



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ  
ΜΑΘΗΜΑ: ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

# <ΜΙΜΟ ΚΑΙ 5G ΔΙΚΤΥΑ>

Όνομα: Βραχά Αγγελική  
ΑΜ: 6009

Διδάσκων: Χρήστος Μπούρας

Πάτρα 2019

## Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : Εισαγωγή .....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : ΜΙΜΟ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : Τα υπέρ και τα κατά .....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> : Massive MIMO.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> : Συμπεράσματα .....	23
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	24



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή

## 1.1 Τι είναι;

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.

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.

## 1.2 Πότε αναμένεται να κυκλοφορήσει;

Η ανάπτυξή του ήδη βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο και με την λειτουργία του οι ζωές όλων θα αλλάξουν ως προς ο καλύτερο. Θα αποτελέσει την κινητήρια δύναμη για εφαρμογές που αφορούν ρομπότ, έξυπνες πόλεις αλλά και τα αυτοκίνητα.

Οι μεγαλύτερες εταιρείες που ασχολούνται με το Διαδίκτυο είναι ήδη σε προχωρημένα στάδια ανάπτυξης και τα πρώτα δίκτυα αναμένεται να τεθούν σε λειτουργία μέσα στα επόμενα χρόνια. Η νέας γενιάς τεχνολογία ασύρματου δικτύου που ονομάζεται 5G πρόκειται να αυξήσει την ταχύτητα της διαδικτυακής σύνδεσης κατά πολύ.

Η βιομηχανία ασύρματου δικτύου περιμένει το 5G το 2020. Πριν από λίγο καιρό, το 5G ξεπέρασε ένα σημαντικό εμπόδιο. Η 3GPP, που αποτελεί διεθνή κοινοπραξία εταιρειών ασύρματου δικτύου, ενέκρινε το τεχνολογικό πρότυπο για τα δίκτυα της επόμενης γενιάς. Η Ένωση Διεθνών Τηλεπικοινωνιών των Ηνωμένων Εθνών αναμένεται να αναθεωρήσει το πρότυπο της 3GPP φέτος. Αφού γίνει αυτό, οι εταιρείες ασύρματου δικτύου θα μπορούν να ξεκινήσουν να πωλούν και να αγοράζουν εξοπλισμό 5G, όντας σίγουρες ότι θα λειτουργεί και κάθε εξάρτημα θα είναι συμβατό με τα άλλα.

Ηδη, μεγάλες εταιρείες Διαδικτύου, όπως οι Verizon και AT&T, έχουν κάνει μεγάλα βήματα προόδου στη δοκιμή του 5G. Μάλιστα, η δεύτερη ισχυρίζεται πως μέσα στο τρέχον έτος θα ξεκινήσει να λειτουργεί το δίκτυό της, παρόλο που κανείς δεν θα μπορεί να το χρησιμοποιήσει

πραγματικά, ωστόσο οι συσκευές κυκλοφορήσουν στα ράφια των μαγαζιών. Και κάτι τέτοιο δεν αναμένεται να συμβεί πριν από το 2020. Όσον, αφορά την χώρα μας η πρώτη πόλη που θα χρησιμοποιήσει το δίκτυο 5g είναι τα Τρίκαλα. η Γενική Γραμματεία Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων του υπουργείου Ψηφιακής Πολιτικής και η e-trikala ΑΕ υπέγραψαν προγραμματική συμφωνία, σύμφωνα με την οποία η πόλη των Τρικάλων θα μετατραπεί σε μία πρότυπη πόλη 5G-Ready. Αυτό σημαίνει πως οι πολίτες θα έχουν την δυνατότητα που αφορά τον έξυπνο φωτισμό, την στάθμευση και την ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο.

### **1.3 Διαφορές με το 4g**

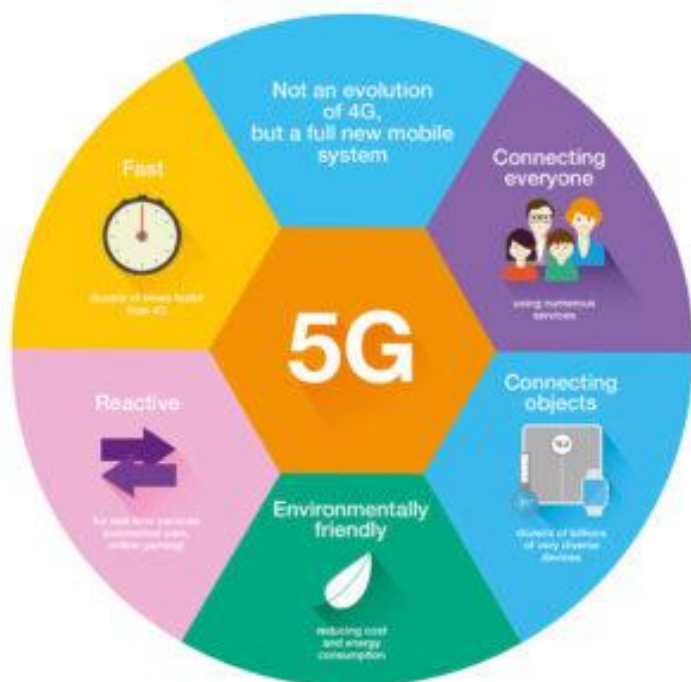
Αρχικά σε ότι αφορά τις ταχύτητες κινητών δεδομένων υπερβαίνουν κατά πολύ το γρηγορότερο ευρυζωνικό δίκτυο στο σπίτι που διατίθενται σήμερα στους καταναλωτές. Με ταχύτητες μέχρι 100 gigabit ανά δευτερόλεπτο, το 5G έχει οριστεί να είναι 100 φορές πιο γρήγορα από το 4G. Τα υφιστάμενα δίκτυα 4G λειτουργούν σε συχνότητες κάτω των 6 GHz. Έτσι, το δίκτυο 5g το καθιστούν κατάλληλο για κρίσιμες εφαρμογές που χρειάζονται ταχεία αντίδραση, όπως ο τηλεχειρισμός ενός οχήματος.

Η χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση είναι ένας βασικός παράγοντας διαφοροποίησης μεταξύ 4G και 5G. Η καθυστέρηση είναι ο χρόνος που περνά από τη στιγμή που οι πληροφορίες αποστέλλονται από μια συσκευή μέχρι να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον δέκτη. Η μειωμένη καθυστέρηση σημαίνει ότι θα μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει τη σύνδεση της κινητής συσκευής ως αντικατάσταση του καλωδιακού μόντεμ και του Wi-Fi. Επιπλέον, θα μπορεί να κάνει λήψη και μεταφόρτωση αρχείων γρήγορα και εύκολα, χωρίς να χρειάζεται να ανησυχεί για το γεγονός ότι το δίκτυο ή το τηλέφωνο συντρίβονται ξαφνικά. Θα μπορούσατε επίσης να παρακολουθήσετε ένα βίντεο 4K σχεδόν αμέσως, χωρίς να χρειαστεί να βιώσετε κάποιο χρόνο ρύθμισης.

Το 5G θα είναι σε θέση να καθορίσει ζητήματα εύρους ζώνης. Επί του παρόντος, υπάρχουν τόσες πολλές διαφορετικές συσκευές συνδεδεμένες σε δίκτυα 3G και 4G, που δεν έχουν την υποδομή για να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά. Το 5G θα είναι σε θέση να χειριστεί τις τρέχουσες συσκευές και τις αναδυόμενες τεχνολογίες όπως τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό και τα συνδεδεμένα οικιακά προϊόντα. Οι ιστοσελίδες και τα βίντεο θα φορτώνονται γρηγορότερα, τα online multiplayer παιχνίδια θα σταματήσουν να έχουν καθυστέρηση, ενώ οι χρήστες θα βλέπουν ένα πιο ομαλό και ρεαλιστικό βίντεο όταν χρησιμοποιούν το Skype ή το FaceTime. Το 5G είναι τόσο γρήγορο που όλα όσα γίνονται στο διαδίκτυο τώρα θα φαίνονται τώρα! Εάν το 5G χρησιμοποιηθεί στο σπίτι

για την αντικατάσταση της καλωδιακής γραμμής, οι χρήστες θα διαπιστώσουν ότι μπορούν να συνδέουν περισσότερες συσκευές στο διαδίκτυο ταυτόχρονα, χωρίς προβλήματα εύρους ζώνης.

Με μεγαλύτερο αριθμό χρηστών και βελτιωμένες υπηρεσίες, το 5G ανοίγει την πόρτα σε ένα νέο επίπεδο απειλής. Οι κυβερνήσεις και οι φορείς εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών πρέπει να εξασφαλίσουν ότι έχουν το σωστό επίπεδο ασφάλειας πριν από την έναρξη των 5G.

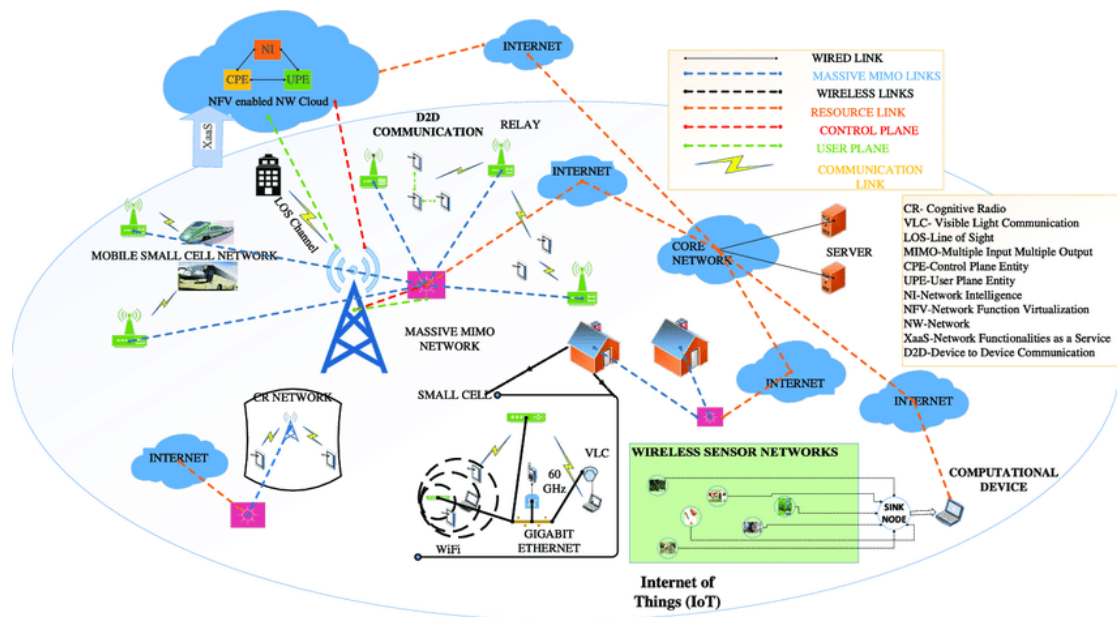


Πηγή: <https://nowmag.gr/5g-%CE%B5%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%BF%CE%BD-4g/>

## 1.4 Αρχιτεκτονική 5g

Το δίκτυο 5g θα είναι μια ένωση των ήδη υπάρχοντων δικτύων και μια επέκτασή τους. Θα χρησιμοποιήσει διάφορες τεχνολογίες για μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών.

Αυτές οι εφαρμογές θα αφορούν τα έξυπνα αυτοκίνητα, δηλαδή αυτοκίνητα χωρίς οδηγό αλλά και επικοινωνία μεταξύ αυτοκινήτων είτε με κάποια υποδομή δικτύου. Μια γενική επιτήρηση των ερευνητών έχει δείξει ότι οι περισσότεροι από τους ασύρματους χρήστες μένουν στο εσωτερικό για περίπου 80 τοις εκατό του χρόνου και έξω για περίπου το 20 τοις εκατό του χρόνου. Στη σημερινή ασύρματη κυτταρική αρχιτεκτονική, για έναν κινητό χρήστη να επικοινωνήσει είτε μέσα είτε έξω η εξωτερική βάση που υπάρχει στη μέση ενός κυττάρου βοηθά στην επικοινωνία. Έτσι, για τους εσωτερικούς χρήστες να επικοινωνούν με την εξωτερική βάση, τα σήματα θα πρέπει να ταξιδεύουν μέσα από τα τοιχώματα των εσωτερικών χώρων, και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα πολύ μεγάλη απώλεια διείσδυσης, μειωμένη φασματική αποτελεσματικότητα, ρυθμό δεδομένων και ενεργειακή απόδοση ασύρματων επικοινωνιών.



Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/A-general-5G-cellular-network-architecture\\_fig19\\_280873356](https://www.researchgate.net/figure/A-general-5G-cellular-network-architecture_fig19_280873356)

Αναλύοντας το παραπάνω σχήμα έχουμε ότι όσον αφορά την κάλυψη, την χωρητικότητα και την ενεργειακή απόδοση που μπορεί να έχει ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να βελτιωθεί με την χρήση κάποιων εφεδρικών τοπολογιών δικτύου που ονομάζονται Relay. Η απευθείας επικοινωνία μεταξύ των χρηστών (D2D), αν και αυτόνομη, θα επικουρείται από τον σταθμό βάσης της macro-κυψέλης, παρέχοντας το απαραίτητο επίπεδο ελέγχου.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : MIMO

### 2.1. Τι είναι;

Στο ραδιόφωνο, η πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος, ή το MIMO, είναι μια μέθοδος για τον πολλαπλασιασμό της χωρητικότητας ενός ραδιοζεύκτη χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραίες μετάδοσης και λήψης για την εκμετάλλευση της πολλαπλής διάδοσης. Το MIMO έχει γίνει ουσιαστικό στοιχείο των προτύπων ασύρματης επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των IEEE 802.11n (Wi-Fi), IEEE 802.11ac (Wi-Fi), HSPA + (3G), WiMAX (4G) και Long Term Evolution (4G LTE). Πιο πρόσφατα, το MIMO έχει εφαρμοστεί στην επικοινωνία ηλεκτρικής γραμμής για εγκαταστάσεις με 3 καλώδια ως μέρος των προδιαγραφών ITU G.hn και HomePlug AV2.

Κάποια στιγμή, στον ασύρματο, ο όρος "MIMO" αναφέρεται στη χρήση πολλαπλών κεραιών στον πομπό και στον δέκτη. Στη σύγχρονη χρήση, το "MIMO" αναφέρεται συγκεκριμένα σε μια πρακτική τεχνική για την αποστολή και τη λήψη περισσότερων από ένα σημάτων δεδομένων ταυτόχρονα μέσω του ίδιου ραδιοφωνικού καναλιού εκμεταλλευόμενοι την πολλαπλή μετάδοση. Το MIMO διαφέρει θεμελιωδώς από τις τεχνικές έξυπνης κεραίας που αναπτύσσονται για την ενίσχυση της απόδοσης ενός σήματος δεδομένων, όπως η μορφοποίηση δέσμης και η ποικιλομορφία.

## 2.2 Ιστορική αναδρομή

Το MIMO εντοπίζεται συχνά στα ερευνητικά έγγραφα της δεκαετίας του 1970 σχετικά με τα πολυκαναλικά συστήματα ψηφιακής μετάδοσης και τις παρεμβολές μεταξύ ζευγαριών συρμάτων σε δέσμη καλωδίων: AR Kaye και DA George (1970), Branderburg and Wyner (1974) και W. van Etten (1975, 1976). Αν και αυτά δεν αποτελούν παραδείγματα εκμετάλλευσης πολλαπλής διάδοσης για την αποστολή πολλαπλών ροών πληροφοριών, ορισμένες από τις μαθηματικές τεχνικές αντιμετώπισης των αμοιβαίων παρεμβολών αποδείχθηκαν χρήσιμες για την ανάπτυξη του MIMO. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, ο Jack Salz στο Bell Laboratories έβαλε αυτή την έρευνα ένα βήμα παραπέρα, διερευνώντας συστήματα πολλαπλών χρηστών που λειτουργούν πάνω σε "αμοιβαία εγκάρσια συζευγμένα γραμμικά δίκτυα με πρόσθετες πηγές θορύβου" όπως πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου και διπλής πόλωσης ράδιο συστήματα.

Οι μέθοδοι αναπτύχθηκαν για να βελτιώσουν την απόδοση των κυψελοειδών ραδιοφωνικών δικτύων και να επιτρέψουν την επαναφορά της συχνότητας στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Η πολλαπλή πρόσβαση διαχωρισμού χώρου (SDMA) χρησιμοποιεί κατευθυντικές ή έξυπνες κεραίες για επικοινωνία στην ίδια συχνότητα με χρήστες σε διαφορετικές θέσεις εντός της εμβέλειας του ίδιου σταθμού βάσης. Ένα σύστημα SDMA προτάθηκε από τους Richard Roy και Björn Ottersten, ερευνητές στο ArrayComm, το 1991. Το αμερικανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τους περιγράφει μια μέθοδο αύξησης της χωρητικότητας χρησιμοποιώντας "μια σειρά κεραιών λήψης στο σταθμό βάσης", "πλήθος απομακρυσμένων χρηστών".

### **Πρότυπα και εμπορευματοποίηση**

Η τεχνολογία MIMO έχει τυποποιηθεί για ασύρματα δίκτυα LAN, δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 3G και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 4G και έχει πλέον εκτεταμένη εμπορική χρήση. Οι Greg Raleigh και V.K. Jones ίδρυσαν την Airgo Networks το 2001 για να αναπτύξουν chipset MIMO-OFDM για ασύρματα δίκτυα LAN. Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) δημιούργησε μια ομάδα εργασίας στα τέλη του 2003 για να αναπτύξει ένα πρότυπο ασύρματου LAN που

παρέχει τουλάχιστον 100 Mbit / s απόδοσης δεδομένων χρήστη. Υπήρχαν δύο σημαντικές ανταγωνιστικές προτάσεις: η TGn Sync υποστηρίχθηκε από εταιρείες όπως η Intel και η Philips και η WWiSE υποστηρίχθηκε από εταιρείες όπως οι Airgo Networks, Broadcom και Texas Instruments. Και οι δύο ομάδες συμφώνησαν ότι το πρότυπο 802.11n θα βασίζεται σε MIMO-OFDM με επιλογές καναλιών 20 MHz και 40 MHz. TGn Sync, WWiSE και μια τρίτη πρόταση (MITMOT, υποστηριζόμενη από τη Motorola και τη Mitsubishi) συγχωνεύθηκαν για να δημιουργήσουν τη λεγόμενη κοινή πρόταση. Το 2004, η Airgo έγινε η πρώτη εταιρεία που εισήγαγε τα προϊόντα MIMO-OFDM. Η Qualcomm απέκτησε τα Airgo Networks στα τέλη του 2006. Το τελικό πρότυπο 802.11n υποστηρίζει ταχύτητες έως 600 Mbit / s (χρησιμοποιώντας τέσσερα ταυτόχρονες ροές δεδομένων) και δημοσιεύθηκε στα τέλη του 2009.

Οι Surendra Babu Mandava και Arogyaswami Paulraj ίδρυσαν τη Beceem Communications το 2004 για την παραγωγή chipset MIMO-OFDM για WiMAX. Η εταιρεία αποκτήθηκε από την Broadcom το 2010. Το WiMAX αναπτύχθηκε ως εναλλακτική λύση στα κυψελοειδή πρότυπα, βασίζεται στο πρότυπο 802.16e και χρησιμοποιεί το MIMO-OFDM για ταχύτητες μέχρι 138 Mbit / s. Το πιο προηγμένο πρότυπο 802.16m επιτρέπει ταχύτητες λήψης μέχρι 1 Gbit / s. Ένα δίκτυο WiMAX σε εθνικό επίπεδο κατασκευάστηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες από την Clearwire, θυγατρική της Sprint-Nextel, που καλύπτει 130 εκατομμύρια σημεία παρουσίας (PoP) έως τα μέσα του 2012. Η Sprint εν συνεχεία ανακοίνωσε σχέδια για την ανάπτυξη του LTE (το κυψελοειδές πρότυπο 4G) που καλύπτει 31 πόλεις μέχρι τα μέσα του 2013 και να κλείσει το δίκτυο WiMAX μέχρι τα τέλη του 2015.

## 2.3 MASSIVE MIMO

Το μαζικό MIMO είναι μια εξελισσόμενη τεχνολογία που έχει αναβαθμιστεί από την τρέχουσα τεχνολογία MIMO. Το σύστημα MassiveMIMO χρησιμοποιεί συστοιχίες κεραιάς που περιέχουν μερικές εκατοντάδες, οι οποίες είναι ταυτόχρονα σε ένα χρόνο, οι οποίες εξυπηρετούν πολλές δεκάδες τερματικά χρηστών. Ο κύριος στόχος της μαζικής τεχνολογίας MIMO είναι να εξαγάγει όλα τα πλεονεκτήματα του MIMO αλλά σε μεγαλύτερη κλίμακα. Γενικά, το μαζικό MIMO είναι μια εξελισσόμενη τεχνολογία δικτύων επόμενης γενιάς, η οποία είναι αποδοτική, ισχυρή, ασφαλή και φιλική προς το φως. Το μαζικό MIMO εξαρτάται από τη χωρική πολυπλεξία, η οποία εξαρτάται περαιτέρω από το σταθμό βάσης να έχει πληροφορία κατάστασης καναλιού, τόσο στην ανερχόμενη όσο και στην κατερχόμενη ζεύξη. Σε περίπτωση κατερχόμενης ζεύξης, δεν είναι εύκολη, αλλά στην περίπτωση ανερχόμενης ζεύξης, είναι εύκολη, όπως τα τερματικά στέλνουν πιλότους. Με βάση τους πιλότους, εκτιμάται η απόκριση του καναλιού κάθε τερματικού. Στα συμβατικά συστήματα MIMO, ο σταθμός βάσης στέλνει τις κυματομορφές του πιλότου στους ακροδέκτες και βάσει αυτών, το τερματικό υπολογίζει το κανάλι, τον ποσοτικοποιεί και τις ανατροφοδοτεί προς τον σταθμό βάσης. Αυτή η διαδικασία δεν είναι βιώσιμη για συστήματα MIMO, ειδικά σε συνθήκες υψηλής κινητικότητας λόγω δύο λόγων. Πρώτον, οι πιλότοι κατερχόμενης ζεύξης από τον σταθμό βάσης πρέπει να είναι ορθογώνιοι μεταξύ των κεραιών, οπότε η απαίτηση χρόνου, υποδοχές συχνότητας για τους χειριστές καθοδικής ζεύξης αυξάνει με την αύξηση του αριθμού των κεραιών. Έτσι, τα μαζικά συστήματα MIMO θα απαιτούσαν τώρα μεγάλο αριθμό παρόμοιων υποδοχών σε σύγκριση με το συμβατικό σύστημα MIMO. Δεύτερον, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κεραιών βάσης, ο αριθμός των σταθμισμένων εκτιμήσεων αυξάνεται επίσης για κάθε τερματικό που με τη σειρά του χρειάστηκε εκατό φορές περισσότερους χρόνους ανοδικής ζεύξης για να ανατροφοδοτήσει το κανάλι που ανταποκρίνεται στον σταθμό βάσης. Μία γενική λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να δουλέψει ο τρόπος εκτύπωσης διπλής όψης με διαίρεση χρόνου (TDD) και να εξαρτάται από την αμοιβαιότητα ανάμεσα στους καναλιούς uplink και downlink.

## 2.2 Η λειτουργία MIMO

Το MIMO μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις κύριες κατηγορίες: precoding, χωρική πολυπλεξία (SM) και κωδικοποίηση ποικιλομορφίας:

- **Precoding:** Η προ-κωδικοποίηση είναι πολυμορφική διαμόρφωση δέσμης, στον πιο στενό ορισμό. Με γενικότερους όρους, θεωρείται ότι είναι όλη η χωρική επεξεργασία που συμβαίνει στον πομπό. Στη διαμόρφωση δέσμης (μονής ροής), το ίδιο σήμα εκπέμπεται από κάθε μία από τις κεραιές εκπομπής με την κατάλληλη φάση και αυξάνει τη στάθμη έτσι ώστε η ισχύς σήματος να μεγιστοποιείται στην είσοδο του δέκτη. Τα οφέλη της μορφοποίησης ακτίνων είναι να αυξήσουν το κέρδος του λαμβανόμενου σήματος - κάνοντας τα σήματα που εκπέμπονται από διαφορετικές κεραιές να αυξάνονται εποικοδομητικά - και να μειώσετε το φαινόμενο ξεθώριασης πολλαπλών διαδρομών.
- Η χωρική πολυπλεξία απαιτεί διαμόρφωση κεραιάς MIMO. Στην χωρική πολυπλεξία, ένα σήμα υψηλού ρυθμού διαιρείται σε πολλαπλά ρεύματα χαμηλού ρυθμού και κάθε ρεύμα μεταδίδεται από μια διαφορετική κεραιά εκπομπής στο ίδιο κανάλι συχνότητας. Εάν αυτά τα σήματα φτάσουν στη συστοιχία κεραιών δέκτη με επαρκώς διαφορετικές χωρικές υπογραφές και ο δέκτης έχει ακριβή CSI, μπορεί να διαχωρίσει αυτά τα ρεύματα σε (σχεδόν) παράλληλα κανάλια. Η χωρική πολυπλεξία είναι μια πολύ ισχυρή τεχνική για την αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού σε υψηλότερες αναλογίες σήματος προς θόρυβο (SNR). Ο μέγιστος αριθμός χωρικών ροών περιορίζεται από το μικρότερο αριθμό των κεραιών στον πομπό ή τον δέκτη. Η χωρική πολυπλεξία μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς CSI στον πομπό, αλλά μπορεί να συνδυαστεί με precoding εάν είναι διαθέσιμο το CSI. Η χωρική πολυπλεξία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ταυτόχρονη μετάδοση σε πολλαπλούς δέκτες, γνωστή ως πολλαπλή πρόσβαση διαχωρισμού χώρου ή MIMO πολλαπλών χρηστών, οπότε στην περίπτωση αυτή

απαιτείται CSI στον πομπό. Ο προγραμματισμός δεκτών με διαφορετικές χωρικές υπογραφές επιτρέπει καλή διαχωρισμό.

- Οι τεχνικές κωδικοποίησης πολυμορφίας χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχει γνώση καναλιού στον πομπό. Στις μεθόδους διαφορετικότητας, μεταδίδεται ένα μόνο ρεύμα (σε αντίθεση με τις πολλαπλές ροές στη χωρική πολυπλεξία), αλλά το σήμα κωδικοποιείται χρησιμοποιώντας τεχνικές που ονομάζονται κωδικοποίηση διαστήματος χρόνου. Το σήμα εκπέμπεται από κάθε μία από τις κεραίες μετάδοσης με πλήρη ή σχεδόν ορθογώνια κωδικοποίηση. Η κωδικοποίηση πολυμορφίας εκμεταλλεύεται την ανεξάρτητη εξασθένιση των πολλαπλών ζεύξεων κεραίας για την ενίσχυση της ποικιλομορφίας των σημάτων. Επειδή δεν υπάρχει γνώση καναλιού, δεν υπάρχει σχηματισμός δέσμης ή κέρδος συστοιχιών από την κωδικοποίηση της ποικιλίας. Η κωδικοποίηση της πολυμορφίας μπορεί να συνδυαστεί με τη χωρική πολυπλεξία όταν είναι διαθέσιμη κάποια γνώση καναλιού στον πομπό.

## 2.5 Όσον αφορά την Ελλάδα...

Μέσα από την εφαρμογή της τεχνολογίας HSPA+ MIMO (High Speed Packet Access, Multiple Input Multiple Output), η Huawei, έδωσε στην Vodafone τη δυνατότητα να πρωτοπορεί παρέχοντας πρώτη στην Ελλάδα αλλά και ανάμεσα στις πρώτες εταιρείες στην Ευρώπη τη δυνατότητα για τις μεγαλύτερες Κινητές ευρυζωνικές ταχύτητες για μέγιστες ταχύτητες λήψης δεδομένων έως 28.8 Mbps και αποστολής έως 5.8 Mbps.

Συγκεκριμένα, ο κ. Alan Guo, Διευθύνων Σύμβουλος της Huawei Ελλάδος, δήλωσε:

«Η εφαρμογή της τεχνολογίας HSPA+ MIMO, βοηθά τη Vodafone να μπορεί να προσφέρει προηγμένες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες στους πελάτες της, με τις μεγαλύτερες ταχύτητες κινητού ευρυζωνικού internet στον κόσμο. Το έργο αυτό είναι καίριας σημασίας για τη Huawei, και είναι σίγουρο ότι αποτελεί σημείο σταθμό στην παρουσία της εταιρείας στην Ελλάδα.»

Η τεχνολογία HSPA+ MIMO (High Speed Packet Access, Multiple Input Multiple Output) της Huawei, προσφέρει στο διαρκώς αναβαθμιζόμενο

ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο της Vodafone να παρέχει πλέον τη δυνατότητα για μέγιστες ταχύτητες λήψης δεδομένων έως 28.8 Mbps και αποστολής έως 5.8 Mbps, μέσω της πλέον προηγμένης τεχνολογίας. Με βάση μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν καταγράφηκαν μέγιστες ταχύτητες λήψης δεδομένων της τάξης των 22 Mbps σε επίπεδο εφαρμογής τελικού χρήστη. Οι ταχύτητες που θα απολαμβάνει ο χρήστης μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες και τα κατά τόπους χαρακτηριστικά του δικτύου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Τα υπέρ και τα κατά

### 3.1 Ξεκινώντας από τα πλεονεκτήματα...

- Βοηθούν στο να επιτευχθεί μείωση του BER (Bit Error Rate) λόγω της εφαρμογής προηγμένων αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος στα λαμβανόμενα σύμβολα δεδομένων από πολλαπλές κεραιές.
- Τα συστήματα βασισμένα στην MIMO τεχνολογία, ελαχιστοποιούν τα φαινόμενα εξασθένισης που παρατηρούνται από τις πληροφορίες που μετακινούνται από την μετάδοση προς τη λήξη. Αυτό οφείλεται σε διάφορες τεχνικές διαφορετικότητας όπως ο χρόνος, η συχνότητα και ο χώρος.
- Κέρδος συστοιχίας: Επιτυγχάνεται μετά από επεξεργασία στον πομπό και έχει ως συνέπεια την αύξηση του λαμβανόμενου σηματοθορυβικού λόγου, που προκύπτει από ένα συνεκτικό αποτέλεσμα των ασύρματων σημάτων στο δέκτη. Το κέρδος συστοιχίας σε πομπό και δέκτη, απαιτεί τη γνώση του καναλιού σε πομπό και δέκτη, αντίστοιχα και εξαρτάται από τον αριθμό των κεραιών σε πομπό και δέκτη.
- Κέρδος χωρικής πολυπλεξίας: Η επίτευξη του κέρδους χωρικής πολυπλεξίας γίνεται με την εκμετάλλευση της έμφυτης ορθογωνιότητας, που εισάγει ο ράδιο διάυλος λόγω της έντονης σκέδασης των κυμάτων, που μεταφέρουν το σήμα πληροφορίας από τις κεραιές πομπού στις κεραιές του δέκτη. Στην πράξη, για να επιτευχθεί η αύξηση της χωρητικότητας, απαιτείται οι κεραιές του πομπού και του δέκτη να βρίσκονται σε επαρκή απόσταση μεταξύ τους, ώστε να ελαχιστοποιείται η συσχέτιση των σημάτων. Ακόμα, ο διάυλος πρέπει να είναι πλούσιος σε σκεδαστές, ώστε η πολυδιαδρομική διάδοση να οδηγεί σε ανεξαρτησία των σημάτων. Σε περίπτωση που δεν έχουμε πλήρη ανεξαρτησία των σημάτων (δηλ. έχουμε συσχέτιση), είναι δυνατή η περιορισμένη αύξηση της χωρητικότητας, σε σχέση με την



περίπτωση της πλήρους αποσυσχέτισης των σημάτων. Ως κέρδος χωρικής πολυπλεξίας, ορίζεται η διαφορά της τιμής της χωρητικότητας μίας ζεύξης, όπου χρησιμοποιείται σύστημα SISO από την τιμή της χωρητικότητας που επιτυγχάνεται η ίδια ζεύξη όταν χρησιμοποιείται σύστημα MIMO.

- Το σύστημα βασισμένο σε MIMO υιοθετείται ευρέως στα τελευταία ασύρματα πρότυπα, WLAN, WiMAX, LTE, LTE-Advanced.

### 3.2 Όσον αφορά τα μειονεκτήματα...

Κάποια απ' τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα είναι:

- Αρχικά, η πολυπλοκότητα του λογισμικού, δηλαδή οι αλγόριθμοι επεξεργασίας σήματος είναι υπολογιστικά εξοντωτικοί για τους πόρους και την απόδοση του συστήματος.
- Επιπλέον, η πολυπλοκότητα του υλικού, δηλαδή η επιπλέον χρήση κεραιών επιβαρύνει αρνητικά με επιπρόσθετα RF chains την κεραία. Επίσης κάθε κεραία χρειάζεται μία αρκετά ισχυρή υπολογιστική μονάδα επεξεργασίας σήματος.
- Οι πόροι υλικού αυξάνουν τις απαιτήσεις ισχύος. Η μπαταρία διοχετεύεται πιο γρήγορα χάρη στην επεξεργασία σύνθετων και υπολογιστικών εντατικών αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος. Αυτό μειώνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών που βασίζονται σε MIMO.
- Τέλος, το κόστος των MIMO συστημάτων είναι υψηλότερο συγκριτικά με άλλα συστήματα με βάση μία κεραία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Massive MIMO

### 4.1 Τα πλεονεκτήματα του massive mimo

Η μαζική τεχνολογία MIMO εξαρτάται από τα συνεκτικά σήματα φάσης από όλες τις κεραιές στο σταθμό βάσης, αλλά η σύνθετη επεξεργασία αυτών των σημάτων είναι απλή. Παρακάτω υποδεικνύονται μερικά από τα θετικά τους:

- Το massive MIMO μπορεί να αυξήσει την χωρητικότητα τουλάχιστον 10 φορές και ταυτόχρονα βελτιώνει την αποδοτικότητα της ακτινοβολούμενης ενέργειας σε μεγέθη της τάξεως των 100 φορές. Η θετική αύξηση της χωρητικότητας οφείλεται στην τεχνική πολλαπλών χρήσεων που χρησιμοποιείται στα συστήματα MassiveMIMO. Όσον αφορά τη βελτίωση της ενεργειακής ακτινοβολίας από ακτινοβολία, λόγω της αύξησης του αριθμού των κεραιών, η ενέργεια μπορεί τώρα να συγκεντρωθεί σε μικρές περιοχές του χώρου. Βασίζεται στην αρχή της συνεκτικής επικάλυψης των μετωπίων των κυμάτων. Μετά τη μετάδοση των σχηματικών σημάτων από τις κεραιές, ο σταθμός βάσης δεν έχει κανένα ρόλο στην κορυφή επιβεβαιώνοντας ότι όλα τα μέτωπα των κυμάτων που έχουν εκτοξευθεί από τις κεραιές πιθανώς θα προστεθούν εποικοδομητικά στις θέσεις των προορισμένων τερματικών και καταστροφικά αλλού. Ο μηδενικός εξαναγκασμός χρησιμοποιείται για την καταστολή της εναπομείνουσας παρεμβολής μεταξύ των τερματικών, αλλά εις βάρος της αυξημένης μεταδιδόμενης ισχύος. Η επιθυμία του μέγιστου συνδυασμού αναλογίας (MRC) είναι περισσότερο σχετιζόμενη με την μηδενική δύναμη (ZF) τα σήματα πολλαπλασιάζονται με τις αποκρίσεις των συζευγμένων καναλιών τους και λόγω του γεγονότος ότι εκτελείται σε διασκορπισμένη λειτουργία, αυτόνομα σε κάθε κεραιά. Αν και το ZF λειτουργεί εξίσου καλά για ένα ορθόδοξο σύστημα MIMO το οποίο το MRC κανονικά δεν το κάνει. Η κύρια αιτία πίσω από την αποτελεσματική χρήση του MRC με μαζικό MIMO που περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό κεραιών

σταθμών βάσης, οι αποκρίσεις καναλιού που συνδέονται με διαφορετικά τερματικά τείνουν να είναι σχεδόν οριζόντια.

- Το massive MIMO μπορεί υλοποιηθεί με φθηνά και χαμηλής ισχύος εξαρτήματα. Τα συστήματα Massive MIMO χρησιμοποιούν εκατοντάδες λιγότερο δαπανηρούς ενισχυτές σε σχέση με ακριβούς υπερβολικά γραμμικούς ενισχυτές 50 Watt, επειδή έχουν μεγαλύτερη ισχύ εξόδου από την περιοχή των milliwatt, η οποία είναι πολύ καλύτερη από τις τελευταίες οι οποίες γενικά χρησιμοποιούνται σε συμβατικά συστήματα. Είναι αντίθετο με τα συνηθισμένα σχήματα συστοιχιών, καθώς θα χρησιμοποιεί μόνο μια μικρή κεραία που τροφοδοτείται από ενισχυτές υψηλής ισχύος αλλά έχει αναστρέψιμη πρόσκρουση.
- Το massive MIMO επιτρέπει σημαντική μείωση της καθυστέρησης όταν το σήμα μεταδίδεται στον αέρα. Στην ασύρματη επικοινωνία, η κύρια αιτία της αστάθειας είναι η εξασθένιση. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει ανάμεσα στη βάση και το τερματικό, δηλαδή όταν το σήμα μεταδίδεται από τον σταθμό βάσης, ταξιδεύει διαμέσου διαφορετικών πολλαπλών διαδρομών λόγω του διασκορπισμού, της απόφραξης και της διάχυσης του φαινομένου προτού φτάσει στο τερματικό. Το μαζικό MIMO, λόγω ενός μεγάλου αριθμού κεραμιδιών και με την ιδέα της διαμόρφωσης δέσμης, μπορεί να αποφύγει τα fadingdips και τώρα η λανθάνουσα κατάσταση δεν μπορεί να μειωθεί περαιτέρω.
- Το μαζικό MIMO κάνει το πολλαπλό στρώμα προσπέλασης απλό. Με την άφιξη του Massive MIMO, η ισχύς του καναλιού και τώρα ο προγραμματισμός της περιοχής συχνοτήτων δεν επαρκεί. Το OFDM παρέχει, κάθε φορέα σε ένα τεράστιο σύστημα MIMO με το ίδιο ακριβώς κέρδος καναλιού, λόγω του οποίου κάθε τερματικό μπορεί να εφοδιαστεί με πλήρες εύρος ζώνης μειώνει το μεγαλύτερο μέρος του σήματος ελέγχου φυσικής στρώσης που έχει οριστεί.

## 4.2 Τεχνολογικά χαρακτηριστικά

Τα κύρια τεχνολογικά του χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

- Πρώτον η πλήρως ψηφιακή επεξεργασία: κάθε κεραία έχει τη δική της αλυσίδα RF και ψηφιακής βάσης. Τα σήματα από όλες τις κεραιές σε κάθε σταθμό βάσης επεξεργάζονται μαζί. Κύρια πλεονεκτήματα της πλήρους ψηφιακής επεξεργασίας είναι η αποφυγή συγκεκριμένων υποθέσεων στο κανάλι διάδοσης, η δυνατότητα μέτρησης της πλήρους απόκρισης του καναλιού στην ανερχόμενη ζεύξη και η γρήγορη ανταπόκριση στις αλλαγές στο κανάλι.
- Δεύτερον, το channel hardening(σκλήρυνση καναλιού). Λειτουργικά, κάθε συνδυασμός τερματικού βάσης γίνεται μέσω ενός καναλιού διαβάθμισης του οποίου το κέρδος σταθεροποιείται σε μια καθοριστική και ανεξάρτητη από την συχνότητα σταθερά, κάτι που απλοποιεί τα προβλήματα πόρων.
- Επίσης, σημαντικό χαρακτηριστικό είναι και η αυτόνομη λειτουργία των σταθμών βάσης, χωρίς ανταλλαγή δεδομένων ωφέλιμου φορτίου ή πληροφοριών κατάστασης καναλιών με άλλα στοιχεία και χωρίς απαιτήσεις ακριβούς συγχρονισμού χρόνου.
- Επιπλέον, η δυνατότητα μείωσης της ακρίβειας και της ανάλυσης των μετωπιαίων πομποδεκτών και των ψηφιακών επεξεργασιών και αναπαραστάσεων αριθμών σε υπολογισμούς καθώς και το κέρδος του πίνακα, που καταλήγει, σε μια ενίσχυση προϋπολογισμού κλειστού βρόχου ανάλογη προς τον αριθμό των κεραιών σταθμών βάσης είναι κι αυτά με την σειρά τους πολύ σημαντικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά.
- Τέλος, η παροχή ομοιόμορφα καλής ποιότητας υπηρεσίας σε όλους τους τερματικούς σταθμούς σε ένα κελί - διευκολυνόμενο από τη βελτίωση του προϋπολογισμού συνδέσμου που προσφέρεται από το κέρδος συστοιχιών και από την ικανότητα καταστολής παρεμβολών που προσφέρει η χωρική ανάλυση του πίνακα.

## 4.3 Uplink/Downlink

### ✓ Uplink

Ο λαμβανόμενος φορέας σήματος ζώνης βάσης  $y_i^{ul} \in \mathbb{C}^n$  στο BS  $j$  σε μια δεδομένη χρονική στιγμή διαβάζει

$$Y_j^{ul} = \sqrt{\rho_{ul}} \sum H_{jl} x_l^{ul} + n_{ul}$$

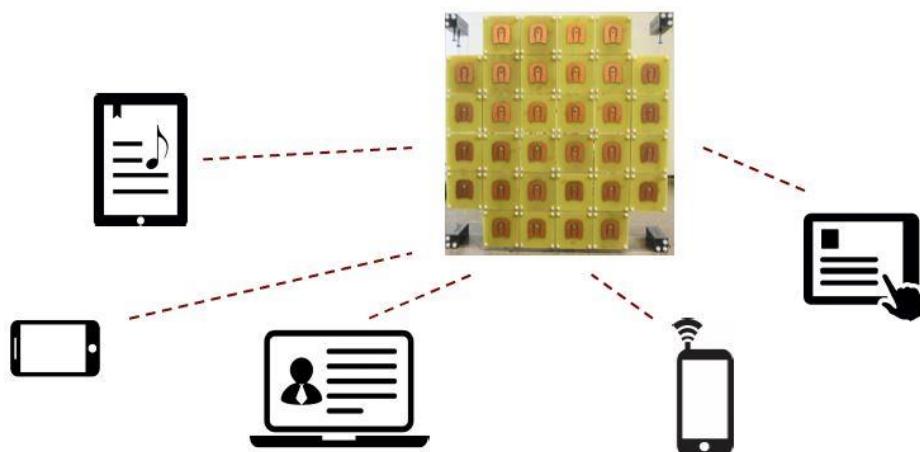
Το μοντέλο του καναλιού είναι πολύ ευπροσάρμοστο καθώς μας επιτρέπει να αντιστοιχίσουμε μια διαφορετική συσχέτιση κεραίας σε κάθε διάνυσμα καναλιών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για μεγάλες συστοιχίες κεραίων με σημαντική συσχέτιση κεραίας λόγω είτε ανεπαρκούς αποστάσεως κεραίας είτε έλλειψης σκέδασης. Το μοντέλο καναλιών ισχύει επίσης και για κατανομημένα συστήματα κεραίας, καθώς μπορούμε να ορίσουμε διαφορετική απώλεια διαδρομής σε κάθε κεραία.

### ✓ Downlink

Στην downlink μετάδοση, από τον σταθμό βάση μεταδίδονται σήματα σε κάθε χρήστη με τον ίδιο πόρο χρόνου συχνότητας. Πιο συγκεκριμένα, ο σταθμός βάσης κάνει χρήση των εκτιμήσεων καναλιών που έχει κάνει και λαμβάνει υπόψιν του τα σύμβολα που προορίζονται για τους χρήστες, προκειμένου να κατασκευάσει κωδικοποιημένα σήματα που εν συνεχεία καταλήγουν στις κεραίες.

#### 4.4 Η προσφορά της τεχνολογίας mimo και 5g στο μέλλον

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 πολλά άλλα. 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.



Πηγή: <https://futurenetworks.ieee.org/tech-focus/march-2017/massive-mimo-for-5g>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, είδαμε ότι ορισμένες βασικές αναδυόμενες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ασύρματα δίκτυα 5g για να ικανοποιήσουν τις βασικές ανάγκες απόδοσης όπως για παράδειγμα το massive mimo και η επικοινωνία device-to-device( συσκευή με συσκευή). Το 5g αποτελεί μια συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία νέας γενιάς η οποία μπορεί να προσφέρει μεγάλες ταχύτητες και μεγάλη χωρητικότητα. Πρακτικά ο καθένας από όπου κι αν βρίσκεται θα έχει την ίδια ταχύτητα και δεν θα υπάρχει ελάττωσή της. Τέλος, και κλείνοντας αυτή την εργασία είδαμε ότι η τεχνολογία mimo είναι χαμηλή σε κόστος και έτσι την κάνει πιο προσιτή. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν και κάποια προβλήματα που θα πρέπει να επιλυθούν αλλά το μόνο σίγουρο είναι ότι οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες έχουν μεγάλο μέλλον.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://www.epixeiro.gr/article/83575>
2. <https://www.tanea.gr/print/2018/10/13/greece/ti-einai-to-5g-kai-pote-erxetai/>
3. <https://www.justaskgemalto.com/en/difference-4g-5g/>
4. <https://nowmag.gr/5g-%CE%B5%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%BF%CE%BD-4g/>
5. [https://www.researchgate.net/publication/280873356\\_A\\_Survey\\_of\\_5G\\_Network\\_Architecture\\_and\\_Emerging\\_Technologies](https://www.researchgate.net/publication/280873356_A_Survey_of_5G_Network_Architecture_and_Emerging_Technologies)
6. <http://estia.hua.gr/file/lib/default/data/17888/theFile>
7. <https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>
8. <https://www.techpress.gr/index.php/archives/21878>
9. [http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/5076/Manoli\\_oudaki.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/5076/Manoli_oudaki.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
10. [http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/9132/Stergiopoulos\\_Christos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/9132/Stergiopoulos_Christos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
11. <https://futurenetworks.ieee.org/tech-focus/march-2017/massive-mimo-for-5g>