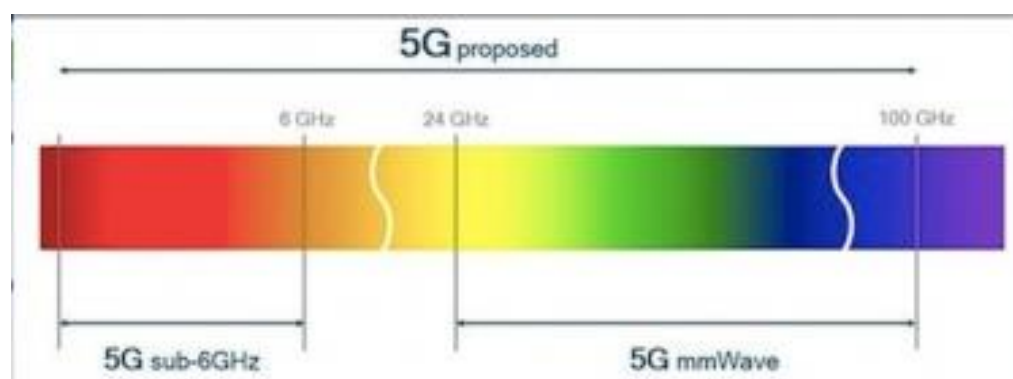
Η κεραία είναι ένα κρίσιμο στοιχείο σε όλους τους συνδέσμους point-to-point ή point-to-multi, που επηρεάζει σημαντικά τους προϋπολογισμούς συνδέσμων και την 'υγεία' του συστήματος επικοινωνίας. Επομένως, είναι ένα κρίσιμο στοιχείο για την επίτευξη καλύτερης απόδοσης, μεγαλύτερης λειτουργικότητας και χαμηλότερου κόστους για μια ολοκληρωμένη λύση σύνδεσης.

2.10 Η επιρροή των MM-WAVE στην υγεία.

Σε αντίθεση με την υπεριώδη ακτινοβολία ακτίνων X και γάμμα πολύ υψηλότερης συχνότητας, η ακτινοβολία MM-WAVE δεν είναι ιονίζουσα. Έτσι, η κύρια ανησυχία για την ασφάλεια είναι η θέρμανση των ματιών και του δέρματος που προκαλείται από την απορρόφηση ενέργειας MM-WAVE στο ανθρώπινο σώμα. Ευτυχώς, το σώμα μας είναι ανακλαστικό και δεν απορροφά πολύ ακτινοβολία.

Σε πρόσφατη έρευνες αποδείχθηκαν ότι οι τρέχουσες μέθοδοι που βασίζονται στην εκτίμηση της πυκνότητας ισχύος δεν είναι κατάλληλες για τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης έκθεσης όταν χρησιμοποιούνται συσκευές κύματος χιλιοστών πολύ κοντά στο σώμα. Έχει αναπτύχθει η πρώτη τεχνική με βάση τη θερμοκρασία για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης με την ασφάλεια χρησιμοποιώντας συστήματα μαγνητικής τομογραφίας με βάση τη χαρτογράφηση θερμικών αλλαγών. Τα τελευταία χρόνια, το κόστος λειτουργίας της μαγνητικής τομογραφίας μειώνεται και τα συστήματα που βασίζονται σε μαγνητική τομογραφία για χαρτογράφηση θερμικών αλλαγών καθίστανται προσιτά σε ασύρματους κατασκευαστές και ρυθμιστικούς φορείς. Παρέχουν δυνατότητες ευρείας ζώνης, υψηλή ανάλυση 3 διαστάσεων και ταχύτητες σάρωσης που είναι ασύγκριτες με τα τρέχοντα συστήματα μέτρησης.

Η μαγνητική τομογραφία μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια τη θέρμανση του δέρματος που προκαλείται από ακτινοβολίες MM-WAVE. Με το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις ασύρματες επικοινωνίες κυμάτων χιλιοστών, οι έρευνες σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και των συσκευών κύματος χιλιοστών γίνονται σημαντικές. Η έρευνά μας παρέχει παραδείγματα τρεχουσών κανονιστικών απαιτήσεων και παρέχει ένα παράδειγμα για πομποδέκτη 60 GHz. Επίσης, μελετώνται τα χαρακτηριστικά διάδοσης των κυμάτων χιλιοστών παρουσία του ανθρώπινου σώματος, και τέσσερα μοντέλα που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά μέρη του σώματος θεωρείται ότι αξιολογούν τις θερμικές επιδράσεις της ακτινοβολίας των χιλιοστομετρικών κυμάτων στο σώμα.



Εικόνα 13 Οι συχνότητες του 5G & MM-WAVE.

(ΠΗΓΗ: <https://www.itwire.com/business-technology/government-readies-for-5g-spectrum-auction-2.html>)

Συσκευές και τερματικά που υποστηρίζουν ασύρματη μετάδοση σήματος είναι απαραίτητα στην καθημερινή ζωή. Εάν οι τελικοί χρήστες χειριστούν περισσότερες πληροφορίες, θα χρειαστεί περισσότερο εύρος ζώνης σήματος ως ασύρματος πόρος. Αυτή η ασύρματη ζώνη σήματος μπορεί να εξαντληθεί σε μέρη όπου η κυκλοφορία είναι συγκεντρωμένη. Αντιμετωπίζεται το επείγον καθήκον να μην βασίζεται σε ασύρματη μετάδοση σήματος για επικοινωνία, διαχείριση και έλεγχο που υποστηρίζει την καθημερινή ζωή. Για τους λόγους αυτούς, έχει καταστεί απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν ενεργά κύματα χιλιοστών με πολύ υψηλές συχνότητες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία:

- Επικοινωνίες υπολογιστών και δεδομένων (8 η έκδοση) – Συγγραφείς: Stallings William – Έτος: 2011, Εκδόσεις Τζιόλα
- The 5G Channel Code Contenders, Robert G. Maunder
- Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile, GSMA Intelligence
- Δίκτυα Δημόσιας χρήσης και διασύνδεση δικτύων, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Χρήστος Ι. Μπούρας
- Ευρυζωνικές Τεχνολογίες, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Χρήστος Ι. Μπούρας

- Βαρβαρίγος, Ε., & Μπερμπερίδης, Κ. (2004). Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών.

- M. Xiao, S. Mumtaz, Y. Huang, L. Dai, Y. Li, M. Matthaiou, G. K. Karagiannidis, E. Bjornson, K. Yang, C. Lin " et al., "Millimeter wave communications for future mobile networks," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 35, no. 9, pp. 1909–1935, 2017.

URLs:

- <http://www.ti.com/sensors/mmwave/overview.html>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Extremely_high_frequency
- <https://www.accton.com/Technology-Brief/the-emergence-of-5g-mmwave/>
- <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1704/1704.08131.pdf>
- <https://eclass.upatras.gr/modules/document/index.php?course=CEID1063&openDir=/5e71f330D8WC>

- <https://www.rcrwireless.com/20160815/fundamentals/mmwave-5g-tag31-tag99>
- <https://www.ericsson.com/en/networks/offerings/5g/sharing-spectrum-with-ericsson-spectrum-sharing>
- <https://www.tovima.gr/2019/11/09/science/5g-ti-tha-ferai-kai-pos-tha-allaksei-ti-zoi-mas/>
- <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/lte-4g-5g-radio-access-network-ran/>
- <http://www.profheath.org/analysis-of-millimeter-wave-systems-for-5g/>
- <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/millimeter-wave-MM-wave>