



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Μελέτη μηχανισμών device to device σε δίκτυα 5g"

**"Study of device to device mechanisms in 5g
networks"**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΧΑΡΙΤΟΣ ΦΩΤΗΣ (2577)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	
1.1 Ορισμός του ασύρματου δικτύου.....	5
1.2 Ιστορική εξέλιξη.....	5
1.3 Από το 1G στο 5G.....	6
1.4 Δίκτυα πέμπτης γενιάς.....	8
1.5 Σύγκριση 5G με προηγούμενες γενιές.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΚΤΥΑ 5 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ (5G)	
2.1 Ορισμός και σκοπός του 5G.....	12
2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	13
2.3 Αρχιτεκτονική.....	17
2.4 Τεχνολογίες δικτύων 5ης γενιάς.....	19
2.5 Εφαρμογές.....	25
2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΑΠΟ ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΗ (Device to Device, D2D)	
3.1 Εισαγωγή.....	33
3.2 Αρχική υλοποίηση.....	34
3.3 Αρχιτεκτονική και λειτουργία.....	35
3.4 Κατηγορίες.....	40
3.5 Ανάγκη για D2D επικοινωνία.....	43
3.6 Πλεονεκτήματα.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: D2D ΣΤΟ 5G ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ	
4.1 Εισαγωγή.....	46
4.2 Διαχείριση κινητικότητας στις 5G επικοινωνίες.....	48
4.3 Τρόποι χρήσης D2D επικοινωνιών.....	49
4.4 Προτεινόμενο μοντέλο.....	55
4.5 Τομείς εξέλιξης της D2D επικοινωνίας.....	57
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επικοινωνία D2D μπορεί να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στην πραγματοποίηση του ασύρματου δικτύου 5G. Πρακτικά, η επικοινωνία D2D έχει ήδη αρχίσει. Οι επικοινωνίες μεταξύ συσκευών βρίσκονται σε εξέλιξη και θεωρούνται ως νέο πρότυπο που θα εφαρμοστεί το τις επόμενες γενιές δικτύων κινητής τηλεφωνίας για την παροχή υψηλής απόδοσης στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

Με ορισμένες απλές τεχνικές μπορούμε να πετύχουμε βελτίωση στην κάλυψη καθώς και μεγαλύτερη φασματική απόδοση. Τεράστια σημασία έχει επίσης ο υψηλός ρυθμός δεδομένων ενώ υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις για την πλήρη ενσωμάτωση της επικοινωνίας D2D στο δίκτυο που πρέπει να ξεπεραστούν.

ABSTRACT

D2D communication can play a central role in the realization of the 5G wireless network. In practice, D2D communication has already begun. Intercoms are in development and are considered as a new standard to be applied to the next generations of mobile networks to provide high efficiency mobile network.

With some simple techniques we can achieve improved coverage as well as higher spectral performance. High data rates are also crucial and there are some challenges to fully integrating D2D communication into the network that need to be overcome.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

1.1 Ορισμός ασύρματου δικτύου

Ασύρματο δίκτυο καλείται ένα δίκτυο όπου η επικοινωνία τόσο των χρηστών όσο και των δομικών στοιχείων από τα οποία αποτελείται μπορεί να πραγματοποιηθεί πλήρως ή μερικώς χωρίς τη χρήση καλωδίων.

Ένα ασύρματο δίκτυο χρησιμοποιεί ως φορείς της πληροφορίας ραδιοκύματα. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα ενός ασύρματου δικτύου είναι η ευελιξία του, αφενός γιατί δεν χρειάζονται καλώδια για τη σύνδεση τερματικών και αφετέρου διότι είναι εφικτή η κινητικότητα των χρηστών. Στην κατηγορία των ασύρματων δικτύων ανήκουν:

- Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.
- Οι δορυφορικές επικοινωνίες.
- Τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN).
- Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN).
- Τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN).
- Τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN).

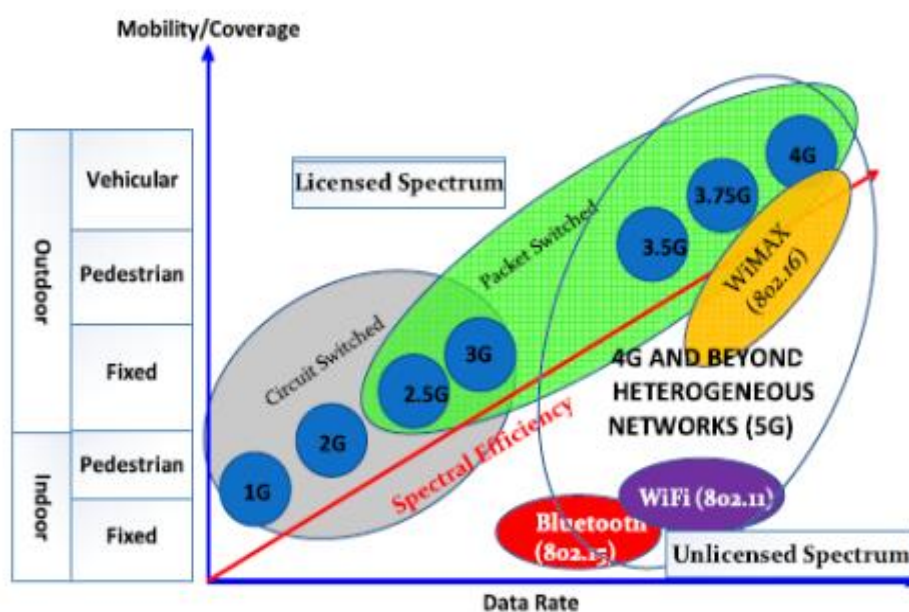
1.2 Ιστορική εξέλιξη

Ο G. Marconi, Ιταλός εφευρέτης, έκανε την αρχή για την πορεία των επικοινωνιών του σήμερα. Οδήγησε την πορεία των ασύρματων επικοινωνιών αποστέλλοντας το γράμμα “S” σε μια απόσταση 3 χιλιομέτρων με την χρήση του κώδικα Morse με την βοήθεια των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του σήμερα αλλά και του αύριο. Η δορυφορική επικοινωνία, η τηλεόραση και το ραδιόφωνο συντέλεσαν στον τρόπο που με τον οποίο λειτουργεί η κοινωνία μας σήμερα. Όσο οι ασύρματες τεχνολογίες αυξάνονται, ο ρυθμός δεδομένων, η κινητικότητα και η φασματική αποτελεσματικότητα είναι αναπόφευκτο να αυξηθούν επίσης.

Οι τεχνολογίες στις πρώιμες γενιές, δηλαδή οι τεχνολογίες 1G και 2G χρησιμοποιούν εναλλαγή κυκλώματος ενώ οι τεχνολογίες 2.5G και 3G χρησιμοποιούν την εναλλαγή κυκλώματος και πακέτων. Τον ίδιο τρόπο χρησιμοποιούν και οι τεχνολογίες και οι επόμενες 3.5G έως και τα 5G. Μαζί με αυτούς τους παράγοντες, διαφοροποιείται

επίσης το αδειοδοτημένο φάσμα με το μη-αδειοδοτημένο φάσμα. Όλες οι εξελισσόμενες γενιές χρησιμοποιούν το αδειοδοτημένο φάσμα ενώ τεχνολογίες όπως το Wi-Fi, το Bluetooth και το WiMax χρησιμοποιούν το μη αδειοδοτημένο φάσμα.



Εικόνα 1.1: Εξέλιξη ασύρματων δικτύων επικοινωνιών.

1.3 Από το 1G στο 5G

Πριν από το 1G όλες οι ασύρματες επικοινωνίες ήταν φωνητικές και χρησιμοποιήθηκαν αναλογικά συστήματα με μονοδιάστατη διαμόρφωση (SSB).

1G (1983): Όλες οι ασύρματες επικοινωνίες ήταν φωνητικές. Το 1966, το Bell Labs πήρε την απόφαση να υιοθετήσει αναλογικά συστήματα για ένα κινητό σύστημα μεγάλης χωρητικότητας, για το λόγο ότι τα ψηφιακά ραδιοσυστήματα ήταν πολύ ακριβά.

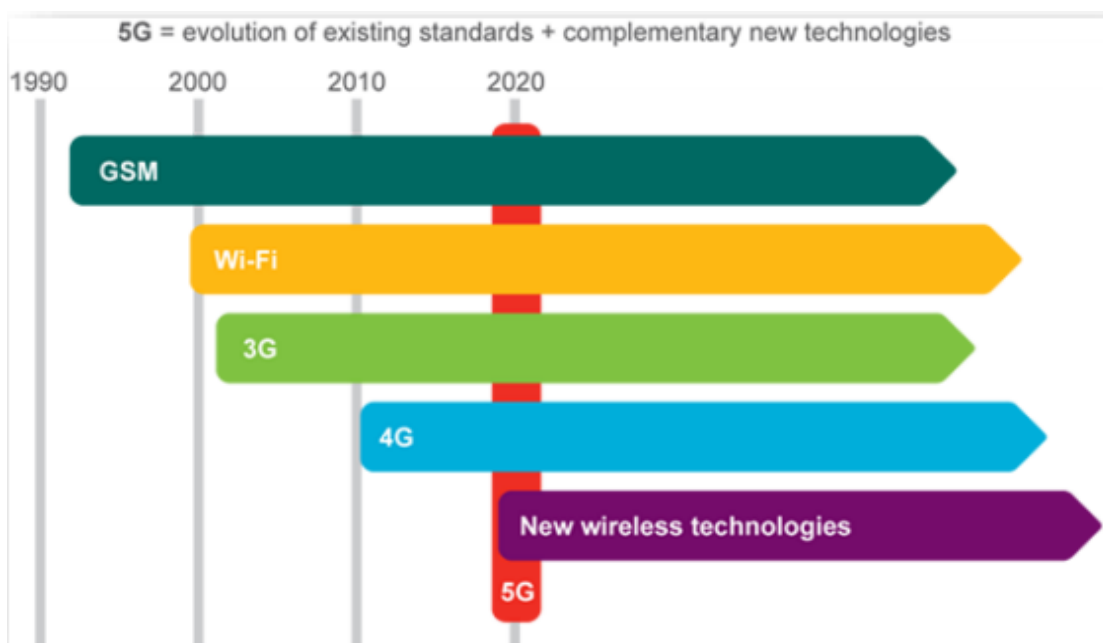
2G (1990): Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, όλες οι ασύρματες επικοινωνίες ήταν φωνητικές. Το ευρωπαϊκό GSM αποτέλεσε ένα ψηφιακό σύστημα και χρησιμοποιούσε πολυπλεξία TDMA. Δεδομένου ότι η AT & T πωλήθηκε το 1980, κανένα ερευνητικό ίδρυμα (όπως το Bell Labs) δεν θα μπορούσε να αναπτύξει ένα εξαιρετικό σύστημα 2G όπως και για το σύστημα 1G στη Βόρεια Αμερική. Το IS-54 δεν ήταν επιθυμητό και εγκαταλείφθηκε. Έπειτα το GSM ονομάστηκε 2G. Η μετάβαση από 1G σε 2G σημαίνει ουσιαστική μετάβαση από το αναλογικό σύστημα στο ψηφιακό σύστημα.

2.5G (1995): Όλες οι ασύρματες επικοινωνίες είναι κυρίως για φωνή υψηλής χωρητικότητας με περιορισμένη υπηρεσία δεδομένων. Το σύστημα CDMA που χρησιμοποιεί 1,25 MHz bandwidth υιοθετήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες.

3G (1999): Σε αυτή τη γενιά, οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν φωνή και δεδομένα. Το 3G είναι το πρώτο διεθνές τυποποιημένο σύστημα που κυκλοφόρησε από την ITU, εν αντίθεση με τα συστήματα προηγούμενης γενιάς. Το 3G εκμεταλλεύεται το WCDMA με χρήση εύρους ζώνης 5 MHz. Λειτουργεί σε FDD καθώς και σε TDD. Συνεπώς θα μπορούσαμε να επισημάνουμε ότι κατά τη μετάβαση από 2G σε 3G συστήματα πραγματοποιήθηκε η εξέλιξη από φωνητικά συστήματα σε συστήματα με βάση τα δεδομένα.

4G (2013): Το 4G είναι ένα σύστημα ταχύτητας δεδομένων υψηλής ταχύτητας και φωνή. Υπάρχουν δύο συστήματα 4G. Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν αναπτύξει το WiMAX χρησιμοποιώντας ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) ενώ υπάρχει και το σύστημα LTE που αναπτύχθηκε αργότερα από το WiMAX. Το εύρος ζώνης και των δύο συστημάτων είναι 20 MHz. Συνεπώς θα μπορούσαμε να πούμε ότι η μετάβαση από 3G σε 4G σημαίνει μετατόπιση από χαμηλές ταχύτητες δεδομένων για Internet σε ταχύτητες δεδομένων υψηλής ταχύτητας για κινητά βίντεο.

5G (2021): 5G εξακολουθεί να ορίζεται επίσημα από τους οργανισμούς τυποποίησης. Αποτελεί ένα σύστημα δεδομένων εξαιρετικά υψηλής χωρητικότητας και εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας με νέες απαιτήσεις σχεδίασης.



Εικόνα 1.2: Η πορεία για τα 5G δίκτυα.

1.4 Δίκτυα πέμπτης γενιάς

Οδηγούμαστε στα 5ης γενιάς δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ή 5η γενιά ασύρματων συστημάτων (5G), όπου θεωρείται ως το επίπεδο τελειότητας της ασύρματης επικοινωνίας στην κινητή τεχνολογία.

Το καλώδιο δικτύου είναι πλέον η μνήμη του παρελθόντος. Τα κινητά δεν είναι μόνο ένα εργαλείο επικοινωνίας, αλλά εξυπηρετούν και πολλούς άλλους σκοπούς. Όλες οι προηγούμενες ασύρματες τεχνολογίες είναι «διασκεδαστικές» όσον αφορά την ευκολία της κοινής χρήσης τηλεφώνου και δεδομένων, αλλά το 5G φέρνει μια νέα επαφή ώστε να καταστεί η πραγματική ζωή, κινητή ζωή. Το νέο δίκτυο 5G αναμένεται να βελτιώσει τις υπηρεσίες και εφαρμογές που προσφέρονται από αυτό. Η τεχνολογία αυτή θεωρεί τον χρήστη ως επίκεντρο, σε αντίθεση με τα 3G που έχουν τον χειριστή ως επίκεντρο ή τα 4G που έχουν την υπηρεσία.

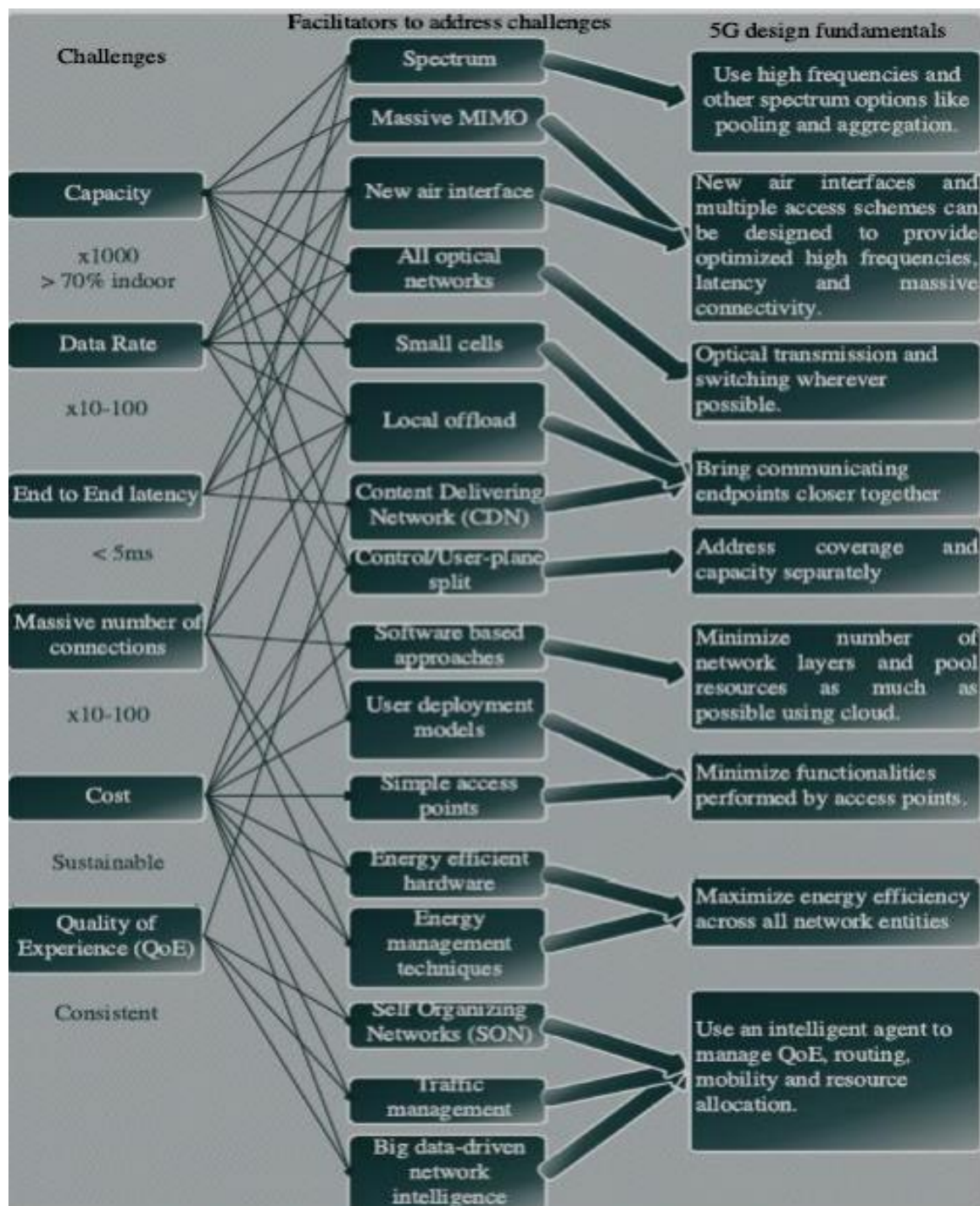
Η εκθετική αύξηση της ζήτησης των χρηστών θα προκαλέσει την αντικατάσταση των 4G δικτύων από τα 5G με μια προηγμένη τεχνολογία πρόσβασης λεγόμενη Beam Division Multiple Access (BDMA), και με την Filter Bank multi carrier (FBMC) multi access. Στην ιδέα BDMA ο σταθμός βάσης επικοινωνεί με κινητούς χρήστες κατανέμοντας μια ορθογώνια δέσμη. Αυτή η δέσμη με την τεχνική beaming θα διαιρεθεί αναλόγως των θέσεων των κινητών χρηστών προσφέροντας έτσι πολλαπλές προσβάσεις στους χρήστες που κινούνται, αυξάνοντας την ποιότητα και ικανότητα του συστήματος.

Ο λόγος ανάπτυξης των ασύρματων δικτύων επικοινωνίας πέμπτης γενιάς είναι οι προκλήσεις και οι απαιτήσεις που δημιουργούνται με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, τις οποίες τα δίκτυα 4ης γενιάς δε μπορούν να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά. Κάποιες από αυτές τις απαιτήσεις είναι η μεγαλύτερη χωρητικότητα, μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης, μικρότερη καθυστέρηση και μαζική συνδεσιμότητα συσκευών και φυσικά μειωμένο κόστος.

Τα δίκτυα 5G πλεονεκτούν ως προς την ταχύτητα άλλα μειονεκτούν ως προς την πολυπλοκότητα. Ακόμη και για ταχύτητες της τάξεως των 10 Gbps δεν είναι ανέφικτη η αντικατάσταση του οικιακού Wifi με παροχή μεγαλύτερων ταχυτήτων και καλύτερης κάλυψης. Όσον αφορά τις ταχύτητες υπάρχει και περίπτωση για δεκαπλάσια νούμερα σε σχέση με το 4G (LTE) επιτρέποντας στους χρήστες να κατεβάζουν ταινίες σε δευτερόλεπτα και να ζουν σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας χωρίς την παραμικρή καθυστέρηση. Η 5G τεχνολογία έχει ένα

λαμπρό μέλλον γιατί μπορεί να διαχειριστεί καλύτερα τις τεχνολογίες και να προσφέρει ανεκτίμητη ακουστική στους πελάτες της. Μπορεί να είναι στο μέλλον η τεχνολογία που θα αναλάβει την παγκόσμια αγορά

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται μια επισκόπηση του σχετικού σχεδιασμού των δικτύων αλλά και οι απαιτήσεις της πέμπτης γενιάς δικτύων.



Εικόνα 1.3: Οι βασικές αρχές, προκλήσεις του σχεδιασμού 5G.

1.5 Σύγκριση 5G με προηγούμενες γενιές

Κρίνεται απαραίτητο να αναφέρουμε τις διαφορές μεταξύ του 5G και των προγενέστερων δικτύων και γιατί είμαστε έτοιμοι να υποδεχτούμε την νέα γενιά τώρα. Είναι γεγονός ότι στην περίοδο που διανύουμε η επικράτηση των ασύρματων επικοινωνιών έχει φτάσει σε επίπεδα που δεν ήταν εύκολο να φανταστούμε ότι θα φτάναμε ποτέ. Πλέον τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών διαφόρων τύπων.

Η βασικές διαφορές μεταξύ 5G με προηγούμενες γενιές κινητών δικτύων είναι:

- Τα δίκτυα 5G επεκτείνουν τις ευρυζωνικές ασύρματες επικοινωνίες εκτός του κινητού διαδικτύου σε Internet of Things.
- Τα δίκτυα 4.5G (LTE Advanced) διπλασίασαν τις ταχύτητες δεδομένων από 4G.
- Τα δίκτυα 4G έφεραν όλες τις υπηρεσίες IP (Voice και Data), μια γρήγορη εμπειρία ευρυζωνικού διαδικτύου, με αρχιτεκτονικές και πρωτόκολλα ενοποιημένων δικτύων.
- Τα δίκτυα 3.5G έφεραν μια πραγματική πανταχού παρούσα εμπειρία κινητού διαδικτύου οδηγώντας στην επιτυχία τα οικοσυστήματα των εφαρμογών για κινητά.
- Τα δίκτυα 3G έφεραν καλύτερη εμπειρία στο διαδίκτυο μέσω κινητού τηλεφώνου, αλλά με περιορισμένη επιτυχία για την απελευθέρωση μαζικών υιοθεσιών υπηρεσιών δεδομένων.
- Τα δίκτυα 2.5G και 2.75G παρουσίασαν βελτίωση στις υπηρεσίες δεδομένων αντίστοιχα με GPRS και EDGE.
- Τα δίκτυα 2G έφεραν ψηφιακές κυψελωτές φωνητικές υπηρεσίες και βασικές υπηρεσίες δεδομένων (SMS, Internet WAP browsing) καθώς και υπηρεσίες περιαγωγής σε δίκτυα.
- Τα δίκτυα 1G έφεραν την κινητικότητα σε αναλογικές φωνητικές υπηρεσίες.

Generations	Access Technology		Data Rate	Frequency Band	Bandwidth	Forward Error Correction	Switching	Applications
1G	Advanced Mobile Phone Service (AMPS) (Frequency Division Multiple Access (FDMA))		2.4 kbps	800 MHz	30 KHz	NA	Circuit	Voice
2G	Global Systems for Mobile communications (GSM) (Time Division Multiple Access (TDMA))		10 kbps	850/900/1800/1900 MHz	200 KHz	NA	Circuit	Voice + Data
	2.5G	Code Division Multiple Access (CDMA)	10 kbps		1.25 MHz			
General Packet Radio Service (GPRS)		50 kbps	200 KHz					
	Enhanced Data Rate for GSM Evolution (EDGE)		200 kbps		200 KHz		Circuit/ Packet	
3G	Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) / Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS)		384 kbps	800/850/900/1800/1900/2100 MHz	5 MHz	Turbo Codes	Circuit/ Packet	Voice + Data + Video calling
		Code Division Multiple Access (CDMA) 2000	384 kbps		1.25 MHz		Circuit/ Packet	
3.5G	High Speed Uplink / Downlink Packet Access (HSUPA / HSDPA)		5-30 Mbps				5 MHz	
	Evolution-Data Optimized (EVDO)		5-30 Mbps		1.25 MHz		Packet	
3.75G	Long Term Evolution (LTE) (Orthogonal / Single Carrier Frequency Division Multiple Access) (OFDMA / SC-FDMA)		100-200 Mbps	1.8GHz, 2.6GHz	1.4MHz to 20 MHz	Concatenated codes	Packet	Online gaming + High Definition Television
	Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)(Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access(SOFDMA))		Fixed WiMAX 100-200 Mbps	3.5GHz and 5.8GHz initially	3.5MHz and 7MHz in 3.5GHz band; 10MHz in 5.8GHz band			
4G	Long Term Evolution Advanced (LTE-A) (Orthogonal / Single Carrier Frequency Division Multiple Access) (OFDMA / SC-FDMA)		DL 3Gbps UL 1.5Gbps	1.8GHz, 2.6GHz	1.4MHz to 20 MHz	Turbo codes	Packet	Online gaming + High Definition Television
	Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)(Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access(SOFDMA))		Mobile WiMAX 100-200 Mbps	2.3GHz, 2.5GHz, and 3.5GHz initially	3.5MHz, 7MHz, 5MHz, 10MHz, and 8.75MHz initially			
5G	Beam Division Multiple Access (BDMA) and Non- and quasi-orthogonal or Filter Bank multi carrier (FBMC) multiple access		10-50 Gbps (expected)	1.8, 2.6 GHz and expected 30-300 GHz	60 GHz	Low Density Parity Check Codes (LDPC)	Packet	Ultra High definition video + Virtual Reality applications

Εικόνα 1.4: Η εξέλιξη και οι διαφορές μεταξύ των ασύρματων επικοινωνιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΚΤΥΑ 5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ (5G)

2.1 Ορισμός και σκοπός του 5G

Τα δίκτυα 5G αποτελούν την επόμενη γενιά σύνδεσης κινητών συσκευών στο διαδίκτυο, προσφέροντας πιο γρήγορες από ποτέ ταχύτητες αλλά και πιο αξιόπιστες συνδέσεις σε smartphones και άλλες συσκευές.

Σύμφωνα με τις τελευταίες έρευνες, το 5G δίκτυο θα μπορεί να προσφέρει συνδέσεις έτη φωτός πιο γρήγορες από τις τρέχουσες συνδέσεις, με τις μέσες ταχύτητες λήψης (περίπου 1GBps) να θεωρούνται ο κανόνας.

Το 5G δίκτυο έχει ως κύριο σκοπό να συνδυάσει δραστικές λύσεις για να διασφαλίσει περισσότερη χωρητικότητα, χαμηλότερη καθυστέρηση και περισσότερη εμπιστευσιμότητα. Τέτοιες λύσεις συμπεριλαμβάνουν πολλές αναδυόμενες τεχνολογίες όπως Network Function Virtualization (NFV), Software-Defined Networking (SDN), massive MIMO και Device-to Device επικοινωνία.

Το 5G έχει και αρκετούς άλλους στόχους. Αρχικά, το 5G έχει ως πρωταρχικό του στόχο να αυξηθεί ο βαθμός των δεδομένων το οποίο σημαίνει ότι μια ελάχιστη προσδοκία των 5G υπηρεσιών είναι να γίνουν δέκα φορές ταχύτερα από ότι το 4G. Επιπλέον, το 5G δεν στοχεύει μόνο στη στο χαμηλό κόστος αλλά και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπροσθέτως, το 5G θα μειώσει τη καθυστέρηση και θα αυξήσει τη χωρητικότητα του συστήματος.

Ένα παράδειγμα για τη μείωση της καθυστέρησης είναι, όταν έχεις τελειώσει με το να εισάγεις ένα URL στον ιστότοπο του κινητού σου, η σελίδα θέλει μερικά δευτερόλεπτα για να φορτώσει εξαιτίας δύο παραγόντων. Πρώτον, ο χρόνος που χρειάζεται για να αναγνωριστεί το αίτημα και δεύτερον ο χρόνος που χρειάζεται για να σταλούν όλα τα κείμενα, οι εικόνες και τα βίντεο στο κινητό σου. Σημαντικό επίσης είναι ότι με το 5G θα δίνει την ευκαιρία μαζικής σύνδεσης των συσκευών.

Με άλλα λόγια, το 5G θα μπορεί να υποστηρίξει οποιαδήποτε στιγμή πολλές ευρυζωνικές συνδέσεις οι οποίες μεταφέρουν gigabytes ενός ζητούμενου εύρους ζώνης και κρίσιμου τύπου μηχανής (critical-machine type communication, MTC) όπου απαιτεί άμεση ανατροφοδότηση για εικονικής πραγματικότητας εφαρμογές και μαζική MTC που συνδέουν ένα μεγάλο εύρος από αισθητήρες και μηχανήματα.

2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

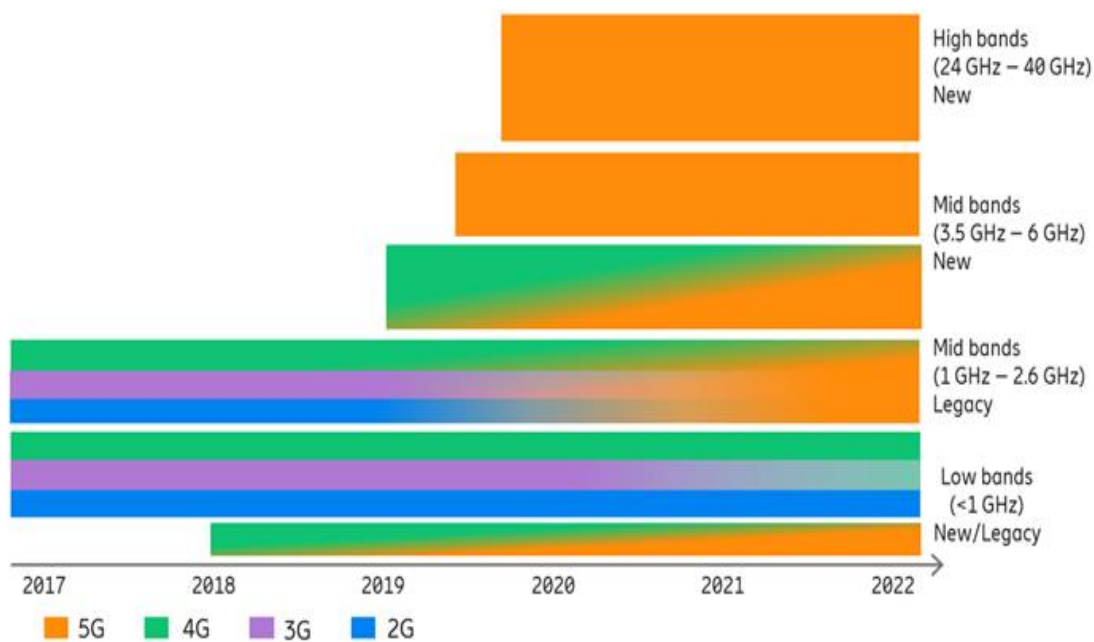
Το δίκτυο 5G πρόκειται να λειτουργήσει σε ένα εύρος υψηλής συχνότητας του ασύρματου φάσματος, κάπου μεταξύ 30-300 GHz. Η μεγαλύτερη συχνότητα συνεπάγεται μεγαλύτερη ταχύτητα και μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Σε αυτό το φάσμα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, η μετακίνηση και η μεταφορά δεδομένων γίνεται σε άκρως υψηλές ταχύτητες, ταυτοχρόνως όμως τα δεδομένα δεν μπορούν να μεταφερθούν τόσο μακριά όσο στα δίκτυα 4G καθώς διαθέτουν χαμηλές συχνότητες.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως τα κύματα αυτά που διαθέτουν και υψηλή συχνότητα βρίσκουν ιδιαιτέρως δύσκολο να προσπερνούν εμπόδια όπως τοίχους, παράθυρα, οροφές και κτίρια καθώς αποδυναμώνονται.

Επιπλέον, η καινούρια τεχνολογία θα διαθέτει και μεγαλύτερη χωρητικότητα το οποίο θα επιτρέπει την ταυτόχρονη σύνδεση περισσότερων συσκευών στο ίδιο δίκτυο.

Το δίκτυο 5G δεν προορίζεται μόνο για την απλή χρήση στα κινητά τηλέφωνα. Επιτεύγματα της τεχνολογίας όπως θερμοστάτες, αισθητήρες, αυτοκίνητα και ρομπότ πρόκειται να συνδεθούν με τα δίκτυα πέμπτης γενιάς. Το προγενέστερο δίκτυο δεν κατείχε το απαιτούμενο εύρος ζώνης προκειμένου να διαχειριστεί τις ογκώδεις ποσότητες δεδομένων που μεταδίδουν οι συσκευές. Επομένως, με το 5G θα εξουδετερωθεί η χρονοκαθυστέρηση μεταξύ των συσκευών και του διακομιστή. Αυτό σημαίνει όμως πως οι υπάρχοντες εταιρίες παροχής ασύρματου διαδικτύου θα πρέπει να αντικαταστήσουν και να πολλαπλασιάσουν τις κεραιές προκειμένου να χτιστεί το 5G ώστε να υπάρχει η ίδια κάλυψη τοποθετώντας τις κεραιές αυτές σε κάθε φανάρι, σε κάθε πλευρά κτιρίου ίσως και σε κάθε δωμάτιο.

Στα υπάρχοντα όμως δίκτυα 4G αυτό δεν συμβαίνει καθώς οι κεραιές μπορούν να είναι απομακρυσμένες η μία από την άλλη και τα εμπόδια δεν αποτελούν σοβαρό πρόβλημα. Αυτό σημαίνει πως ακόμα και με την κυκλοφορία του δικτύου πέμπτης γενιάς, το δίκτυο αυτό δεν θα αντικαταστήσει τον προκάτοχο του αλλά θα αποτελέσει συμπλήρωμά του, τουλάχιστον για τα πρώτα χρόνια κυκλοφορίας και χρήσης του. Στην κινητή τηλεφωνία χρησιμοποιούνται ραδιοσυχνότητες, οι οποίες χωρίζονται σε μπάντες και κάθε μία έχει κάποια χαρακτηριστικά. Το 4G δίκτυο χρησιμοποιεί ραδιοσυχνότητες μικρότερες των 6 GHz, ενώ το 5G θα επεκταθεί και σε μπάντες με υψηλότερες συχνότητες (30-90 GHz), με μήκη κύματος που ονομάζονται και millimeter waves (mmWaves) γιατί βρίσκονται μεταξύ 1 και 10 milli-meters (χιλιοστά).



Εικόνα 2.1: Η επίδραση των τεχνολογιών δικτύων στις διάφορες συχνότητες από το 2017 έως το 2022.

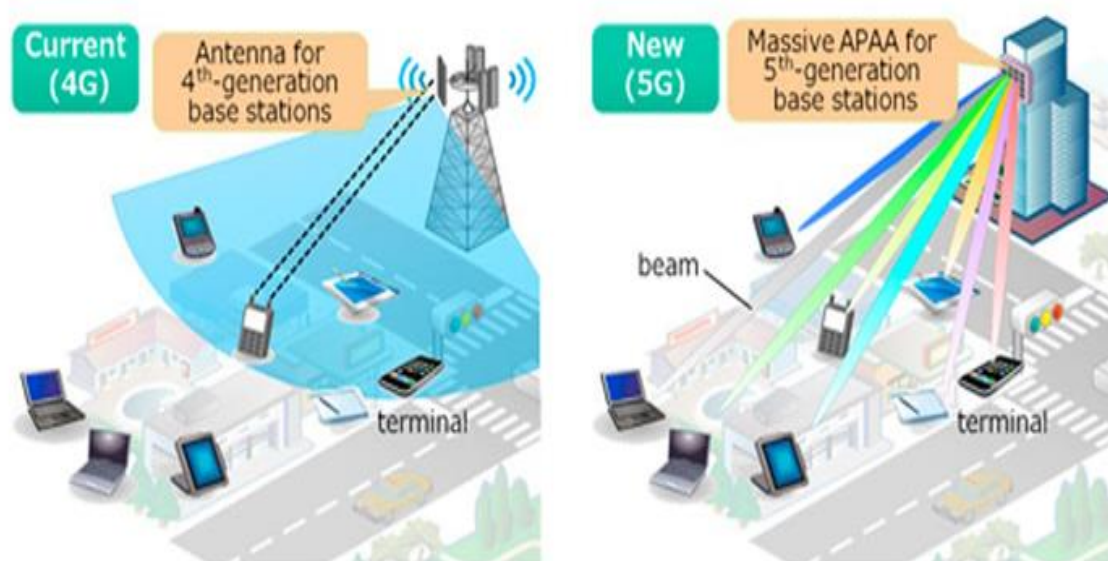
Το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας, με απλά λόγια υψηλή συχνότητα σημαίνει μικρότερο μήκος κύματος. Μικρότερο μήκος κύματος σημαίνει μετάδοση περισσότερων πληροφοριών, γι' αυτό και το 5G είναι έως και 10 φορές πιο γρήγορο από το 4G, στα 10 Gb/s, κάνοντας παράλληλα την καθυστέρηση μηδενική. Για παράδειγμα αντί να κάνουμε download ένα μεγάλο αρχείο σε 5 λεπτά, θα γίνεται τώρα σε 30 δευτερόλεπτα. Αυτό επιτυγχάνεται γιατί κάθε σταθμός μετάδοσης θα περιέχει περισσότερες κεραιές, μεταδίδοντας έτσι παραπάνω πληροφορία. Δύστυχος όμως υπάρχει ένα μεγάλο πρόβλημα. Το μικρότερο μήκος κύματος συνεπάγεται επίσης ότι το σήμα είναι πιο ευαίσθητο σε θόρυβο.

Οι πληροφορίες δηλαδή δεν μπορούν να μεταδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις και είναι εύκολο να αλλοιωθούν από εμπόδια. Τα millimeter waves του 5G έχουν εύρος λιγότερο από μισό χιλιόμετρο, σε σχέση με το 4G που φτάνει έως τα 16 χιλιόμετρα. Δεν είναι αρκετά ισχυρά ώστε να διαπερνούν τοίχους, ακόμα και η βροχή μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητά τους.

Η λύση είναι η εγκατάσταση σταθμών σε πολλά σημεία, ώστε το σήμα να μεταδίδεται από τον έναν στον άλλο, περνώντας έτσι γύρω από τα εμπόδια. Οι σταθμοί αυτοί δεν είναι σαν τους ογκώδεις πύργους που έχουμε συνηθίσει να βλέπουμε σε μεγάλο

υπόμετρο, καθώς έχουν μικρότερο μέγεθος και είναι πιο εύκολο να εγκατασταθούν σε διάφορα σημεία της πόλης, όπως για παράδειγμα σε κολώνες.

Η ύπαρξη πολλών μικρών σταθμών βάσης φέρνει το beamforming. Αντί λοιπόν να υπάρχει ένας μεγάλος σταθμός που εκπέμπει παντού στο χώρο, πολλοί μικροί τέτοιοι σταθμοί θα εκπέμπουν σήμα που θα κατευθύνεται στον στόχο, σαν μια ευθεία. Έτσι λοιπόν θα μειωθούν οι παρεμβολές, και θα έχουμε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας μαζί με πιο γρήγορες ταχύτητες.



Εικόνα 2.2: Η ιδέα για την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής της βασίζεται πάνω στην τεχνολογία 4G και κατά συνέπεια στις προγενέστερες τεχνολογίες WiMax και LTE.

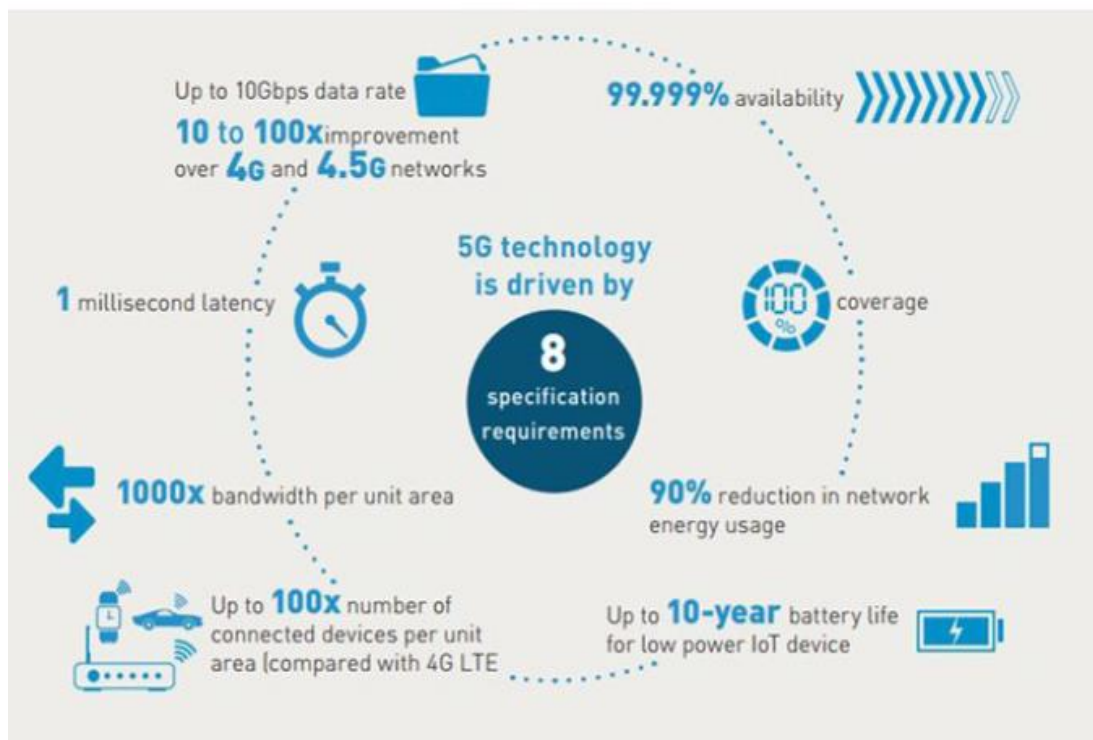
Σε αντίθεση με το LTE, το 5G λειτουργεί σε τρεις διαφορετικές ζώνες φάσματος. Ενώ αυτό μπορεί να μην φαίνεται σημαντικό, θα έχει δραματική επίδραση στην καθημερινή σας χρήση.

Το φάσμα χαμηλής ζώνης μπορεί επίσης να περιγραφεί ως φάσμα υπό 1 GHz. Το φάσμα χαμηλής ζώνης προσφέρει μεγάλη περιοχή κάλυψης και διείσδυση τοίχων. Οι κορυφαίες ταχύτητες δεδομένων θα ξεπεράσουν τα 100Mbps.

Το μεσαίο εύρος ζώνης παρέχει γρηγορότερες ταχύτητες και χαμηλότερη καθυστέρηση από τη χαμηλή ζώνη. Εντούτοις, αποτυγχάνει να διεισδύσει στα κτίρια τόσο αποτελεσματικά όσο ένα φάσμα χαμηλής ζώνης. Αναμένονται μέγιστες ταχύτητες έως 1Gbps στο φάσμα των μέσων ζωνών.

Το φάσμα υψηλών συχνοτήτων είναι αυτό που προσφέρει τις υψηλότερες επιδόσεις για 5G, αλλά με μεγάλες αδυναμίες. Συχνά αναφέρεται ως mmWave. Το φάσμα

υψηλών συχνοτήτων μπορεί να προσφέρει μέγιστες ταχύτητες μέχρι 10Gbps και έχει εξαιρετικά χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση. Το κύριο μειονέκτημα της υψηλής ζώνης είναι ότι έχει χαμηλή περιοχή κάλυψης και η διεύθυνση του κτιρίου είναι κακή.



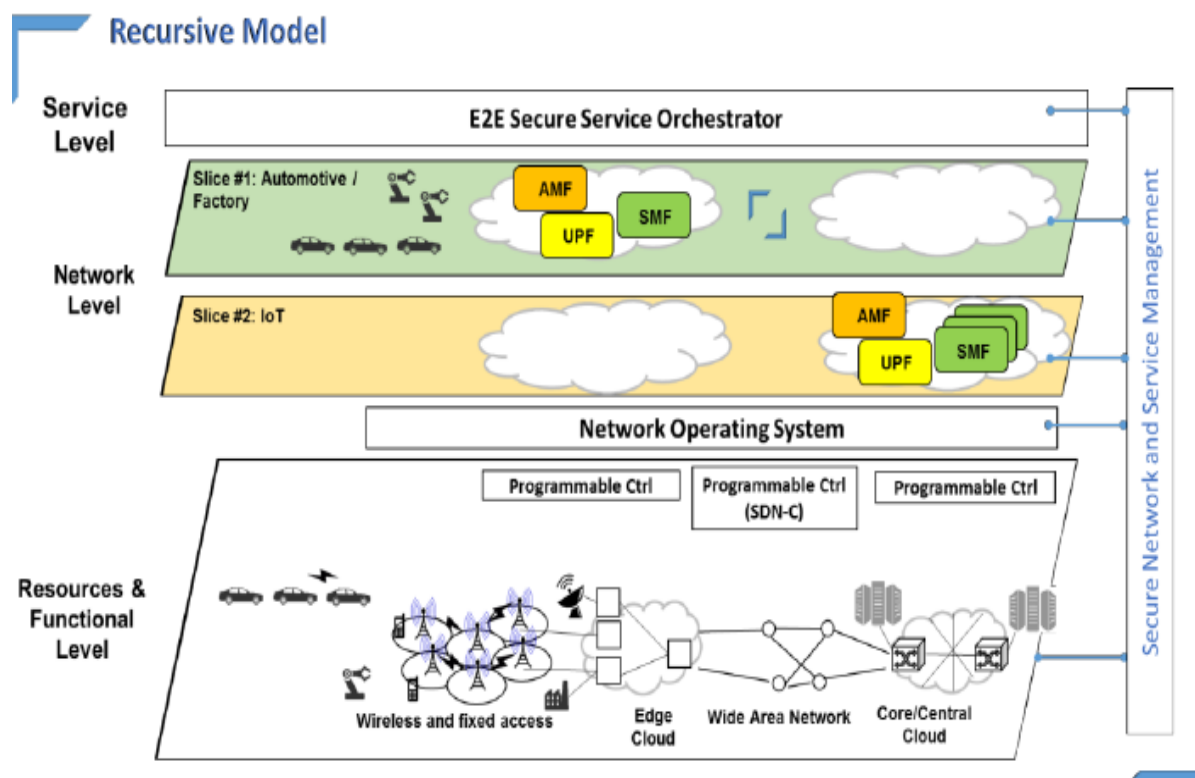
Εικόνα 2.3: Βασικά χαρακτηριστικά του 5G.

Καταλαβαίνουμε λοιπόν πως χρειάζεται μία αναδιάρθρωση της αρχιτεκτονικής του δικτύου όπως την ξέραμε μέχρι σήμερα, για να μπορέσει να υποστηρίξει πολλά “εικονικά” (virtual) δίκτυα σε μία κοινή φυσική υποδομή επιτρέποντας έτσι την ανάδειξη ενός προγραμματίσιμου δικτύου στο οποίο πολλές λειτουργίες του μπορούν να επιτευχθούν μέσω αλλαγής κώδικα. Πάνω σε αυτό το σκεπτικό στηρίζονται οι ερευνητές έχοντας καταλήξει στο συμπέρασμα πως το 5G πρέπει να κινείται πάνω στο virtualization, δηλαδή την εικονοποίηση του δικτύου, και όχι μόνο στην στήριξη των φυσικών υποδομών που μας είναι διαθέσιμες. Αυτή η προσέγγιση θα επιφέρει επαναστατικές αλλαγές στη διαμόρφωση του δικτύου και στη διαχείριση των πόρων του, καθώς θα ανοίξει νέους δρόμους που θα μπορούν να υποστηρίξουν τις πολυποίκιλες απαιτήσεις των χρηστών και των εφαρμογών που όλο και αυξάνονται. Στο virtualization του δικτύου θα βοηθήσουν κάποια εργαλεία και μέθοδοι, όπως το SDN (Software-Defined Networking) και το NFV (Network Functions Virtualization).

2.3 Αρχιτεκτονική

Τα ευρυζωνικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας τα τελευταία χρόνια υπόκεινται σε πολλές αλλαγές και αναβαθμίσεις έτσι ώστε να μπορέσει η αρχιτεκτονική τους και η τεχνολογία τους να συμβαδίζουν με τις απαιτήσεις των πελατών.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί πληθώρα αρχιτεκτονικών για το 5G δίκτυο έτσι ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες σε πόρους, ταχύτητα εξυπηρέτησης όλων των αιτημάτων κτλ.



Εικόνα 2.4: Γενική Αρχιτεκτονική 5G.

Η ένταξη πολλών νέων συσκευών στο δίκτυο και η σύνδεση μεταξύ τους, ανοίγει τον δρόμο σε μία πληθώρα νέων εφαρμογών και υπηρεσιών καθώς και στη σχεδίαση νέων επιχειρησιακών μοντέλων που μπορούν να αναδείξουν τον αυτοματισμό σε αρκετούς νέους τομείς τεχνολογίας (π.χ. ενέργεια, e-health, smart city, συνδεδεμένα αυτοκίνητα κτλ.).

Πέρα από τις πλέον διαδεδομένες χρήσεις του bandwidth σε εφαρμογές που είναι κυρίως ανθρωποκεντρικές όπως είναι το 4K video streaming, το 5G δίκτυο υποστηρίζει και εφαρμογές που έχουν να κάνουν με επικοινωνία machine-to-machine αλλά και machine-to-human για να κάνουν την ζωή των ανθρώπων πιο εύκολη αλλά και πιο ασφαλή.

Στην εικόνα 3.1, παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική των ευρυζωνικών δικτύων πέμπτης γενιάς και απεικονίζει περιληπτικά τις βασικές οντότητες που υπάρχουν στο 5G και παίζουν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο. Παρακάτω θα κάνουμε μία σύντομη αναφορά στο καθένα.

Resource & Functional Level

Το επίπεδο αυτό περιέχει τους φυσικούς πόρους που χρησιμεύουν για την επικοινωνία, τους υπολογισμούς και την αποθήκευση των Core Network, Internet κτλ. Πιο αναλυτικά έχουμε:

- Wireless and Fixed Access: Πρόκειται για μία τεχνολογία που παρέχει πρόσβαση στο Internet στα σπίτια, χρησιμοποιώντας τεχνολογία ασύρματου δικτύου αντί για γραμμές που είχαμε μέχρι τώρα. Παρόλο που η τεχνολογία FWA είναι αρκετά πιο απλή και γρήγορη, το μόνο μειονέκτημά της είναι η απόδοση σε σχέση με τις fixed γραμμές. Παρόλα αυτά, έχει γνωστοποιηθεί πως τα επόμενα στάδια της FWA θα χρησιμοποιούν τεχνολογίες 5G όπως το beamforming και τα mmWaves, ώστε να βελτιωθεί δραστικά η απόδοση της.
- Edge Cloud: Το cloud computing έχει παίξει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των κινητών δικτύων τα τελευταία χρόνια καθώς προσφέρει ευελιξία που δεν υπήρχε πιο πριν και μειώνει δραματικά το κόστος αυξάνοντας παράλληλα τη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών. Το μόνο μειονέκτημα είναι πως δεν μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες με πολύ χαμηλό latency και μεγάλο throughput. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το μειονέκτημα και να μπορέσουμε να βελτιώσουμε τους χρόνους απόκρισης των διαφόρων λειτουργιών διαχείρισης του 5G που “τρέχουν” στο Core Cloud, μεταφέρουμε ορισμένες λειτουργίες πιο κοντά, με τη βοήθεια του Edge Cloud.
- Wide Area Network: Είναι ένα σύνολο υπολογιστών που εκτείνονται σε μία ευρεία γεωγραφική περιοχή και δημιουργούν μεταξύ τους ένα δίκτυο επικοινωνίας. Τυπικά ένα WAN διασυνδέει μεταξύ τους τοπικά δίκτυα υπολογιστών. Για τη διασύνδεση αυτή χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα μισθομένες δημόσιες τηλεπικοινωνιακές γραμμές ή μερικές φορές και δορυφορικές τηλεπικοινωνίες. Το γνωστότερο WAN είναι το Internet.
- Core/Central Cloud.

Network Operating System & Network level

Συνεργάζονται με τα Programmable Network Control Units. Και τα δύο βοηθάνε στο virtualization του physical network. Πιο συγκεκριμένα το Network Operating System πρόκειται για ένα λειτουργικό σύστημα που έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά και μόνο για την υποστήριξη workstations, sharing βάσεων δεδομένων, sharing εφαρμογών μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών στο δίκτυο. Μερικά παραδείγματα Network Operating Systems είναι τα Artisoft's LANtastic, Banyan VINES, Novell's NetWare και Microsoft's LAN Manager κτλ.

Τα Network Operating Systems και Programmable Network Control Units πραγματοποιούν virtualization του φυσικού δικτύου όπως αναφέραμε και πιο πάνω και έτσι δημιουργούνται τα διάφορα network slices που το καθένα εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία και εξυπηρετεί κάποιο σκοπό. Το network level φιλοξενεί όλα αυτά τα slices που το καθένα χρησιμοποιεί διαφορετικούς πόρους (υπολογιστικούς, δικτυακούς κτλ.) για να παρέχει υπηρεσίες στους πελάτες.

Service Level

Πρόκειται για ένα από τα πιο σημαντικά επίπεδα στην αρχιτεκτονική του 5G. Η δυνατότητα του να μπορούμε να υποστηρίξουμε μία πληθώρα υπηρεσιών ταυτόχρονα και με δυναμικό τρόπο, είναι το στοιχείο που θα διαφοροποιήσει το 5G από τα δίκτυα προηγούμενων γενεών.

Στο service level, τα slices που αναφέραμε παραπάνω είναι οργανωμένα και ακολουθούν έναν προκαθορισμένο συντονισμό μέσω συναρτήσεων management.

2.4 Τεχνολογίες δικτύων 5^{ης} γενιάς

Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του χρήστη και για να ξεπεραστούν οι προκλήσεις που απαιτούνται για να θεωρείται ένα σύστημα 5ης γενιάς τότε χρειάζεται μια δραστική αλλαγή στο σχεδιασμό της κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής του 5G.

Για να ικανοποιηθούν τα πιο πάνω πρέπει να ακολουθηθούν και να υλοποιηθούν τεχνικές όπως SDN και NFV. Το 5G θα σχεδιαστεί στοχεύοντας στην καλύτερη ευελιξία και επεκτασιμότητα για αυτό το λόγο οι πάροχοι υπηρεσιών θα ενσωματώσουν τις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν αλλά και άλλες για αντιμετώπιση άλλων προβλημάτων.

Μια γενική προεπισκόπηση έδειξε ότι ασύρματοι χρήστες ενός δικτύου μένουν εντός γύρω στο 80 τις εκατό και εκτός το υπόλοιπο. Στα ασύρματα δίκτυα σήμερα είναι σημαντικό ένας χρήστης να μπορεί να επικοινωνεί είτε είναι εντός η εκτός. Για αυτό το λόγο οι χρήστες θα πρέπει να μπορούν να επικοινωνήσουν με ένα σταθμό βάσης, με τα σήματα να μπορούν να ταξιδέψουν μέσω εμποδίων μειώνοντας όμως έτσι την απόδοση του φάσματος.

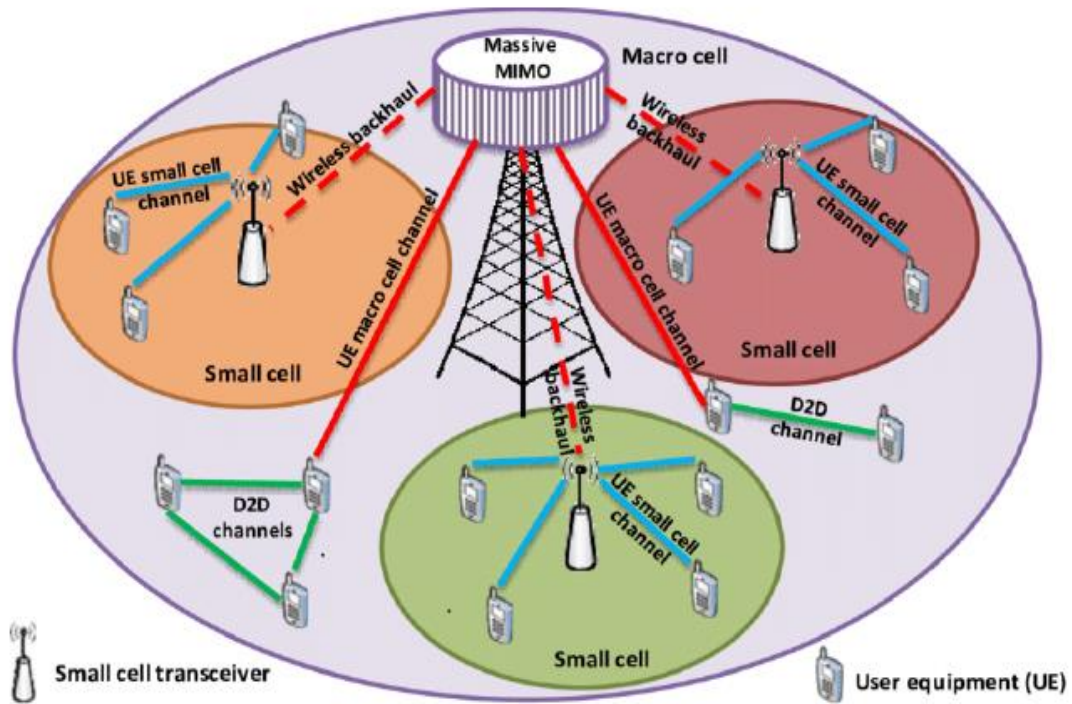
Για να αντιμετωπιστεί αυτό προτάθηκε η τεχνολογία MIMO με πολλαπλές κεραίες για ενίσχυση του σήματος αλλά και για κάλυψη μεγαλύτερης περιοχής. Για τις επικοινωνίες εντός, τεχνολογίες όπως Wi-Fi, Small Cell, Ultra Wideband, Millimeter Wave και οπτικές ίνες είναι χρήσιμες για επικοινωνία μικρής κάλυψης με μεγάλο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

1. Νέες ραδιοσυχνότητες

Η εναέρια διεπαφή που ορίστηκε από τον οργανισμό 3GPP για το 5G είναι γνωστή ως NR (New Radio) και διαιρείται σε δύο ζώνες συχνοτήτων. Την FR1 (κάτω από 6GHz) και FR2 (mmWave) και η καθεμία με διαφορετικές ικανότητες.

2. Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Οι μαζικές κεραίες MIMO αυξάνουν την απόδοση του τομέα και την πυκνότητα χωρητικότητας χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό κεραιών και πολλαπλών χρηστών MIMO. Κάθε κεραία ελέγχεται μεμονωμένα και μπορεί να ενσωματώνει εξαρτήματα ραδιοφωνικού πομποδέκτη.



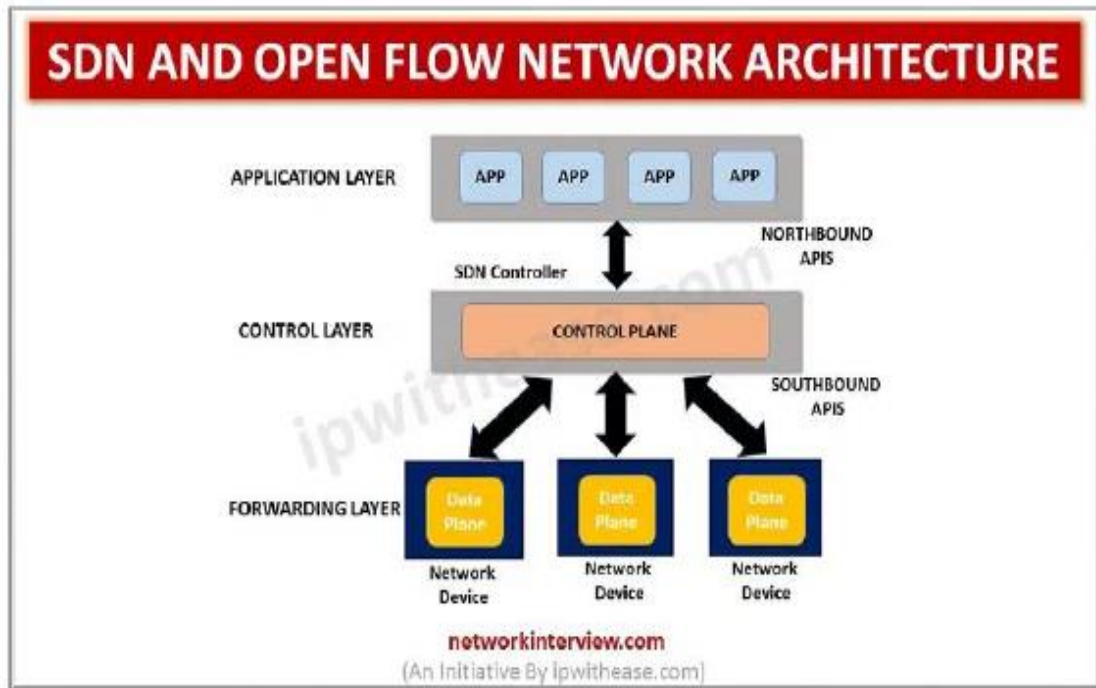
Εικόνα 2.5: Μαζικές κεραίες MIMO.

3. Beamforming

Το beamforming χρησιμοποιείται για να κατευθύνει τα ραδιοκύματα σε συγκεκριμένο στόχο-χρήστη. Αυτό επιτυγχάνεται συνδυάζοντας στοιχεία με τέτοιο τρόπο ώστε τα σήματα σε συγκεκριμένες γωνίες να δέχονται σωστή παρέμβαση ενώ άλλα δέχονται καταστροφικές παρεμβολές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να βελτιώσει την ποιότητα του σήματος και τις ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Η πέμπτη γενιά ασύρματων δικτύων χρησιμοποιεί μορφοποίηση στη δέσμη με τη χρήση κεραιών σταδιακής συστοιχίας.

4. SDN (Software Defined Networking)

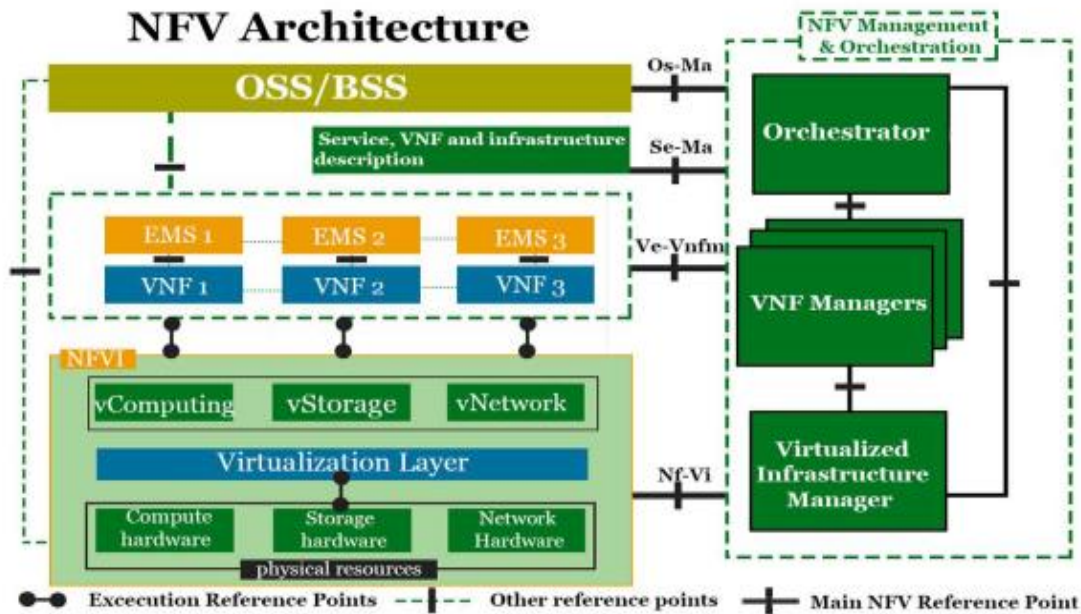
Η τεχνολογία SDN είναι μια αρχιτεκτονική στην οποία οι σταθμοί βάσης είναι προγραμματιζόμενοι και ελεγχόμενοι από έναν κεντρικό ελεγκτή. Η αρχιτεκτονική SDN χωρίζεται σε τρία στοιχεία, εφαρμογής, ελέγχου και υποδομής. Πρόκειται για μια προσέγγιση που για τα ασύρματα δίκτυα που επιτρέπει στους διαχειριστές να ελέγχουν και να διαχειρίζονται τους εξυπηρετητές από το χαμηλότερο επίπεδο λειτουργικότητας.



Εικόνα 2.6: Αρχιτεκτονική SDN.

5. NFV (Network Function Virtualization)

Το NFV είναι υπεύθυνο για την κληρονομικότητα. Με αυτό θέλουμε να πούμε ότι το NFV εικονοποιεί σύνολο λειτουργιών του δικτύου οι οποίες συγκεντρώνονται και συνδέονται ούτως ώστε να μπορούν να δημιουργηθούν υπηρεσίες που υπήρχαν σε προηγούμενες γενιές δικτύων. Το NFV διαδέχεται τον κλασικό server virtualization που μπορεί με πολλές εικονικές μηχανές να προγραμματίσει διάφορα λειτουργικά συστήματα, λογισμικά και λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα μεταφέρει εφαρμογές δικτυακού ή τηλεπικοινωνιακού τύπου που λειτουργούν σε εξειδικευμένες πλατφόρμες.



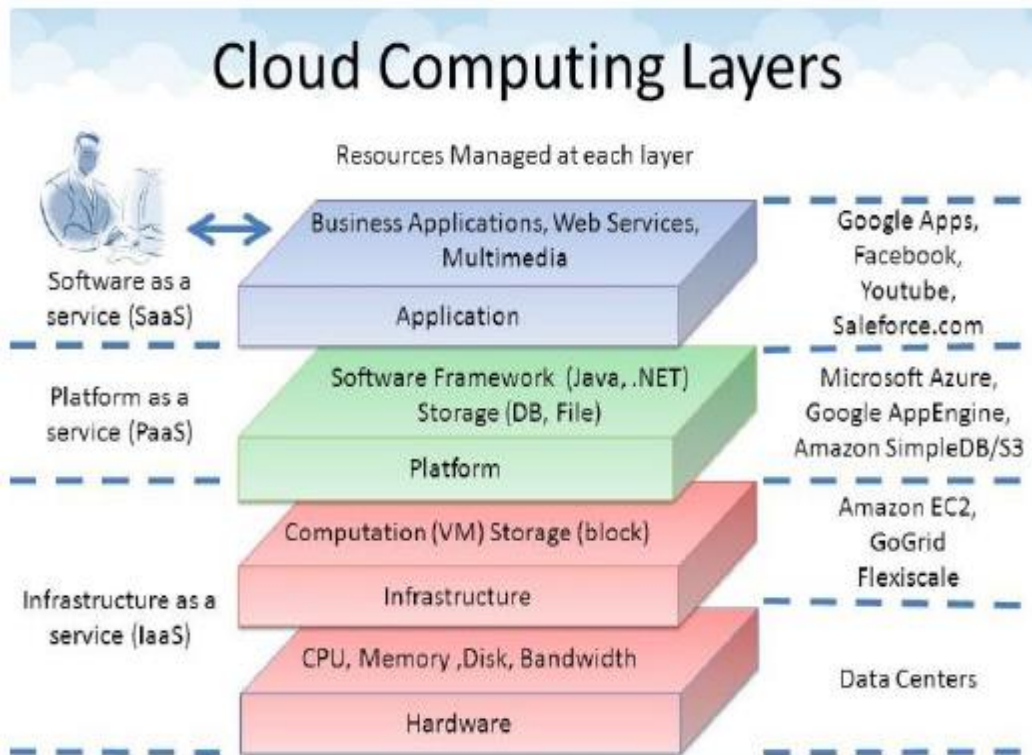
Εικόνα 2.7: Αρχιτεκτονική NFV.

6. UDD (Ultra Dense Deployments)

Η ποσότητα του διαθέσιμου φάσματος δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της ανερχόμενης τεχνολογίας 5G. Τα 5G δίκτυα θα λειτουργούν σε φάσμα συχνοτήτων με διαφορετικά χαρακτηριστικά από τις προηγούμενες γενεές δικτύων. Ένα βασικό κομμάτι των 5G είναι η πυκνή τοποθέτηση Small Cells που θα συνυπάρχουν μαζί με Microcells και Macrocells αλλά και με άλλα συστήματα όπως Wi-Fi, LTE/A και HSPA δημιουργώντας ετερογενή δίκτυα. Έτσι δημιουργούνται πολύ πυκνά cells. Η πύκνωση λοιπόν που προκύπτει στα δίκτυα παίζει σημαντικό ρόλο καθώς οδηγούν στην μέγιστη επαναχρησιμοποίηση του εύρους ζώνης αλλά και στη μείωση της απώλειας μετάδοσης.

7. Cloud Computing

Το cloud computing προσφέρει μηχανισμούς με τους οποίους οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε τεράστιο αριθμό εικονικών πόρων. Αποτελεί το μέσο που προσφέρει μηχανισμούς στους παρόχους με τους οποίους δίνουν πρόσβαση στους χρήστες σε εικονικούς πόρους. Το cloud computing αποτελείται από τρία επίπεδα, το IaaS, το PaaS και το SaaS.



Εικόνα 2.8: Επίπεδο αρχιτεκτονικής Cloud Computing.

8. Millimeter Wave (mmWave)

Πιο πάνω αναφέραμε τις νέες ραδιοσυχνότητες που προσφέρουν τα 5G δίκτυα και τις δύο κατηγορίες FR1, FR2 που θα εκπέμπουν. Η FR2 (mmWave) είναι μια πολύ υποσχόμενη τεχνολογία για τα 5G δίκτυα καθώς παρέχει πολλαπλά giga bits ανά δευτερόλεπτο στη συσκευή του χρήστη. Λειτουργεί σε μια ζώνη συχνοτήτων του εύρους των 30 GHz έως 300 GHz. Χρησιμοποιώντας την D2D επικοινωνία στα mmWave κυψελωτά δίκτυα τότε μπορούμε να έχουμε ένα αριθμό άμεσων ταυτόχρονων συνδέσεων το οποίο οδηγεί στην αυξημένη χωρητικότητα του δικτύου.



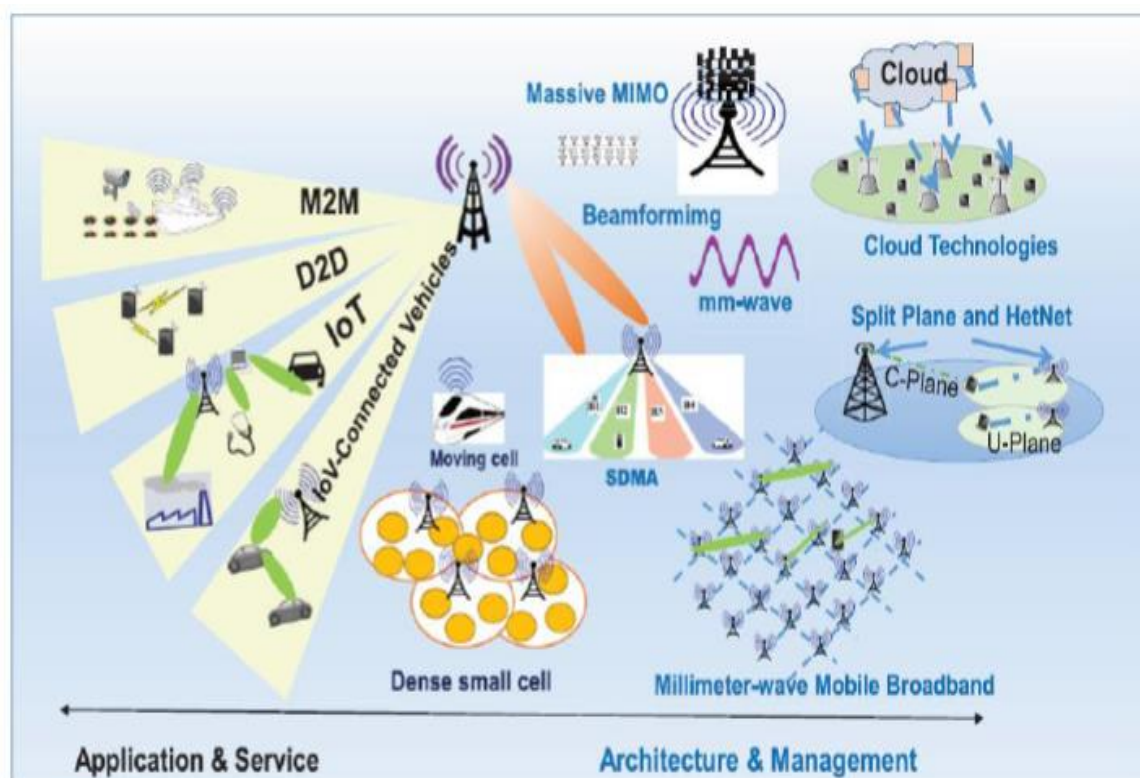
Εικόνα 2.9: mmWave Σήματα.

9. HetNets (Heterogenous Networks)

Ένας τρόπος αντιμετώπισης της τεράστιας αύξησης στην κίνηση στα ασύρματα δίκτυα είναι η δημιουργία μεγάλου αριθμού μικρών κυψελών δημιουργώντας έτσι τα ετερογενή δίκτυα. Αποτελούνται από μικρές κυψέλες με χαμηλή απόδοση ισχύος με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου και την αύξηση της κάλυψης του σταθμού βάσης.

10. D2D Communication (Device to Device)

Η επικοινωνία D2D στα κινητά δίκτυα ορίζεται ως η άμεση επικοινωνία που επιτυγχάνεται μεταξύ δύο χρηστών χωρίς την παρέμβαση του σταθμού βάσης ή του πυρήνα του δικτύου. Οι επικοινωνίες D2D σε συγκεκριμένα σενάρια μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τη φασματική απόδοση του δικτύου.



Εικόνα 2.10: Εφαρμογές, τεχνολογίες και υπηρεσίες 5ης γενιάς δικτύων.

2.5 Εφαρμογές

Νέες υπηρεσίες και περιπτώσεις χρήσης προβλέπονται για το 5G, όπου θα παίξουν κυρίαρχο ρόλο στην τεχνολογία. Κάποιες περιπτώσεις χρήσης ίσως απαιτούν πολλαπλές διαστάσεις για βελτιστοποίηση ενώ άλλες εστιάζουν μόνο σε έναν δείκτη απόδοσης. Πάντως, μια από τις κύριες προκλήσεις για το 5G θα είναι να υποστηρίξει

τέτοιες ποικίλες περιπτώσεις με έναν ευέλικτο και αξιόπιστο τρόπο. Οι γενικές υπηρεσίες που αναμένεται να προσφερθούν κατηγοριοποιούνται ως αυξημένη κινητή ευρύ-ζωνικότητα (enhanced Mobility Broad Band - eMBB), μαζική επικοινωνία συσκευών (machine Massive Type Communication - mMTC) και αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνία (Ultra Reliable Low Latency Communication - URLLC).

Ένας πιο αναλυτικός χαρακτηρισμός των υπηρεσιών αυτών μπορεί να επεξηγηθεί ως εξής:

- **eMBB.** Η υπηρεσία κινητής ευρείας ζώνης μπορεί να υποστηρίξει σταθερές συνδέσεις με πολύ υψηλό ρυθμό δεδομένων, αλλά και αξιόλογους ρυθμούς για τους χρήστες σε οριακές συνθήκες κελιού.
- **mMTC.** Η υπηρεσία μαζικής επικοινωνίας συσκευών τύπου μηχανής, είναι σε θέση να υποστηρίξει συσκευές του Internet of Things, που σποραδικά αναμεταδίδουν μόνο μικρά πακέτα πληροφορίας.
- **URLLC.** Οι επικοινωνίες που απορρέουν από την παρούσα υπηρεσία υποστηρίζουν χαμηλές καθυστερήσεις για μεταδόσεις μικρών όγκων δεδομένων, με πολύ υψηλή αξιοπιστία.

Στα πλαίσια των παραπάνω υπηρεσιών, έχουν καθοριστεί ομάδες χρήσης, στις οποίες αναπτύσσονται οι κατηγορίες υπηρεσιών. Ομάδες χρήσης αποτελούν τα πυκνά περιβάλλοντα (Dense Urbans), τα διασυνδεδεμένα οχήματα (Connected Vehicles), τα μελλοντικά έξυπνα σπίτια (Smart Homes), δίκτυα IoT καθώς και το απτικό διαδίκτυο (Tactile Internet).

Μια πιο τυπική κατάταξη των ομάδων χρήσης είναι:

- Υπηρεσίες broadband - Χαμηλό εύρος ζώνης για IoT
- Μελλοντικά έξυπνα γραφεία - Διασυνδεδεμένα οχήματα
- Απτικό Διαδίκτυο

Η παραπάνω κατάταξη είναι βασισμένη σε μετρικές ανάλογα με την εμπειρία της υπηρεσίας για κάθε πελάτη, όπως:

- Πυκνότητα συσκευής (Device density)
- Κινητικότητα (Mobility)
- Αξιοπιστία (Reliability)
- Τύπος υπηρεσίας 5G (mMTC, URLLC, eMBB)
- Ρυθμός δεδομένων χρήστη (User data rate)

Η τεχνολογία 5G αποτελεί μια τεχνολογία η οποία υποστηρίζει ετερογενείς υπηρεσίες και μπορεί να προσφέρει αδιάλειπτη συνδεσιμότητα σε όλο τον κόσμο. Πιο συγκεκριμένα βοηθάει σε καθημερινές ανθρώπινες ανάγκες είτε σε προσωπικό είτε σε επαγγελματικό επίπεδο. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε μερικούς από τους λόγους για τους οποίους αξίζει η χρήση της τεχνολογίας 5G.

Δυνατότητα παρακολούθησης σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου.

Με αυτό τον τρόπο μειώνεται σε σημαντικό βαθμό η εγκληματικότητα. Ουσιαστικά η τεχνολογία 5G μπορεί να συμβάλει στην αναζήτηση ή ακόμη και στον εντοπισμό ενός αγνοούμενου οπουδήποτε και αν βρίσκεται.

Δυνατότητα αύξησης του εύρους ζώνης για όλους τους χρήστες.

Το εύρος ζώνης είναι η ποσότητα δεδομένων που είναι διαθέσιμη για τους χρήστες. Ουσιαστικά μπορούν να κατεβάσουν αρχεία, να προβάλουν ιστοσελίδες και να παρακολουθήσουν βίντεο και οτιδήποτε άλλο επιθυμούν. Οι έξυπνες συσκευές που λειτουργούν σε ένα δίκτυο 5G θα λειτουργούν με ταχύτητες που είναι χιλιάδες φορές πιο γρήγορες από ό, τι σε ένα δίκτυο 4G. Πολλές εργασίες που θα μπορούσαν να εκτελεστούν μόνο σε επιτραπέζιους ή φορητούς υπολογιστές στο παρελθόν θα έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιηθούν ξαφνικά σε μια έξυπνη συσκευή.

Δυνατότητα μεγαλύτερης χωρητικότητας από το υπάρχον δίκτυο 4G.

Αναμένεται ότι θα αυξήσει τα ποσοστά δεδομένων πέραν του 1GB ανά δευτερόλεπτο και θα προσφέρει υψηλότερη ευρυζωνική πυκνότητα στους χρήστες. Θα υπάρξει χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση και χαμηλή κατανάλωση μπαταρίας ενώ θα χρησιμοποιηθεί 5G, έτσι θα αυξήσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας έως και 10 χρόνια και θα μειώσει τη χρήση ενέργειας δικτύου κατά 90%.

Δυνατότητα πολλαπλής πρόσβασης σε ταυτόχρονες συνδέσεις με υψηλό ρυθμό.

Η φασματική απόδοση θα αυξηθεί στο δίκτυο 5G ώστε να προσφέρει καλύτερη χρήση smartphones αυξάνοντας την ταχύτητά τους. Επίσης θα εισαγάγει εικονική πραγματικότητα στον τομέα των smartphones, η 5G θα προσφέρει τη μεγαλύτερη αλλαγή ξεκινώντας από την εποχή των έξυπνων αυτοκινήτων και των έξυπνων κατοικιών.

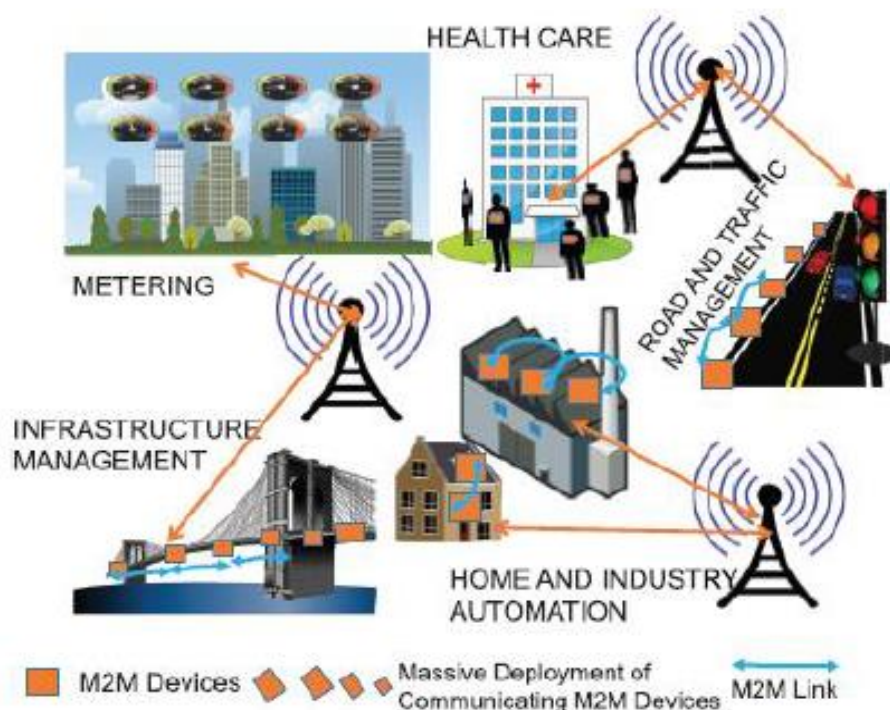
Δυνατότητα προηγμένων λειτουργιών εν συγκρίσει με το 4G.

Το εύρος ζώνης δεδομένων σε 4G είναι 2Mbps σε 1Gbps, 5G δίκτυο θα επιτρέψει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, δηλαδή υψηλότερο από 1Gbps. Η ζώνη συχνοτήτων θα είναι

επίσης πολύ υψηλή σε σύγκριση με το 4G. Το 5G δίκτυο θα ακολουθήσει τα πρότυπα CDMA και BDMA.

M2M (Machine to Machine).

Όπως η D2D επικοινωνία, έτσι και η M2M επικοινωνία αναμένεται να είναι σημαντική βελτίωση στα δίκτυα 5G. Τα χαρακτηριστικά των επικοινωνιών M2M περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένα δεδομένα περιαγωγής, επεξεργασία, μεταφορά και ανταλλαγή δεδομένων με ελάχιστη ανθρώπινη πρόσβαση. Σε αντίθεση με την D2D επικοινωνία, η M2M θα βρίσκονται σε θέση να συνδέσουν τεράστιο αριθμό συσκευών μεταξύ τους.



Εικόνα 2.11: Εφαρμογές της επικοινωνίας M2M.

Internet of Things (IoT).

Το IoT οραματίζεται την δημιουργία εκατομμυρίων ταυτόχρονων συνδέσεων που περιλαμβάνουν ποικιλία συσκευών, σπίτια, δίκτυα και συστήματα μεταφορών. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με την έλευση ενός υψηλού εύρους ζώνης σαν αυτό που υπόσχονται τα 5G δίκτυα. Τα έξυπνα αντικείμενα που θα ενεργοποιηθούν με τη βοήθεια των δικτύων 5ης γενιάς αναμένεται να αποτελέσουν τη βάση του σχεδιασμού και της υλοποίησης του IoT.



Εικόνα 2.12: Σχεδιάγραμμα του Internet of Things.

Υγεία (Health care).

Προηγμένες τεχνολογίες αισθητήρων και επικοινωνιών άνοιξαν νέες δυνατότητες παρακολούθησης της υγείας. Η συλλογή και η παρακολούθηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που θα μπορεί να επιτευχθεί με το εύρος ζώνης των 5G, διάφορες εφαρμογές που αφορούν την υγεία θα είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν βελτιώνοντας και επιλύοντας μεγάλες προσκλήσεις της υγειονομικής περίθαλψης του ανθρώπου.

Η δυνατότητα χρήσης της τεχνολογίας 5G στην υγεία:

- Τηλεϊατρική
- Παρακολούθηση ασθενών από απόσταση
- Αυξημένη και εικονική πραγματικότητα
- Ανάλυση δεδομένων
- Αποκέντρωση του μοντέλου υγειονομικής περίθαλψης
- Μεγάλες μεταφορές αρχείων



Εικόνα 2.13: Υγεία και 5G τεχνολογία.

Επίσης θα αναπτυχθούν εικονικά δίκτυα προσαρμοσμένα σε κάθε περίπτωση χρήσης (use case) όπου τα 5G θα είναι σε θέση να υποστηρίζουν όλες τις ανάγκες επικοινωνίας από δίκτυα τοπικού δικτύου (LAN) χαμηλής κατανάλωσης, όπως οικιακά δίκτυα, σε δίκτυα WAN (Wide Area Networks), με τις σωστές ρυθμίσεις καθυστέρησης και ταχύτητας.

Ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζεται αυτή η ανάγκη σήμερα είναι η συγκέντρωση μιας μεγάλης γκάμας δικτύων επικοινωνίας (Wi-Fi, LoRa, 3G, 4G κτλ.). Το 5G έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει απλές διαμορφώσεις εικονικών δικτύων για καλύτερη ευθυγράμμιση του κόστους δικτύου με τις ανάγκες των εφαρμογών. Αυτή η νέα προσέγγιση θα επιτρέψει στους φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας 5G να είναι σε θέση να προσφέρουν οικονομικά αποδοτικές λύσεις για εφαρμογές χαμηλής ευρυζωνικότητας και χαμηλής ισχύος.

2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Το 5G προσφέρει μια ευρεία γκάμα χαρακτηριστικών, που έχουν οφέλη για όλες τις ομάδες ανθρώπων όπως μαθητές, γιατροί, μηχανικοί, δάσκαλοι ή ακόμη και απλοί χρήστες.

Γενικότερα πλεονεκτήματα 5G τεχνολογίας είναι:

- Ρυθμοί δεδομένων της τάξης των 10 Gbps, που θα οδηγήσουν σε μεγαλύτερες upload και download ταχύτητες.

- Βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη(καλύτερο QoS).
- Η ελάχιστη καθυστέρηση θα οδηγήσει σε μικρότερο φόρτο εργασίας στους σταθμούς βάσης λόγω της άμεσης εγκαθίδρυσης σύνδεσης στο 5G δίκτυο.
- Μεγαλύτερο εύρος ζώνης λόγω του carrier aggregation, τεχνικής, όπου πολλαπλά blocksυχνότητας ανατίθενται στον ίδιο χρήστη. Το μικρότερο μέγεθος κεραίας, που απαιτείται σε υψηλότερες συχνότητες, θα οδηγήσει σε MIMO κεραίες για την επίτευξη υψηλότερων data rates.
- Το handoff (δηλαδή η μετάβαση του χρήστη σε διαφορετική τηλεπικοινωνιακή κυψέλη) θα είναι πιο ομαλό και δεν θα επηρεάζει την μετάδοση δεδομένων.
- Πιθανή παροχή ενιαίας, αδιάκοπης, σταθερής συνδεσιμότητας σε όλα τα μήκη και τα πλάτη του κόσμου.
- Τεχνολογική υποστήριξη για ετερογενής υπηρεσίες.
- Πιο αποδοτική σε όλους τους τομείς τεχνολογία σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές.
- Συγκέντρωση όλων των δικτύων σε μία πλατφόρμα.
- Τυπικά το 5G θα προσφέρει 10 φορές μεγαλύτερο throughput, 10 φορές μικρότερη καθυστέρηση, 10 φορές μεγαλύτερη πυκνότητα σύνδεσης, 3 φορές μεγαλύτερη φασματική αποδοτικότητα, 100 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα κίνησης και 100 φορές μεγαλύτερη αποδοτικότητα δικτύου.

Πλεονεκτήματα για τους απλούς χρήστες είναι:

- Ευκολότερη εκπαίδευση, καθώς ένας μαθητής από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου θα μπορεί να παρακολουθεί μαθήματα.
- Παράλληλες πολλαπλές υπηρεσίες.
- Ευκολότερη παροχή ιατρικής περίθαλψης. Για παράδειγμα, ένας γιατρός θα μπορεί να περιθάλπει ασθενή από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου.
- Ευκολότερη παρακολούθηση οποιουδήποτε μέρους του κόσμου που θα οδηγήσει σε μείωση της εγκληματικότητας αλλά και στην εύρεση αγνοουμένων.
- Οπτικοποίηση πλανητών, γαλαξιών.
- Κάποια πιθανή οικολογική καταστροφή θα είναι πιο γρήγορα ανιχνεύσιμη.

Όμως, για λόγους ασφαλείας, αλλά και έλλειψης της απαιτούμενης τεχνολογικής υποδομής και εξέλιξης στα περισσότερα μέρη του κόσμου υπάρχουν και τα αναμενόμενα μειονεκτήματα.

Μειονεκτήματα της 5G τεχνολογίας είναι:

- Η έρευνα και η ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι ακόμη υπό εξέλιξη γι' αυτό και δεν μπορεί να είναι ακόμη πλήρως λειτουργική και χωρίς προβλήματα.
- Η ταχύτητα, που υπόσχεται αυτή η τεχνολογία φαίνεται δύσκολο να επιτευχθεί κυρίως λόγω της ελλιπούς τεχνολογικής υποστήριξης στην πλειοψηφία του πλανήτη.
- Απαιτείται η αλλαγή του εξοπλισμού του χρήστη (smartphones, tablets κλπ.) με νέο που θα είναι συμβατός με το 5G. Ο εξοπλισμός του χρήστη για τα 5G δίκτυα όμως είναι ακριβός.
- Η ανάπτυξη της απαιτούμενης υποδομής κοστολογείται ακριβά.
- Υπάρχουν ακόμη θέματα ασφαλείας και privacy, για τα οποία θα υπάρξει κάποιος χρόνος μέχρι να λυθούν.
- Απαιτούνται έμπειροι μηχανικοί για την εγκατάσταση και την συντήρηση των 5G δικτύων.
- Στις υψηλές συχνότητες τα τηλεπικοινωνιακά σήματα παρουσιάζουν μεγάλες απώλειες για αυτό και η 5G mmWave μετάδοση, δηλαδή η μετάδοση κυμάτων της τάξης των millimeters παρουσιάζει διάφορες απώλειες όπως αυτές που οφείλονται στην βροχή ή την ανικανότητα διάτρησης στερεών αντικειμένων, επειδή το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΑΠΟ ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΗ (Device to Device, D2D)

3.1 Εισαγωγή

Η επικοινωνία Device to Device (D2D) ορίζεται κατά κύριο λόγο ως η άμεση επικοινωνία μεταξύ δύο χρηστών κινητών τηλεφώνων χωρίς να χρειαστεί μεσολάβηση από κάποια σταθμό βάσης (BS) ή ένα κεντρικό δίκτυο. Στα κυψελοειδή δίκτυα η επικοινωνία αυτή μπορεί να συμβεί στις κυψελοειδείς συχνότητες (δηλαδή, inband) ή σε κάποιο φάσμα (δηλαδή, outband). Με τον όρο κυψελοειδείς συχνότητες εννοούμε όλα τα σύνολα εύρους συχνοτήτων εντός της εξαιρετικά υψηλής συχνότητας ζώνης που χρησιμοποιείται για κινητές συσκευές, ενώ η διαχείριση του φάσματος είναι η διαδικασία ρύθμισης της χρήσης ραδιοσυχνοτήτων για την αποτελεσματικότερη χρήση των τηλεπικοινωνιών.

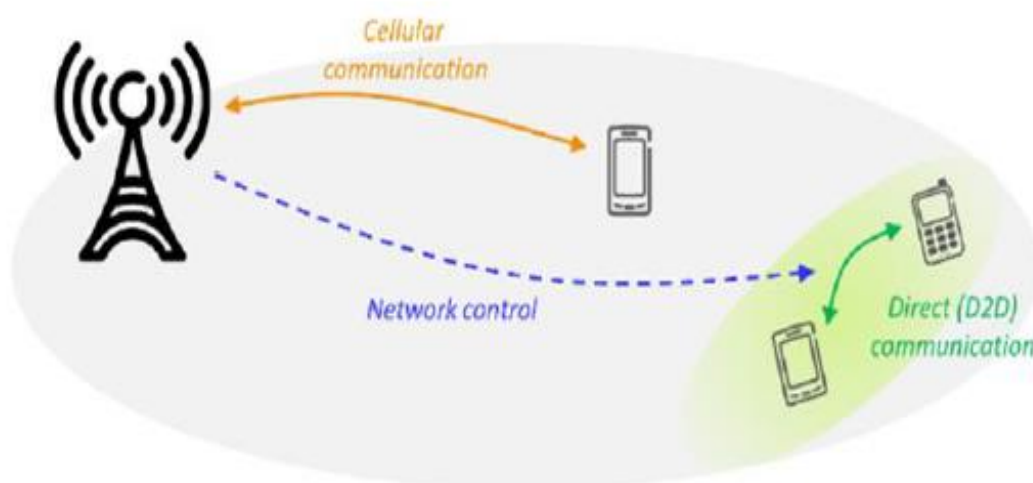
Σε αντίθεση με την επικοινωνία Device to Device (D2D), σε ένα παραδοσιακό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, όλες οι επικοινωνίες πρέπει να περνούν μέσω του BS. Η επικοινωνία τέτοιου τύπου συνηθίζεται σε συμβατικές υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας χαμηλού ρυθμού δεδομένων, όπως φωνητική κλήση και ανταλλαγή μηνυμάτων κειμένου. Σήμερα όμως, οι χρήστες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν υπηρεσίες που απαιτούν υψηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων όπως για παράδειγμα παιχνίδια, και μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Στην περίπτωση που οι χρήστες βρίσκονται σε μικρή εμβέλεια η οποία επιτρέπει άμεσες επικοινωνίες (D2D) θα μπορούσε να αυξηθεί σημαντικά η φασματική απόδοση του δικτύου, να μειωθεί η καθυστέρηση καθώς επίσης και η απαιτούμενη ενέργεια.

Η επικοινωνία Device to Device (D2D) είναι μια νέα τεχνολογία που μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα για το LTE δίκτυο. Εκτός από την υψηλότερη φασματική απόδοση ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι οι ασύρματες υπηρεσίες peer to peer (P2P) και για αυτό θεωρείται πολλά υποσχόμενη τεχνική για το ασύρματο σύστημα επικοινωνιών 5G. Τα τελευταία χρόνια, η εκθετική αύξηση της κυκλοφορίας δεδομένων έχει φανερώσει την ανάγκη για ανάπτυξη του Δικτύου Evolution-Advanced (LTE-A). Επομένως, το κίνητρο για το D2D προέρχεται απευθείας από τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις του χρήστη. Οι επικοινωνίες D2D θα εξυπηρετούν συγκεκριμένες μελλοντικές ανάγκες και θα επιτρέψουν νέους τύπους υπηρεσιών.

Αυτό τις καθιστά βασική τεχνολογία για την επίλυση ορισμένων προβλημάτων, όπως κάλυψη και διαχείριση παρεμβολών. Το D2D ενισχύει επίσης και την απόδοση του δικτύου. Κατηγοριοποιούμε τη D2D επικοινωνία σε κυψελοειδές δίκτυο με βάση το φάσμα στο οποίο λαμβάνει χώρα. Είναι δηλαδή διαφορετικό από το Bluetooth και το WiFi-direct. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες πολυπλοκότητες στην εγκατάσταση και ανάπτυξη του σε προηγμένα δίκτυα LTE όπως:

- Οι συσκευές D2D προκαλούν παρεμβολές στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και επηρεάζουν την απόδοση του.
- Οι επικοινωνίες D2D καθορίζουν νέες απαιτήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Έτσι, στο LTE-Advanced παρουσιάστηκαν δύο τεχνικές για D2D επικοινωνίες. Η μία χρησιμοποιεί το Session Πρωτόκολλο έναρξης (SIP) και η δεύτερη το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP). Και οι δύο αυτές τεχνικές έχουν το πλεονέκτημα της παροχής ελέγχου της συνδεσιμότητας από τον χειριστή.



Εικόνα 3.1: Με μπλε γραμμή φαίνεται ένα παραδοσιακό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, όλες οι επικοινωνίες πρέπει να περνούν μέσω του BS ή ένα κεντρικό δίκτυο. Με πράσινο χρώμα φαίνεται επικοινωνία Device to Device (D2D) δηλαδή η άμεση επικοινωνία μεταξύ δύο χρηστών κινητών τηλεφώνων χωρίς να χρειαστεί μεσολάβηση.

3.2 Αρχική υλοποίηση

Σε ερευνητικό επίπεδο οι D2D επικοινωνίες εξετάστηκαν πρωτίστως για την δυνατότητα multihop relaying στα κυψελωτά δίκτυα. Ενώ αργότερα ερευνήθηκε το ενδεχόμενο της χρήσης D2D επικοινωνιών για βελτίωση της φασματικής

αποδοτικότητας. Ακόμη πιο μετά, διερευνήθηκαν και άλλες περιπτώσεις χρήσης, όπως το multicasting ή M2M επικοινωνίες.

Στην 3GPP Release 12, συμφωνήθηκε ότι οι D2D υπηρεσίες αποτελούν υψηλού ενδιαφέροντος αντικείμενα για έρευνα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι στα IMT-Advanced συστήματα, που προτάθηκαν από την 3GPP, κάποιοι από τους κύριους στόχους αποτελούν η βελτίωση της παροχής τοπικών υπηρεσιών, αλλά και της φασματικής αποδοτικότητας.

Η πρώτη απόπειρα για υλοποίηση D2D επικοινωνίας σε ένα κυψελωτό δίκτυο πραγματοποιήθηκε από την Qualcomm με το FlashLinQ. Το FlashLinQ υλοποιήθηκε για την απευθείας επικοινωνία των συσκευών με βάση την αναγνώριση της εγγύτητάς τους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο αδειοδοτούμενο φάσμα ως συμπληρωματικό ενός WAN. Αποτελεί μία PHY/MAC αρχιτεκτονική δικτύου για D2D επικοινωνίες στα κυψελωτά δίκτυα. Χρησιμοποιεί τα πλεονεκτήματα των OFDM/OFDMA τεχνολογιών και με κατανεμημένο τρόπο δημιουργεί μία μέθοδο για τον συγχρονισμό, την ανακάλυψη και την διαχείριση της σύνδεσης.

3.3 Αρχιτεκτονική και λειτουργία

Οι Device to device (D2D) επικοινωνίες αναφέρονται στις τεχνολογίες και τις αρχιτεκτονικές που επιτρέπουν στις συσκευές να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους χωρίς την ανάμειξη των σταθμών βάσεων, επαναχρησιμοποιώντας κυψελωτούς πόρους.

Σε ένα παραδοσιακό κυψελωτό δίκτυο, όλες οι επικοινωνίες περνούν από τον σταθμό βάσης, ο οποίος κάνει την αναμετάδοση (relay) στους παραλήπτες. Έτσι, καθώς μειώνεται η κίνηση των παραδοσιακών κυψελωτών επικοινωνιών, η χωρητικότητα στις κυψέλες του δικτύου αυξάνεται. Οι επικοινωνίες αυτές υπόσχονται βελτιωμένη φασματική αποδοτικότητα, βελτιωμένη ρυθμικόδοση, αυξημένη χωρητικότητα δικτύου και επέκταση της διάρκειας ζωής των μπαταριών στις συσκευές. Κάποια παραδείγματα εφαρμογών του D2D είναι κατέβασμα πολυμέσων, video streaming, online gaming, και peer-to-peer (P2P) διαμοίραση αρχείων. Γενικά, οι D2D επικοινωνίες επιτρέπουν γρήγορη πρόσβαση στο ασύρματο φάσμα και υπόσχονται τέσσερα είδη κέρδους:

- Κέρδος εγγύτητας, όταν οι συσκευές είναι κοντά μεταξύ τους.
- Κέρδος σε hop, επειδή δεν γίνεται επικοινωνία με τον σταθμό βάσης.

- Κέρδος επαναχρησιμοποίησης, από την επαναχρησιμοποίηση των ασύρματων συχνοτήτων.
- Κέρδος ζευγαριού, όταν επιτρέπεται η D2D επικοινωνία σε ένα ζευγάρι συσκευών.

Οι παραδοσιακές D2D τεχνολογίες είναι το Bluetooth και το WiFi, λειτουργώντας στο μη αδειοδοτούμενο φάσμα των 2.4 GHz. Κρίνονται όμως ανεπαρκείς για τους εξής λόγους:

- Δεν αποτελούν ακέραιο μέρος των κυψελωτών δικτύων.
- Απαιτείται χειροκίνητη αντιστοίχιση μεταξύ δύο συσκευών.
- Οι παρεμβολές είναι μη ελεγχόμενες λόγω του συνωστισμού σε αυτό το φάσμα συχνοτήτων.
- Δεν μπορούν να προσφέρουν ασφάλεια και Quality Of Service(QoS).

Οι D2D επικοινωνίες μπορούν να είναι πιο βολικές για τους χρήστες, επειδή οι σταθμοί βάσης μπορούν να διαχειριστούν την αντιστοίχιση μεταξύ των ζευγαριών των συσκευών και να παρέχουν καλύτερη εμπειρία συνολικά.

Στην αγορά σήμερα, πέραν του γεγονότος ότι οι χρήστες των κυψελωτών επικοινωνιών αυξάνονται εκθετικά χρησιμοποιώντας διάφορες υπηρεσίες υπάρχουν δύο νέες τάσεις.

Πρώτον, οι context-aware εφαρμογές, που απαιτούν την ανακάλυψη και την επικοινωνία με κοντινές συσκευές. Σε αυτές τις εφαρμογές, ο ασύρματος πάροχος μπορεί να παρέχει πληθώρα υπηρεσιών στους χρήστες ανάλογα με την τοποθεσία και την κατάσταση που βρίσκονται. Δεύτερον, Machine to Machine (M2M) εφαρμογές, όπου πραγματοποιείται επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών χωρίς να είναι απαραίτητη η ανθρώπινη ανάμειξη. Παρουσιάζεται ευκαιρία για τους παρόχους να συνδέουν ηλεκτρονικές συσκευές όπως φούρνοι στα δίκτυα τους. Το κινητό τηλέφωνο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν gateway των συσκευών αυτών στα κυψελωτά δίκτυα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η M2M (Machine to Machine) επικοινωνία δεν έχει απαιτήσεις ως προς την απόσταση των συσκευών οπότε είναι τεχνολογικά ανεξάρτητη ενώ η D2D επικοινωνία στοχεύει στην εγγύτητα των συσκευών και είναι τεχνολογικά εξαρτώμενη.

Όταν επιτρέπονται οι D2D επικοινωνίες στα κυψελωτά δίκτυα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε οι uplink ή οι downlink πόροι των δικτύων. Ανάλογα με την επιλογή θα υπάρξουν και διαφορετικά αποτελέσματα ως προς την παρεμβολή. Αν και οι κυψελωτές επικοινωνίες προσδίδουν αρκετά πλεονεκτήματα σε τοπικές υπηρεσίες στα κυψελωτά δίκτυα, η εκτεταμένη χρήση τους μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές στους κυψελωτούς χρήστες, εφόσον μοιράζονται τους ίδιους ασύρματους πόρους. Έτσι, η διαχείριση των παρεμβολών είναι μια διαδικασία ιδιαίτερος κρίσιμη. Οι παραδοσιακοί εξοπλισμοί χρήστη CUEs (Cellular User Equipment) μπορούν να θεωρηθούν ως οι κύριοι χρήστες, ενώ οι D2D εξοπλισμοί χρήστη (DUEs) δεν θα πρέπει να μειώνουν την επίδοση αυτών.

Όσον αφορά το κομμάτι του 5G και τα mmWave 5G δίκτυα, το κομμάτι της D2D επικοινωνίας αναμένεται να έχει σημαντικό ρόλο στην συνύπαρξη με τους micro και macro σταθμούς βάσεως. Έτσι, τοπικές D2D επικοινωνίες, δηλαδή επικοινωνίες όπου δύο ασύρματες συσκευές της ίδιας κυψέλης επικοινωνούν άμεσα ή έμμεσα μέσω relaying από άλλη συσκευή, μπορούν να σχηματιστούν για την μείωση της κίνησης στα κυψελωτά δίκτυα, υποστηρίζοντας περισσότερους ταυτόχρονους χρήστες. Ενώ, global D2D επικοινωνίες μπορούν να πραγματοποιηθούν για multihop μεταδόσεις μέσω των σταθμών βάσεων ανάμεσα σε συσκευές διαφορετικών κελιών. Αυτές περιλαμβάνουν D2B (επικοινωνία συσκευής με σταθμό βάσης) και B2B επικοινωνίες (επικοινωνία σταθμού βάσης με σταθμό βάσης).

Πριν ακόμη όμως πραγματοποιηθεί η D2D επικοινωνία οι D2D συσκευές θα πρέπει να ανακαλύψουν η μία την άλλη και με κάποιο τρόπο να εγκαθιδρύσουν μία σύνδεση μεταξύ τους δεσμεύοντας τους κατάλληλους πόρους. Γενικά, υπάρχουν πολλά ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν, όπως και η ανάγκη για προτυποποίηση. Κάποια από αυτά είναι:

- Κατανάλωση ενέργειας των συσκευών
- Επιλογή φάσματος λειτουργίας
- Επιλογή mode λειτουργίας (cellular έναντι D2D)
- Διαχείριση παρεμβολών
- Έλεγχος ισχύος των συσκευών.
- IDs χρηστών/συσκευών.
- Συγχρονισμός σε επίπεδο cluster και μη
- Ασφάλεια

- Διατήρηση ιδιωτικότητας
- Ανοιχτή έναντι αυστηρής ανακάλυψης συσκευών
- Κινητικότητα χρήστη
- Multihop D2D
- D2D επικοινωνία στα ετερογενή δίκτυα

Όσον αφορά την επιλογή του φάσματος λειτουργίας, η πλειοψηφία στις βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με D2D επικοινωνίες έχει να κάνει με χρήση του κυψελωτού φάσματος τόσο για κυψελωτές, όσο και για D2D επικοινωνίες, όρος γνωστός ως *underlay inband D2D*, κάτι που προσφέρει υψηλό επίπεδο ελέγχου. Έτσι όμως, εγείρεται το θέμα της παρεμβολής μεταξύ αυτών των χρηστών, πόσο μάλλον όταν οι CUEs έχουν προτεραιότητα σε σχέση με ταυτόχρονη όμως ικανοποίηση των QoS απαιτήσεων των DUEs.

Για την αποφυγή της παρεμβολής, που προκύπτει από την χρήση κοινού φάσματος συχνοτήτων υπάρχει και η πρόταση να χρησιμοποιείται ένα αποκλειστικό κομμάτι των κυψελωτών πόρων μόνο σε D2D επικοινωνίες, όρος γνωστός ως *overlay inband D2D*. Επίσης υπάρχει και η περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φάσμα συχνοτήτων έξω από αυτές των κυψελωτών δικτύων συνήθως στο μη αδειοδοτούμενο φάσμα, όρος γνωστός ως *outband D2D*, κάτι που εγείρει δυσκολίες στον συντονισμό των δύο διαφορετικών καναλιών επικοινωνίας.

Επίσης, όσον αφορά το ποιος κάνει την ανάθεση των πόρων, προκύπτει ότι η πλειοψηφία αναφέρεται σε κεντροποιημένη ανάθεση πόρων, δηλαδή ανάθεση την οποία αναλαμβάνει ο σταθμός βάσης (eNB) τόσο για τους CUEs, όσο και για τους DUEs. Όμως, τα κεντροποιημένα σχήματα δεν ενδείκνυνται για δίκτυα τα οποία είναι μεγάλα. Για αυτό και η ανάθεση θα πρέπει να γίνεται με κατανομημένο τρόπο έτσι ώστε οι DUEs να αναγνωρίζουν το περιβάλλον τους και η ανάθεση να γίνεται κατανομημένα χωρίς όμως παρεμβολή στους CUEs. Αυτό γίνεται είτε πλήρως κατανομημένα, όπου ο κάθε DUE κόμβος δεν επικοινωνεί με κανέναν γύρω του και απλά πραγματοποιεί κάποιες μετρήσεις στο κανάλι, είτε με ένα μοντέλο περάσματος μηνυμάτων το οποίο να μην είναι λιγότερο κατανομημένο λόγω της επικοινωνίας των κόμβων, αλλά προσφέρει καλύτερες λύσεις.

Για την επιλογή του mode λειτουργίας, οι DUEs θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα λειτουργίας σε πολλαπλά modes, όπως:

- Silent mode: Mode όπου οι D2D συσκευές θα πρέπει να παραμείνουν «σιωπηλές», όταν δεν υπάρχουν αρκετοί πόροι διαθέσιμοι για την υποστήριξη της D2D επικοινωνίας.
- Reuse mode: Mode όπου οι D2D συσκευές επικοινωνούν απευθείας, επαναχρησιμοποιώντας πόρους του κυψελωτού δικτύου, παρέχοντας καλύτερη φασματική αποδοτικότητα.
- Dedicated mode: Mode, όπου οι D2D χρησιμοποιούν πόρους, που διατίθενται αποκλειστικά από το δίκτυο για τις επικοινωνίες τους, διευκολύνοντας τη διαχείριση των παρεμβολών.
- Cellular mode: Mode, όπου η D2D επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω relaying από τον σταθμό βάσης (eNB), διευκολύνοντας την διαχείριση των παρεμβολών.

Επίσης ο σωστός έλεγχος ισχύος μετάδοσης των συσκευών είναι πολύ σημαντικός για τον περιορισμό των παρεμβολών. Θα πρέπει να ανατίθεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι QoS απαιτήσεις των χρηστών, όπως για παράδειγμα ο λόγος του σήματος προς παρεμβολής και θορύβου SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio). Θα πρέπει ακόμη να υπάρχει ισορροπία σε αυτή την ανταλλαγή ενέργειας και QoS. Ακόμα, υπάρχει και η δυνατότητα οι D2D επικοινωνίες να ελέγχονται από τον πάροχο ή από το κυψελωτό δίκτυο γνωστή ως operator controlled D2D (OC-D2D).

Ο έλεγχος αυτός έχει να κάνει με:

- Επιβεβαίωση της πρόσβασης
- Έλεγχο της σύνδεσης
- Ανάθεση πόρων
- Νόμιμη ανάκτηση των πληροφοριών επικοινωνίας, ιδιαίτερος δύσκολο εφόσον η πληροφορία ανταλλάσσεται απευθείας μεταξύ των χρηστών.

Υπάρχουν 2 είδη OC-D2D επικοινωνίας:

- Πλήρως ελεγχόμενη, όπου η D2D σύνδεση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι των κυψελωτών δικτύων και το δίκτυο έχει τον πλήρη έλεγχο για εγκαθίδρυση και συντήρηση σύνδεσης, ανάθεση πόρων κλπ. Οι πόροι μοιράζονται με τις κυψελωτές συνδέσεις και η χρέωση μπορεί να γίνει ανάλογα με τα λεπτά ή το εύρος ζώνης που καταναλώνει ο χρήστης στην υπηρεσία.

- Χαλαρά ελεγχόμενη, όπου το μόνο που πραγματοποιεί ο πάροχος είναι η επιβεβαίωση της πρόσβασης. Για την μετάδοση των δεδομένων γίνεται χρήση μη αδειοδοτούμενου φάσματος με Bluetooth ή WiFi ή μία αποκλειστική ζώνη συχνοτήτων στο αδειοδοτούμενο φάσμα. Η χρέωση μπορεί να γίνει με ένα σταθερό ποσό ανά μήνα.

3.4 Κατηγορίες

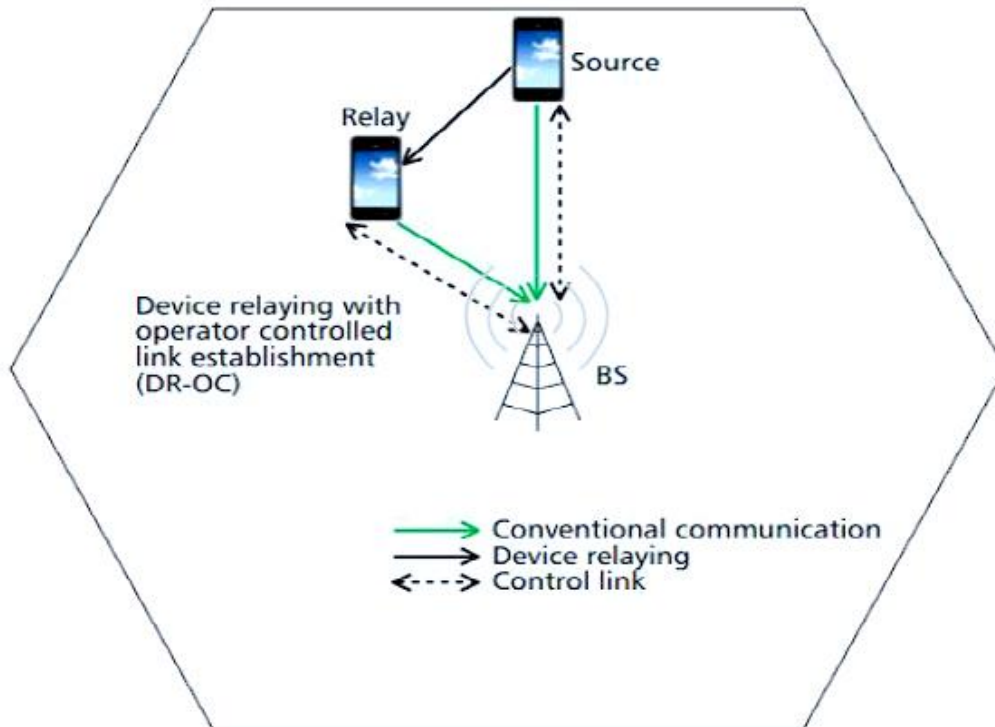
Υπάρχει ένα 5G κυψελοειδές σύστημα δύο επιπέδων τα οποία ονομάζονται macrocell και device επίπεδα. Το macrocell επίπεδο περιλαμβάνει base station (BS) το device επικοινωνίες όπως ένα συμβατικό κυψελοειδές σύστημα. Το device επίπεδο περιλαμβάνει D2D επικοινωνίες.

Εάν μια συσκευή συνδέει το κυψελοειδές σύστημα μέσω ενός BS, αυτή η συσκευή λέγεται ότι λειτουργεί στο macrocell επίπεδο. Εάν μια συσκευή συνδέεται απευθείας με μία άλλη συσκευή ή αντιλαμβάνεται τη μετάδοσή της μέσω του “βοηθού” των άλλων συσκευών. Αυτές οι συσκευές λέγεται ότι βρίσκονται στο device επίπεδο. Σε ένα τέτοιο σύστημα, το BS θα συνεχίσει να εξυπηρετεί τις συσκευές ως συνήθως. Από την άλλη πλευρά, οι συσκευές θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και να δημιουργούν ένα ad hoc δίκτυο.

Στην υλοποίηση του device επιπέδου επικοινωνίας, ο operator ίσως να έχει διαφορετικά επίπεδα ελέγχου. Αν βασιστούμε στο business model, αυτό είτε θα ασκεί πλήρη /μερικό έλεγχο πάνω από την κατανομή των πόρων ανάμεσα στις πηγές, προορισμούς και συσκευές αναμετάδοσης ή θα προτιμάει να μην έχει κανέναν έλεγχο. Έχουμε τέσσερις κατηγορίες των device επιπέδων επικοινωνίας.

1. Device Relaying with Operator Controlled link establishment (DR-OC)

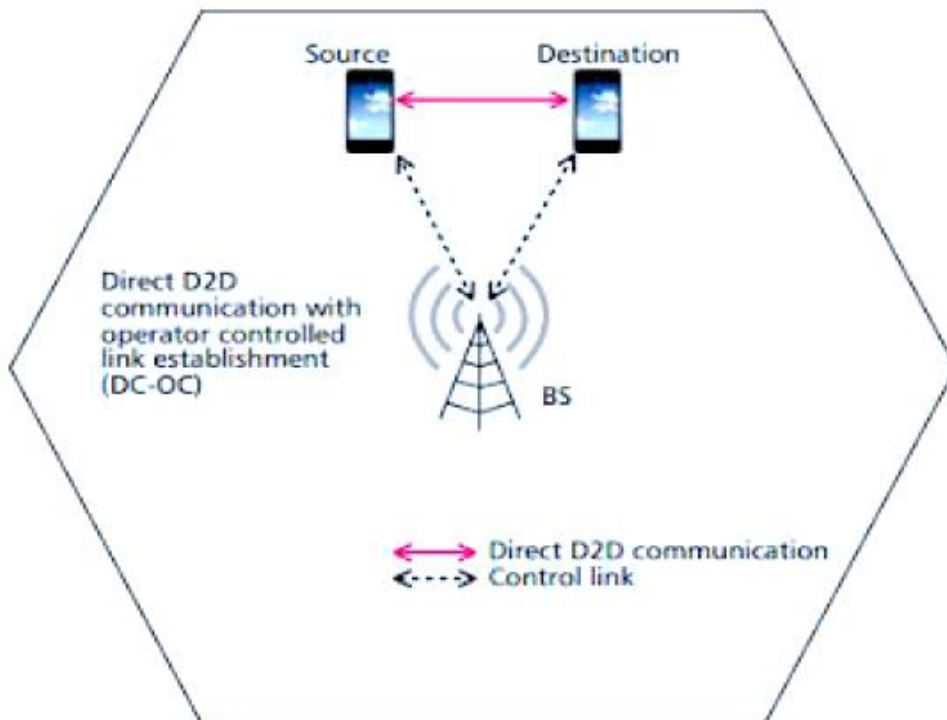
Μια συσκευή με μη καλή κάλυψη μπορεί να επικοινωνεί με το BS μέσω της αναμετάδοσης των πληροφοριών μέσω άλλων συσκευών. Αυτό επιτρέπει για τη συσκευή να καταφέρει μια υψηλότερη quality of service (QoS) ή περισσότερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ο operator επικοινωνεί με τις συσκευές αναμετάδοσης για μερική ή πλήρη δημιουργία control link.



Εικόνα 3.2: Επίπεδο επικοινωνίας DR-OC.

2. Direct D2D communication with operator controlled link establishment (DC-OC)

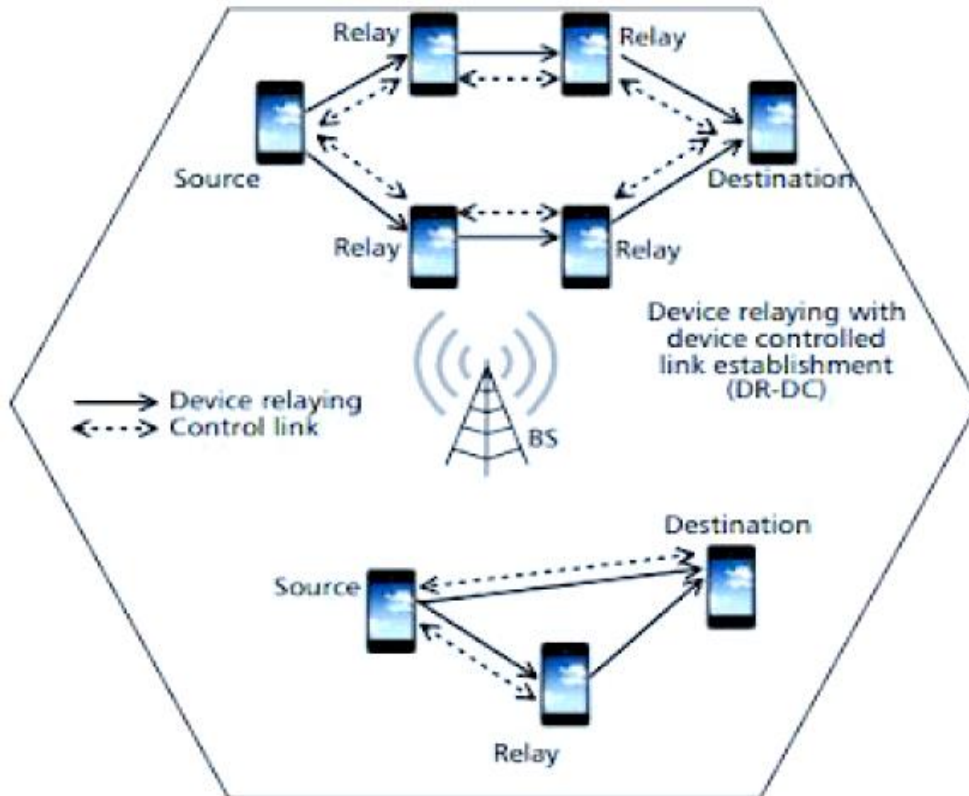
Οι συσκευές προέλευσης και προορισμού επικοινωνούν και ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για έναν BS, αλλά λαμβάνουν βοήθεια από τον operator για τη δημιουργία του link.



Εικόνα 3.3: Επίπεδο επικοινωνίας DC-OC.

3. Device relaying with device controlled link establishment (DR-DC)

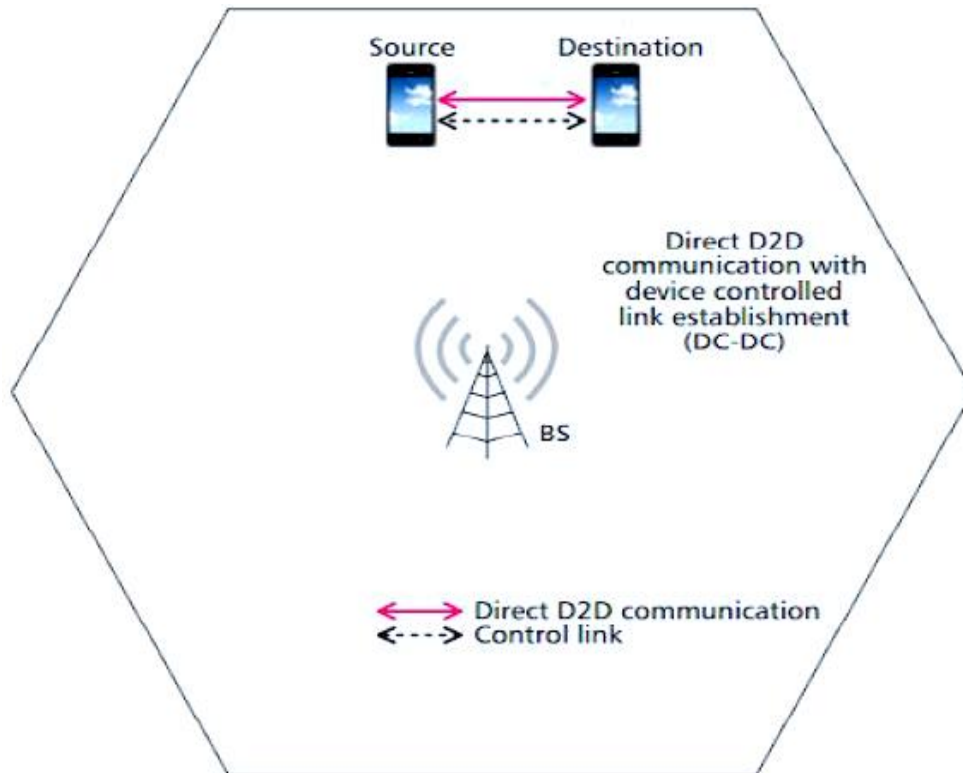
Ο operator δεν συμπεριλαμβάνεται στη διαδικασία της δημιουργίας του link. Επομένως, οι συσκευές προέλευσης και προορισμού ευθύνονται για τον συντονισμό της επικοινωνίας χρησιμοποιώντας αναμετάδοση μεταξύ τους.



Εικόνα 3.4: Επίπεδο επικοινωνίας DR-DC.

4. Direct D2D communication with device controlled link establishment (DC-DC)

Οι συσκευές προέλευσης και προορισμού έχουν απευθείας επικοινωνία μεταξύ τους χωρίς κανέναν έλεγχο από τον operator. Επομένως, οι συσκευές προέλευσης και προορισμού οφείλουν να χρησιμοποιήσουν τους πόρους με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίσουν περιορισμένες παρεμβολές με άλλες συσκευές στο ίδιο επίπεδο και στο macrocell επίπεδο.



Εικόνα 3.5: Επίπεδο επικοινωνίας DC-DC.

3.5 Ανάγκη για D2D επικοινωνία

Η D2D επικοινωνία είναι αρκετά σημαντική καθώς συνδράμει σε τρεις βασικούς τομείς.

1. Στην αύξηση της φασματικής απόδοσης

Στις επικοινωνίες D2D, τα δεδομένα του χρήστη μεταδίδονται απευθείας μεταξύ των τερματικών χωρίς δρομολόγηση μέσω ενός κυψελοειδούς δικτύου και έτσι καταλήγει σε hop κέρδος. Επιπλέον, οι πόροι μεταξύ των D2D χρηστών και μεταξύ των D2D δικτύων μπορεί να επαναχρησιμοποιηθούν, αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κέρδος των επαναχρησιμοποιήσιμων πόρων. Ο συνδυασμός των δύο προαναφερθέντων κερδών μπορεί να αυξήσει όχι μόνο την ασύρματη φασματική απόδοση αλλά και την διακίνηση δικτύου.

2. Στην ενίσχυση της εμπειρίας του χρήστη

Μιας και οι κινητές υπηρεσίες και οι τεχνολογίες εξελίσσονται, ο διαμοιρασμός δεδομένων κοντινής απόστασης μεταξύ κοντινών χρηστών, η μικρής κλίμακας κοινωνικών και διαφημιστικών λειτουργιών, και οι υπηρεσίες που βασίζονται στην

τοποθεσία για τοπικούς χρήστες θα γίνει μια σημαντική πηγή για την ανάπτυξη των επιχειρήσεων στις ασύρματες πλατφόρμες.

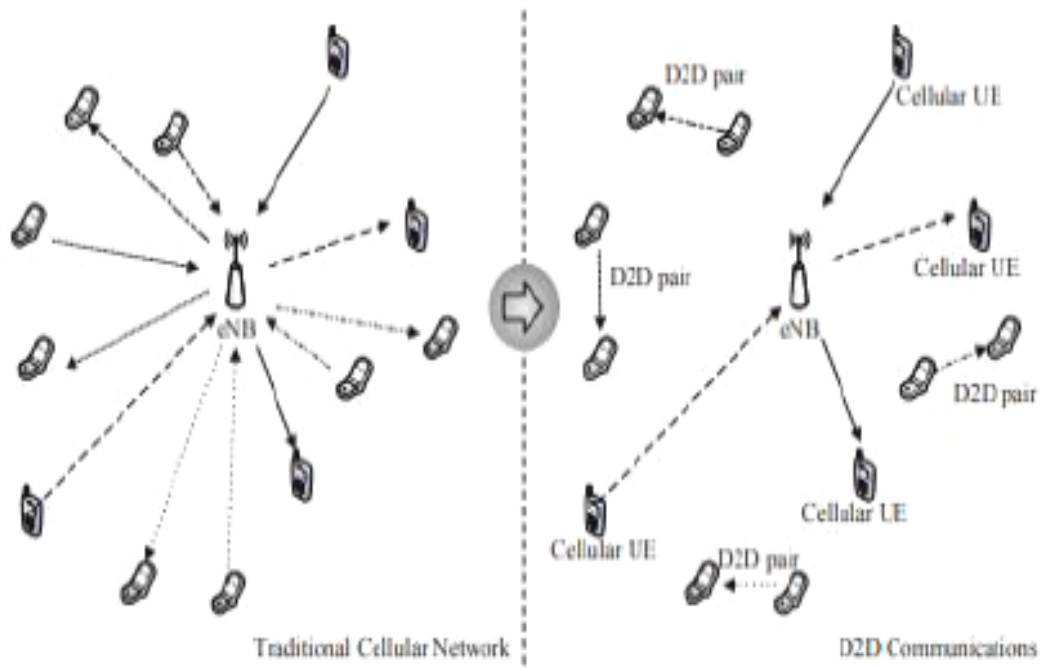
3. Στην επέκταση των εφαρμογών επικοινωνίας

Τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα ήταν απαιτητικά με την επικοινωνιακή υποδομή. Το σύστημα επικοινωνίας ίσως καταρρεύσει αν οι βασικές λειτουργίες δικτύου ή η πρόσβαση συσκευών δικτύου έχουν καταστραφεί. Από την άλλη πλευρά, η επικοινωνία D2D κάνει εφικτό για τα κυψελοειδής επικοινωνιακά τερματικά να εγκαθιδρύσουν ad hoc δίκτυα.

3.6 Πλεονεκτήματα

Συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα της D2D επικοινωνίας είναι:

- Βελτιωμένη φασματική αποδοτικότητα.
- Βελτιωμένη ρυθμαπόδοση.
- Ενεργειακή αποδοτικότητα, εφόσον οι επικοινωνούντες συσκευές είναι κοντά, όποτε μπορεί να ρυθμιστεί μικρότερη ισχύς.
- Χαμηλή καθυστέρηση εφόσον δεν χρειάζεται relaying μέσω του σταθμού βάσης.
- Υψηλός τοπικός ρυθμός δεδομένων.
- Μείωση του φόρτου της κίνησης στον κεντρικό σταθμό βάσης.
- Συνύπαρξη περισσότερων ταυτόχρονων χρηστών.
- Αυξημένη κυψελωτή χωρητικότητα.



Εικόνα 3.6: Παραδοσιακή έναντι D2D επικοινωνίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: D2D ΣΤΟ 5G ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

4.1 Εισαγωγή

Από το 4G LTE D2D επικοινωνία η προσοχή εστιάζεται στη δημόσια ασφάλεια, οι πιθανές βελτιώσεις οι οποίες μπορούν να παρέχονται από τη D2D λειτουργία δεν είναι τελείως εκμεταλλεύσιμες.

Στο 5G σύστημα, τέτοιοι περιορισμοί δεν υπάρχουν και προβλέπεται ότι η D2D λειτουργία θα ενσωματωθεί σαν ένα μέρος του μελλοντικού 5G συστήματος. Τα βασικά πιθανά κέρδη τα οποία μπορούν να επιτευχθούν περιλαμβάνουν:

1. Χωρητικότητα/κέρδος απόδοσης

Επειδή οι εμπλεκόμενες συσκευές είναι σε κοντινή απόσταση με πιθανώς καλύτερες συνθήκες διάδοσης σε σύγκριση με τις συνθήκες διάδοσης προς το Base Station (BS), η σύνδεση απόδοσης μπορεί να βελτιωθεί εξαιτίας του καλύτερου Modulation and Coding Scheme (MCS) επιπέδου.

Επιπροσθέτως, υπάρχει η πιθανότητα μοιρασμού των ίδιων radio πόρων ανάμεσα στους βασικούς χρήστες και στους D2D χρήστες, οι οποίοι μπορούν να βελτιώσουν τη συνολική χρήση του ραδιοφάσματος. Η χωρητικότητα του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί εξαιτίας του εκφορτώματος και του τοπικού περιεχομένου μοιρασμένου κέρδους από την D2D επικοινωνία.

2. Κέρδος καθυστέρησης

Η End to End (E2E) καθυστέρηση ίσως να μειωθεί εξαιτίας της μικρής απόστασης με λιγότερη καθυστέρηση διάδοσης, και καμία παρέμβαση στην υποδομή των οντοτήτων δικτύου καταλήγει σε μειωμένη καθυστέρηση μεταφοράς και καθυστέρηση επεξεργασίας.

3. Διαθεσιμότητα και αξιοπιστία κέρδους

Η D2D μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επεκτείνει την κάλυψη δικτύου με ένα hop ή με multi-hop. Η κωδικοποίηση των δικτύων και η συνεταιρική πολυμορφία μέσω D2D μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ενισχύσει και τη ποιότητα δικτύου.

Επιπροσθέτως, ένα D2D ad-hoc δίκτυο μπορεί να προσφέρει μια λύση υποχώρησης σε περίπτωση αποτυχίας της υποδομής ή σε περίπτωση που η υποδομή δεν μπορεί να δημιουργηθεί εύκολα.

4. Ενεργοποίηση νέων υπηρεσιών

Η D2D πλήρους εμφύσησης έχει μεγάλη πιθανότητα να ενεργοποιήσει νέες υπηρεσίες και εφαρμογές όχι μόνο στην τηλεπικοινωνιακή περιοχή αλλά και στις κάθετες βιομηχανίες όπως Vehicle-to-Vehicle(V2V).

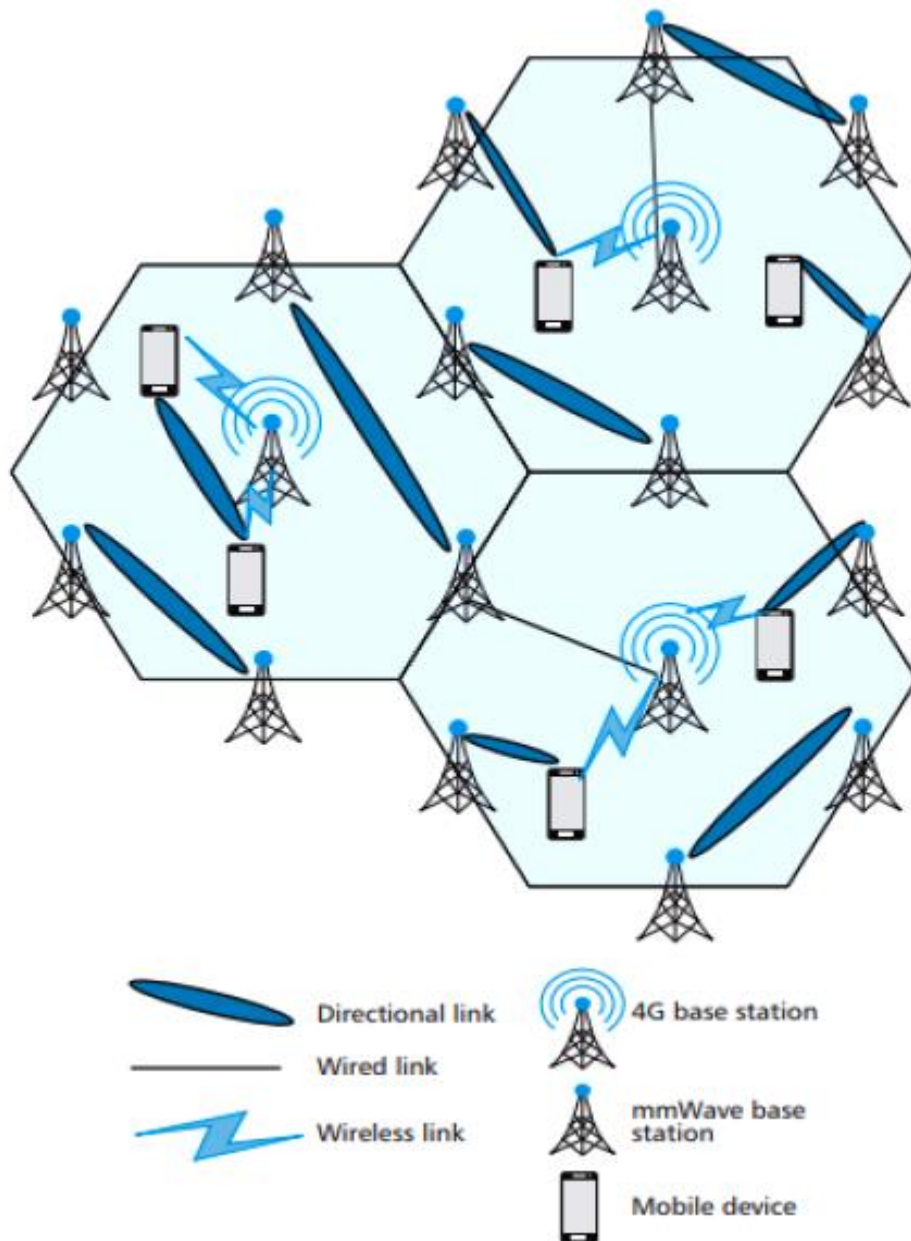
Από την άλλη πλευρά, αξιοποιώντας πλήρως τα πιθανά D2D κέρδη θέτει νέες προκλήσεις από άποψη ανακάλυψης συσκευών, επιλογή λειτουργίας επικοινωνίας, συνύπαρξης, διαχείριση παρεμβολής, αποτελεσματική multi-hop επικοινωνία υποστήριξης και multi-operator υποστήριξη ανάμεσα στους άλλους.

5. Εύρεση συσκευής

Αποτελεσματική ανακάλυψη με τη βοήθεια D2D δικτύου η οποία χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η εγγύτητα ανάμεσα στις συσκευές και η πιθανότητα να δημιουργηθεί ένας απευθείας D2D σύνδεσμος είναι ένα βασικό στοιχείο έτσι ώστε να ενεργοποιηθεί η D2D επικοινωνία και οι πιθανές νέες εφαρμογές.

6. Επιλογή λειτουργίας επικοινωνίας

Η επιλογή λειτουργίας είναι μια άλλη βασική λειτουργία η οποία ελέγχει εάν οι δυο συσκευές θα επικοινωνήσουν μεταξύ τους σε απευθείας D2D λειτουργία ή σε κανονική κυψελοειδή λειτουργία. Στην απευθείας D2D λειτουργία, οι συσκευές μπορούν να επωφεληθούν από την εγγύτητά τους και ίσως να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθούν οι κυψελοειδής πόροι για την απευθείας σύνδεση επικοινωνίας.



Εικόνα 4.1: 5G δίκτυο με D2D.

4.2 Διαχείριση κινητικότητας στις 5G επικοινωνίες

Η ενεργοποίηση πολύ χαμηλής καθυστέρησης δεδομένων μεταξύ των χρηστών είναι ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της D2D επικοινωνίας. Από την άλλη πλευρά, όταν πολλές βάσεις σταθμών (BS), είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους μέσω ενός μη ιδανικού backhaul εμπλέκονται στον έλεγχο των ραδιοφωνικών πόρων D2D η απαίτηση ποιότητας της υπηρεσίας, όσον αφορά την καθυστέρηση, μπορεί να μην είναι ικανοποιημένη λόγω μεγάλης καθυστέρησης backhaul. Επιπλέον, η πρόσθετη

επιβάρυνση ελέγχου αναμένεται λόγω της ανταλλαγής απαραίτητων πληροφοριών μεταξύ των κόμβων ελέγχου.

Ως εκ τούτου, προτείνονται δύο έξυπνες κινητικές δυνατότητες λύσεις διαχείρισης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων (π.χ. μεγαλύτερη καθυστέρηση και πρόσθετη επιβάρυνση σηματοδότησης) των ραδιοφωνικών πόρων στη D2D επικοινωνία με τον έλεγχο της παράδοσης ελέγχου D2D και επιλογή κυψελών κατά τη διάρκεια της κινητικότητας των D2D UEs (DUEs).

1. D2D aware handover solution

Η D2D aware handover λύση παρουσιάζεται για να μικρύνει την E2E καθυστέρηση στις D2D επικοινωνίες και να μειώσει την σηματοδότηση δικτύου σε περίπτωση DUE κινητικότητα. Ένα D2D ζευγάρι ελέγχεται αρχικά από τον ίδιο σταθμό βάσης.

2. D2D-triggered handover solution

Με την D2D triggered handover λύση προτείνεται να συσπειρωθούν τα μέλη ενός D2D group στον ελάχιστο αριθμό κελιών ή σταθμών βάσης έτσι ώστε να μειωθεί η σηματοδότηση δικτύου που έχει προκληθεί από εσωτερικές ανταλλαγές πληροφοριών μεταξύ των σταθμών βάσης όπως αυτές που σχετίζονται με τη χρήση των ραδιοφωνικών πόρων.

4.3 Τρόποι χρήσης D2D επικοινωνιών

Λαμβάνοντας υπόψη τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα μεταφοράς και παράδοσης δεδομένων, θεωρούμε ότι οι κόμβοι κινητής τηλεφωνίας μοιράζονται τους πόρους τους μεταξύ τους και ακολουθούν τους κανόνες των πρωτοκόλλων δικτύωσης. Ωστόσο, κάποιες φορές είτε λόγω περιορισμένων πόρων είτε κακόβουλων ενεργειών ενδέχεται να διαταραχτεί η κανονική λειτουργία της διαδικασίας μετάδοσης δεδομένων.

Αυτό το ζήτημα γίνεται πιο δύσκολο όταν για τη επικοινωνία δύο συσκευών είναι απαραίτητη η μεσολάβηση από κάποια σταθμό βάσης (BS) ή ένα κεντρικό δίκτυο. Επομένως αφού η επικοινωνία Device to Device (D2D) επιτρέπει στις συσκευές να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, μοιάζει συνεχώς και πιο αναγκαία τεχνολογία. Τα πιθανά σενάρια εφαρμογών περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, υπηρεσίες όπου οι συσκευές μπορούν να ενεργοποιούν διαφορετικές υπηρεσίες (όπως διαφημίσεις,

τοπική ανταλλαγή πληροφοριών, έξυπνη επικοινωνία μεταξύ συσκευών κ.λπ.). Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν υποστήριξη δημόσιας ασφάλειας σε περίοδο έκτακτης ανάγκης όπως σε περίπτωση βλάβης της ραδιοφωνικής υποδομής.

Οι εφαρμογές μπορεί να είναι:

1. Τοπικές υπηρεσίες (local data service): Στην τοπική υπηρεσία, τα δεδομένα χρήστη μεταδίδονται απευθείας μεταξύ των τερματικών και δεν περιλαμβάνεται η πλευρά του δικτύου.
2. Εφαρμογές IoT: Το D2D μπορεί εύκολα να συνδυαστεί με το Internet of things (IoT), έχοντας εντυπωσιακά αποτελέσματα. Ένα παράδειγμα εφαρμογής βρίσκεται στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας και πιο συγκεκριμένα η τεχνολογία ITS (intelligent traffic system). Σε ένα όχημα που μπορεί να προειδοποιήσει τα κοντινά οχήματα σε λειτουργία D2D πριν αλλάξει λωρίδες ή επιβραδύνει.
3. Επικοινωνία έκτακτης ανάγκης: Σε περίπτωση φυσικών καταστροφών, το παραδοσιακό δίκτυο επικοινωνίας ενδέχεται να καταρρεύσει λόγω ζημιών που προκλήθηκαν. Ένα απλό παράδειγμα είναι μια πυρκαγιά που κατέστρεψε έναν κόμβο του δικτύου ή που μπορεί να ξέσπασε σε κάποιο κτίριο και οι ένοικοι να βρίσκονται σε κίνδυνο. Το δίκτυο ad-hoc μπορεί να δημιουργηθεί μέσω D2D το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για επικοινωνία σε τέτοιες περιπτώσεις.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για την βελτίωση της αίσθησης του χρήστη σε κοινωνικά δίκτυα και να προσφέρει πιο άμεση επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των χρηστών. Εφαρμογή μπορεί να βρεθεί ακόμη και για πιο άμεση και στοχευμένη διαφήμιση εκμεταλλεύοντας την εγγύτητα.



Εικόνα 4.2: Διάφορες εφαρμογές.

Με το D2D οι χρήστες θα είναι σε θέση να επωφεληθούν από μια σειρά υπηρεσιών που διαφορετικά δεν θα ήταν δυνατές. Τέτοιες είναι εφαρμογές όπως η επικοινωνία δημόσιας ασφάλειας και η πληροφόρηση σχετικά με την εγγύτητα που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Το μέλλον για το D2D μοιάζει γόνιμο. Εκμεταλλευόμενο τον αυξημένο ρυθμό δεδομένων, το μειωμένο λανθάνοντα χρόνο επικοινωνίας καθώς και την μειωμένη κατανάλωση ενέργειας μπορεί να επιτρέψει στους χρήστες να βιώσουν οφέλη που δεν είχαν καν φανταστεί. Επιπλέον, σε μία τεχνολογία κυψελοειδές δικτύου D2D, τα πιθανά οφέλη και οι τεχνικές λύσεις των ελεγχόμενων συσκευών περιλαμβάνουν:

- Αυξημένη χωρητικότητα: λόγω της δυνατότητας κοινής χρήσης πόρων μεταξύ κυψελοειδών και D2D χρηστών.
- Μείωση καθυστέρησης: όταν οι συσκευές επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, ο λανθάνων χρόνος από άκρο σε άκρο μπορεί να μειωθεί.
- Αυξημένο κέρδος ρυθμού δεδομένων για τον χρήστη: μπορεί να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί λόγω της εγγύτητας

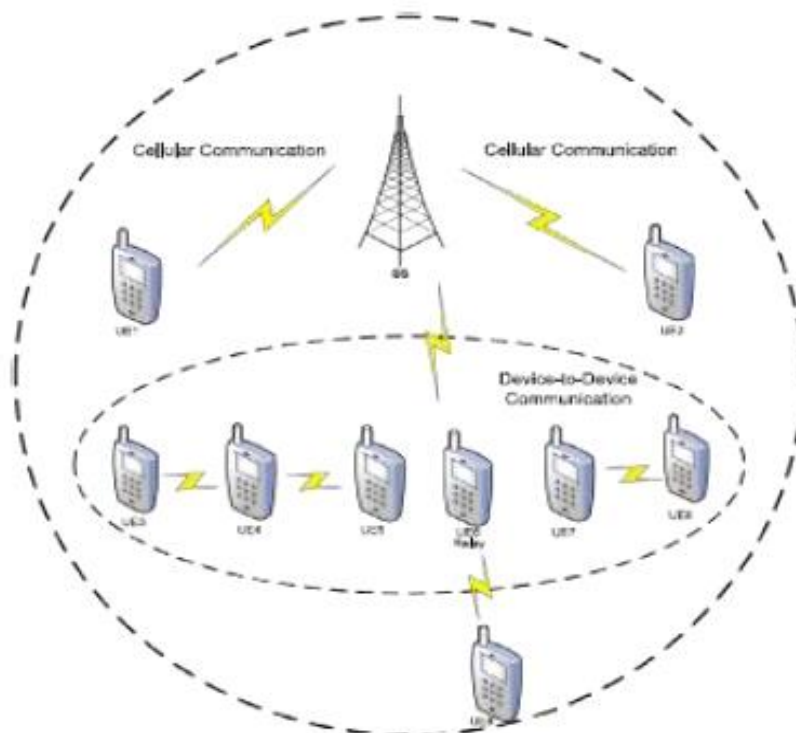
Η επιτυχία αυτής της τεχνολογίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εφαρμογές που θα αναπτυχθούν τα επόμενα χρόνια. Απαραίτητο είναι να ξεπεραστούν τα προβλήματα που έχουν να κάνουν με τη διαχείριση παρεμβολών, την ασφάλεια των συσκευών και την εξασφάλιση της μη παραβίασης των προσωπικών δεδομένων του χρήστη. Επομένως, η επικοινωνία D2D συνεπάγεται νέες προκλήσεις για το σχεδιασμό συσκευών και του συνολικού δικτύου. Η επικοινωνία Device to Device και οι κινητές επικοινωνίες έχουν τους ίδιους πόρους ραδιοφώνου. Το δίκτυο ελέγχει και βελτιστοποιεί τη χρήση των πόρων τόσο για την κυψελοειδή επικοινωνία όσο και για την D2D, με αποτέλεσμα βελτιωμένη απόδοση και ποιότητα υπηρεσίας. Το D2D καθορίζεται από το 3GPP, εστιάζοντας σε εφαρμογές δημόσιας ασφάλειας και υπηρεσίες που βασίζονται σε εγγύτητα ενώ πλέον αναγνωρίζεται ως ένα από τα τεχνολογικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής 5G που εξελίσσεται ραγδαία.

Local data υπηρεσίες

Στην τοπική υπηρεσία, τα δεδομένα χρήστη μεταδίδονται απευθείας μεταξύ των τερματικών και δεν δρομολογούνται από την μεσολάβηση του δικτύου. Η τοπική

υπηρεσία βρίσκει κυρίως εφαρμογή στα κοινωνικά δίκτυα και τις υπηρεσίες τους λόγω της εκμετάλλευσης της εγγύτητας. Με τις λειτουργίες D2D, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να βρει, να συνδεθεί και να επικοινωνήσει με άλλους κοντινούς χρήστες. Έχει έτσι την ευκολία να μοιραστεί δεδομένα ή ακόμη και να ψυχαγωγηθεί παίζοντας παιχνίδια μαζί με τους πιο κοντινούς του χρήστες.

Δεύτερη σημαντική εφαρμογή τοπικής υπηρεσίας είναι η μετάδοση δεδομένων τοπικά. Αξιοποιείται σε έπακρο η δυνατότητα άμεσης και άμεσης μετάδοσης δεδομένων του D2D εξοικονομώντας πόρους του συστήματος. Δημιουργείται έτσι ένας νέος τρόπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή εσόδων και να ωφελήσει τους χειριστές μιας και η τοπική διαφήμιση, υπηρεσία που βασίζεται στην εγγύτητα, μπορεί να στοχεύει με ακρίβεια τους ανθρώπους για να μεγιστοποιήσει τα οφέλη της. Ένας χρήστης κινητής συσκευής μπορεί να λαμβάνει ειδοποιήσεις για προσφορές αμέσως στην περίπτωση που βρεθεί κοντά σε κάποιο σημείο με εμπορικό ενδιαφέρον όπως για παράδειγμα μια αγορά ή ένα εμπορικό κέντρο. Αυτό ωφελεί τον χρήστη καθώς και τον ειδοποιεί αλλά και την άλλη πλευρά προσφέροντας επιπλέον κέρδος. Τέλος χρησιμοποιώντας επικοινωνία D2D, μπορεί να είναι ένας μεγάλος όγκος δεδομένων μεταφέρεται γρήγορα μεταξύ κινητών συσκευών σε μικρή απόσταση. Η επικοινωνία D2D μπορεί να υποστηρίξει τις τοπικές υπηρεσίες δεδομένων αποτελεσματικά μέσω μεταδόσεων unicast, groupcast και εκπομπών.



Εικόνα 4.3: Κυψελοειδής επικοινωνία και επικοινωνία D2D. Φαίνεται και το single-hop και το multi hop που σχηματίζονται από το D2D.

- Information sharing

Μια επιπλέον πολύ σημαντική εφαρμογή που σχετίζεται με τις local data υπηρεσίες που αναλύθηκαν παραπάνω, είναι το information sharing. Οι χρήστες μπορούν να αξιοποιήσουν συνδέσμους D2D για τη μεταφορά αρχείων, όπως ήχων και βίντεο με υψηλότερα ποσοστά μετάδοσης δεδομένων και χαμηλότερη ενέργεια από αυτά στα κυψελοειδή δίκτυα.

Το information sharing από τις D2D επικοινωνίες ωφελείται σε μεγάλο βαθμό μιας και οι ταχύτητες downlink και uplink βελτιστοποιούνται. Παράλληλα διευκολύνουν τις υπηρεσίες ροής όπως το Google Chromecast, κ.λπ. σχηματίζοντας ομαδοποίηση δεδομένων σε ένα σύμπλεγμα. Ακόμη δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα να για επαφή με τις πληροφορίες καθώς είναι σε άμεση επαφή με την συσκευή που τις εκμεταλλεύεται. Βοηθούν έτσι σε άλλες υπηρεσίες εγγύτητας όπως η δημόσια ασφάλεια. Η ασφάλεια και η διαθεσιμότητα είναι δύο κρίσιμα ζητήματα στην επικοινωνία μεταξύ συσκευών (D2D).

Με την ταχεία ανάπτυξή της σε δίκτυα 4ης γενιάς (4G) Long-Term Evolution Advanced (LTE-Advanced) δημιουργήθηκε ένα ασφαλές πρωτόκολλο κοινής χρήσης δεδομένων, το οποίο συγχωνεύει τα πλεονεκτήματα της κρυπτογράφησης δημόσιου κλειδιού και της συμμετρικής κρυπτογράφησης, για την επίτευξη ασφάλειας δεδομένων στην επικοινωνία D2D. Συγκεκριμένα, μια ψηφιακή υπογραφή βασισμένη στο δημόσιο κλειδί, σε συνδυασμό με έναν μηχανισμό αμοιβαίου ελέγχου ταυτότητας ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας, εγγυάται τον έλεγχο ταυτότητας και την ακεραιότητα δεδομένων. Η τεχνολογία αυτή εγγυάται πρακτική λύση για έναν ασφαλή μηχανισμό ανταλλαγής δεδομένων στην επικοινωνία D2D.

- Data and computation offloading

Μια ακόμη εφαρμογή τοπικής υπηρεσίας είναι η εκφόρτωση της κυψελοειδούς κυκλοφορίας. Καθημερινά, ένας τεράστιος αριθμός δεδομένων υπολογίζεται πως δημιουργείται από τους χρήστες κινητής τηλεπικοινωνίας. Τεράστιες ροές κίνησης δεδομένων δημιουργούνται μίας και η αποστολή πακέτων από χρήστη σε χρήστη κατακλύζει το διαδίκτυο.

Έτσι, ασκείται τεράστια πίεση στα βασικά δίκτυα και στους πόρους του φάσματος. Η D2D επικοινωνία υπολογίζεται πως μπορεί να βοηθήσει να εξισορροπηθεί το φορτίο αυτό. Οι χειριστές θα μπορούν να επικεντρωθούν στους βασικούς τους πόρους δικτύου και φάσματος εξοικονομώντας ενέργεια και αποφορτίζοντας το δίκτυο. Για παράδειγμα περιοχές hotspot θα μπορούσαν να επωφεληθούν στο έπακρο από αυτή την τεχνολογία. Με αυτόν τον τρόπο, η πίεση μετάδοσης στο uplink (UL) και στο downlink (DL) των κυψελοειδών δικτύων μπορεί να μειωθεί.

Μια συσκευή με καλή σύνδεση στο Διαδίκτυο μπορεί να λειτουργήσει ως hotspot στο οποίο τα δεδομένα φορτώνονται / αποθηκεύονται προσωρινά από το BS και από ποιες άλλες συσκευές μπορούν να κατεβάσουν δεδομένα χρησιμοποιώντας συνδέσμους D2D. Ο χρήστης μπορεί επίσης να έχει χαμηλή ισχύ επεξεργασίας ή χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση εκφορτώνοντας τον κοντινό κόμβο του δικτύου.

Machine to machine επικοινωνία

Η επικοινωνία M2M είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει το Internet of Things (IoT). Αυτόνομη συνδεσιμότητα και επικοινωνία μεταξύ συσκευών είναι ο νούμερο ένα στόχος των ερευνητών. Υπάρχουν συσκευές με τεράστια υπολογιστική ισχύ και που χαρακτηρίζονται από σχετικά χαμηλό κόστος οι οποίες είναι πέρα για πέρα ικανές να εκμεταλλευτούν αυτή την δυνατότητα.

Μια σύνδεση D2D μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία επικοινωνίας M2M στο IoT και να παρέχει εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση ή ακόμη καλύτερα να τρέχει σε πραγματικό χρόνο (real time). Μια ακόμη εφαρμογή είναι η επικοινωνία συσκευών προς όχημα (M2M) όπου οι σύνδεσμοι D2D μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ γειτονικών συσκευών αυτόνομα, γρήγορα και εκφορτώνοντας αποτελεσματικά την κυκλοφορία. Ακόμα το M2M επεκτείνει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων V2V (vehicle to vehicle). Επίσης μπορούν να αξιοποιηθούν για μεγαλύτερη ασφάλεια των οχημάτων σε υποδομές και επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και πεζών.

Άλλες εφαρμογές

Το 5G D2D μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε άλλα πιθανά σενάρια, όπως η ενίσχυση πολλαπλών χρήσεων MIMO. Στο παραδοσιακό MIMO, οι σταθμοί βάσης (BS) καθορίζουν τη διαδικασία προ-κωδικοποίησης με χρήση των αντίστοιχων καναλιών και τερματικών για τη εξάλειψη των παρεμβολών μεταξύ των χρηστών. Μετά την

εισαγωγή του D2D, οι χρήστες μπορούν να ανταλλάξουν απευθείας πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του καναλιού. Με αυτόν τον τρόπο, τα τερματικά μπορούν να παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες κατάστασης στο κοινό κανάλι μέσω σταθμών βάσης και μπορούν επίσης να βελτιώσουν την απόδοση του MIMO πολλαπλών χρηστών.

Το D2D μπορεί επίσης να βοηθήσει στην επίλυση προβλημάτων της παραδοσιακής ασύρματης επικοινωνίας. Οι ακροδέκτες, αρκετές φορές, δεν μπορούν να λάβουν δορυφορικά σήματα όταν βρίσκονται σε εσωτερικό χώρο. Σε αυτήν την περίπτωση η παραδοσιακή δορυφορική σύνδεση δεν λειτουργεί. Ωστόσο, με την επικοινωνία D2D, λαμβάνοντας ορισμένες πληροφορίες θέσης μπορεί να καθοριστεί η θέση των τερματικών που θα τοποθετηθούν και να υποστηρίξουν τη λειτουργία της δορυφορικής σύνδεσης ακόμη και σε εσωτερικούς χώρους σε δίκτυα 5G με χαμηλό κόστος.

4.4 Προτεινόμενο μοντέλο

Στο μοντέλο που προτείνεται ο σταθμός βάσης, γνωστός και ως eNB λειτουργεί ως ελεγκτής (controller) για την D2D επικοινωνία και ως εκ τούτου, είναι υπεύθυνος για το D2D RA (Resource Allocation), δηλαδή την ανάθεση των πόρων του συστήματος στις συσκευές των χρηστών του δικτύου και το PC (Power Control), δηλαδή τον έλεγχο της ισχύος του συστήματος.

Επίσης, ο σταθμός βάσης είναι και υπεύθυνος τόσο για την ανακάλυψη όσο και για τον και συντονισμό των D2D κόμβων του συστήματος, δηλαδή αυτών με την δυνατότητα D2D επικοινωνίας. Ενδεχομένως, η δυνατότητα D2D επικοινωνίας παρέχεται σε όλα τα UEs (User Equipments) του δικτύου. Ωστόσο, στο εξής, για να απλοποιήσουμε την περιγραφή μας, τα UE που εφαρμόζουν το σχέδιο D2D θα αναφέρονται ως eUE (enhanced UE) .

Παρόμοια με τα κλασσικά UEs, τα eUE απαιτούν πόρους για επικοινωνίες D2D από τον σταθμό βάσης eNB. Για κάθε ένα από αυτά τα αιτήματα D2D επικοινωνίας, ο eNB εκκινεί μια διαδικασία ομαδικής ανακάλυψης (peer discovery), ενώ μόνο τα έγκυρα ζεύγη D2D (με επιτυχημένη διαδικασία ανακάλυψης) εξετάζονται για τις διαδικασίες D2D Resource Allocation και Power Control.

Στο D2D Resource Allocation ο eNB ενημερώνει τόσο τον πομπό D2D όσο και τον δέκτη για την ανάθεση των πόρων, συντονίζοντάς τους στους κατανεμημένους πόρους συχνοτήτων. Ωστόσο, αυτός ο συντονισμός απαιτεί από το eNB να γνωρίζει την

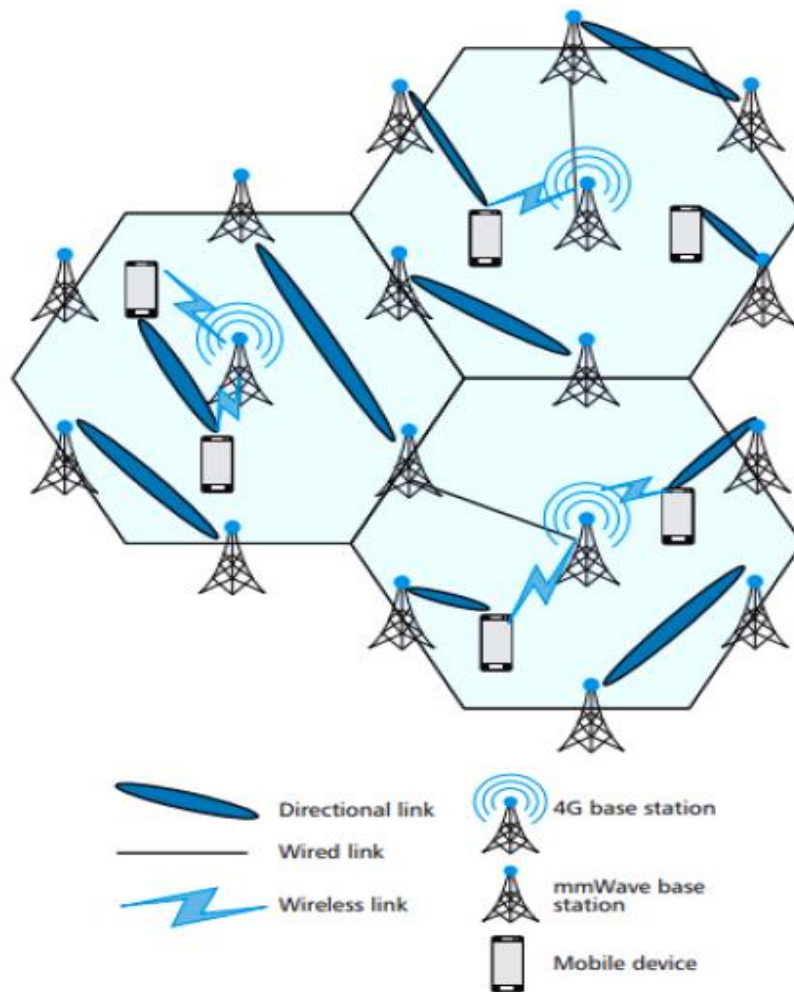
ταυτότητα του D2D δέκτη. Αναγνωριστικά όπως οι διευθύνσεις IP προορισμού ή οι ταυτότητες προορισμού IMSI/S-TMSI (International-/Subscriber-Temporary Mobile Subscriber Identity), ή άλλες (π.χ. διευθύνσεις SIP), δεν είναι διαθέσιμες τοπικά στον σταθμό βάσης eNB και επομένως, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς τη συμμετοχή του κεντρικού δικτύου. Έτσι, απαιτείται η εισαγωγή μιας νέας ταυτότητας για κάθε eUE.

Αυτή η νέα ταυτότητα δημιουργείται από κάθε eUE κατά την αρχική του πρόσβαση στο δίκτυο και οποιαδήποτε συσκευή μετάδοσης eUE έχει τη δυνατότητα να παράγει την ταυτότητα D2D του eUE στόχου. Όταν ένα eUE θέλει να δημιουργήσει μια σύνδεση D2D, η ταυτότητα D2D του eUE στόχου περιλαμβάνεται στο αίτημα πόρου D2D. Ο eNB που εξυπηρετεί, έχει μια αντιστοίχιση ένα προς ένα μεταξύ τυποποιημένων και D2D ταυτοτήτων, χρησιμοποιεί τις προηγούμενες ταυτότητες για να ενημερώσει τόσο τον πομπό όσο και τον δέκτη D2D για την κατανομή των πόρων.

Το προτεινόμενο μοντέλο D2D μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

- Κάθε eUE παράγει την D2D ταυτότητά του και τη μεταδίδει στον eNB κατά την πρώτη του πρόσβαση στο δίκτυο.
- Οι eUE κάνουν αιτήματα για ανάθεση φάσματος D2D χρησιμοποιώντας την τυπική διαδικασία αιτήματος φάσματος, συμπεριλαμβανομένης, ωστόσο, της ταυτότητας D2D του D2D στόχου - δέκτη.
- Ο eNB δρομολογεί μια διαδικασία ομότιμης ανακάλυψης (peer discovery) για το ζητούμενο ζεύγος D2D.
- Ο eNB κατανέμει τους κυψελοτούς πόρους σε έγκυρα ζεύγη D2D (δηλαδή αυτά που ο ένας κόμβος έχει ανακαλύψει τον άλλον) και ενημερώνει και τους δύο ομότιμους D2D, συντονίζοντάς τους στο ίδιο τμήμα συχνοτήτων του φάσματος. Το D2D RA σε συνδυασμό με το PC εγγυάται την λειτουργία χωρίς παρεμβολές μεταξύ κυψελοειδούς και D2D συστήματος.
- Ο πομπός eUE στέλνει τα δεδομένα του χρησιμοποιώντας την περιοχή φάσματος (spectrum) που έχει εκχωρηθεί από τον eNB, ενώ ο δέκτης eUE συντονίζεται στην ίδια περιοχή φάσματος (spectrum) για να λάβει τα μεταδιδόμενα δεδομένα.
- Ο δέκτης eUE αναγνωρίζει τη λήψη (ή όχι) των δεδομένων μέσω του eNB ακολουθώντας τη συμβατική τυποποιημένη διαδικασία.

Το προτεινόμενο μοντέλο συστήματος απαιτεί βελτιωμένη λειτουργικότητα μόνο στο δίκτυο πρόσβασης, δηλαδή στα τυπικά UE (αναβάθμιση σε eUE) και στους eNBs.



Εικόνα 4.4: Σχήμα προτεινόμενου μοντέλου.

4.5 Τομείς εξέλιξης της D2D επικοινωνίας

1. Συγχρονισμός

Στα παραδοσιακά κυψελοειδές δίκτυα, οι UE (user equipment) συγχρονίζονται χρησιμοποιώντας περιοδικές εκπομπές από κάποιο BS (base station). Στην επικοινωνία D2D οι συσκευές μπορούν επίσης να συγχρονιστούν με το ίδιο τρόπο με την βασική προϋπόθεση να ανήκουν στο ίδιο BS. Τί γίνεται όμως στην περίπτωση που δεν ανήκουν στο ίδιο BS; Το ερώτημα παραμένει επίσης όταν τα BS δεν είναι συγχρονισμένα ή όταν ορισμένα και ακόμη χειρότερα όλα τα UE δεν βρίσκονται συνδεδεμένα στο δίκτυο είναι δηλαδή εκτός κάλυψης δικτύου.

Στις D2D επικοινωνίες ο συγχρονισμός μεταξύ των UE είναι απαραίτητος. Το κυριότερο όφελος του είναι πως επιτρέπει σε κάποιο UE να είναι συνδεδεμένο στη σωστή συχνότητα. Του επιτρέπει την ανακάλυψη και την επικοινωνία με κάποιο άλλο UE και έτσι συμβάλει σε επικοινωνία με χαμηλότερη ενεργειακή σπατάλη και ως

αποτέλεσμα πιο αποδοτική. Ένας τοπικός συγχρονισμός μεταξύ των γειτονικών συσκευών είναι αρκετός. Παρόλα αυτά ένας καθολικός συγχρονισμός συσκευών θα ήταν παραπάνω από χρήσιμος χωρίς όμως να είναι και αναγκαίος. Επιπλέον, η επικοινωνία D2D συνήθως απαιτεί πιο ακριβή συγχρονισμό και επιτρέπει επίσης τη χρήση πιο σύνθετων τεχνικών για τον υπολογισμό της ισχύς.

2. Διαχείριση παρεμβολών

Στην inband επικοινωνία, οι κυψελοειδείς και D2D κόμβοι ενδέχεται να παρεμβαίνουν μεταξύ τους. Βασικό πρόβλημα παρουσιάζεται στον τρόπο με τον οποίο καθορίζουν και μοιράζονται τις συχνότητες μεταξύ τους. Στην outband επικοινωνία, υπάρχει το πρόβλημα των παρεμβολών. Οι συνδέσεις D2D υφίστανται παρεμβολές.

Παρεμβολές μπορούν να συμβούν μεταξύ τους είτε και από άλλες συσκευές που λειτουργούν στο ίδια μπάντα. Παρ'όλα αυτά, υπάρχει λύση. Η παρεμβολή μπορεί να μειωθεί όταν τα UE λειτουργούν και μεταδίδουν σε χαμηλότερα επίπεδα ισχύος. Επομένως, η διαχείριση πόρων είναι ένα πρόβλημα που απαιτεί βελτιστοποίηση. Μπορεί όμως να προσπεραστεί αν επικεντρωθούμε στις παρεμβολές. Ο έλεγχος ισχύος, εκτός από τον περιορισμό των παρεμβολών, οδηγεί σε ενεργειακά αποδοτικότερη λειτουργία που είναι ένας από τους θεμελιώδεις στόχους των ασύρματων δικτύων επόμενης γενιάς όπως το δίκτυο 5G. Ο καλύτερος προγραμματισμός των μεταδόσεων συνεισφέρει επίσης στην ελαχιστοποίηση των παρεμβολών.

Κατάλληλη διαμόρφωση και κωδικοποίηση μπορούμε να επιτύχουμε επιλέγοντας προσαρμοσμένα κανάλια και τον κατάλληλο συνδυασμό αυτόματου αιτήματος επανάληψης και προώθησης διόρθωση σφάλματος. Έτσι, επιτυγχάνεται αύξηση της ευρωστίας των μεταδιδόμενων σημάτων και κατά συνέπεια μείωση του θορύβου. Τέλος, η ελαχιστοποίηση των παρεμβολών συνδέεται στενά και συχνά με αυτά τα προβλήματα. Όμως η κατάλληλη διαχείριση αποτελεί την λύση στο κάθε πρόβλημα.

3. Κόστος

Αποτελεί ένα από τα πιο πιεστικά ζητήματα για τα κυψελοειδή δίκτυα και την διαχείρισή τους. Το πρόβλημα είναι πώς να υπάρχει έλεγχος της άμεσης σχέση μεταξύ των συσκευές και τον τρόπο χρέωσης των χρηστών.

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα τιμολόγησης. Για παράδειγμα, οι χειριστές μπορούν να παρέχουν χρεώσεις στις υπηρεσίες όπως η ασφάλεια κατά την επικοινωνία D2D. Άλλο

οικονομικό μοντέλο έχει να κάνει με τα δεδομένα των χρηστών. Στις επικοινωνίες D2D οι χειριστές μπορούν να αγοράσουν ή να πουλήσουν στοιχεία δεδομένων που έχουν ληφθεί από τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Οι χρήστες από την άλλη πλευρά μπορούν να πουλήσουν το εύρος ζώνης τους προκειμένου να υπάρχει καλύτερη διαχείριση του δικτύου D2D.

Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα να δημοπρατήσουν τους κυτταρικούς τους πόρους σε άλλους χρήστες κινητής τηλεφωνίας που περιμένουν και οι ίδιοι επιλέγουν για D2D επικοινωνία.

4. Ασφάλεια

Ισχυρότερη ανωνυμία και απόρρητα δεδομένα μοιάζουν δύο τεράστια οφέλη της επικοινωνίας D2D σε σύγκριση με τη συμβατική κυτταρική επικοινωνία. Ωστόσο, η τεχνολογία αυτή είναι ευάλωτη σε διάφορες κοινές επιθέσεις όπως υποκλοπή, πλαστογράφηση IP και κακόβουλο λογισμικό αφού τα δεδομένα δεν αποθηκεύονται σε κάποιο κεντρικό κόμβο.

Βασική προϋπόθεση είναι επίσης να προστατεύεται το απόρρητό των χρηστών. Η έλλειψη κάποιου κεντρικού σταθμού αρχή καθιστά δύσκολη την εφαρμογή μέτρων ασφάλειας και απορρήτου. Δεν μπορεί κανείς να γνωρίζει με ακρίβεια αν η απειλή είναι τοπική ή αν θα επεκταθεί σε ολόκληρο το δίκτυο. Ούτε πως θα γίνει η επίθεση δηλαδή αν θα γίνει κατά τη μεταφορά ή κατά την αποθήκευση και τροποποίηση των δεδομένων.

5. Κατανομή πόρων

Η κατανομή των πόρων του ραδιοφώνου για τη δημιουργία απευθείας συνδέσεων μεταξύ ζευγών D2D σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας είναι απαραίτητη. Στην τεχνολογία επικάλυψης το φάσμα uplink χωρίζεται σε δύο ορθογώνια τμήματα. Το κλάσμα στην επικοινωνία D2D ανατείνεται σε $1 - n$ κυψελοειδή τμήματα. Επίσης, το φάσμα χωρίζεται σε ζώνες B και οι D2D χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση ανεξάρτητα από αυτούς. Οι βέλτιστες τιμές n και B υπολογίζονται υποθέτοντας ότι οι UE κατανέμονται τυχαία. Η επιλογή τρόπου βασίζεται στην απόσταση UE από τον δέκτη. Τα σχέδια κατανομής πόρων μπορούν να σχεδιαστούν αλλάζοντας το στόχους βελτιστοποίησης και κάνοντας προσθήκη διαφόρων περιορισμών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι γεγονός πως η στιγμή που θα κυριαρχήσει το 5G πλησιάζει καθώς η τεχνολογία ολοένα και περισσότερο εξελίσσεται. Το 5G σχεδιάζεται για έναν κόσμο όπου δεκάδες δισεκατομμύρια συσκευές εξαρτώνται από τη συνεχή σύνδεση τους στο διαδίκτυο και αυτό, ίσως να εξηγεί πολλά.

Το 5G θα είναι ακραία γρήγορο, πολύ σταθερό και ιδιαιτέρως πολύπλευρο αφού θα υποστηρίζει ακόμα περισσότερους ταυτόχρονους χρήστες και συσκευές, υπηρετώντας τους με ταχύτητες κατά πολύ υψηλότερες από αυτές του 4G. Η ταχύτητα του θα αρκεί για να βλέπουμε ανεμπόδιστα βίντεο σε ποιότητα ανάλυσης 8K ή να κατεβάσετε μία ταινία 3D μέσα σε 30 δευτερόλεπτα, όταν με το 4G, θα χρειαζόσασταν περίπου έξι λεπτά.

Σύμφωνα με ανάλυση του Global System for Mobile Association (GSMA), έως το 2025, περίπου μία στις τρεις συνδέσεις κινητής τηλεφωνίας εκτιμάται ότι θα χρησιμοποιεί δίκτυα επόμενης γενιάς.

Συγκεκριμένα, η διείσδυση της τεχνολογίας 5G στην Ευρώπη υπολογίζεται σε 31% το 2025, που μεταφράζεται σε 217 εκατομμύρια συνδέσεις. Οι αναλυτές υποστηρίζουν ότι το 4G δε θα καταργηθεί αλλά θα συνεχίσει να υπάρχει παράλληλα με το 5G και αυτό για δύο λόγους, πρώτον γιατί δε θα μπορούν όλες οι συσκευές να «σηκώσουν» αυτές τις ταχύτητες και δεύτερον γιατί το 5G δε θα καλύπτεται γεωγραφικά από όλες τις περιοχές.

Το δίκτυο 5G, αναμένεται να λειτουργεί σε μια μπάντα υψηλής συχνότητας του ασύρματου φάσματος, κάπου μεταξύ 30-300 GHz. Σε αυτά τα κύματα, η μεταφορά δεδομένων πραγματοποιείται σε ιδιαιτέρως υψηλές ταχύτητες.

Όσον αφορά την επικοινωνία συσκευής προς συσκευή (D2D) αναφέρεται σε τεχνολογία ραδιοσυχνοτήτων που επιτρέπει στις συσκευές να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, δηλαδή χωρίς δρομολόγηση των διαδρομών δεδομένων μέσω υποδομής δικτύου. Με το D2D οι τελικοί χρήστες θα μπορούν να επωφεληθούν από ορισμένες υπηρεσίες όπως η επικοινωνία δημόσιας ασφάλειας σε περίπτωση βλάβης της υποδομής καθώς και η συνειδητοποίηση της εγγύτητας.

Το D2D μπορεί ακόμη και να επιτρέψει στους χρήστες να βιώσουν οφέλη από άποψη μικρότερης καθυστέρησης επικοινωνίας, αυξημένου ρυθμού δεδομένων και μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, η επικοινωνία D2D συνεπάγεται νέες προκλήσεις

για το σχεδιασμό των συσκευών, τη διαχείριση παρεμβολών, την ασφάλεια, τη διαχείριση της κινητικότητας και άλλες πτυχές.

Επιπλέον, οι πόροι μεταξύ των χρηστών D2D και μεταξύ των δικτύων D2D και των κυψελοειδών δικτύων μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κέρδος επαναχρησιμοποίησης πόρων. Η επικοινωνία D2D αναγνωρίζεται και ως ένα από τα τεχνολογικά συστατικά της εξελισσόμενης αρχιτεκτονικής του 5G. Η επικοινωνία D2D χρησιμοποιείται για τοπικές υπηρεσίες, περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης και διασυνδέσεις IoT.

Συμπερασματικά, υπάρχουν ακόμα αρκετά προβλήματα και ποικίλες δυσκολίες ως προς την υλοποίηση του 5G καθώς και για την επικοινωνία D2D. Όμως, τα θεμέλια για μια καλύτερη επικοινωνία και γρηγορότερη σύνδεση στο διαδίκτυο έχουν τεθεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Asadi A., Qing W., και Mancuso V., A survey on device-to-device communication in cellular networks, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, 2014.
- [2] Abedini N., Tavildar S., Li J., Richardson, T., Distributed synchronization for device-to-device communications in an lte network, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, 2016.
- [3] Doppler K., Rinne M.P., Janis P., Ribeiro C., Hugel K., Device-to-Device Communications. Functional Prospects for LTE-Advanced Networks, *ICC Workshops*, 2009.
- [4] Gandotra, P., Jha R.K., Jain S., A survey on device-to-device (d2d) communication: Architecture and security issues, 2017.
- [5] Marsch P., Bulakci O., Queseth O., Boldi M., *5G System Design*, 2018.
- [6] Nitesh, Garsha, Kakkar, *Generations of Mobile Communication*, 2016.
- [7] Noura M., Nordin R., A survey on interference management for device-to-device (d2d) communication and its challenges in 5G networks, 2016.
- [8] Qiao J., Shen, X. S., Mark, J. W., Enabling device-to-device communications in millimeter wave 5g cellular networks, *IEEE Communications Magazine*, 2015.
- [9] Rodriguez J., *Fundamentals of 5G Mobile Networks*, 2015.
- [10] Sarver W., *Learning 5G in the Real World*, 2017.
- [11] Shen X., "Device-to-Device Communication in 5G Cellular Networks" *IEEE Network*, 2015.
- [12] Singh K., Singh R., *4G LTE Cellular Technology: Network Architecture and Mobile Standards*.
<http://pdfs.semanticscholar.org/b2ab/1c503c76a4b3870feaec5c3a6a157972a555.pdf>
- [13] Tehrani M. N., Uysal M., and Yanikomeroglu H., "Device-to-device communication in 5g cellular networks: challenges, solutions, and future directions," *IEEE Communications Magazine*, 2014.
- [14] Vora L. J., Evolution of mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcoming wireless technology 5G.
<https://pdfs.semanticscholar.org/4dfd/40cc3a386573ee861c5329ab4c6711210819.pdf>
- [15] Ευλωμένος, Γ., Β., Πολύζος, Γ., Κ., *Τεχνολογία πολυμέσων και πολυμεσικές επικοινωνίες*, Εκδόσεις κλειδάριθμος, 2009.

[16] Παπαϊωάννου, Ε., Κινητά και ασύρματα δίκτυα. Εισαγωγικά στοιχεία, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πάτρα.