



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΙΜΟ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 5G

ΡΙΖΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΣ

A.M 5887

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2019

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	5
1.1 ΟΙ ΓΕΝΙΕΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	5
1.1.1 ΔΙΚΤΥΑ 1^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	5
1.1.2 ΔΙΚΤΥΑ 2^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	6
1.1.3 ΔΙΚΤΥΑ 2.5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	8
1.1.4 ΔΙΚΤΥΑ 3^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	11
1.1.5 ΔΙΚΤΥΑ 4^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: 5G&MIMO	18
2.1 ΔΙΚΤΥΑ 5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	18
2.1.1 ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ 5G ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	20
2.1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ 5G ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	21
2.2 MIMO	23
2.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΙΔΕΑ ΓΙΑ ΤΑ MIMO	23
2.2.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ MIMO	25

2.2.2.1 EIGEN-BEAMFORMING.....	25
2.2.2.2 SPACE-TIME CODING.....	26
2.2.2.3 SPATIAL MULTIPLEXING.....	27
2.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ MASSIVE MIMO	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ MIMO ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 5G.....	32
3.1 ΤΟ ΕΓΧΕΙΡΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ MIMO ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 5G.....	32
3.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	34
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	34

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
FWA	Fixed Wireless Access
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
1G	First Generation
2G	Second Generation
2.5G	Two and a half Generation
3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
NMT	Nordic Mobile Telephony
TACS	Total Access Communication System
FDMA	Frequency Division multiple access
TDMA	Time Division multiple access
CDMA	Code Division multiple access
GSM	Global System for Mobile
NADC	North American Digital Communications
USDS	United States Digital Service
ETSI	European Technical Standard Institute

IS-136	Interim Standard-136
WAP	Wireless Application Protocol
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
PSK	Phase-shift Keying
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
WLAN	Wireless Local Area Network
DSP	Digital Signal Processing
NLOS	Non-Line Of Sight
LOS	Line Of Sight

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ

ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 Οι γενιές των κινητών δικτύων

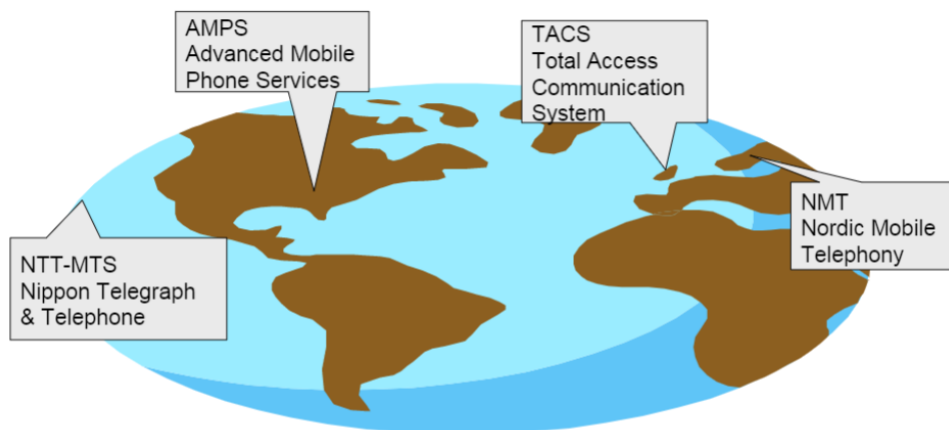
1.1.1 Δίκτυα 1^{ης} γενιάς

Τα πρώτα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών έκαναν την εμφάνισή τους στα τέλη της δεκαετίας του 70, στις Η.Π.Α., και στις αρχές της δεκαετίας του 80, στην Ευρώπη. Τα αποκάλεσαν ασύρματα δίκτυα 1^{ης} γενιάς ή αλλιώς αναλογικά. Παρόλο που οι δυνατότητες τους ήταν περιορισμένες, η εμφάνισή τους εκείνη την εποχή θεωρήθηκε ως ένα τεράστιο τεχνολογικό επίτευγμα. Το AMPS, ήταν το πρώτο σύστημα στις κινητές τηλεπικοινωνίες που έκανε την εμφάνιση του το 1978 σε μερικές πολιτείες των Η.Π.Α. και στη συνέχεια, η ιδέα (της κινητής τηλεφωνίας) διαδόθηκε στις λοιπές ηπείρους. Στην Ευρώπη, έκαναν την εμφάνιση τους δύο συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών, το NMT και το TACS.

Μια σημαντική έννοια, στο χώρο των κινητών τηλεπικοινωνιών, ήταν η έννοια της κυψέλης. Ο λόγος για τον οποίο τα συστήματα αυτά ονομάζονται κυψελωτά, είναι γιατί ακόμα και σήμερα στηρίζουν τη λειτουργία τους στις κυψέλες, των οποίων το σχήμα αντιπροσωπεύει, κατά μία έννοια, τα γεωγραφικά όρια μέσα στα οποία μπορούν να εξυπηρετούνται οι κινητοί χρήστες. Σε κάθε κυψέλη, αντιστοιχεί ένας σταθμός βάσης, ο οποίος αναλαμβάνει τη δημιουργία και τη δρομολόγηση των κλήσεων. Ένα κύριο χαρακτηριστικό που μπορούσε κανείς να παρατηρήσει, ήταν το γεγονός ότι ο πομπός και ο δέκτης επικοινωνούσαν χρησιμοποιώντας την ίδια συχνότητα. Από την άλλη πλευρά, η κλήση τερματιζόταν, όταν κάποιος χρήστης ξεπερνούσε τα όρια της κυψέλης, πράγμα που περιόριζε σημαντικά την κινητικότητα του (χρήστη).

Ένα άλλο πρόβλημα, ήταν η χαμηλή απόδοση των συστημάτων αυτών, καθώς ήταν πολύ μικρός ο αριθμός των χρηστών που μπορούσαν να μιλήσουν ταυτόχρονα, από τη στιγμή που το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων δεν ήταν αρκετό.
[<https://en.wikipedia.org/wiki/1G>]

Κινητά δίκτυα 1ης Γενιάς

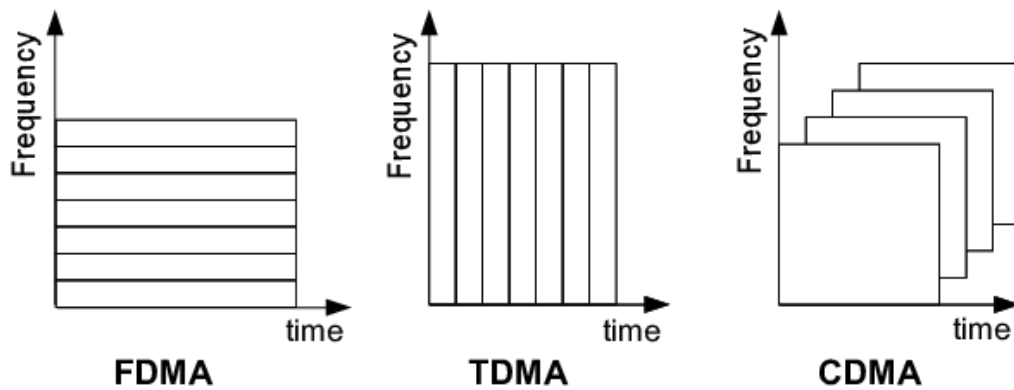


- Χαρακτηριστικά
 - Κυψελωτά συστήματα
 - Αναλογική μετάδοση
 - Προσπέλαση με διαίρεση Συχνότητας (FDMA)
 - Συχνότητα λειτουργίας 450 MHz ή 900 MHz
 - Εμβέλεια: τα όρια κάθε χώρας

Εικόνα 1 : Κινητά δίκτυα 1^{ης} γενιάς

1.1.2 Δίκτυα 2^{ης} γενιάς

Σε αντίθεση με τα χαρακτηριστικά του δικτύου 1^{ης} γενιάς, αρκετά από αυτά του δικτύου 2^{ης} γενιάς χρησιμοποιήθηκαν στο σχεδιασμό των δικτύων 3^{ης} γενιάς. Έτσι, λοιπόν, τα δίκτυα 2^{ης} γενιάς αντί να μεταδίδουν αναλογικό σήμα και ο διαχωρισμός μεταξύ των χρηστών για ταυτόχρονη πρόσβαση στο ασύρματο μέσο να γίνεται με τεχνική FDMA, χρησιμοποιούσαν τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης του σήματος, ενώ οι χρήστες διαχωρίζονταν με TDMA ή CDMA.



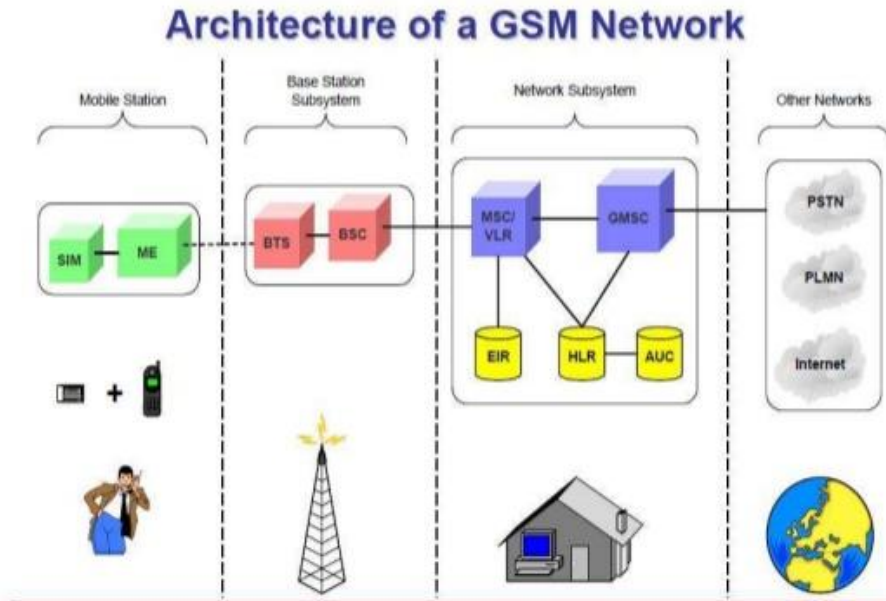
Εικόνα 2 : FDMA, TDMA, CDMA

Τα πιο γνωστά συστήματα 2^{ης} γενιάς είναι τα εξής :

- i. Το GSM, το οποίο χρησιμοποιεί την TDMA τεχνική και υποστηρίζει 8 χρονο-σχισμές (time-slots), με εύρος ζώνης 200kHz η κάθε μία.
- ii. Το IS-136, γνωστό και ως NADC ή USDC.
- iii. Το PDC, ένα Ιαπωνικό σύστημα, που είχε αρκετές ομοιότητες με το IS-136.
- iv. Το IS-95, επίσης γνωστό ως CDMAONE, το οποίο χρησιμοποιεί την CDMA τεχνική, που ήταν ευρέως διαδεδομένη στη Βόρεια Αμερική, αλλά και σε χώρες, όπως Κορέα, Ιαπωνία, Κίνα και Αυστραλία.

Στην Ευρώπη, η ανάγκη για τη δημιουργία ενός ενιαίου συστήματος, που θα εξυπηρετούσε όλους τους Ευρωπαίους πολίτες ανεξαρτήτως χώρας, οδήγησε στη δημιουργία του GSM, υπό την επίβλεψη του ETSI. Το σύστημα αυτό ήταν περισσότερο διαδεδομένο, αφού μετρούσε 350 εκατομμύρια χρήστες σε 140 χώρες και 400 δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών. Το GSM ξεκίνησε να λειτουργεί στη ζώνη των 800-900 MHz, ενώ σε κάποιες άλλες χώρες, που το υιοθέτησαν, λειτουργεί στα 1.8 και 2 GHz. [<https://en.wikipedia.org/wiki/2G>]

Παρακάτω φαίνεται η αρχιτεκτονική του GSM δικτύου:



Εικόνα 3 : Αρχιτεκτονική GSM δικτύου

1.1.3 Δίκτυα 2.5^{ης} γενιάς

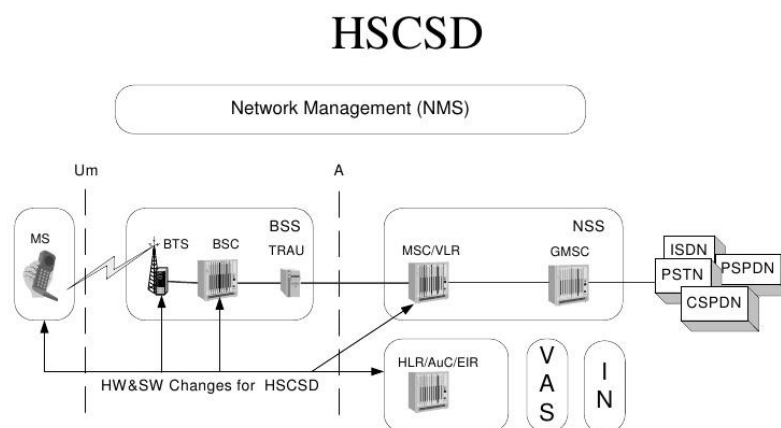
Σε μια προσπάθεια για επανασχεδιασμό των προτύπων 2^{ης} γενιάς, έτσι ώστε αυτά να μπορούν να υποστηρίξουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, όπως απαιτούσαν οι διάφορες εφαρμογές στο χώρο του Internet, προέκυψε ο σχεδιασμός νέων προτύπων, που αντιπροσώπευαν τη γενιά 2.5. Τα πρότυπα αυτά επέτρεπαν στον υπάρχοντα εξοπλισμό 2^{ης} γενιάς να τροποποιηθεί, προκειμένου να μπορεί να υποστηρίξει υπηρεσίες, όπως πλοήγηση στο Internet, email, WAP και λοιπά.
<https://en.wikipedia.org/wiki/2.5G>

Στα πλαίσια της αναβάθμισης των συστημάτων προέκυψαν τρία νέα συστήματα, που αντιπροσώπευαν τη γενιά 2.5. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

- i. HSCSD
- ii. GPRS

iii. EDGE

Το όνομα HSCSD αντιπροσωπεύει την τεχνική της μεταγωγής κυκλώματος, η οποία επιτρέπει σε έναν κινητό χρήστη να χρησιμοποιεί διαδοχικές χρονοσχισμές του GSM προτύπου. Σε συνδυασμό με κάποιες άλλες τροποποιήσεις, το HSCSD καταφέρνει να πετύχει ρυθμούς μετάδοσης στα 14,4 Kbps από τα 9,6 Kbps, που προσέφερε το GSM. Επίσης, κάνοντας χρήση τεσσάρων συνεχόμενων χρονοσχισμών, το πρότυπο αυτό έδινε τη δυνατότητα για ρυθμό μέχρι και 57,6 Kbps, ανοίγοντας το δρόμο για εφαρμογές, όπως streaming. Το βασικότερο μειονέκτημα του HSCSD ήταν το γεγονός ότι η χρήση της μεταγωγής κυκλώματος σπαταλούσε τους πόρους του δικτύου, αφού οι χρονοσχισμές δεσμεύονταν, ακόμα και όταν η χωρητικότητά τους δε χρησιμοποιούνταν.

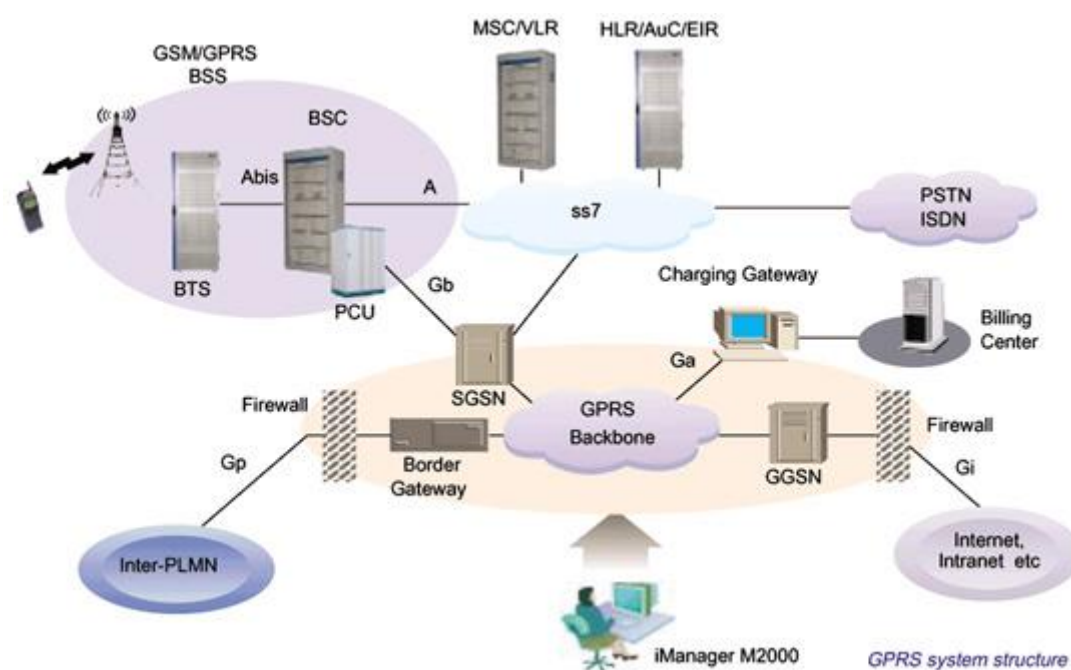


- The data throughput of the system is increased:
 - Channel coding is improved (9.6 kb/s -> 14 kb/s).
- High Speed Circuit Switched Data (HSCSD).
 - Several traffic channels can be used.
 - Max data rate 40 -50 kb/s.

Εικόνα 4 : HSCSD

Το GPRS πρότυπο βασίζεται στη λειτουργία της μεταγωγής πακέτου, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για υπηρεσίες, όπως email, fax και asymmetric web browsing, όπου ο χρήστης «κατεβάζει» από το Internet πολύ περισσότερα δεδομένα από όσα

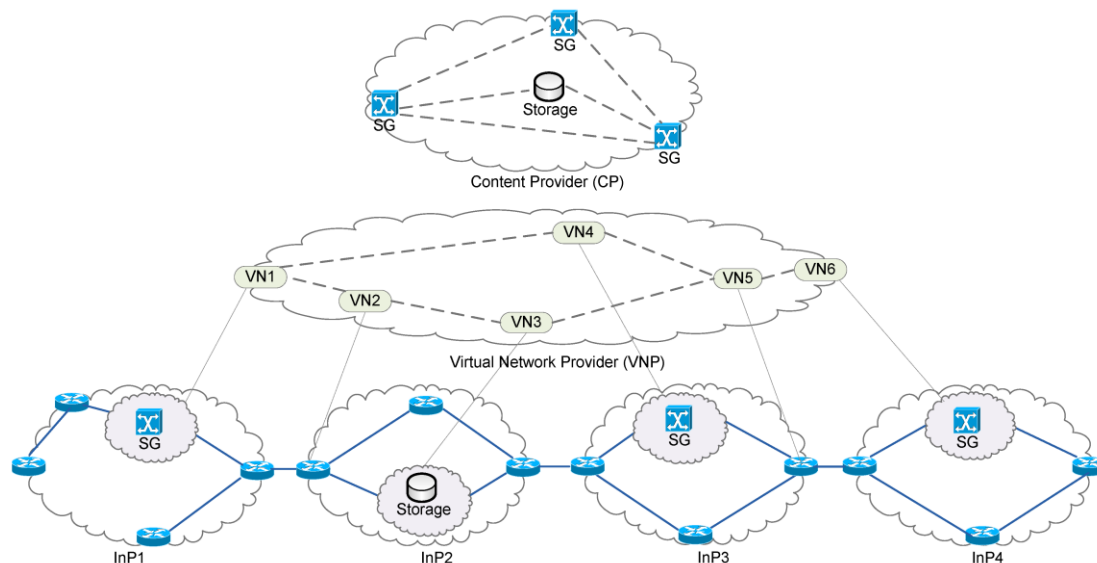
«ανεβάζει». Τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι ότι δεσμεύει τους πόρους του δικτύου, μόνο όταν υπάρχουν δεδομένα που πρέπει να μεταδοθούν, και ότι δεν εξαρτάται τόσο πολύ από τα μέρη εκείνα των δικτύων, που λειτουργούν με μεταγωγή κυκλώματος. Επειδή στο GPRS το κανάλι δε δεσμεύεται από τον κινητό χρήστη με τον τρόπο που γίνεται στο HSCSD, το GPRS έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει περισσότερους χρήστες. Όταν και οι οκτώ χρονοσχισμές του GSM είναι δεσμευμένες στο GPRS από ένα χρήστη, τότε αυτός μπορεί να πετύχει ρυθμό μετάδοσης μέχρι και 171,2 Kbps.



Εικόνα 5 : GPRS

Τέλος, το πρότυπο EDGE, θεωρείται ως μια αρκετά προηγμένη βελτιστοποίηση του προτύπου GSM και αυτό γιατί απαιτεί την αναβάθμιση τόσο στο λογισμικό (software) όσο και στο υλικό (hardware). Το EDGE θεωρείται ως το αποτέλεσμα της επιθυμίας των υπεύθυνων για τα δίκτυα GSM και IS-136, για μια από κοινού τεχνολογική εξέλιξη, που θα τους οδηγούσε σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων 3^{ης} γενιάς. Το EDGE εισάγει μια καινούρια ψηφιακή διαμόρφωση, με το όνομα 8-PSK, η οποία προσφέρει ρυθμό μετάδοσης μέχρι και 547,2Kbps, όταν χρησιμοποιείται

χωρίς διόρθωση λαθών και όλες οι οκτώ χρονοσχισμές είναι δεσμευμένες σε ένα μόνο χρήστη.



Εικόνα 6 : EDGE

1.1.4 Δίκτυα 3^{ης} γενιάς

Το δίκτυο 3^{ης} γενιάς, εν συντομία 3G, είναι η τρίτη γενιά ασύρματης τεχνολογίας κινητών τηλεπικοινωνιών. Πρόκειται για την αναβάθμιση για δίκτυα GPRS 2G και 2.5G, για βελτιωμένη ταχύτητα στο Internet. Αυτό βασίζεται σε ένα σύνολο προτύπων, που χρησιμοποιούνται για τις κινητές συσκευές και τις υπηρεσίες και τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, που συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών, για τις Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες-2000 (IMT-2000). Το 3G βρίσκει εφαρμογή στην ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, την πρόσβαση στο κινητό Internet, τη σταθερή ασύρματη πρόσβαση στο Internet, τις βιντεοκλήσεις και την κινητή τηλεόραση.

Τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών 3G υποστηρίζουν υπηρεσίες που παρέχουν ρυθμό μετάδοσης πληροφοριών τουλάχιστον 0,2 Mbit/s. Οι επόμενες κυκλοφορίες 3G, οι οποίες συχνά υποδηλώνονται με 3.5G και 3.75G, προσφέρουν επίσης κινητή ευρυζωνική πρόσβαση αρκετών Mbit/s σε smartphones και κινητά μόντεμ σε φορητούς υπολογιστές. Αυτό διασφαλίζει τη δυνατότητα εφαρμογής στην ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, την πρόσβαση

στο κινητό Internet, τη σταθερή ασύρματη πρόσβαση στο Internet, τις βιντεοκλήσεις και τις τεχνολογίες κινητής τηλεόρασης.

Μια νέα γενιά κυτταρικών προτύπων εμφανίστηκε περίπου κάθε δέκατο έτος από τότε που τα συστήματα 1G εισήχθησαν το 1979 και τα πρώτα μέσα της δεκαετίας του 1980. Κάθε γενιά χαρακτηρίζεται από νέες ζώνες συχνοτήτων, υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και τεχνολογία μετάδοσης, που δεν είναι συμβατή προς τα πίσω. Τα πρώτα δίκτυα 3G εισήχθησαν το 1998. Οι τεχνικές προδιαγραφές τέθηκαν στη διάθεση του κοινού, με την ονομασία IMT-2000. Το φάσμα επικοινωνίας μεταξύ 400 MHz και 3 GHz, διατέθηκε για 3G. Τόσο η κυβέρνηση όσο και οι εταιρείες επικοινωνίας ενέκριναν το πρότυπο 3G. Το πρώτο προ-εμπορικό δίκτυο 3G ξεκίνησε από την NTT DoCoMo στην Ιαπωνία το 1998, με την επωνυμία FOMA. Διατέθηκε για πρώτη φορά το Μάιο του 2001, ως πρότυπη τεχνολογία W-CDMA. Το πρώτο εμπορικό λανσάρισμα της τεχνολογίας 3G πραγματοποιήθηκε επίσης από την NTT DoCoMo, στην Ιαπωνία, την 1η Οκτωβρίου 2001, αν και αρχικά ήταν κάπως περιορισμένο. Η ευρύτερη διαθεσιμότητα του συστήματος καθυστέρησε από εμφανείς ανησυχίες για την αξιοπιστία του.

Το πρώτο ευρωπαϊκό προ-εμπορικό δίκτυο ήταν ένα δίκτυο UMTS, στη Νήσο του Μαν από την Manx Telecom, που στη συνέχεια ανήκει στην British Telecom και το πρώτο εμπορικό δίκτυο (επίσης το W-CDMA με βάση το UMTS) στην Ευρώπη ανοίχθηκε για τις επιχειρήσεις από την Telenor Δεκέμβριο του 2001, χωρίς εμπορικά τηλέφωνα και επομένως, δεν πληρώνουν πελάτες.

Το πρώτο δίκτυο που κυκλοφόρησε στο εμπόριο ήταν η SK Telecom στη Νότια Κορέα με την τεχνολογία 1xEV-DO, που βασίζεται σε CDMA, τον Ιανουάριο του 2002. Μέχρι το Μάιο του 2002, το δεύτερο δίκτυο της Νότιας Κορέας 3G ήταν από την KT στην EV-DO και έτσι, οι Νότιοι Κορεάτες ήταν πρώτα να δούμε τον ανταγωνισμό μεταξύ των φορέων τρίτης γενιάς.

Το πρώτο εμπορικό δίκτυο των Ηνωμένων Πολιτειών 3G ήταν από την Monet Mobile Networks, στην τεχνολογία CDMA2000 1x EV-DO, αλλά ο παροχέας του δικτύου έκλεισε

αργότερα. Ο δεύτερος φορέας εκμετάλλευσης δικτύου 3G στις Η.Π.Α. ήταν η Verizon Wireless τον Ιούλιο του 2002, επίσης σε CDMA2000 1x EV-DO. Η AT & T Mobility ήταν, επίσης, ένα πραγματικό 3G δίκτυο UMTS, αφού ολοκλήρωσε την αναβάθμιση του δικτύου 3G στην HSPA.

Το πρώτο εμπορικό δίκτυο του Ηνωμένου Βασιλείου 3G ξεκίνησε από την Hutchison Telecom, η οποία βρισκόταν αρχικά πίσω από την Orange S.A. Το 2003, ανακοίνωσε το πρώτο εμπορικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς ή 3G στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Το πρώτο δίκτυο προ-εμπορικού επίδειξης στο νότιο ημισφαίριο κατασκευάστηκε στην Adelaide της Νότιας Αυστραλίας, από το m.Net Corporation, το Φεβρουάριο του 2002, χρησιμοποιώντας UMTS σε 2100 MHz. Αυτό ήταν ένα δίκτυο επίδειξης για το Παγκόσμιο Συνέδριο IT 2002. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο 3G ξεκίνησε από την Hutchison Telecommunications, με την επωνυμία Three ή "3" τον Ιούνιο του 2003.

[<https://en.wikipedia.org/wiki/3G>]

1.1.5 Δίκτυα 4^{ης} γενιάς

Η τέταρτη γενιά (4G) κινητής τηλεφωνίας είναι διάδοχος της τρίτης γενιάς (3G). Ένα σύστημα 4G παρέχει υπερ-ευρυζωνική πρόσβαση στο Internet. Για παράδειγμα, στα ασύρματα μόντεμ, σε smartphones και σε άλλες φορητές συσκευές. Περιλαμβάνουν εφαρμογές όπως: mobile web πρόσβαση, IP τηλεφωνία, υπηρεσίες τυχερών παιχνιδιών, υψηλής ευκρίνειας κινητή τηλεόραση, video conferencing, 3D τηλεόραση και cloud computing.

Δύο υποψήφια 4G συστήματα για εμπορική ανάπτυξη είναι:

- i. Το Mobile WiMAX πρότυπο (χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στη Νότιο Κορέα το 2006)
- ii. Η πρώτη έκδοση LTE πρότυπο (στο Όσλο, της Νορβηγίας και της Στοκχόλμης, στη Σουηδία από το 2009).

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές, ένα σύστημα 4G δεν υποστηρίζει τις παραδοσιακές circuit-switched υπηρεσίες τηλεφωνίας, αλλά όλα τα Internet 15 Protocol (IP), με βάση την επικοινωνία, όπως η IP τηλεφωνία. Όπως φαίνεται παρακάτω, το φάσμα ασύρματης τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στα συστήματα 3G, έχει εγκαταλειφθεί σε όλα τα υποψήφια συστήματα 4G για να αντικατασταθεί από OFDMA multi-carrier μεταφοράς και άλλων FDE συστημάτων, καθιστώντας δυνατή τη μεταφορά πολύ υψηλών ρυθμών μετάδοσης, παρά την εκτεταμένη διάδοση πολλαπλών διαδρομών ραδίου (ηχώ). Ο μέγιστος ρυθμός bit είναι να βελτιωθεί περαιτέρω με την έξυπνη κεραία, σε συστοιχίες πολλαπλών εισόδων – πολλαπλών εξόδων (MIMO) επικοινωνίας.

Ο όρος «γενιά», που χρησιμοποιείται για να αναφέρουμε διαδοχικές εξελίξεις των ραδιοφωνικών δικτύων, σε γενικές γραμμές, είναι αυθαίρετη.

Τα τερματικά των δικτύων επόμενης γενιάς θα υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα επιλογών εύρους ζώνης, που θα κυμαίνεται από μερικά kbps έως 100 Mbps ή και παραπάνω. Ο χρόνος ζωής των μπαταριών αυτών των συσκευών αναμένεται να είναι περίπου μία εβδομάδα. Αυτή η πρόοδος αναμένεται να συνοδευτεί από μείωση βάρους και όγκου των μπαταριών.

Οι στόχοι των συστημάτων τέταρτης γενιάς φαίνονται παρακάτω:

- **Διαλειτουργικότητα:** είναι η δυνατότητα περιαγωγής μεταξύ δικτύων διαφορετικών προτύπων. Αυτόματα δημιουργείται ένα πρόβλημα, καθώς θα υπάρχει πρόσβαση σε διαφορετικά ασύρματα δίκτυα, μέσω του ίδιου τερματικού. Οι πιθανές λύσεις φαίνονται παρακάτω:
 - Τερματικά πολλαπλού τρόπου λειτουργίας
 - Δίκτυο επικάλυψης
 - Κοινό πρωτόκολλο πρόσβασης.
- **Υποστηριζόμενο εύρος ζώνης και χρόνος ζωής μπαταριών**

- **Σταθερό δίκτυο μεταγωγής πακέτων**
- **Μεταβολή εύρους ζώνης για την ασύρματη πρόσβαση:** η διασύνδεση των διαφορετικών δικτύων σε μια κοινή πλατφόρμα θα παρέχει ένα δίκτυο που θα αποτελείται από διαφορετικά επίπεδα τα οποία θα προσφέρουν διαφορετικές ταχύτητες πρόσβασης στους χρήστες ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση. Τα επίπεδα φαίνονται παρακάτω:
 - Επίπεδο διανομής
 - Κυψελικό επίπεδο
 - Επίπεδο «θέρμων σημείων» προσωπικό επίπεδο
 - Σταθερό επίπεδο
 - Προσωπικό επίπεδο
- **Προηγμένοι σταθμοί βάσης**
- **Υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης**

Η ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεση συχνότητας (OFDM) προσφέρει υψηλότερες ταχύτητες για τις νέες διασυνδέσεις των τερματικών με το δίκτυο, οπότε καλύπτει τις απαιτήσεις και γι αυτό, χρησιμοποιείται στα συστήματα τέταρτης γενιάς.

Οι τάσεις των ασύρματων δικτύων με το πέρασμα των χρόνων ήταν οι εξής:

- Παγκοσμιοποίηση προϊόντων, υπηρεσιών και επιχειρήσεων
- Συσκευές επικοινωνίας

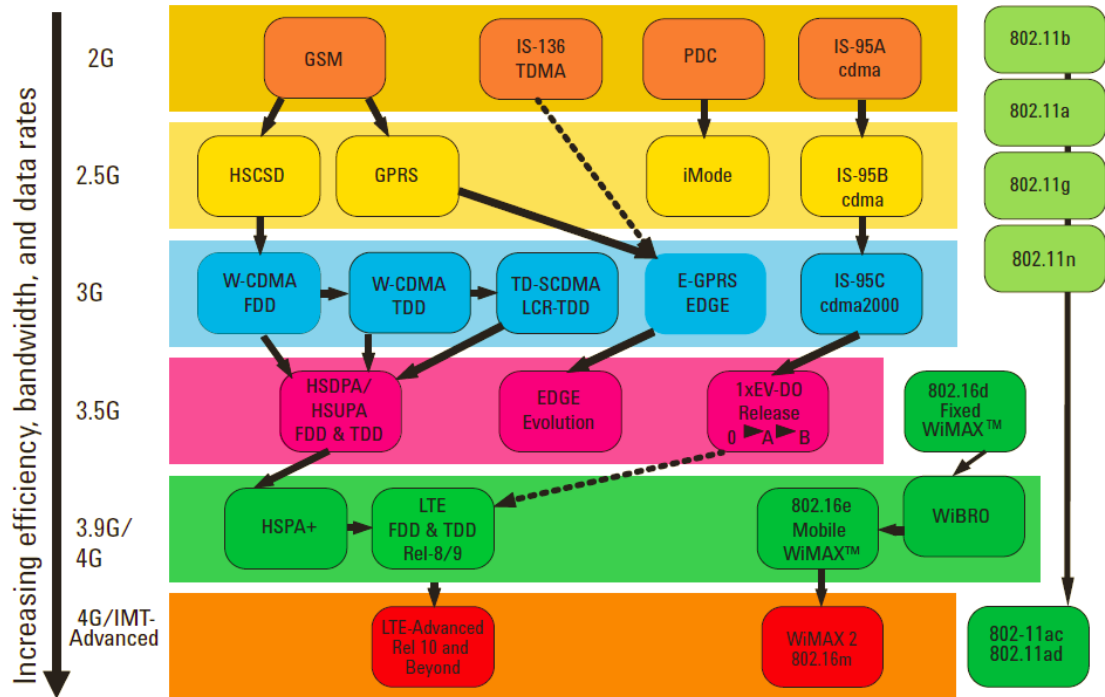
- Οι υπηρεσίες γίνονται πιο ανεξάρτητες από την υπάρχουσα υποδομή
- Ανταλλαγή και υπερχείλιση πληροφοριών
- Διαφοροποίηση και υπερχείλιση πληροφοριών
- Διαφοροποίηση τυποποίησης

Γύρω στη αρχές του 2010 εμφανίστηκαν τα συστήματα τέταρτης γενιάς ως εξέλιξη αυτών της τρίτης γενιάς. Κάποιες ενδεικτικές υπηρεσίες των συστημάτων τέταρτης γενιάς φαίνονται παρακάτω:

- Τηλεπαρουσία
- Πρόσβαση σε πληροφορίες
- Επικοινωνία μεταξύ μηχανών
- Ευφυείς αγορές
- Ασφάλεια
- Υπηρεσίες βασισμένες στη γεωγραφική θέση

Τα προβλήματα που έπρεπε να επιλυθούν ήταν η ανάπτυξη αποδοτικότερων τεχνικών διαμόρφωσης, ο προσδιορισμός νέων τμημάτων φάσματος, και οι εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών, οι οποίες μελετήθηκαν και στα συστήματα δεύτερης, αλλά και τρίτης γενιάς. Ένα άλλο πρόβλημα ήταν η αποδοχή της εξέλιξης των τηλεπικοινωνιών, από τους χρήστες και την κοινωνία.

[<https://en.wikipedia.org/wiki/4G>]



Εικόνα 7 : Η πρόοδος ανά γενιά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: 5G & MIMO

2.1 Δίκτυα 5ης γενιάς

Τα ασύρματα συστήματα 5ης γενιάς, με συντομογραφία 5G, είναι βελτιωμένες τεχνολογίες ασύρματων δικτύων. Οι πρωτογενείς τεχνολογίες περιλαμβάνουν: οι ζώνες χιλιοστομετρικών κυμάτων (26, 28, 38 και 60 GHz) προσφέρουν απόδοση έως και 20 gigabits ανά δευτερόλεπτο. Το μαζικό MIMO προσφέρει απόδοση έως και δέκα φορές γρηγορότερο δίκτυο από τα 4G.

Τα συστήματα χιλιοστομετρικών κυμάτων έχουν σχεδιαστεί για λήψεις αιχμής 20 gigabit. Το εκτιμώμενο μέσο εύρος ζώνης τους είναι 3,5 gigabits. Το εκτιμώμενο διάμεσο εύρος ζώνης για τη ζώνη των 3,5 GHz-4,2 GHz, με πρόσθετες κεραιές MIMO, είναι 490 megabits. Στις συχνότητες μεσαίας ζώνης, η ταχύτητα 5G με προσομοίωση είναι πολύ παρόμοια με την ταχύτητα 4G LTE, υποθέτοντας την ίδια διαμόρφωση εύρους ζώνης και κεραιάς.

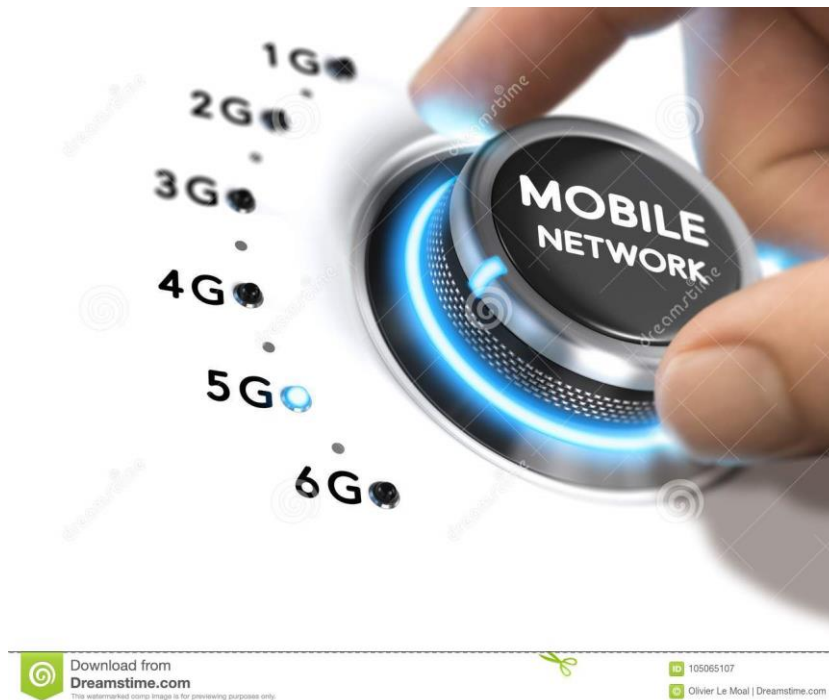
Τα περισσότερα μεγάλα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δοκιμάζουν και τις τρεις προσεγγίσεις. Η Verizon και η AT & T ανακοίνωσαν τις εμπορικές αναπτύξεις σε χιλιοστά κύματα για το 2018. Η Softbank χρησιμοποίησε το Massive MIMO ξεκινώντας από το 2016. Η Sprint θα αναπτύξει, επίσης, 5G στα 2.5 GHz (midband) το 2018. Το 2018, η T-Mobile ανακοίνωσε χαμηλή ζώνη 5G για 30 πόλεις. Η αρχική ανάπτυξη 5G της China Telecom θα είναι μεσαία ζώνη.

Από το 2017, η ανάπτυξη του 5G διευθύνεται από αρκετές εταιρείες, όπως η Samsung, η Intel, η Qualcomm, η Nokia, η Huawei, η Ericsson, η ZTE και άλλοι. Παρόλο που το 5G σχεδιάζεται να είναι εμπορικά διαθέσιμο σε όλο τον κόσμο μέχρι το 2020, η Νότια Κορέα παρείχε 5G στους χειμερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες του 2018 για τους επισκέπτες. Το 2018, η Verizon σχεδιάζει να κυκλοφορήσει 5G FWA σε 4 πόλεις στις Η.Π.Α., στο Sacramento, LA, στην Indianapolis και στο Houston.

Η πρώτη πόλη στην Ελλάδα, με δίκτυο 5G, είναι τα Τρίκαλα, από τις 16 Μαρτίου 2018, ενώ η επόμενη θα είναι η Πάτρα.

Σήμερα, τα 3G κινητά συστήματα βρίσκονται σε χρήση, παρέχοντας σύνδεση IP με υπηρεσίες σε πραγματικό και μη πραγματικό χρόνο. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν πολλές ασύρματες τεχνολογίες που έχουν αποδειχθεί να είναι σημαντικές, όπως είναι τα 802.11 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα δίκτυα, για την ψηφιακή τηλεόραση και ραδιοφωνική μετάδοση. Κατόπιν, οι έννοιες του 4G έχουν ήδη συζητηθεί πολύ και είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα περιλαμβάνουν διάφορα πρότυπα στο πλαίσιο μιας κοινής αιγίδας παρόμοια με αυτά των 3G, αλλά με τα IEEE 802.xx ασύρματα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας να περιλαμβάνονται από την αρχή. Πλέον, 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.

[<https://en.wikipedia.org/wiki/5G>]



Εικόνα 8 : 5G

2.1.1 Τα οφέλη της 5G τεχνολογίας

Η 5G κινητή τεχνολογία έχει αλλάξει τα μέσα που χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα σε πολύ υψηλό εύρος ζώνης. Ο χρήστης ποτέ δεν γνώρισε ένα τέτοιο μέσο υψηλής τεχνολογικής αξίας. Σήμερα, οι χρήστες κινητών έχουν άγνοια όσον αφορά την τεχνολογία του κινητού τους τηλεφώνου. Οι 5G τεχνολογίες περιλαμβάνουν όλα τα είδη των προηγμένων χαρακτηριστικών, που την κάνουν πιο ισχυρή και με μεγάλη ζήτηση στο εγγύς μέλλον. Στα 5G, ο χρήστης της κινητής είναι στην κορυφή όλων. Τα τερματικά 5G θα έχουν ραδιοεπικοινωνίες μέσω λογισμικού, το σύστημα διαμόρφωσης, καθώς και νέα συστήματα ελέγχου σφαλμάτων, όπου ο οποιοσδήποτε θα μπορεί να το «κατεβάσει» από το Διαδίκτυο «στο πόδι». Τα τερματικά θα έχουν πρόσβαση σε διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες ταυτόχρονα και το τερματικό θα πρέπει να είναι σε θέση να συνδυάζει διαφορετικές ροές από διαφορετικές τεχνολογίες. Κάθε δίκτυο θα είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών, ενώ ο τερματικός σταθμός θα κάνει την τελική επιλογή μεταξύ των διαφόρων

ασύρματων/κινητών παροχών πρόσβασης στο δίκτυο, για μια συγκεκριμένη υπηρεσία.

Η παραπάνω τεχνολογία πρόκειται να είναι μια νέα επανάσταση στην αγορά κινητής τηλεφωνίας. Μέσω της τεχνολογίας 5G, τώρα ο καθένας θα είναι σε θέση να χρησιμοποιεί σε όλο τον κόσμο τα κινητά τηλέφωνα και μάλιστα, η τεχνολογία αυτή θα μπορεί να επιτευχθεί και στην αγορά κινητής τηλεφωνίας στην Κίνα, όπου ένας χρήστης θα είναι ικανός να αποκτήσει πρόσβαση σε τηλέφωνο στη Γερμανία ως τοπικό τηλέφωνο. Πρόκειται για μία τεχνολογία που έχει εξαιρετικές δυνατότητες στα δεδομένα και έχει την ικανότητα να συνδέσει μαζί, απεριόριστο όγκο κλήσεων και άπειρα δεδομένα, να μεταδίδονται στο πιο πρόσφατο κινητό λειτουργικό σύστημα. 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. Η τρέχουσα τάση της 5G τεχνολογίας έχει ένα λαμπρό μέλλον.

[<https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/0000714/network-and-i-o/wireless-networking.html>]

2.1.2 Χαρακτηριστικά της 5G τεχνολογίας

Τα χαρακτηριστικά της 5G τεχνολογίας είναι τα παρακάτω:

- προσφέρει υψηλή ανάλυση στο χρήστη κινητού τηλεφώνου και αμφίδρομη μεγάλη εύρους ζώνης διαμόρφωσης
- οι προηγμένες διεπαφές χρέωσης το καθιστούν πιο ελκυστικό και αποτελεσματικό
- παρέχει, επίσης, εργαλεία εποπτείας του συνδρομητή για γρήγορη δράση
- οι υψηλής ποιότητας υπηρεσίες με βάση την πολιτική βοηθούν στην αποφυγή σφαλμάτων
- παρέχει μεγάλη μετάδοση των δεδομένων σε Gigabit που υποστηρίζουν σχεδόν 65.000 συνδέσεις

- προσφέρει μεταφορά τάξης πύλης εισόδου με απaráμιλλη συνέπεια
- οι στατιστικές κυκλοφορίας την καθιστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια
- μέσω της απομακρυσμένης διαχείρισης που προσφέρεται, ο χρήστης μπορεί να πάρει την γρήγορη και καλύτερη λύση
- προσφέρει απομακρυσμένη διάγνωση
- παρέχει έως και 25 Mbps ταχύτητα σύνδεσης
- υποστηρίζει, επίσης, εικονικό ιδιωτικό δίκτυο
- λαμβάνει όλες τις υπηρεσίες παράδοσης από επιχειρηματική προοπτική
- η ταχύτητα upload και download αγγίζει την κορυφή
- τέλος, προσφέρει βελτιωμένη συνδεσιμότητα και διατίθεται απλώς στον κόσμο.



Εικόνα 9 : Η δύναμη της 5^{ης} γενιάς

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι με την τεχνολογία 5G οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τα κινητά τηλέφωνα δεν θα είναι ξεχωριστά πράγματα. Ένα μικρότερο κινητό είναι ίσο με ένα φορητό υπολογιστή. Ο τρόπος που θα διευκολύνει το χρήστη με φωτογραφικές μηχανές, παιχνίδια, βίντεο, μουσική, συσκευές

εγγραφής/αναπαραγωγής είναι πραγματικά αξιοσημείωτος. Τα ποσοστά της κλήσης δε θα είναι διαφορετικά από περιοχή σε περιοχή. Όλη η περιαγωγή θα πρέπει να εξαιρεθεί από τα προγράμματα συμβολαίου. Δεν είναι πολύ μακριά, η εποχή που θα βλέπουμε τα «παγκόσμια» κινητά τηλέφωνα σε όλο τον κόσμο. Ένας χρήστης θα μπορεί να μετακινηθεί οπουδήποτε στον κόσμο, έχοντας μόνο το 5G δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

[<https://www.networkworld.com/article/3224893/what-is-edge-computing-and-how-it-s-changing-the-network.html>]

2.2 MIMO

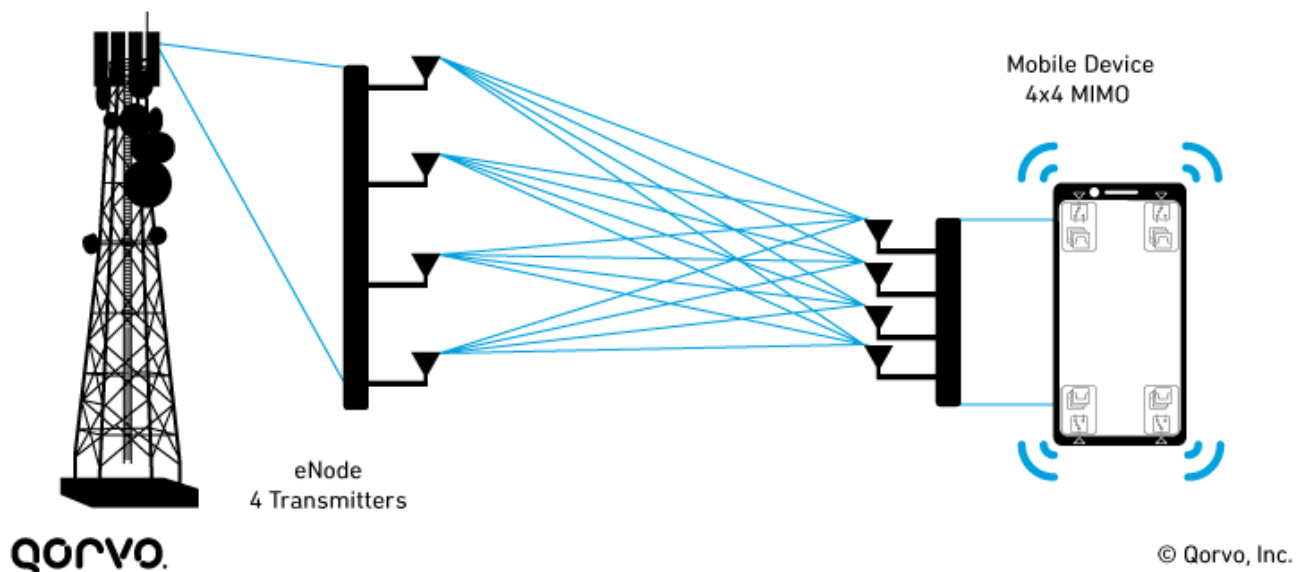
2.2.1 Γενική ιδέα για τα MIMO

Η **πολλαπλή έξοδος πολλαπλών εισόδων** (MIMO) είναι μια ασύρματη τεχνολογία που χρησιμοποιεί πολλαπλούς πομπούς και δέκτες, για τη μεταφορά περισσότερων δεδομένων ταυτόχρονα. Όλα τα ασύρματα προϊόντα με υποστήριξη MIMO 802.11n. Η τεχνολογία επιτρέπει στο 802.11n να φτάσει σε υψηλότερες ταχύτητες από τα προϊόντα χωρίς 802.11n. Για την εφαρμογή του MIMO, ο σταθμός (κινητή συσκευή) ή το σημείο πρόσβασης (AP) πρέπει να υποστηρίζει το MIMO. Για βέλτιστη απόδοση και εμβέλεια, τόσο ο σταθμός όσο και το AP πρέπει να υποστηρίζουν το MIMO.

Η τεχνολογία MIMO χρησιμοποιεί ένα φυσικό φαινόμενο ραδιοκυμάτων, που ονομάζεται multipath. Με πολλές διαδρομές, οι μεταδιδόμενες πληροφορίες αναπηδούν από τοίχους, οροφές και άλλα αντικείμενα, φτάνουν στην κεραία λήψης, πολλές φορές σε διαφορετικές γωνίες και ελαφρώς διαφορετικούς χρόνους. Στο παρελθόν, η πολλαπλή διαδρομή προκάλεσε παρεμβολές και επιβράδυνε τα ασύρματα σήματα. Με τεχνολογία πολλαπλών διαδρομών, η τεχνολογία MIMO χρησιμοποιεί πολλαπλούς, έξυπνους πομπούς και δέκτες, με πρόσθετη χωρική διάσταση, αυξάνοντας την απόδοση και την εμβέλεια.

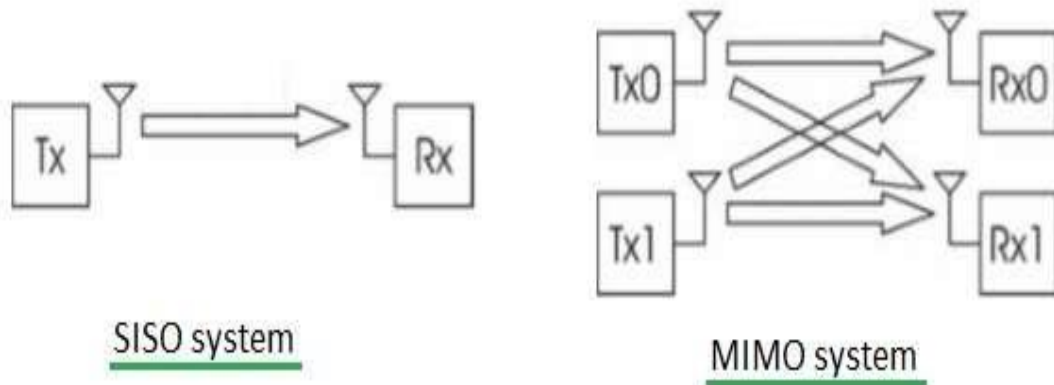
[<https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>]

Το MIMO αυξάνει την ισχύ λήψης σήματος λήψης, επιτρέποντας στις κεραιές να συνδυάζουν ροές δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές διαδρομές και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Μέχρι το Μάιο του 2002, το δεύτερο 3G δίκτυο της Νότιας Κορέας, ήταν από την EV-do και έτσι, οι Νοτιοκορεάτες «έζησαν» πρώτοι τον ανταγωνισμό, μεταξύ των φορέων τρίτης γενιάς. Οι έξυπνες κεραιές χρησιμοποιούν τεχνολογία χωρικής διαφοροποίησης, η οποία τοποθετεί τις κεραιές σε καλή χρήση. Όταν οι κεραιές ξεπερνούν τις χωρικές ροές, οι κεραιές μπορούν να προσθέσουν ποικιλία δέκτη και να αυξήσουν την εμβέλεια. Περισσότερες κεραιές, συνήθως, ισοδυναμούν με υψηλότερες ταχύτητες. Ένας ασύρματος προσαρμογέας με τρεις κεραιές μπορεί να έχει ταχύτητα 600 Mbps. Ένας προσαρμογέας με δύο κεραιές έχει ταχύτητα 300 Mbps. Ο δρομολογητής χρειάζεται πολλαπλές κεραιές και πρέπει να υποστηρίζει πλήρως όλα τα χαρακτηριστικά του 802.11n, για να επιτύχει την υψηλότερη δυνατή ταχύτητα.



Εικόνα 10 : MIMO

Οι ασύρματες συσκευές παλαιού τύπου χρησιμοποιούν τεχνολογία Single-Input Single-Output (SISO). Μπορούν μόνο να στέλνουν ή να λαμβάνουν ένα χωρικό ρεύμα, κάθε φορά.



Εικόνα 11 : SISO & MIMO systems

2.2.2 Τεχνικές MIMO

2.2.2.1 Eigen-Beamforming

Το **Eigen-Beamforming** μπορεί να γίνει τόσο στην πλευρά μετάδοσης ενός συνδέσμου όσο και στην πλευρά λήψης. Η κλασική Beamforming είναι σαν να χρησιμοποιείται μια κεραία υψηλής απόδοσης, αλλά αυτή που δεν χρειάζεται να επαναπροσανατολιστεί για να δείχνει προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Το Eigen-Beamforming επιτυγχάνει το ίδιο κέρδος, αλλά δεν είναι ευαίσθητο στο προσανατολισμό της κεραίας ή στα στοιχεία σκέδασης κοντά στην κεραία. Πολλοί άνθρωποι σκέφτονται συστήματα, όπως το ραντάρ σταδιακής διάταξης, όταν εισάγεται η ιδέα της μορφοποίησης ακτίνων και πράγματι, η φάση συστοιχίας είναι μια μέθοδος χρήσης πολλαπλών στοιχείων κεραίας, για να κατευθύνει την κατευθυντικότητα της συστοιχίας κεραίας σε διαφορετικές κατευθύνσεις ,σχηματίζοντας μια κεραία εκπομπής ή λήψης «δέσμη».

Παρά τη «σταδιακή σειρά» που έχει φαινομενικά προηγμένο αέρα, λόγω της χρήσης της σε εξαιρετικά ακριβά στρατιωτικά συστήματα, είναι στην πραγματικότητα μια απλούστερη μορφή σχηματισμού ακτίνων απ' ότι μπορεί να γίνει με ένα σύγχρονο σύστημα MIMO. Τα συστήματα σταδιακής συστοιχίας εκτελούν τη μορφοποίησή τους χρησιμοποιώντας περιορισμένη δυνατότητα μετατόπισης φάσεων και συνδυασμού σημάτων στον αναλογικό

τομέα, γεγονός που παρουσιάζει μερικά σημαντικά μειονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένου του ότι το όφελος απόδοσης μειώνεται, καθώς το εύρος ζώνης του καναλιού αυξάνεται και ότι λειτουργεί γενικά, μόνο στην καθαρή γραμμή των καταστάσεων όρασης (LOS), απουσία οποιουδήποτε διασκορπιστή ή πολλαπλών διαδρομών, που προκαλούν σημαντική υποβάθμιση.

Το MIMO Eigen-beamforming από την άλλη πλευρά, μετατρέπει τα σήματα από όλες τις κεραιές στον ψηφιακό τομέα, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξελιγμένο DSP. Το Eigen-Beamforming μπορεί, επομένως, να πραγματοποιηθεί ανεξάρτητα για καθέναν από τους στενοζωνικούς υποφορείς ενός συστήματος ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (OFDM). Ειδικότερα, τα συστήματα MIMO μπορούν να χρησιμοποιήσουν έναν τύπο σχηματισμού δέσμης γνωστού ως Eigen beamforming. Η ιδιομορφική δομή δέσμης δεν περιορίζεται στη διαμόρφωση μιας απλής δέσμης σε τρισδιάστατο χώρο. Δεν επηρεάζεται αρνητικά από σκέδαση αντικειμένων ή αντανάκλασεις πολλαπλών διαδρομών. Ένας Eigen beamformer, που λαμβάνει ένα σήμα σε κατάσταση μη ορατότητας (NLOS), με πολλαπλές αντανάκλασεις μπορεί να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό πρότυπο κεραιάς, που αυξάνει το κέρδος σε πολλαπλές κατευθύνσεις, που αντιστοιχούν στις μεμονωμένες αντανάκλασεις. Χρησιμοποιώντας την Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος, τα συστήματα MIMO έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν αυτά τα μοτίβα σε ένα πακέτο με βάση πακέτα.

2.2.2.2 Space-Time Coding

Η **χωροχρονική κωδικοποίηση (Space-Time Coding)** είναι ένας μηχανισμός, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση μέσω πολλαπλών κεραιών και να επιτύχει παρόμοια κέρδη, όπως μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας πολλαπλή λήψη διαφορετικών κεραιών. Η κωδικοποίηση διαστημικού χρόνου σημαίνει τη λήψη των δεδομένων που κανονικά θα μεταδίδονται από μία μόνο κεραιά και την εφαρμογή μιας τεχνικής κωδικοποίησης επεξεργασίας σήματος, προκειμένου να μεταδοθεί μια μαθηματικά μεταβληθείσα έκδοση του ίδιου περιεχομένου

πληροφοριών σε επιπρόσθετες κεραιές, κατά τρόπο που ενισχύει την ικανότητα του δέκτη να διαχωρίσει τα δεδομένα από τον θόρυβο του περιβάλλοντος. Η χωροχρονική κωδικοποίηση μπορεί να είναι μια φυσική αντιστοίχιση για να λάβει τη μορφή ακτίνας ή τη λήψη πολυμορφίας.

Πάρτε μια κατάσταση, για παράδειγμα, όπου ένα ραδιόφωνο τοποθετημένο στο όχημα μπορεί εύκολα να έχει τέσσερις κεραιές, ενώ μια μικρή φορητή μονάδα μπορεί να περιορίζεται σε δύο ή ακόμα και μία κεραία. Εάν η φορητή συσκευή μεταδίδει σε μία κεραία, η μονάδα του οχήματος μπορεί να χρησιμοποιήσει τη διαφορετικότητα του δέκτη ή τη διαμόρφωση δέσμης για βελτίωση της λήψης. Η κωδικοποίηση χώρου-χρόνου δίνει στο όχημα έναν τρόπο να μεταδίδει και στις τέσσερις κεραιές και να επιτύχει παρόμοιο κέρδος, όταν ο φορητός υπολογιστής περιορίζεται σε μία μόνο κεραία λήψης, καθιστώντας έτσι τη σύνδεση συμμετρική και πολύ πιο χρήσιμη, για αμφίδρομη επικοινωνία.

2.2.2.3 Spatial Multiplexing

Η **χωρική πολυπλεξία** (Spatial Multiplexing) είναι συχνά η τεχνική που οι άνθρωποι δυσκολεύονται να πιστέψουν, πόσο μάλλον να την κατανοήσουν. Αυτή η τεχνική MIMO μεταδίδει στην πραγματικότητα πολλαπλές μοναδικές «ροές» πληροφορίας από διαφορετικές κεραιές, καθένα από τα οποία λειτουργεί με ίδια κεντρική συχνότητα. Ένας δέκτης, που χρησιμοποιεί τουλάχιστον τόσες κεραιές όπως ο αριθμός των ρευμάτων που μεταδίδονται, μπορεί να αποκωδικοποιήσει αυτά ξεχωριστά και έτσι, να αυξήσει την ποσότητα των δεδομένων που ρέουν, μέσω σταθερού εύρους ζώνης καναλιού. Ένα σύστημα 4×4 MIMO μπορεί να επιτύχει τέσσερα ρεύματα υπό βέλτιστες συνθήκες και έτσι, να μεταδώσει τέσσερα φορές περισσότερα δεδομένα από ένα σύστημα SISO, μέσω του ίδιου εύρους ζώνης καναλιού.

Αν έχουμε έναν πομπό που μεταδίδει τέσσερα ρεύματα (A, B, Γ και Δ), αυτά τα ρεύματα συγχωνεύονται στον αέρα και ένας αλλοιωμένος συνδυασμός $wA + xB + yC + zD$ φτάνει σε καθεμία

από τις τέσσερις κεραίες λήψης, όπου w , x , y και z αντιπροσωπεύουν τις παραμορφώσεις του καναλιού, που προκαλούνται από ένα πλούσιο σε πολλές διαδρομές κανάλι, το οποίο διαφέρει σε κάθε κεραία. Μέσω της πολύ εξελιγμένης επεξεργασίας ψηφιακών σημάτων MIMO, ο δέκτης χαρακτηρίζει όλα αυτά τα φαινόμενα καναλιών w , x , y , z για να ανακτήσει τα αρχικά ρεύματα A , B , C και D , κάνοντας αυτό που ισοδυναμεί με την επίλυση τεσσάρων εξισώσεων με τέσσερις αγνώστους, όπως πολλοί μπορεί να θυμηθούν από τις κατηγορίες γραμμικής άλγεβρας.

Η χωρική πολυπλεξία MIMO έχει το πλεονέκτημα ότι είναι σε θέση να αυξήσει τη φασματική απόδοση (bits ανά δευτερόλεπτο ανά Hz του καναλιού), χωρίς να μειώνει την ευρωστία του συνδέσμου όσο και να πηγαίνει σε αστερισμούς υψηλότερης τάξης. Για παράδειγμα, μπορεί να επιτευχθεί σχεδόν 4 bits/sec/Hz με 16-QAM, με αρκετά ισχυρό ρυθμό κωδικοποίησης FEC, χρησιμοποιώντας δύο ροές. Χωρίς MIMO, ένα σύστημα θα χρειαζόταν να χρησιμοποιήσει 64-QAM και λιγότερο ισχυρό ρυθμό κωδικοποίησης FEC, για να επιτύχει παρόμοια απόδοση μέσα στο ίδιο κανάλι - περιορίζοντας σημαντικά το εύρος του ή απαιτώντας πολύ μεγαλύτερη ισχύ μετάδοσης.

Όλες αυτές οι τεχνικές, είτε χρησιμοποιούνται μεμονωμένα είτε σε κάποιο συνδυασμό, παρέχουν όφελος που μπορεί να μετρηθεί με όρους χαμηλότερης απαιτούμενης ισχύος μετάδοσης, μεγαλύτερης εμβέλειας, μεγαλύτερης θωράκισης ή μεγαλύτερης απόδοσης.

2.2.3 Συστήματα Massive MIMO

Η μαζική τεχνολογία MIMO είναι το βασικό συστατικό των υπερ-γρήγορων δικτύων 5G, που θα ξεκινήσουν από το τέλος του 2019. Αλλά τι ακριβώς είναι το Massive MIMO και γιατί είναι τόσο σημαντικό για τη λειτουργία του 5G;

Το MIMO σημαίνει πολλαπλή έξοδος πολλαπλών εισόδων. Ενώ περιλαμβάνει πολλαπλές τεχνολογίες, το MIMO μπορεί ουσιαστικά να δράσει σε αυτήν την ενιαία αρχή: ένα ασύρματο

δίκτυο που επιτρέπει τη μετάδοση και τη λήψη περισσότερων του ενός σημάτων δεδομένων ταυτόχρονα, μέσω του ίδιου ραδιοφωνικού καναλιού. Τα τυπικά δίκτυα MIMO τείνουν να χρησιμοποιούν δύο ή τέσσερις κεραιές. Το μαζικό MIMO, από την άλλη πλευρά, είναι ένα σύστημα MIMO με ιδιαίτερα υψηλό αριθμό κεραιών. Δεν υπάρχει ορισμένος αριθμός για το τι αποτελεί μια μαζική ρύθμιση MIMO, αλλά η περιγραφή τείνει να εφαρμόζεται σε συστήματα με δεκάδες ή και εκατοντάδες κεραιές. Για παράδειγμα, οι Huawei, ZTE και Facebook έχουν επιδείξει συστήματα Massive MIMO με 96 έως και 128 κεραιές. Το AIR 6468 της Ericsson, το οποίο η εταιρεία ισχυρίζεται ότι είναι «το πρώτο ραδιόφωνο 5G NR στον κόσμο», χρησιμοποιεί 64 κεραιές εκπομπής και 64 λήψης.

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από συστοιχίες εκατοντάδων κεραιών, που εξυπηρετούν μερικές δεκάδες χρηστών και χρησιμοποιούν χωρική πολυπλεξία σε συνδυασμό με TDD. Η χωρική πολυπλεξία (Spatial Multiplexing) επιτρέπει σε διαφορετικές ροές δεδομένων να εκπέμπονται προς διαφορετικούς χρήστες, στην ίδια χρονική θυρίδα, και να χρησιμοποιούν ίδιες συχνότητες (επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων-frequency reuse). Ο αριθμός των χρηστών, που μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα, περιορίζεται από την αδυναμία να υπολογισθεί η κατάσταση του καναλιού (Channel State Information, CSI), για απεριόριστο αριθμό τερματικών.

Η μαζική τεχνολογία MIMO είναι ήδη εμπορική στην Κίνα και την Ιαπωνία μέσα σε ένα περιβάλλον 4G LTE. Το δίκτυο Softbank της τελευταίας χώρας ανέπτυξε το πρώτο εμπορικό δίκτυο Massive MIMO προς το τέλος του 2016. Στις αρχές Σεπτεμβρίου του 2017, η Ericsson ανακοίνωσε την κυκλοφορία ενός νέου τύπου ραδιοσυχνοτήτων FDD (Duplexing με διαίρεση συχνότητας) με υποστήριξη για το 5G και το Massive MIMO. Ισχυρίστηκε ότι αυτό θα γεφυρώσει το κενό μεταξύ 4G και 5G, ενισχύοντας την ικανότητα του υπάρχοντος 4G LTE, ενώ διαμορφώνει το θεμέλιο για το 5G. Οι κινεζικές εταιρείες τεχνολογίας δικτύων ZTE και Huawei ανακοίνωσαν και τις δύο νέες ευρωπαϊκές δοκιμές μαζικής MIMO τον Οκτώβριο του 2017. Επίσης, το 2017, η Vodafone και η Huawei συνεργάστηκαν στην Αυστραλία για να επιδείξουν τη

μαζική τεχνολογία MIMO σε ένα πραγματικό περιβάλλον. Κατάφεραν να χρησιμοποιήσουν το υπάρχον φάσμα συχνοτήτων της Vodafone, μαζί με τη μονάδα ενεργής κεραίας 5G της Huawei (με 32 εσωτερικούς πομπούς και δέκτες), για να χτυπήσουν ταχύτητες μεταφοράς 717Mbps σε οκτώ συσκευές.

Στις αρχές του 2018, η Nokia έκανε ένα βήμα προς τη βελτιστοποίηση της τεχνολογίας μαζικής κεραίας MIMO, με την παραγωγή του chipset ReefShark. Με μικρότερη, ελαφρύτερη και αποδοτικότερη ισχύ από τους προκατόχους της, η Nokia ισχυρίστηκε ότι το ReefShark μειώνει το τεράστιο μέγεθος της κεραίας MIMO κατά το ήμισυ και μειώνει την κατανάλωση ενέργειας στις μονάδες βάσης κατά 64%.

Ο κορεατικός τεχνολογικός γίγαντας της Samsung έχει επίσης απασχοληθεί με την τεχνολογία Massive MIMO. Στην έδρα της, στο Suwon της Κορέας, η εταιρεία δημιούργησε μια αποκαλούμενη «πόλη 5G» για να δώσει κάποια εικόνα για το πώς μπορεί να είναι η ζωή όταν κυκλοφορήσει το 5G. Ένα σημαντικό στοιχείο αυτής της πόλης 5G ήταν το λεγόμενο «Στάδιο 5G», το οποίο κατέδειξε ειδικά πώς η μαζική τεχνολογία MIMO μπορεί να επιτρέψει σε πλήθος ανθρώπων, να παρακολουθήσουν ταυτόχρονα βίντεο HD χωρίς καθυστερήσεις ή διακοπές.

Η δοκιμή της απόδοσης πολλών παράλληλων σημάτων υπήρξε πραγματικά μια μεγάλη πρόκληση για τη βιομηχανία τηλεπικοινωνιών. Το Cobham Wireless το αντιμετώπισε αυτό το Μάρτιο του 2018, με μια λύση δοκιμής επιδόσεων MIMO Massive Multi-beam, που ανέπτυξε σε συνεργασία με το China Mobile Research Institute. Επιτρέπει τη δοκιμή σε ένα εικονικοποιημένο περιβάλλον, που προσομοιώνει πραγματικές συνθήκες, κάτι που ήταν ένα βήμα μπροστά από τις εργαστηριακές δοκιμασίες περιορισμένης κλίμακας που είχαν προηγηθεί.

Στο MWC 2019 στη Βαρκελώνη, η Ericsson κέρδισε το βραβείο για την Υποδομή Καλών Δικτύων για κινητά με το Massive MIMO 5G υψηλών συχνοτήτων. Αυτή είναι η πρώτη εμπορική βελτιωμένη λύση ευρυζωνικής κινητής τηλεφωνίας που λειτουργεί σε χιλιοστά κύματος, γνωστή και ως ζώνες υψηλότερης συχνότητας που θα οριστούν 5G.

[<https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/>]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ MIMO

ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 5G

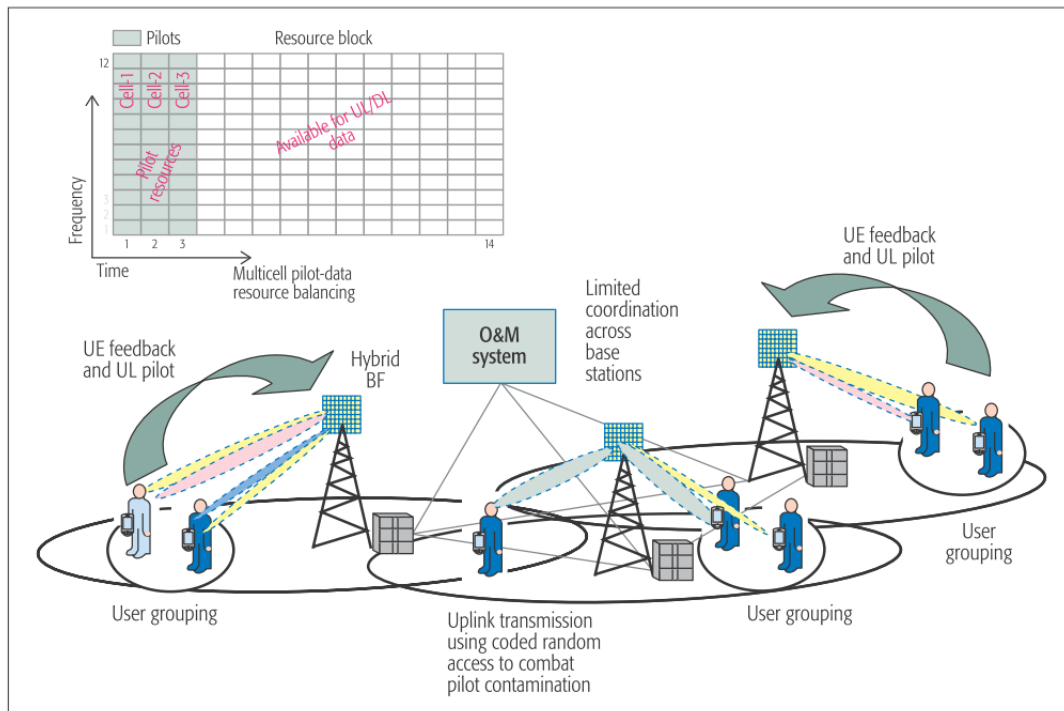
3.1 Το εγχείρημα εφαρμογής MIMO σε δίκτυα 5G

Από την ίδρυσή της περίπου πριν από μια δεκαετία, η μαζική έννοια MIMO εξελίχθηκε από μια άγρια «ακαδημαϊκή» ιδέα σε ένα από τα πιο καυτά ερευνητικά θέματα στην κοινότητα των ασύρματων επικοινωνιών, καθώς και ένα κύριο αντικείμενο εργασίας στην τυποποίηση 5G.

Ο χρόνος για το Massive MIMO έχει έρθει αυτή τη στιγμή για δύο λόγους: πρώτον, η συμβατική τεχνολογία έχει αποδειχθεί ότι δεν μπορεί να αποδώσει τη φασματική απόδοση, που ζητούν οι εφαρμογές 5G. Δεύτερον, η εμπιστοσύνη στην εξαιρετική αξία της τεχνολογίας έχει εξαπλωθεί γρήγορα, καθώς τα εντυπωσιακά πρωτότυπα της πραγματικής ζωής έδειξαν φασματική απόδοση ρεκόρ και η ισχυρή λειτουργία με κυκλώματα RF και βασικής ζώνης χαμηλής πολυπλοκότητας έχει τεκμηριωθεί.

Ενώ οι βασικές αρχές MIMO χρησιμοποιούνται ήδη σε πολλαπλά πρότυπα Wi-Fi και 4G, το Massive MIMO θα τεθεί πραγματικά σε λειτουργία, μόλις φτάσουν τα 5G. Πράγματι, είναι ευρέως αναμενόμενο ότι το Massive MIMO θα αποτελέσει βασικό παράγοντα και βασικό συστατικό του 5G. Ένας από τους βασικούς ρόλους οποιουδήποτε δικτύου 5G, θα είναι να χειριστεί την τεράστια αύξηση στη χρήση δεδομένων, που είναι γύρω από τη γωνία. Η Cisco εκτιμά ότι έως το 2020 - όταν η 5G θα τεθεί σε κυκλοφορία σε ένα κοινό κοινό - θα υπάρξουν 5,5 δισεκατομμύρια χρήστες κινητής τηλεφωνίας σε όλο τον κόσμο, οι οποίοι καταναλώνουν 20GB δεδομένων ανά μήνα. Αυτό δεν είναι ούτε παράγοντας για την τεράστια επίδραση που το Διαδίκτυο των Πράξεων προβλέπεται να έχει στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας μας. Η μαζική ικανότητα του MIMO να εξυπηρετεί πολλούς χρήστες - και πολλαπλές συσκευές - ταυτόχρονα σε μια συμπυκνωμένη περιοχή, διατηρώντας τους γρήγορους ρυθμούς δεδομένων και

συνεπή απόδοση, καθιστά την τέλεια τεχνολογία για την αντιμετώπιση των αναγκών της επικείμενης εποχής 5G.



Εικόνα 12 : Τεχνολογίες MIMO σε 5G

Ενώ το Massive MIMO θα είναι μια βασική τεχνολογία 5G και έχουν ήδη πραγματοποιηθεί δοκιμές με την τρέχουσα προηγμένη τεχνολογία δικτύου 4G LTE, δεν μπορείτε να αγοράσετε ένα μαζικό έξυπνο τηλέφωνο MIMO. Θα ήταν άσκοπο χωρίς ένα εμπορικά διαθέσιμο μαζικό δίκτυο εξοπλισμένο με MIMO, στο οποίο θα λειτουργούσε. Ωστόσο, πολλά τηλέφωνα μπορούν να επωφεληθούν από το κανονικό MIMO σε τρέχοντα δίκτυα 4G LTE. Για παράδειγμα, το iPhone XR υποστηρίζει 2x2 MIMO, ενώ το iPhone XS υποστηρίζει MIMO 4x4. Το τελευταίο αποτελείται από τέσσερις κεραιές για τέσσερις ταυτόχρονες ροές δεδομένων, καθιστώντας έτσι τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων δύο φορές πιο γρήγορα από το 2x2 MIMO.

Η πρόσφατα ανακοινωθείσα οικογένεια της Samsung Galaxy S10 υποστηρίζει επίσης 4x4 MIMO, αν και το Samsung Galaxy S9 και το Galaxy S8. Τα Pixel 3 και Pixel 2 της Google βρίσκονται επίσης στο παιχνίδι MIMO 4x4, όπως το HTC U11 και το HTC U12+, το Huawei Mate 20 Pro και το OnePlus 6T. Ουσιαστικά, εάν αγοράσατε ένα ναυαρχικό τηλέφωνο τα τελευταία δύο χρόνια περίπου, ίσως υποστηρίζει 4x4 MIMO. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμη και μεγάλα ή λιγότερο ικανά τηλέφωνα που

δεν υποστηρίζουν MIMO, θα μπορούν να επωφεληθούν από το πιο σταθερό, πιο ευαίσθητο περιβάλλον δικτύου που θα παράγει το Massive MIMO. Αντίθετα, τα τηλέφωνα με υποστήριξη MIMO 4x4 θα είναι ταχύτερα ακόμη και σε δίκτυα MIMO 2x2. Με αυτόν τον τρόπο, μπορείτε να περιμένετε τα τεράστια τηλέφωνα που υποστηρίζουν το MIMO για να έχετε εξαιρετική συνδεσιμότητα δικτύου, ανεξάρτητα από το περιβάλλον δικτύου όταν φθάνουν.

3.2 Συμπέρασμα

Συνοψίζοντας θα λέγαμε ότι το μαζικό MIMO μπορεί να προσφέρει βελτιωμένες ευρυζωνικές υπηρεσίες στο μέλλον και πολλά άλλα. Τα δίκτυα 5G αναμένεται να υποστηρίξουν μια μεγάλη ποικιλία ασύρματων υπηρεσιών σε τομείς από το infotainment έως την υγειονομική περίθαλψη, τα έξυπνα σπίτια και τις πόλεις, την κατασκευή και λοιπά. Η μαζική τεχνολογία MIMO μπορεί να προσαρμοστεί για να υποστηρίξει έναν τεράστιο αριθμό συσκευών επικοινωνίας τύπου μαζικής μηχανής (MTC). Επίσης, είναι ένας εξαιρετικός υποψήφιος για να πραγματοποιήσει την Ultra Reliable Communication, καθώς μπορεί να δημιουργήσει πολύ ισχυρούς φυσικούς δεσμούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

URLs:

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>
2. <https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/>
3. <https://en.wikipedia.org/wiki/1G>

4. <https://en.wikipedia.org/wiki/2G>
5. <https://en.wikipedia.org/wiki/2.5G>
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/3G>
7. <https://en.wikipedia.org/wiki/4G>
8. <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
9. <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/0000714/network-and-i-o/wireless-networking.html>
10. <https://www.networkworld.com/article/3224893/what-is-edge-computing-and-how-it-s-changing-the-network.html>