



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΙΜΟ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΑΓΓΙΣΤΡΙΩΤΗΣ

1047103

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2019

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΙΜΟ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΡΦΩΝ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΙΜΟ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΙΜΟ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 4G	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΙΜΟ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 5G	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	23

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

- LTE: Long Term Evolution
- MIMO: Multiple Input Multiple Output
- 4G: 4th Generation
- 5G: 5th Generation
- SISO: Single Input Single Output
- SIMO: Single Input Multiple Output
- MISO: Multiple Input Single Output
- CSI: Channel State Information
- PMI: Pre Coding Matrix
- BER: Bit Error Rate
- QoS: Quality of Service

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΙΜΟ

1.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία MIMO, πολλαπλή είσοδος-πολλαπλή έξοδος, είναι μια Radio Frequency τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές την τωρινή εποχή. Το MIMO είναι μια τεχνολογία βασισμένη σε κεραιές για ασύρματες τηλεπικοινωνίες, όπου πολλές κεραιές χρησιμοποιούνται και στο πομπό και στο δέκτη. Με αυτόν τον τρόπο, η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι μεγαλύτερη και τα λάθη κατά τη μεταφορά ελαχιστοποιούνται.

Ένα βασικό πρόβλημα για την αντιμετώπιση του οποίου βοήθησε η παραπάνω τεχνολογία είναι το φαινόμενο της πολυόδευσης, σύμφωνα με το οποίο ένα σήμα μεταφέρεται από τον πομπό στο δέκτη ακολουθώντας πολλές διαδρομές. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα μπορεί να «πέσει» πάνω σε τοίχους, κτήρια, λόφους και να φτάσει στον προορισμό του με καθυστέρηση ή ακόμα και με απώλεια πληροφορίας. Έτσι, μέσω του MIMO και των πολλών κεραιών σε πομπό και δέκτη αντιμετωπίζεται σχεδόν ολοκληρωτικά η κατάσταση αυτή και ακόμα μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμη. Επίσης, να αναφέρουμε ότι ο πομπός και ο δέκτης είναι όπως τους γνωρίζουμε από ένα κλασικό ψηφιακό τηλεπικοινωνιακό σύστημα.[1]

Τη τωρινή εποχή, με την τεχνική MIMO εννοούμε ότι είναι εφικτό να γίνεται αποστολή και λήψη πολλών σημάτων την ίδια στιγμή από ένα κανάλι χρησιμοποιώντας την πολύδρομη μετάδοση. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα μοντέλο λειτουργίας της τεχνολογίας MIMO:

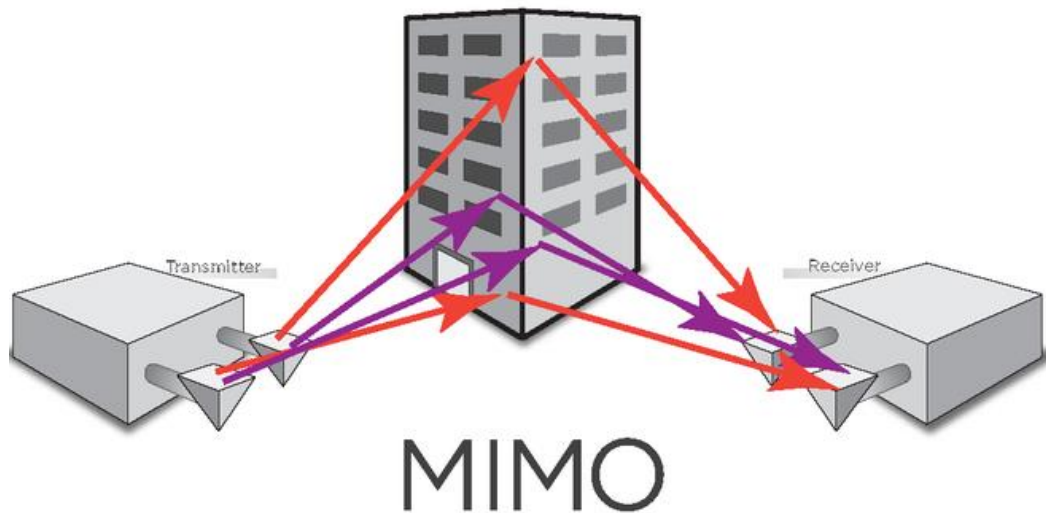


Figure 1: Ένας βασικός τρόπος λειτουργίας της τεχνολογίας MIMO [9]

1.2 Εγκαθίδρυση προτύπων - Περαιτέρω λεπτομέρειες για το MIMO

Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία MIMO είναι ασύρματη και αυξάνει τη δυνατότητα του δέκτη να λαμβάνει πολλά δεδομένα χωρίς σφάλμα χρησιμοποιώντας κεραίες για συνδυασμό των ροών πληροφορίας. Αξίζει να αναφερθεί ότι για να μπορεί να εφαρμοστεί αυτή η τεχνολογία πρέπει οι συσκευές να υποστηρίζουν το πρότυπο 802.11n, αφού σε αυτές επιτρέπεται να φτάνουν πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες.

Η έρευνα για την υλοποίηση του MIMO είχε ξεκινήσει από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 χωρίς όμως να έχει οδηγήσει σε κάποιο τελικό συμπέρασμα, παρά μόνο σε κάποια μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την αντιμετώπιση της παρεμβολής των σημάτων. Οι έρευνες συνεχίστηκαν και την επόμενη δεκαετία και μέχρι και το 1998 είχαν λάβει χώρα πολλές και σημαντικές εξελίξεις στο κομμάτι αυτό.[1],[3]

Από τότε, η τεχνολογία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές και σε πολλά πρότυπα λειτουργίας και επικοινωνίας συσκευών, όπως το 3G, τα ασύρματα LANs, 4G και 5G που πλέον υποστηρίζεται ότι μέχρι το 2020 θα εγκαθιδρυθεί σαν πρότυπο. Επίσης, έχει μεγάλη χρησιμότητα στην ψηφιακή τηλεόραση, σε μητροπολιτικά δίκτυα και σε άλλες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας όπως LTE με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας της ζεύξης και της χωρικής αποδοτικότητας. Είναι δηλαδή ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα πολύ μεγάλο μέρος του διαθέσιμου εύρους ζώνης του καναλιού. Μια πιο λεπτομερής παρουσίαση της λειτουργίας του MIMO φαίνεται παρακάτω:

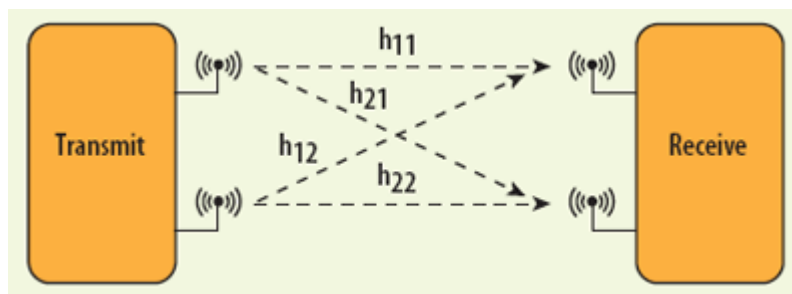
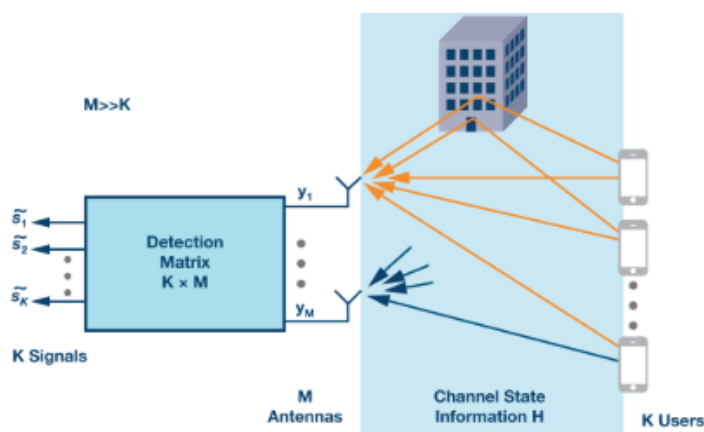


Figure 2: Πιο λεπτομερής παρουσίαση του MIMO [10]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ

2.1 1^η λειτουργία: Precoding

Το precoding είναι μια λειτουργία που βασίζεται στο beamforming. Το beamforming είναι μια τεχνική επεξεργασίας σήματος για την κατευθυνόμενη αποστολή και «παραλαβή» του και αυτό γίνεται μέσω των antenna arrays. Πιο συγκεκριμένα, είναι μια δομή πολλών κεραιών που λειτουργούν σαν μια και με βάση αυτή και συγκεκριμένες γωνίες, το σήμα είτε έχει ωφέλιμη παρεμβολή είτε υπόκειται σε παρεμβολή καταστροφική, δηλαδή μειώνεται το πλάτος του.



Detection Type	
Maximum Ratio (MR)	$\tilde{\mathbf{s}} = \mathbf{H}^H \mathbf{y}$
Zero Forcing (ZF)	$\tilde{\mathbf{s}} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \mathbf{y}$
NMSE or RZF	$\tilde{\mathbf{s}} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \beta \mathbf{I})^{-1} \mathbf{H}^H \mathbf{y}$

Figure 3: Παράδειγμα λειτουργίας Beamforming [13]

Αφού εξηγήσαμε τι είναι το beamforming, αξίζει να τονιστεί ότι το precoding που είναι multistream beamforming επωφελείται από τα πλεονεκτήματα του beamforming όπως η αύξηση του κέρδους του σήματος αφού τα σήματα που εκπέμπονται από τις κεραιές αθροίζονται και έτσι εξαλείφεται το φαινόμενο της πολυόδευσης.[1]

Επίσης, είναι αρκετές περιπτώσεις κατά τις οποίες όταν χρησιμοποιείται beamforming και ο δέκτης έχει πολλές κεραιές, να μη μεγιστοποιείται το σήμα όταν φτάνει στις κεραιές του δέκτη και γι αυτό το λόγο το precoding με πολλαπλά streams είναι προτιμότερο από το απλό beamforming.

2.2 2^η λειτουργία: Spatial Multiplexing

Στη λειτουργία αυτή, το σήμα υψηλών συχνοτήτων σπάει σε πολλά σήματα χαμηλότερης συχνότητας και στέλνονται από διαφορετικούς πομπούς σε ίδιο κανάλι συχνοτήτων. Έτσι αν το CSI του δέκτη είναι ακριβές, τότε το κάθε σήμα είναι σαν να στέλνεται από παράλληλα κανάλια και έτσι αυτό που πετυχαίνουμε είναι η αύξηση της χωριτικότητας του καναλιού σε υψηλά SNRs. Δηλαδή αυτό που γίνεται είναι ότι χρησιμοποιώντας τα πολλαπλά μονοπάτια που έχουν δημιουργηθεί, προκύπτουν πολλά κανάλια και έτσι μεταφέρεται περισσότερη πληροφορία. Το spatial multiplexing μπορεί και να χρησιμοποιηθεί σαν ταυτόχρονη μετάδοση σε πολλαπλούς δέκτες και γι αυτό είναι γνωστό σαν multi-user MIMO, με την προϋπόθεση ότι το CSI στον πομπό απαιτείται.[1]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το μοντέλο λειτουργίας του spatial multiplexing:

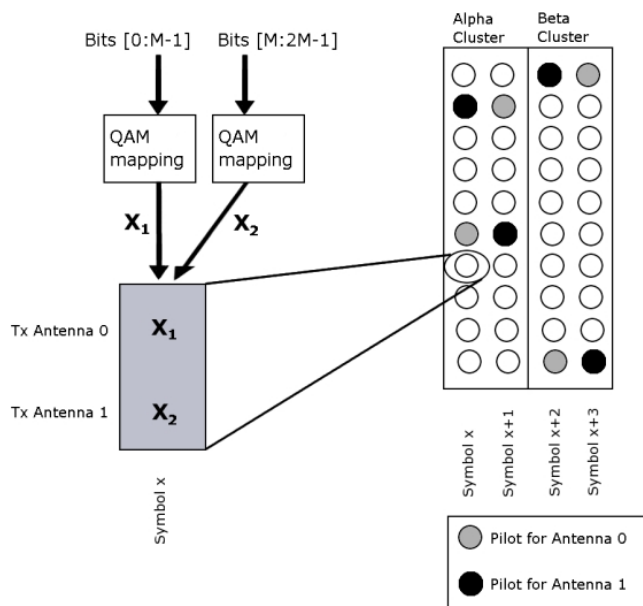


Figure 4: Τρόπος λειτουργίας spatial multiplexing [11]

2.3 3^η λειτουργία: Diversity coding

Στην περίπτωση που το CSI του πομπού δεν είναι γνωστό, χρησιμοποιούμε το diversity coding. Με τις τεχνικές αυτές, η ροή δεδομένων μεταδίδεται αλλά το σήμα κωδικοποιείται με βάση μεθόδους space time coding. Επίσης, αξιοποιείται στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται μετάδοση σήματος από πολλούς πομπούς προς πολλούς δέκτες και επειδή τα χαρακτηριστικά του καναλιού δεν είναι γνωστά, δεν υπάρχει power gain. Υπάρχουν περιστάσεις όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν το CSI του πομπού είναι γνωστό και έτσι μπορεί να συνδυαστεί για καλύτερα αποτελέσματα με το spatial multiplexing.

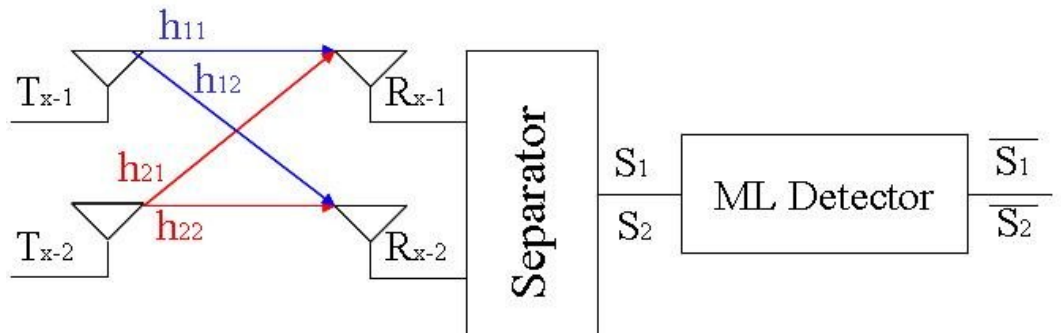


Figure 5: Diversity scheme σε τεχνολογία MIMO [12]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΡΦΩΝ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΙΜΟ

3.1 Multi-antenna types

Στην κατηγορία αυτή αξίζει να αναφέρουμε κάποιες βασικές τεχνολογίες multi-antenna MIMO. Η πρώτη από αυτές είναι η **SISO**, η οποία είναι η πιο απλή περίπτωση όπου και ο πομπός και ο δέκτης έχουν μια μόνο κεραία. Εδώ δεν είναι απαραίτητη περαιτέρω επεξεργασία και είναι ουσιαστικά ένα radio κανάλι που έχει όμως περιορισμένη αποδοτικότητα και απόδοση. Οι παρεμβολές που υπάρχουν στο κανάλι προκαλούν προβλήματα και ακόμα το εύρος ζώνης του καναλιού είναι περιορισμένο από το κανόνα του Shannon, δηλαδή η έξοδος εξαρτάται από το bandwidth του καναλιού και το SNR.



SISO - Single Input Single Output

Figure 6: Παράδειγμα λειτουργίας SISO [14]

Μια δεύτερη κατηγορία που αξίζει αναφορά είναι η **SIMO**, στην οποία ο πομπός έχει μια κεραία και ο δέκτης παραπάνω από μία. Στην περίπτωση αυτή, ο δέκτης δέχεται σήματα από πολλές ανεξάρτητες πηγές και έτσι αντιμετωπίζει το πρόβλημα των παρεμβολών. Η τεχνική αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί αλλά έχει και το μειονέκτημα ότι απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία στο δέκτη. Χρησιμοποιείται αρκετές φορές αλλά στις περιπτώσεις των κινητών τηλεφώνων που υπάρχει ο περιορισμός μεγέθους, μπαταρίας και ενέργειας δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί όλη η απαραίτητη επεξεργασία.[14]



Figure 7: Τρόπος λειτουργίας του SIMO [14]

Υπάρχουν δύο υποκατηγορίες του SIMO. Η πρώτη είναι το *switched diversity SIMO*, που ψάχνει για το ισχυρότερο σήμα και το στέλνει στην κατάλληλη κεραία. Η δεύτερη είναι *Maximum ratio combining SIMO*, που αθροίζει τα σήματα και στέλνει στην κεραία το άθροισμα.

Η τρίτη κατηγορία είναι MISO, όπου ο πομπός έχει πολλές κεραίες και ο δέκτης έχει μόνο μια. Εδώ ο δέκτης μπορεί να λάβει το βέλτιστο σήμα και στη συνέχεια να το χρησιμοποιήσει για να

εξάξει τα δεδομένα. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει το πλεονέκτημα ότι οι πολλές κεραίες έχουν πάει από το δέκτη στον πομπό και έτσι δε χρειάζεται να γίνεται πολλή επεξεργασία στο δέκτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επωφελούνται, όσον αφορά τα κινητά τηλέφωνα, το μέγεθός τους, το κόστος και η ζωή της μπαταρίας αφού με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας.

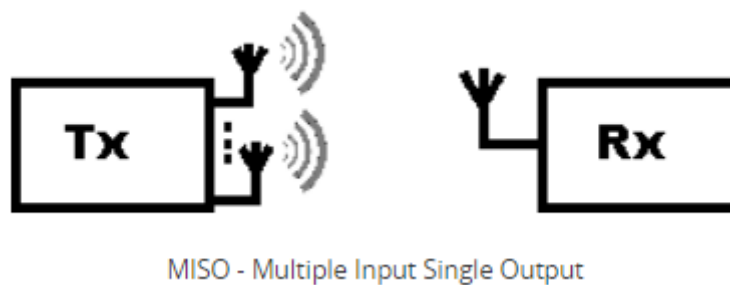


Figure 8: Τρόπος λειτουργίας MISO [14]

3.2 Multi user-types

Την τωρινή εποχή, εκτός από το full multi user MIMO, αρκετά χρήσιμο και το partial multi user MIMO και για αυτό το λόγο είναι και ιδιαίτερα ενεργό. Μια πρώτη κατηγορία που ανήκει σε αυτόν τον τύπο MIMO είναι το *Multi User MIMO*, που είναι ένα σύνολο τεχνολογιών βασισμένων σε MIMO όπου επικοινωνούν πολλοί χρήστες μεταξύ τους αλλά με μια ή περισσότερες κεραίες ο καθένας. Χρησιμοποιείται από διάφορες μεγάλες εταιρείες όπως η Samsung και η Huawei αλλά και σε άλλες εταιρείες που

ασχολούνται με την κινητή τηλεφωνία, γιατί είναι περισσότερο βιώσιμο για χαμηλής πολυπλοκότητας κινητές συσκευές.

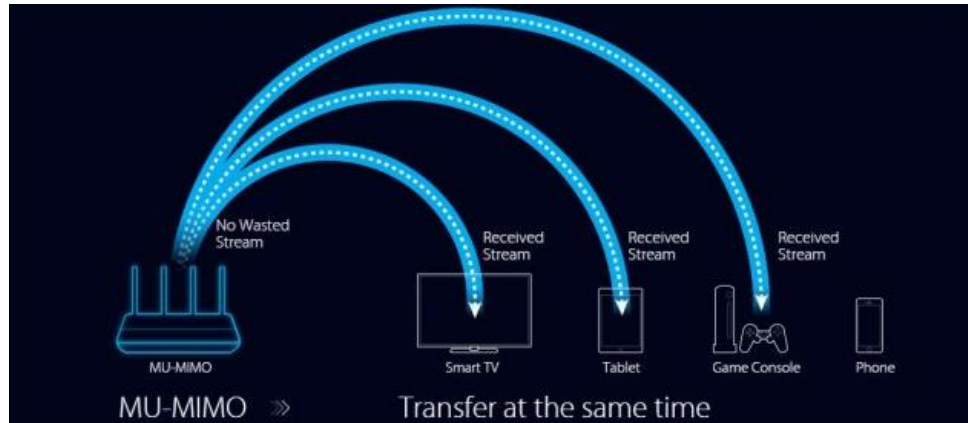


Figure 9: Τρόπος λειτουργίας MU-MIMO [15]

Μια άλλη κατηγορία είναι το *macrodiversity MIMO*, που χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν πολλές βάσεις δεκτών και πομπών για την επικοινωνία χρηστών που βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους. Η μεγαλύτερη πρόκληση που αφορά την κατηγορία αυτή, και σε θεωρητικό αλλά και σε πρακτικό επίπεδο, είναι το πώς τα διαφορετικά SNRs επηρεάζουν τη χωρητικότητα του συστήματος και την αποδοτικότητα σε επίπεδο χρήστη σε ιδιαίτερα περιβάλλοντα όπως το flat Rayleigh fading περιβάλλον.[14],[1]

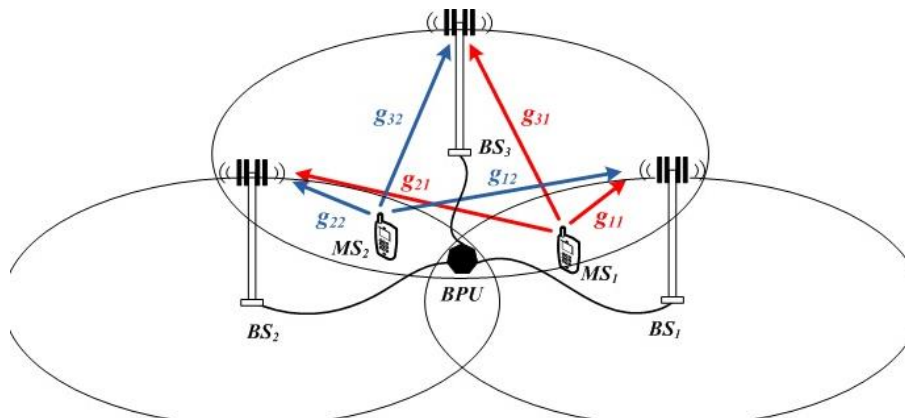


Figure 10: Macrodiversity MIMO [20]

Τέλος, μια ακόμα κατηγορία που θα αναφέρουμε είναι η *Cooperative MIMO*, όπου χρησιμοποιούνται πολλές γειτονικές κινητές βάσεις ώστε να μεταδίδεται από κοινού η πληροφορία μεταξύ των χρηστών. Με αυτόν τον τρόπο, δε δημιουργείται παρεμβολή μεταξύ των χρηστών όπως μπορεί να συμβεί στην κλασική περίπτωση του MIMO.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΙΜΟ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 4G/LTE

4.1 Εισαγωγή για τα LTE και 4G δίκτυα

Η εποχή που διανύουμε είναι αυτή στην οποία έχει προχωρήσει η τεχνολογία και η ανάγκη για ταχύτερη και αξιόπιστη επικοινωνία είναι επιτακτική. Γι αυτό το λόγο, προχωρήσαμε εδώ και αρκετό καιρό στο 4G δίκτυο επικοινωνίας, το οποίο και εδραιώθηκε λόγω των μεγάλων υπηρεσιών του. Υπήρξαν διάφορα μοντέλα που προτάθηκαν αλλά αυτά που επικράτησαν ήταν το LTE και το WiMax με δημοφιλέστερο το πρώτο, καθώς οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας έδειξαν πολύ μεγαλύτερη προτίμηση σε αυτό.

Το 4G δίκτυο προσφέρει πολύ υψηλές ταχύτητες επικοινωνίας με μεγαλύτερη αξιοπιστία και ποιότητα μειώνοντας κατά πολύ τις καθυστερήσεις. Εκτός όμως από αυτό, η κάλυψη του και κατασκευή υποδομών για την υποστήριξή του δεν απαιτούν μεγάλα κόστη και ένας πύργος για κινητή τηλεφωνία παρέχει σήμα σε ένα πολύ μεγάλο εύρος περιοχής και με υψηλές ταχύτητες. Σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα, αξίζει να σημειώσουμε ότι στα δίκτυα 4G και 4G/LTE παίζουν καθοριστικό ρόλο οι τεχνολογίες MIMO. Προτού όμως αναφέρουμε ορισμένες σημαντικές περιπτώσεις χρήσης MIMO στα δίκτυα αυτά, πρέπει να εξηγήσουμε πώς έγινε η μετάβαση από το LTE στο LTE Advanced και γιατί.[6]

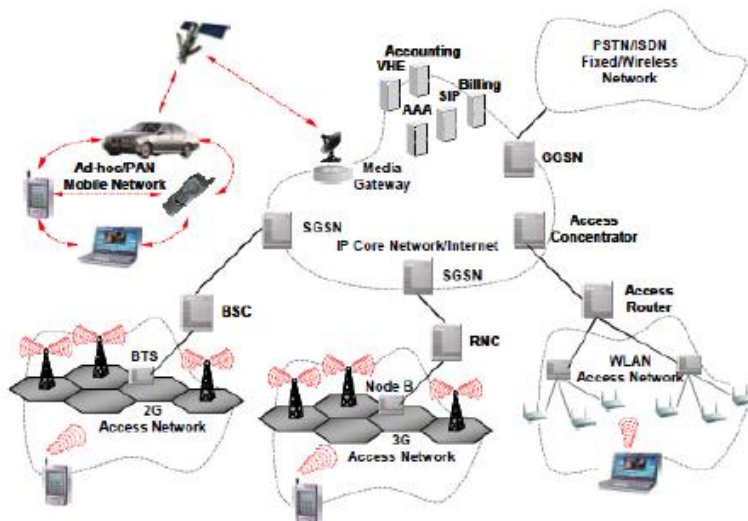


Figure 11: Παρουσίαση αρχιτεκτονικής 4G/LTE δικτύου [16]

Το LTE όριζε πολύ μεγάλες ταχύτητες, οι οποίες όμως δε συμβάδιζαν με αυτά που είχε ορίσει η ITU-R και γι αυτό το λόγο μετονομάστηκε σε LTE-Advanced. Το LTE-Advanced σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να είναι συμβατό και με το απλό LTE και ιδανικά προσέφερε uplink 500 Mbps και uplink 1000 Mbps και είναι πολύ κοντά στις ταχύτητες του 4G δικτύου. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι λειτουργεί με το συνδυασμό των καναλιών και έτσι συνδυάζει πολλά κανάλια για να είναι η ταχύτητα της σύνδεσης ακόμα μεγαλύτερη.

4.2 Περαιτέρω εμβάθυνση για τεχνολογία MIMO στα δίκτυα 4G

Η τεχνολογία MIMO χρησιμοποιήθηκε στα 4G/LTE δίκτυα για βελτίωση του σήματος κατά την επικοινωνία, μέσω της διάδοσης του από πολλά μονοπάτια. Όσο τα πρότυπα του LTE εξελίσσονταν και αυξάνονταν, τόσο και οι κεραιές στις συσκευές που

υποστηρίζουν MIMO γίνονται περισσότερες. Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέραμε κάποιες κατηγορίες MIMO οι οποίες εφαρμόζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό στα 4G δίκτυα όπως το beamforming MIMO, το multi user MIMO, καθώς και κάποιες τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις τεχνολογίες όπως το precoding και spatial multiplexing.

Στην παρούσα υποενότητα, θα δώσουμε ορισμένες ενδιαφέρουσες πληροφορίες για τις 2 τελευταίες τεχνικές της 4G/LTE MIMO τεχνολογίας. Ειδικότερα, υπάρχει το *open loop spatial multiplexing* όπου 2 ή περισσότερα ρεύματα δεδομένων και πληροφορίας μπορούν να σταλούν σε 2 ή περισσότερες κεραιές. Ακόμα υπάρχει το *close loop spatial multiplexing*, που η λειτουργία είναι παρόμοια με την προηγούμενη περίπτωση αλλά εδώ υπάρχει και το PMI, το οποίο ειδοποιεί τον πομπό να προεπεξεργαστεί τα δεδομένα ώστε να είναι βέλτιστη η ποιότητα της αποστολής αλλά και ενημερώνει και το δέκτη ώστε να διαχωρίσει τα διαφορετικά σήματα που του στέλνονται. Επιπρόσθετα, άλλη εφαρμογή του MIMO στα δίκτυα τέταρτης γενιάς είναι το closed loop with precoding, που η κωδική λέξη μεταδίδεται σε ένα μόνο επίπεδο και μπορεί να συνδυαστεί με το beamforming και με το closed loop spatial multiplexing. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει εισαγωγή μιας νέας κατηγορίας MIMO που χρησιμοποιείται στα δίκτυα 5G, προτού αναλύσουμε περισσότερο τη σημαντικότητά του στα δίκτυα αυτά.[8]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΙΜΟ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 5G

5.1 Εισαγωγή στα 5G δίκτυα

Τα 5G είναι δίκτυα στα οποία οι πάροχοι χωρίζονται σε γεωγραφικές περιοχές, που ονομάζονται κελιά. Όλες οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας που βρίσκονται στο ίδιο κελί, μέσω ενός συνόλου κεραιών, μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους σε συχνοτικά κανάλια των οποίων οι συχνότητες καθορίζονται από τον πομπό και από το δέκτη. Οι προαναφερθέντες συχνότητες μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν σε διαφορετικά κελιά, δηλαδή σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και οι τοπικές κεραιές συνδέονται στο τηλεφωνικό δίκτυο και στο Internet μέσω οπτικών ινών. Οι νέες ασύρματες συσκευές 5G δικτύων μπορούν να υποστηρίξουν και 4G/LTE δίκτυο και επίσης το 5G είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ανά περιοχή από 1 εκατομμύριο συσκευές. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η πορεία της γενιάς δικτύων μαζί με τις παροχές που προσέφερε το καθένα μέχρι τη μελλοντική εγκαθίδρυση του 5G.[7]

The Evolution of 5G

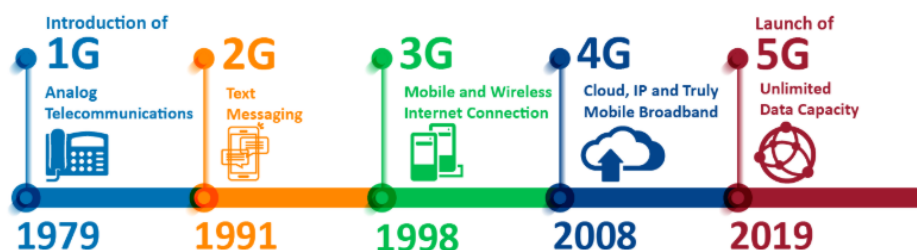


Figure 12: Η εξέλιξη μέχρι το 5G [16]

5.2 Η μελλοντική χρήση του MIMO στο 5G

Όπως προαναφέραμε, η λειτουργία του 5G θα βασίζεται σε πολλές κεραιές που θα βρίσκονται σε κάθε γεωγραφική περιοχή. Το σήμα όμως που θα στέλνεται θεωρείται ότι θα είναι της τάξης των mm, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι θα πρέπει να χρησιμοποιείται μεγαλύτερος αριθμός από κεραιές. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η καθυστέρηση στο δίκτυο και να μην κατασπαταλάται τόση ενέργεια και επομένως συμπεραίνουμε ότι θα πρέπει να γίνει σύγκριση μεταξύ του 5G και των παλαιότερων δικτύων ώστε να είναι εμφανείς οι διαφορές τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Στο σημείο αυτό λοιπόν όπου μας ενδιαφέρει η αύξηση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας και της ταχύτητας των συνδέσεων μπορεί να συμβάλει σε μεγάλο βαθμό η τεχνολογία MIMO και τα παρακλάδια της. Υπάρχουν 3 είδη MIMO τα οποία θα μας απασχολήσουν στο 5G και το πρώτο από αυτά είναι το *Cooperative MIMO*, όπου και ο πομπός και ο δέκτης έχουν πολλές κεραιές. Η διαφορά εδώ όμως είναι ότι οι κεραιές αυτές χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί το βέλτιστο κέρδος που μπορεί

να προκύψει από το MIMO και γι αυτό το λόγο χρειάζονται πολλές point to point συνδέσεις μεταξύ ζευξεων αλλά και συνδέσεις με εικονικά σύνολα κεραιών. Το μειονέκτημα αυτού του σχήματος είναι το μεγάλο κόστος συντήρησης και η αυξημένη πολυπλοκότητα του συστήματος.

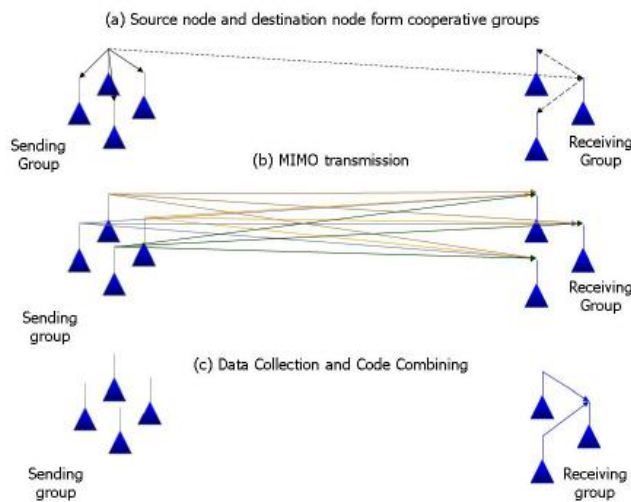


Figure 13: Cooperative MIMO [17]

Ένα δεύτερο είδος MIMO που θα είναι χρήσιμο στο 5G είναι το *mmWave MIMO*, το οποίο όπως αναφέραμε απαιτεί κύματα τάξης του mm, μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων και είναι λίγο πιο δύσκολος ο σχεδιασμός του hardware που θα χρειαστεί.

Το τρίτο και σημαντικότερο είδος είναι το *Massive MIMO*, όπου θα χρησιμοποιούνται πολύ μεγάλα σύνολα από κεραιές, κατά πάσα πιθανότητα 128, ο ίδιος αριθμός από πομπούς και δέκτες. Από τις κεραιές αυτές θα εκπέμπονται 128 διαφορετικά ρεύματα δεδομένων και κάθε κεραία θα στέλνει μοναδικό σήμα. Η μέθοδος αυτή μπορεί να επιτευχθεί αν η συχνότητα που χρησιμοποιείται είναι μικρότερη των 6GHz και αφού γίνει αυτό, τότε όλα τα ρεύματα δεδομένων στέλνονται προς όλους τους χρήστες αλλά

ταυτόχρονα μειώνεται η παρεμβολή που υπάρχει μεταξύ σημάτων που μεταδίδονται σε διαφορετικούς χρήστες.[1]

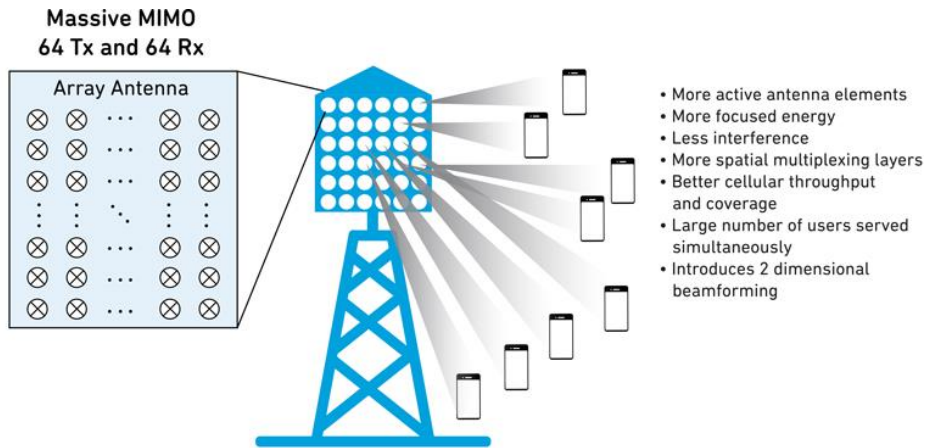


Figure 14: Σύνοψη χαρακτηριστικών του Massive MIMO [18]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η τεχνολογία MIMO είναι παρούσα, όπως προαναφέραμε, σε πολλές τεχνολογίες εκ των οποίων βασική είναι το 4G δίκτυο και έχουν τεθεί οι βάσεις για τη χρησιμοποίησή του στο 5G. Βασικός σκοπός της εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας εκτός από την υψηλή ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων είναι και η αύξηση της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες τεχνικές που αφορούν το χρόνο, τη συχνότητα ή/και το χώρο. Το MIMO εκτός από τα προαναφερθέντα συμβάλλει και στην ελάττωση του BER, καθώς εφαρμόζονται αλγόριθμοι επεξεργασίας σήματος στα σύμβολα που λαμβάνει ο δέκτης από πολλές κεραιές.

Επιπρόσθετα, προσφέρει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών, γιατί η φασματική απόκριση είναι μεγαλύτερη και εκτός από αυτό, μπορεί να εξυπηρετήσει μεγάλο αριθμό συσκευών/συνδρομητών μέσα σε μια γεωγραφική περιοχή. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ακόμα και σε όλες τις συσκευές που συμβαδίζουν με το πρότυπο 802.11n, δηλαδή με WiFi αλλά ακόμα και σε τηλεπικοινωνίες που δεν είναι ασύρματες όπως το home networking standard ITU-T G.9963.

Βέβαια εκτός από τα προαναφερθέντα, υπάρχουν και κάποιες δυσκολίες που αφορούν την υλοποίηση της τεχνολογίας αυτής και η πρώτη και βασική είναι η ανάγκη για υλοποίηση hardware και software που θα την υποστηρίξουν και σίγουρα είναι πολύ

απαιτητικά συγκριτικά με τα συστήματα μονής κεραίας. Αυτό συμβαίνει, διότι εφαρμόζονται προηγμένοι αλγόριθμοι επεξεργασίας σήματος που είναι πιο περίπλοκοι, κάτι το οποίο οδηγεί και σε περισσότερη κατανάλωση ενέργειας από το hardware. Έτσι συμπεραίνουμε ότι εκτός από τις παραπάνω δυσκολίες, το κόστος είναι ένας σημαντικός παράγοντας και στην περίπτωση αυτή είναι αυξημένο λόγω των ιδιαίτερων απαιτήσεων.[2]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημοσιεύσεις και URLs:

- 1) <https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>
- 2) <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-MIMO.html>
- 3) <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000005714/network-and-i-o/wireless-networking.html>
- 4) <https://ieeexplore.ieee.org/document/1203154>
- 5) https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-user_MIMO
- 6) <https://www.ired.gr/blog/item/4919-4g-vs-lte-the-differences-explained.html>
- 7) <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
- 8) <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/mimo.php>

Εικόνες:

- 9) https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO#/media/File:MIMO_with_building.png
- 10) <https://nisalm4real.wordpress.com/tag/mimo/>
- 11) https://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_multiplexing
- 12) https://www.researchgate.net/figure/MIMO-diversity-scheme-using-Space-Time-Block-Coding_fig4_255599445

- 13) <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/massive-mimo-and-beamforming-the-signal-processing-behind-the-5g-buzzwords.html>
- 14) <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/iso-simo-miso-mimo.php>
- 15) <https://www.howtogeek.com/242793/what-is-mu-mimo-and-do-i-need-it-on-my-router/>
- 16) https://www.researchgate.net/figure/Generic-4G-network-Architecture-1_fig1_255708816
- 17) <https://www.systemoneservices.com/5g-what-you-need-to-know/>
- 18) https://www.researchgate.net/figure/Proposed-cooperative-MIMO-system-a-Recruitment-b-MIMO-transmission-c-Data_fig1_224356055
- 19) <https://www.mwrf.com/semiconductors/realizing-5g-sub-6-ghz-massive-mimo-using-gan>
- 20) https://en.wikipedia.org/wiki/File:Macrodiversity_mimo_mac_2013.jpg