



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ
ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ
ΕΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

MU-MIMO

ΑΛΕΞΗΣ ΑΝΔΡΟΥΤΣΕΛΗΣ

A.M 236272

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	5
1.1 ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΙΜΟ	6
1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΙΜΟ	7
1.3 ΒΑΣΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	8
1.4 ΚΑΝΑΛΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΙΜΟ	11
1.5 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΜΙΜΟ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΙΜΟ ΚΑΙ 5G	14
2.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΙΜΟ	15
2.2 ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ MASSIVE ΜΙΜΟ	15
2.3 ΒΕΑΜFORMING	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: MU-MIMO ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	18
3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MU-MIMO	18

3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜU-MIMO ΜΕ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΥΛΟΙΗΣΕΩΝ ΜU-MIMO ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΤΕΣ	23
3.3 ΤΥΠΟΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΩΝ ΜU-MIMO	25
3.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜU-MIMO	26
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	28
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	29

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

4G: Fourth Generation

5G: Fifth Generation

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

LTE: Long Term Evolution

MIMO: Multiple Input Multiple Output

MISO: Multiple Input Single Output MRC Maximal Ratio Combining

SIMO: Single Input Multiple Output

SISO: Single Input Single Output

ϵ_R Radiation Efficiency

P_{radiated} Radiated Power

P_{input} Input Power

C Channel Capacity

N_0 Noise Power

P_t Transmit Power

MIMO-OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

AP: Authentication Proxy

MT: Mimo transmitter

MR: Mimo recipient

LTE : Long Term Evolution

RF : Radio frequency

TxBF: Transmit Beamforming

SM: Spatial Multiplexing

BER: Bit Error Rate

STBC: Space Time Block Coding

WLAN : Wireless Local Area Network

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η αύξηση της κίνησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας αυξάνεται ραγδαία και αναμένεται να φτάσει τις 200 έως 1.000 φορές έως το 2020. Ταυτόχρονα, με την αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας του συστήματος επικοινωνίας, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος έχει σταδιακά γίνετε ένας από τους σημαντικούς στόχους της ανάπτυξης κινητής επικοινωνίας. Το τέταρτης γενιάς σύστημα κινητής επικοινωνίας (4G) είναι δύσκολο να συναντηθούν άτομα σχετικά με την απόδοση του φάσματος και την αποδοτικότητα ισχύος της υψηλότερης ζήτησης, το μέλλον του συστήματος πέμπτης γενιάς κινητής επικοινωνίας (5G) πρέπει να είναι στην αρχιτεκτονική του δικτύου, τα πρωτόκολλα δικτύου και μια νέα ανακάλυψη τεχνολογία ασύρματης μετάδοσης κ.λπ., προκειμένου να επιτευχθεί υψηλότερη φασματική απόδοση και πράσινοι διπλοί στόχοι ασύρματης επικοινωνίας.

Πολλαπλή είσοδος πολλαπλών εξόδων (MIMO), επίσης γνωστή ως τεχνολογία πολλαπλών κεραιών, μέσω του συνδέσμου επικοινωνίας της αποστολής και λήψης πολλαπλών κεραιών και στα δύο άκρα και αξιοποίηση πλήρων διαστημικών πόρων, μπορεί να προσφέρει κέρδος ποικιλομορφίας προκειμένου να βελτιωθεί η αξιοπιστία του συστήματος, παρέχει κέρδος πολυπλεξίας για να αυξήσει το φάσμα συχνοτήτων της

αποδοτικότητας του συστήματος, παρέχει κέρδος συστοιχίας με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης ισχύος του συστήματος και τα τελευταία 20 χρόνια υπήρξε μια από τις κύριες τεχνολογίες στον τομέα της ασύρματης επικοινωνίας. Επί του παρόντος, η τεχνολογία MIMO έχει υιοθετηθεί από το The 3rd Generation Partnership Project (3GPP), το 3GPP LTE / LTE-Advanced και το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικών και Ηλεκτρονικών Μηχανικών WiMAX και άλλα πρότυπα 4G. Ωστόσο, οι υπάρχοντες σταθμοί βάσης συστήματος 4G έχουν λιγότερες κεραίες (γενικά όχι περισσότερο από 8) και τα κέρδη απόδοσης του MIMO είναι σημαντικά περιορισμένα.

Σε απάντηση στην έλλειψη παραδοσιακής τεχνολογίας MIMO, η Marzetta των εργαστηρίων Bell στις ΗΠΑ πρότεινε την ιδέα του μαζικού MIMO το 2010. Σε ένα τεράστιο σύστημα MIMO, ο σταθμός βάσης είναι διαμορφωμένος με δεκάδες έως εκατοντάδες κεραίες, που είναι τάξης μεγέθους μεγαλύτερο από αυτό του παραδοσιακού συστήματος MIMO. Ο σταθμός βάσης αξιοποιεί πλήρως την ελευθερία χώρου του συστήματος και εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλούς χρήστες. Μελέτη διαπίστωσε ότι όταν ένα χωριό στον αριθμό της κεραίας του σταθμού βάσης γίνεται άπειρο, διαφορετικό κανάλι χρήστη θα τείνει να είναι ορθογώνιο, πρόσθετο θόρυβο λευκού γκαουζιού και εξασθένιση μικρής κλίμακας, όλα τα αρνητικά αποτελέσματα μπορούν να παραμεληθούν, μόνο στην απόδοση ενός χρήστη είναι η ίδια στις άλλες κοινές πιλοτικές ακολουθίες χρηστών παρεμβολών, η απόδοση του συστήματος από το παραδοσιακό σύστημα MIMO περισσότερες από μία τάξεις μεγέθους. Η εξέλιξη του παραδοσιακού MIMO σε μαζικό MIMO είναι μια διαδικασία από ποσοτική σε ποιοτική αλλαγή. Λόγω του μεγάλου αριθμού χρηστών κεραίας σταθμού βάσης MIMO και διαχωρισμού αέρα από ό, τι το παραδοσιακό MIMO είναι οι αυξήσεις παραγγελιών μεγέθους, τόσο στην

ασύρματη επικοινωνία σχετικά με τις βασικές αρχές όσο και σε συγκεκριμένες μεθόδους που είχαν διαφορετικά κοινά, παρέχει στους ερευνητές ότι περιέχει πολλές υψηλής ερευνητικής αξίας της «εξόρυξης χρυσού και μεταλλουργίας». Τα τελευταία χρόνια, η βασική θεωρία του μαζικού MIMO, η μέτρηση και η μοντελοποίηση καναλιών, η απόκτηση πληροφοριών καναλιού, η ασύρματη μετάδοση, το πείραμα και οι δοκιμές έχουν αποφέρει καρποφόρα αποτελέσματα [1]

1.1 Παραδοσιακή τεχνολογία MIMO

Η τεχνολογία MIMO ιδρύθηκε για πρώτη φορά το 1908 από τον Marconi, από τον αποστολέα και τον δέκτη εξοπλισμένα με πολλαπλές κεραιές για τη βελτίωση της χωρητικότητας του συστήματος επικοινωνίας, του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων συστήματος και της αξιοπιστίας μετάδοσης. Η τεχνολογία MIMO είναι μια από τις βασικές τεχνολογίες του συστήματος επικοινωνιών κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς (3G) και 4G.[1]

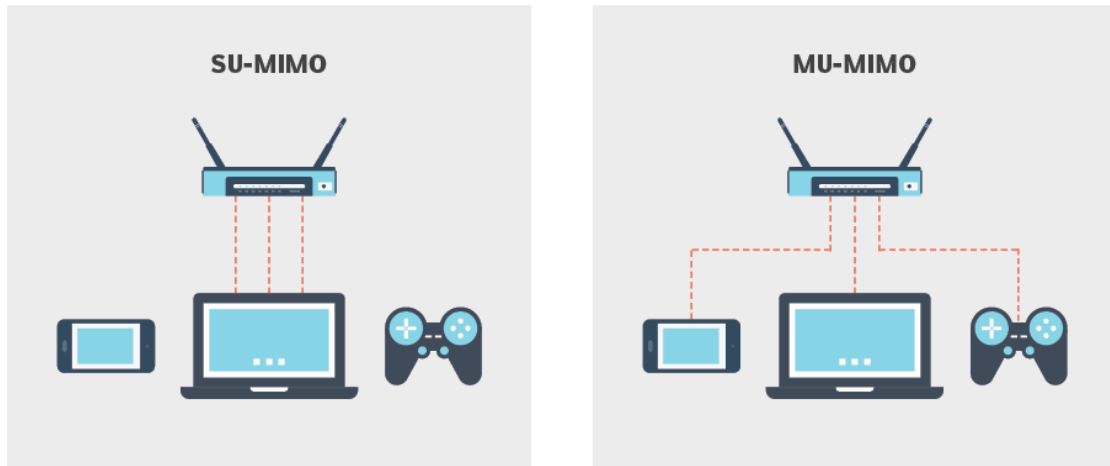
1.2 Περιγραφή MIMO

Το MIMO (πολλαπλή είσοδος, πολλαπλή έξοδος) είναι μια τεχνολογία κεραιάς για ασύρματες επικοινωνίες στην οποία χρησιμοποιούνται πολλές κεραιές τόσο στην πηγή (πομπός) όσο και στον προορισμό (δέκτης). Οι κεραιές σε κάθε άκρο του κυκλώματος επικοινωνίας συνδυάζονται για την ελαχιστοποίηση σφαλμάτων και τη βελτιστοποίηση της ταχύτητας δεδομένων. Το MIMO είναι μία από τις διάφορες μορφές τεχνολογίας έξυπνης κεραιάς, οι άλλες είναι MISO (πολλαπλές εισοδοί, μία έξοδος) και SIMO (μονή είσοδος, πολλαπλή έξοδος).

Στις συμβατικές ασύρματες επικοινωνίες, μια μοναδική κεραία χρησιμοποιείται στην πηγή και μια άλλη κεραία χρησιμοποιείται στον προορισμό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτό δημιουργεί προβλήματα με πολλά αποτελέσματα. Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (πεδίο EM) συναντά εμπόδια όπως λόφους, φαράγγια, κτίρια και καλώδια χρησιμότητας, τα κύματα είναι διάσπαρτα και έτσι παίρνουν πολλά μονοπάτια για να φτάσουν στον προορισμό. Η καθυστερημένη άφιξη διασκορπισμένων τμημάτων του σήματος προκαλεί προβλήματα όπως ξεθώριασμα, αποκοπή (εφέ γκρεμού) και διαλείπουσα λήψη (περιφραγμένη στύλος). Σε συστήματα ψηφιακών επικοινωνιών όπως το ασύρματο Internet, μπορεί να προκαλέσει μείωση της ταχύτητας δεδομένων και αύξηση του αριθμού σφαλμάτων. Η χρήση δύο ή περισσότερων κεραιών, μαζί με τη μετάδοση πολλαπλών σημάτων (ένα για κάθε κεραία) στην πηγή και τον προορισμό, εξαλείφει το πρόβλημα που προκαλείται από τη διάδοση πολλαπλών κυμάτων και μπορεί ακόμη και να επωφεληθεί από αυτό το αποτέλεσμα.

Η τεχνολογία MIMO προκάλεσε ενδιαφέρον λόγω των πιθανών εφαρμογών της σε ψηφιακή τηλεόραση (DTV), ασύρματα τοπικά δίκτυα

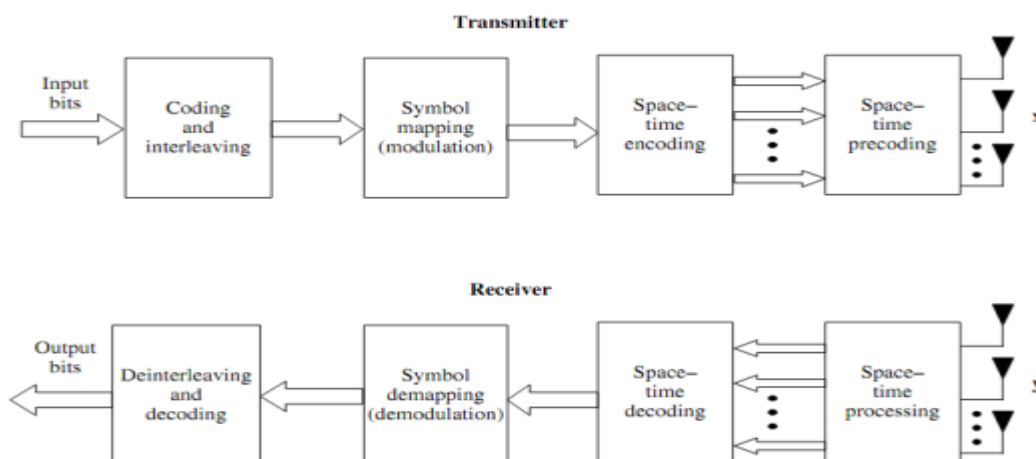
(WLAN), μητροπολιτικά δίκτυα περιοχής (MANs) και κινητές επικοινωνίες.[4]



Ενώ το μιμό χρήστη ενός χρήστη μπορεί να μεταδώσει πολλαπλές ροές δεδομένων σε μία μόνο συσκευή κάθε φορά, το μιμόφωνο πολλαπλών χρηστών μπορεί να στείλει πολλές ροές δεδομένων σε πολλές συσκευές ταυτόχρονα[4]

1.3 Βασικά δομικά στοιχεία

Ένα βασικό δομικό στοιχείο του συστήματος MIMO παρουσιάζεται στο σχήμα 1



Σχήμα 1: Βασικά δομικά στοιχεία MIMO

Στο σχήμα, τα x και y παριστούν μεταδιδόμενα και ληφθέντα διανύσματα σήματος αντίστοιχα. Αρχικά, οι προς μετάδοση πληροφορίες κωδικοποιούνται και παρεμβάλλονται. Το σύμβολο χαρτογράφησης χαρτογραφεί τις κωδικοποιημένες πληροφορίες σε σύμβολα δεδομένων. Αυτά τα σύμβολα δεδομένων τροφοδοτούνται στη συνέχεια σε έναν κωδικοποιητή χωροχρόνου που δημιουργεί μερικές ροές χωρικών δεδομένων. Οι ροές δεδομένων μετά μεταδίδονται από διαφορετικές κεραιές. Τα μεταδιδόμενα σήματα διαδίδονται μέσα από κανάλια και λαμβάνονται με λήψη συστοιχιών. Στη συνέχεια, ο δέκτης συλλέγει όλα τα δεδομένα από τις κεραιές και αντιστρέφει τη λειτουργία για να αποκωδικοποιήσει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας έναν επεξεργαστή διαστήματος, αποκωδικοποιητή διαστήματος, αποσυμπιεστή συμβόλων και τέλος τον αποκωδικοποιητή.[2]

1.4 Κανάλια Επικοινωνίας MIMO

Η επικοινωνία καναλιού MIMO εκμεταλλεύεται τη διάδοση πολλαπλών διαδρομών. Το κανάλι MIMO μπορεί να περιγραφεί με τον ακόλουθο πίνακα [6]:

$$y = Hx + n \quad (5)$$

Όπου y είναι ο λαμβανόμενος βέτο σήματος, το X είναι ο μεταδιδόμενος φορέας σήματος, τα H και n είναι πίνακες καναλιών. Για να κατανοήσετε καλύτερα το MIMO, είναι απαραίτητο να εξετάσετε το μοντέλο καναλιού του. Για ένα σύστημα με πομπούς MT και δέκτες MR,

το κανάλι MIMO σε μια δεδομένη στιγμή μπορεί να αντιπροσωπεύεται από τον πίνακα $M_R \times M_T$ όπως φαίνεται παρακάτω [6],

$$H = \begin{bmatrix} H_{1,1} & H_{1,2} & \dots & H_{1,M_T} \\ H_{2,1} & H_{2,2} & \dots & H_{2,M_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{M_R,1} & H_{M_R,2} & \dots & H_{M_R,M_T} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Όπου $H_{m,n}$ είναι το κέρδος καναλιού μεταξύ κεραίας λήψης m -th και n -th. Η n -th στήλη του H ονομάζεται ως χωρική υπογραφή της κεραίας μετάδοσης n -th. Η γεωμετρία του M_T διαφοροποιεί τα σήματα που εκπέμπονται από τον πομπό.[2]

1.5 Χωρητικότητα καναλιού MIMO

Η θεωρητική ικανότητα του καναλιού MIMO εκφράζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$C = E_H \left[\log_2 \det \left(I_{M_r} + \frac{\rho}{M_t} H Q H^H \right) \right] \quad (7)$$

Όπου $Q = E[x x^H]$ είναι ο πίνακας συνδιακύμανσης εισόδου και ρ (SNR) is $\frac{E_s}{N_0}$, E_s είναι το σύνολο μεταδίδει ισχύ και είναι N_0 η ισχύς θορύβου σε κάθε κεραία.

Στην εξίσωση (7), η χωρητικότητα εξαρτάται από τους αριθμούς κεραίας, τη συνδιακύμανση εισόδου μήτρας και τα στατιστικά του καναλιού. Η

μήτρα Q είναι διαγώνια και όλα τα στοιχεία είναι πραγματικοί αριθμοί. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις για αυτόν τον πίνακα. Όταν ο πομπός δεν είναι ενημερωμένος, δηλαδή όταν δεν έχει τη σωστή γνώση του πίνακα καναλιών, τότε ο πίνακας θα είναι ίδιος με τον πίνακα $Q = I_{M \times M}$. Με άλλα λόγια, το σύνολο μεταδιδόμενης ισχύς θα διανεμηθεί σε όλες τις κεραιές από τον πομπό. Στην περίπτωση ενός ενημερωμένου πομπού, δηλαδή όταν ο πομπός έχει γνώση του κανάλι matrix, η χωρητικότητα θα βελτιστοποιηθεί με τη χρήση του λεγόμενου αρχή του. Εδώ, θα διανεμηθούν διάφορα επίπεδα ισχύος μετάδοσης μεταξύ διαφόρων μεταδιδόμενων κεραιών ανάλογα με την ισχύ του καναλιού τους. Όσο καλύτερο είναι το κανάλι, τόσο περισσότερη δύναμη παίρνει και το αντίστροφο. [2]

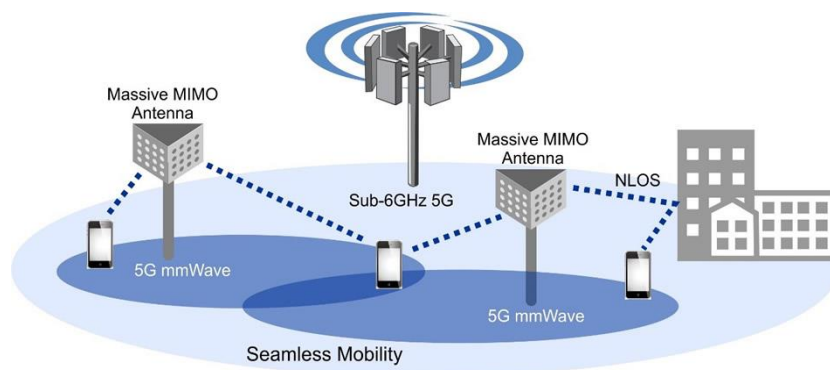
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΙΜΟ ΚΑΙ 5G

Υπολογίζεται από αρκετές έρευνες, περίπου το 5% των παρόχων υπηρεσιών θα άρχιζαν να προσφέρουν ασύρματη υπηρεσία 5G, αντιπροσωπεύοντας μεγάλη πρόοδο από 5G proofs of concept (POCs) το 2018. Το 5G, ως κυψελοειδές πρότυπο επόμενης γενιάς μετά το 4G (LTE), έχει οριστεί σε διάφορους παγκόσμιους τυπικούς φορείς: ITU (International Telecommunication Union), 3GPP (Third Generation Partnership Project), ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Η επίσημη προδιαγραφή ITU, οι Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες-2020 (IMT-2020), στοχεύουν μέγιστη απόδοση κατερχόμενης ζεύξης και ανερχόμενης ζεύξης 20 Gbps και 10 Gbps, αντίστοιχα, και καθυστέρηση κάτω των 5 ms (χιλιοστά του δευτερολέπτου) και τεράστια επεκτασιμότητα.

Το 5G δεν θα μπορεί να επιτύχει απαιτήσεις IMT-2020, όπως 20 Gbps, χωρίς κάποιες σημαντικές ανακαλύψεις. Προς το παρόν, δεν είναι ακόμη σαφές ποιες τεχνολογίες θα κάνουν τα περισσότερα για το 5G μακροπρόθεσμα, αλλά έχουν εμφανιστεί μερικά πρώτα αγαπημένα. Οι εμπρόσθιοι δρομείς περιλαμβάνουν κύματα χιλιοστών, μικρά κελιά, πλήρη αμφίδρομη, beamforming... και φυσικά, τεράστιο MIMO. Οι τηλεπικοινωνίες έχουν ήδη υιοθετήσει τεράστιο MIMO σε υπάρχοντα δίκτυα 4G LTE, ειδικά δίκτυα TD-LTE (Time-Division LTE) (για παράδειγμα, η SoftBank το 2016 και η China Mobile το 2017). Ωστόσο, το τεράστιο MIMO FDD-LTE (Frequency-Division-Duplex LTE) έρχεται αργότερα επειδή το TD-LTE έχει το πλεονέκτημα να χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα τόσο για την κατερχόμενη όσο και για

την ανερχόμενη ζεύξη, και οι πληροφορίες ποιότητας του καναλιού ανερχόμενης ζεύξης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για την κατερχόμενη ζεύξη. Το FDD-LTE, από την άλλη πλευρά, απαιτεί πόρους ενός άλλου ραδιοφώνου για να λάβει τις πληροφορίες ανατροφοδότησης που είναι απαραίτητες για την εφαρμογή beamforming για την επικοινωνία downlink. Αυτό δείχνει ότι το τεράστιο MIMO FDD απαιτεί μεγαλύτερο overhead και δεν είναι τόσο αποτελεσματικό όσο το τεράστιο MIMO TD-LTE. Μόλις το 2018, η Verizon ξεκίνησε μαζικές δοκιμές MIMO 96 στοιχείων κεραίας.

Με το 5G να έρχεται και να έρχεται, τα εμπορικά δίκτυα σχεδόν σίγουρα πρέπει να υιοθετήσουν τεράστιο MIMO, και ένα τυπικό 5G μαζικό σχέδιο MIMO είναι 64 ή 128 συστοιχίες στα 3,5GHz και περισσότερες από 128 συστοιχίες στα 28GHz ή παραπάνω.[5]



Εικόνα 5: Massive -Mimo & 5G

2.1 Λειτουργία του συστήματος MIMO

Το MIMO μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις κατηγορίες

1. Precoding
2. Spatial Multiplexing
3. Diversity Coding

1.Precoding

Το Precoding είναι ένας σχηματισμός δέσμης πολλαπλών ρευμάτων - η πιο στενή μορφή ενός ορισμού. Γενικά, μπορεί να χαρακτηριστεί ως η χωρική επεξεργασία που συμβαίνει στον πομπό. Στη διαμόρφωση δέσμης, τα εκπεμπόμενα σήματα από τις κεραιές εκπομπής με κατάλληλη φάση και αυξάνουν τη στάθμιση έτσι ώστε η ισχύς του σήματος να μεγιστοποιείται στην είσοδο του δέκτη. Η βοήθεια αυτού του σχηματισμού δέσμης είναι να αυξήσει το κέρδος των λαμβανόμενων σημάτων, κάνοντας τα εκπεμπόμενα σήματα από διαφορετικές κεραιές να προσθέσουν θετικά και να μειώσουν το φαινόμενο εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών. Όταν ο δέκτης έχει πολλαπλές κεραιές, ο σχηματισμός της μεταδιδόμενης δέσμης δεν μπορεί να μεγιστοποιήσει ταυτόχρονα το επίπεδο σήματος των κεραιών δέκτη και χρησιμοποιούνται οι προκατασκευασμένες πολλαπλές ροές.[11]

2.Spatial Multiplexing

Η Spatial Multiplexing (χωρική πολυπλεξία) χρειάζεται διαμόρφωση κεραιάς MIMO. Στην χωρική πολυπλεξία, ένα σήμα τοποθετημένο σε υψηλό ρυθμό χωρίζεται σε ροές χαμηλότερου ρυθμού σε πολλαπλάσια και κάθε ροή μεταφέρεται από διαφορετικές κεραιές μετάδοσης σε ένα παρόμοιο κανάλι συχνότητας. Εάν αυτό το μεταδιδόμενο σήμα φτάσει στη συστοιχία κεραιάς δέκτη με διαφορετικές χωρικές υπογραφές, ο δέκτης μπορεί να διαχωρίσει αυτές τις ροές παράλληλα σε κανάλια. Η χωρική πολυπλεξία είναι μια πολύ σημαντική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού σε υψηλότερες αναλογίες σήματος προς θόρυβο (SNR). Ο μέγιστος αριθμός χωρικών ροών περιορίζεται από τον μικρότερο αριθμό κεραιών που τοποθετούνται τόσο στα άκρα του πομπού όσο και του δέκτη. Αυτή η τεχνική πολυπλεξίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ή χωρίς

γνώση μετάδοσης του καναλιού. Η χωρική πολυπλεξία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων σε πολλαπλούς δέκτες. Αυτή η μέθοδος είναι επίσης γνωστή ως Space Division Multiple Accessing.[11]

3.Diversity Coding

Το Diversity Coding (τεχνική κωδικοποίησης) ποικιλομορφίας χρησιμοποιείται για την αύξηση της αξιοπιστίας του συνδέσμου στην εμφάνιση συνθηκών εξασθένησης. Με αυτήν την τεχνική, τα ίδια δεδομένα μπορούν να κωδικοποιηθούν σε πολλές εκδόσεις και ότι τα κωδικοποιημένα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν μέσω πολλαπλών κεραιών. Η κωδικοποίηση προσθέτει μερικές φορές επίπεδο διαφορετικότητας. Τα πολλαπλά σήματα που διαδίδονται χρησιμοποιώντας διαφορετικές διαδρομές επηρεάζονται διαφορετικά με τη διαδικασία εξασθένησης. Στη συνέχεια, ο δέκτης βελτιώνει την αρχική ροή είτε επιλέγοντας το λαμβανόμενο σήμα είτε συγχωνεύοντας όλες τις ληφθείσες πληροφορίες.[11]

2.2 Κινητη Τηλεφωνία και Massive-MIMO

Ενώ το Massive MIMO θα είναι μια βασική τεχνολογία 5G και έχουν ήδη διεξαχθεί δοκιμές με την τρέχουσα προηγμένη τεχνολογία δικτύου 4G LTE, δεν μπορείτε να αγοράσετε αυτήν τη στιγμή ένα smartphone με δυνατότητα τεράστιας MIMO. Θα ήταν άσκοπο χωρίς ένα εμπορικά διαθέσιμο δίκτυο Massive MIMO εξοπλισμένο στο οποίο θα λειτουργήσει.

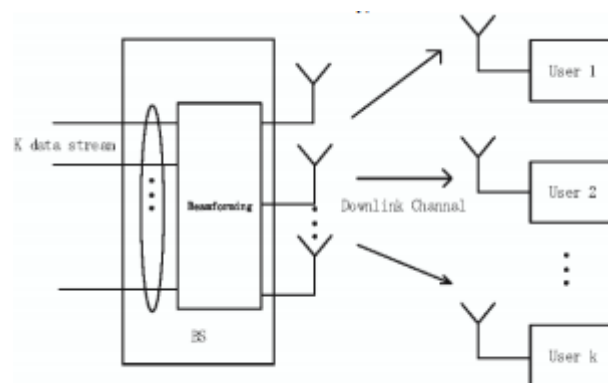
Ωστόσο, πολλά τηλέφωνα μπορούν να επωφεληθούν από το κανονικό MIMO σε τρέχοντα δίκτυα 4G LTE. Για παράδειγμα, το iPhone XR

υποστηρίζει 2x2 MIMO, ενώ το iPhone XS υποστηρίζει 4x4 MIMO. Η τελευταία αποτελείται από τέσσερις κεραιές για τέσσερις ταυτόχρονες ροές δεδομένων, καθιστώντας έτσι δυνατή τη μεταφορά δεδομένων δύο φορές πιο γρήγορα από το 2x2 MIMO.

Η οικογένεια Galaxy S10 που ανακοίνωσε πρόσφατα η Samsung υποστηρίζει επίσης 4x4 MIMO, αν και το ίδιο ισχύει και για το Samsung Galaxy S9 και το Galaxy S8. Τα Pixel 3 και Pixel 2 της Google περιλαμβάνονται επίσης στο παιχνίδι MIMO 4x4, όπως και τα HTC U11 και HTC U12 +, το Huawei Mate 20 Pro και το OnePlus 6T.

Ουσιαστικά, εάν αγοράσατε ένα ναυαρχικό τηλέφωνο τα τελευταία δύο χρόνια περίπου, υποστηρίζει πιθανώς 4x4 MIMO.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμη και παλαιότερα ή λιγότερο ικανά τηλέφωνα που δεν υποστηρίζουν το MIMO θα μπορούν να επωφεληθούν από το πιο σταθερό, πιο ευαίσθητο περιβάλλον δικτύου που θα παράγει το Massive MIMO. Αντιστρόφως, τα τηλέφωνα με υποστήριξη MIMO 4x4 θα είναι ταχύτερα ακόμη και σε δίκτυα MIMO 2x2, καθώς οι δύο δωρεάν κεραιές λειτουργούν για να ακονιστούν σε ένα ισχυρότερο σήμα. Με αυτόν τον τρόπο, μπορείτε να περιμένετε τα μαζικά τηλέφωνα που υποστηρίζουν MIMO να διαθέτουν άριστη συνδεσιμότητα δικτύου, ανεξάρτητα από το περιβάλλον του δικτύου όταν φτάνουν.



Εικονα 3 Βασικο μοντελο Massive MIMO

2.3 BeamForming

Το Beamforming είναι μια άλλη βασική ασύρματη τεχνική που χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες κεραιών τόσο σε φορητές συσκευές όσο και σε σταθμούς βάσης δικτύων για να εστιάσει ένα ασύρματο σήμα σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, αντί να μεταδίδει σε μια ευρεία περιοχή. Σκεφτείτε τη διαφορά μεταξύ της χρήσης ενός φακού - ποιου είδους πλημμύρες όλοι στο δωμάτιο - έναντι ενός δείκτη λέιζερ, ο οποίος μπορεί να εντοπίζει και να παρακολουθεί συνεχώς έναν δεδομένο χρήστη.

Με τον τεράστιο αριθμό στοιχείων κεραιάς σε ένα τεράστιο σύστημα MIMO, η διαμόρφωση δέσμης γίνεται «3D Beamforming». Το 3D Beamforming δημιουργεί οριζόντιες και κατακόρυφες δέσμες προς τους χρήστες, αυξάνοντας τους ρυθμούς δεδομένων (και την χωρητικότητα) για όλους τους χρήστες - ακόμη και αυτούς που βρίσκονται στους επάνω ορόφους των πολυώροφων κτιρίων



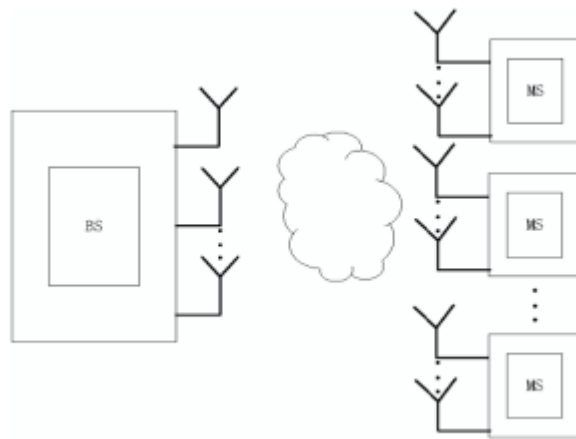
Εικόνα 4: 3D Beamforming

Οι ανατροφοδοτήσεις από κινητό προς το δίκτυο, επιτρέπουν στην ακτίνα του δικτύου να βρει οποιοδήποτε σημείο στο χώρο, οπότε ένας χρήστης κινητής τηλεφωνίας μπορεί πάντα να εξυπηρετείται από μια εστιασμένη δέσμη στις συσκευές του, καθώς κινούνται στο δρόμο ή μεταξύ διαφορετικών ορόφων σε ένα κτίριο. Επίσης, έχοντας τέτοιες στενές, άμεσες δοκούς μειώνεται η παρεμβολή μεταξύ των δοκών που κατευθύνονται σε διαφορετικές κατευθύνσεις.[6]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: MU-MIMO

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Το MU-MIMO αντιστοιχεί σε πολλαπλούς χρήστες, πολλαπλές εισόδους, πολλαπλές εξόδους και υποστηρίζει ασύρματη τεχνολογία από δρομολογητές και συσκευές τελικού σημείου. Το MU-MIMO είναι η επόμενη εξέλιξη από το MIMO ενός χρήστη (SU-MIMO), το οποίο γενικά αναφέρεται ως MIMO. Η τεχνολογία MIMO δημιουργήθηκε για να βοηθήσει στην αύξηση του αριθμού των κεραιών σε έναν ασύρματο δρομολογητή που χρησιμοποιείται τόσο για τη λήψη όσο και για τη μετάδοση, βελτιώνοντας την ικανότητα για ασύρματες συνδέσεις.[3]



Εικόνα 5. Βασικό μοντελο Mu-MIMO[9]

3.1 Λειτουργία τεχνολογίας Mu-MIMO;

Για να κατανοήσετε πώς λειτουργεί το MU-MIMO, πρέπει πρώτα να καταλάβετε πώς ο SU (Single User) -MIMO έχει λειτουργήσει από την άφιξή του στο ασύρματο πρότυπο 802.11n. Το SU-MIMO ή μάλλον το MIMO, αναφέρεται σε μια πρακτική τεχνική για την αποστολή και τη λήψη περισσότερων από ένα σημάτων δεδομένων ταυτόχρονα μέσω του ίδιου ραδιοδιαύλου εκμεταλλευόμενοι την πολλαπλή διάδοση. Αυτό επέτρεψε σε ασύρματα σημεία πρόσβασης και συσκευές να μεταδίδουν ταυτόχρονα ή να λαμβάνουν πολλαπλές ροές δεδομένων μεταξύ τους, αυξάνοντας την ταχύτητα της σύνδεσης.

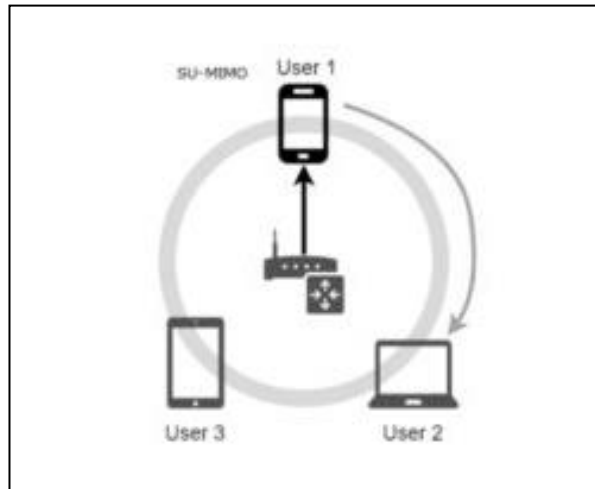
Για να λειτουργεί το MIMO, ο πομπός και ο δέκτης (δηλ. Το σημείο πρόσβασης και η συσκευή πελάτη) πρέπει να διαθέτουν πολλαπλές αλυσίδες ραδιοφώνου / κεραίας. Για παράδειγμα, ένα σημείο πρόσβασης που μπορεί να στείλει RF σε ένα ρεύμα και να λάβει RF σε άλλο (1x1), θα μπορεί να το κάνει με μια συσκευή πελάτη που υποστηρίζει επίσης σύνδεση 1x1. Μια συσκευή 2x2 υποστηρίζει δύο ροές προς κάθε κατεύθυνση και μια συσκευή 3x3 υποστηρίζει τρία. Κάθε συσκευή που υποστηρίζει περισσότερες ροές θα λειτουργήσει με οποιαδήποτε συσκευή που υποστηρίζει λιγότερα (και αντίστροφα), αλλά η συνολική απόδοση θα περιοριστεί από τη μικρότερη συσκευή.

Ένα χωρικό ρεύμα είναι ένα σύνολο δεδομένων, που αποστέλλεται από μια ραδιοφωνική αλυσίδα μετάδοσης, η οποία μπορεί να ανακατασκευαστεί μαθηματικά από τις ραδιοζυγοδέκτες του δέκτη. Στο MIMO, κάθε χωρική ροή μεταδίδεται από διαφορετική αλυσίδα ραδιοφώνου / κεραίας στο ίδιο κανάλι συχνότητας με τον πομπό. Ο δέκτης δέχεται κάθε ρεύμα σε κάθε μία από τις ίδιες αλυσίδες ραδιοφωνικής / κεραίας. Δεδομένου ότι ο δέκτης γνωρίζει τις

μετατοπίσεις φάσης των δικών του κεραιών, μπορεί να ανακατασκευάσει τα αρχικά ρεύματα.

Ωστόσο, για να κατανοήσουμε πώς λειτουργεί το MU-MIMO, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πρώτα το πώς μεταδίδεται το beamforming (TxBF). Σε αντίθεση με το MIMO, το οποίο στέλνει ένα διαφορετικό χωρικό ρεύμα σε κάθε κεραία, μεταδίδει beamforming στέλνει το ίδιο ρεύμα σε πολλαπλές κεραίες με εκούσιες αντισταθμίσεις χρονισμού για να αυξήσει το εύρος. Η φάση κάθε ροής δεδομένων μεταδίδεται από όλες τις κεραίες σε διαφορετικούς χρόνους, έτσι ώστε αυτά τα διαφορετικά σήματα να αλληλεπιδρούν εποικοδομητικά σε ένα σημείο του χώρου (δηλ. Τη θέση του δέκτη), ενισχύοντας έτσι την ισχύ σήματος σε αυτή τη θέση. Όταν χρησιμοποιείτε πανοραμικές κεραίες, το σχέδιο που δημιουργείται γίνεται αποτελεσματικά κατευθυνόμενο. Συνεπώς, η μετάδοση Beamforming μπορεί να λειτουργήσει μόνο εάν ο πομπός μπορεί να αντλήσει τη θέση του δέκτη μέσω της χρήσης ηχητικών πλαισίων.

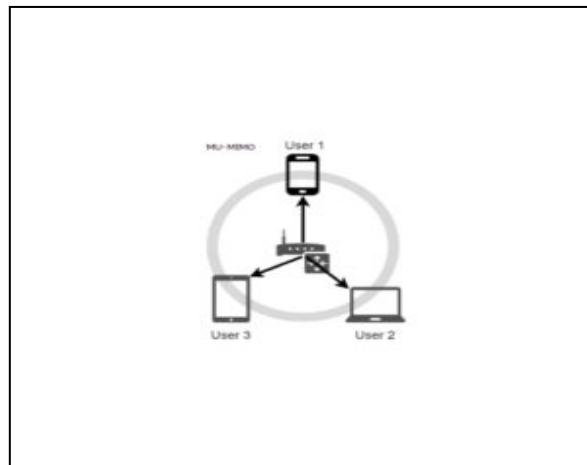
Το MU-MIMO κάνει αυτή τη διαδικασία ένα βήμα πιο πέρα. Με την προσθήκη ακόμα περισσότερων αλυσίδων / κεραιών ραδιοφώνου, ένα AP μπορεί να ελέγξει το μοτίβο σταδιακής κεραίας για να ελέγξει πού το σήμα είναι το ισχυρότερο και όπου το σήμα είναι το πιο αδύναμο. Με αρκετές κεραίες και γνώση σχετικά με τις σχετικές θέσεις όλων των συνδεδεμένων συσκευών πελάτη, ένα AP μπορεί να δημιουργήσει ένα διαδοχικό μοτίβο για να μιλήσει σε πολλούς πελάτες τόσο ανεξάρτητα όσο και ταυτόχρονα. Επομένως, για πρώτη φορά, χρησιμοποιώντας τεχνολογία πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εισόδων (MU-MIMO), ένα ασύρματο σημείο πρόσβασης μπορεί ταυτόχρονα να μεταδίδει σε πολλές συσκευές πελάτη Wi-Fi..[7]



Εικόνα 6 Σύνδεση σε ασύρματα routers και access points που υποστηρίζουν SU-MIMO

Να αναφέρουμε πρώτα ότι το SU-MIMO αποτελεί μέρος του προτύπου δικτύωσης 802.11n που ολοκληρώθηκε και δημοσιεύθηκε τον Οκτώβριο του 2009. Ο όρος SU-MIMO σημαίνει Single User – Multiple Input Multiple Output, δηλαδή ένας χρήστης – πολλαπλή είσοδος, πολλαπλή έξοδος. Δηλαδή, ένα ασύρματο κανάλι μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει δεδομένα προς και από ένα πελάτη δικτύου τη φορά. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, οι δρομολογητές είναι ικανοί να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα, αλλά μόνο σε μία κατεύθυνση, σε έναν πελάτη τη φορά. Ένας ασύρματος δρομολογητής με μία κεραία που χρησιμοποιείται για τη λήψη και την αποστολή δεδομένων, θα μπορεί να συνδεθεί μόνο σε μία συσκευή δικτύου κάθε φορά. Αν υποθέσουμε ότι υπάρχουν τρεις χρήστες συνδεδεμένοι στο Wi-Fi, ο δρομολογητής στέλνει και λαμβάνει δεδομένα μόνο στον πρώτο χρήστη, ενώ όταν τελειώσει με αυτόν πηγαίνει στον δεύτερο χρήστη και στη συνέχεια στον τρίτο. Ο αριθμός των ταυτόχρονων ροών δεδομένων περιορίζεται από

τον ελάχιστο αριθμό κεραιών που χρησιμοποιούνται. Αν για παράδειγμα ο ασύρματος δρομολογητής έχει τέσσερις κεραιές, χάρη στο SU-MIMO μπορούμε να έχουμε ταυτόχρονα έως και τέσσερις ροές δεδομένων. Δηλαδή, ένας ασύρματος δρομολογητής που μπορεί να μεταδίδει ή να λαμβάνει με δύο κεραιές μπορεί να χειρίζεται ταυτόχρονα δύο χρήστες, ενώ με τέσσερις κεραιές μπορεί να χειρίζεται τέσσερις πελάτες ταυτόχρονα. Δεδομένου ότι σε πολλά Wi-Fi δίκτυα υπάρχει αυξημένος αριθμός συνδεδεμένων πελατών που ζητά πρόσβαση στη ροή των δεδομένων τους, ο δρομολογητής λειτουργεί σαν ένα πυροβόλο τοποθετημένο σε περιστρεφόμενο καρουζέλ. Κάθε συσκευή περιμένει τη στροφή για λήψη και αποστολή δεδομένων, οπότε με τη σύνδεση κάθε νέου χρήστη ο χρόνος αναμονής γίνεται μεγαλύτερος και η ταχύτητα της σύνδεσης μειώνεται μειώνεται.[7]



Εικόνα 7 Λειτουργία του MU-MIMO όταν εισέρχεται στο Wi-Fi

Η τεχνολογία MU-MIMO αναφέρεται ορισμένες φορές και ως Next-Gen AC, ή AC Wave 2, ενώ υποστηρίζεται από το πρωτόκολλο 802.11ac. Αποτελεί μέρος του ασύρματου προτύπου 802.11ac wave 2, το

οποίο εκδόθηκε από την Wi-Fi Alliance το καλοκαίρι του 2015. Τον Ιούνιο του 2016, η Wi-Fi Alliance επέκτεινε το Wi-Fi CERTIFIED πρόγραμμά της, συμπεριλαμβάνοντας τις προδιαγραφές από το πρότυπο 802.11ac Wave 2. Η διαφορά με την παλαιότερη μέθοδο σηματοδοτείται από τον ίδιο την ονομασία της, καθώς MU σημαίνει Multi User, δηλαδή πολλαπλός χρήστης. Η τεχνολογία MU-MIMO κάνει εφικτή την αποστολή και λήψη δεδομένων προς και από πολλαπλές συσκευές ταυτόχρονα, ή την αποστολή δεδομένων σε έναν πελάτη με χρήση πολλαπλών ταυτόχρονων ροών, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα μεταφοράς. Με τη μέθοδο αυτή, ο ασύρματος δρομολογητής μπορεί να επικοινωνεί ταυτόχρονα με περισσότερους από έναν χρήστες σε ένα μόνο ασύρματο κανάλι, ή σε ένα μόνο χρήστη που χρησιμοποιεί πολλαπλές ροές στο ίδιο κανάλι. Υπάρχουν διάφοροι τύποι υλοποιήσεων MU-MIMO που μπορούμε να συναντήσουμε σε δρομολογητές και άλλες ασύρματες συσκευές[7]

3.2 Λειτουργία MU-MIMO με ασύρματες συσκευές και τύποι υλοποιήσεων MU-MIMO που βρίσκονται σε ασύρματους δρομολογητές

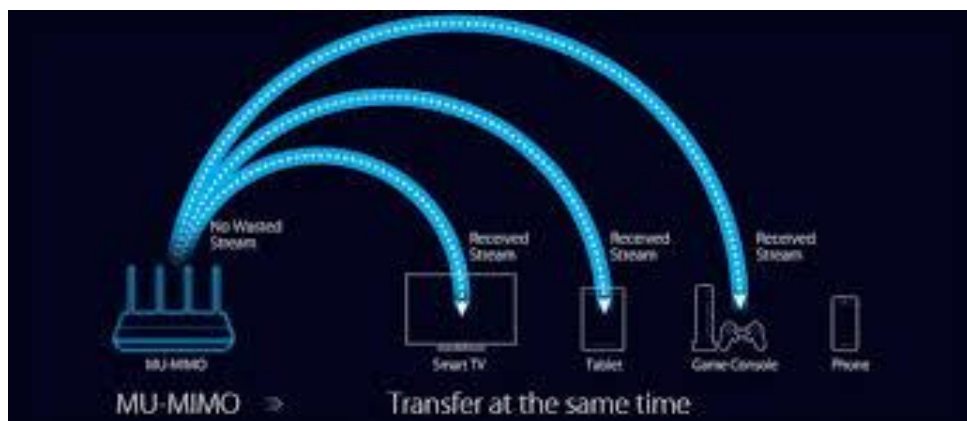
Το MU-MIMO δημιουργήθηκε για να υποστηρίξει περιβάλλοντα όπου πολλοί χρήστες προσπαθούν να αποκτήσουν πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο ταυτόχρονα. Η φύση του πρωτοκόλλου 802.11 είναι ότι οι χρήστες εξυπηρετούνται βάσει προτεραιότητας. Όταν πολλοί χρήστες αρχίζουν να έχουν πρόσβαση στο δρομολογητή ταυτόχρονα ή κοντά, η συμφόρηση μπορεί να εισαχθεί καθώς ο δρομολογητής εξυπηρετεί το

αίτημα του πρώτου χρήστη ενώ περιμένει ο δεύτερος (και τρίτος, τέταρτος κ.λπ.). Ενώ αυτές οι ώρες μπορεί να είναι αμελητέες, μπορεί να προσθέθουν περισσότερες συσκευές (smartphone, tablet, υπολογιστές κ.λπ.) και χρήστες που ζητούν πόρους. Το MU-MIMO το βοηθά αυτό επιτρέποντας σε πολλούς χρήστες να έχουν πρόσβαση σε λειτουργίες δρομολογητή χωρίς τη συμφόρηση.

Αυτή η τεχνολογία χωρίζει το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε ξεχωριστές, μεμονωμένες ροές που μοιράζονται τη σύνδεση εξίσου. Ένας δρομολογητής MU-MIMO μπορεί να έχει παραλλαγές 2x2, 3x3 ή 4x4, οι οποίες αναφέρονται στον αριθμό των ροών (δύο, τρία ή τέσσερα) που δημιουργούνται από το δρομολογητή (υπάρχει επίσης λόγος για 8x8 που έρχονται το 2018).

Με απλά λόγια, φανταστείτε ότι βρίσκεστε στην ουρά στην καφετέρια και εξυπηρετείστε αφού οι άνθρωποι μπροστά σας παίρνουν τους την παραγγελία τους. Με το MU-MIMO, αντί για μια ενας υπαλληλο που εξυπηρετεί, έχετε τώρα δύο, τρεις ή τέσσερις, κάτι που μειώνει τον χρόνο που πρέπει να περιμένετε. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι κανόνες σχετικά με αυτό. Πρώτον, οι ροές είναι χωρικές, πράγμα που σημαίνει ότι εάν δύο συσκευές είναι κοντά η μια στην άλλη, πρέπει ακόμη να μοιράζονται την ίδια ροή. Φανταστείτε το σενάριο της καφετέριας ξανά, αλλά αυτή τη φορά οι τέσσερις γραμμές που δημιουργήθηκαν είναι τώρα σημεία σε μια πυξίδα. Εάν βρίσκεστε φυσικά στη νότια γραμμή, πρέπει να περιμένετε με όλους τους άλλους, εκτός αν μετακινηθείτε προς τα ανατολικά, βόρεια ή δυτικά. Σε μια ρύθμιση γραφείου, εάν ο γειτονικός συνεργάτης σας μεταδίδει μια τηλεδιάσκεψη ενώ προσπαθείτε να κατεβάσετε μια εξαιρετικά μεγάλο όγκο δεδομένων, θα πρέπει να περιμένετε, εκτός αν μετακινηθείτε στην άλλη πλευρά του γραφείου. Αυτό το σενάριο προϋποθέτει ότι ο δρομολογητής / σημείο πρόσβασης έχει ενεργοποιήσει

την υποστήριξη MU-MIMO και beamforming. Δεύτερον, η τεχνολογία λειτουργεί μόνο για συνδέσεις κάτω ζεύξης. Αυτό είναι ιδανικό για οικιακούς χρήστες που πιθανότατα θα χρειαστούν γρηγορότερες ταχύτητες για ροές βίντεο 4K και διαδικτυακά παιχνίδια, αλλά λιγότερο χρήσιμες για επαγγελματίες που χρειάζονται γρηγορότερες μεταφορτώσεις για δημιουργία περιεχομένου (όπως μεταφόρτωση βίντεο) ή αμφίδρομες εφαρμογές τηλεδιάσκεψης.



Εικόνα 8: Τρόπος λειτουργίας MU-MIMO

3.3 Τυποι Υλοποιήσεων Mu-MIMO

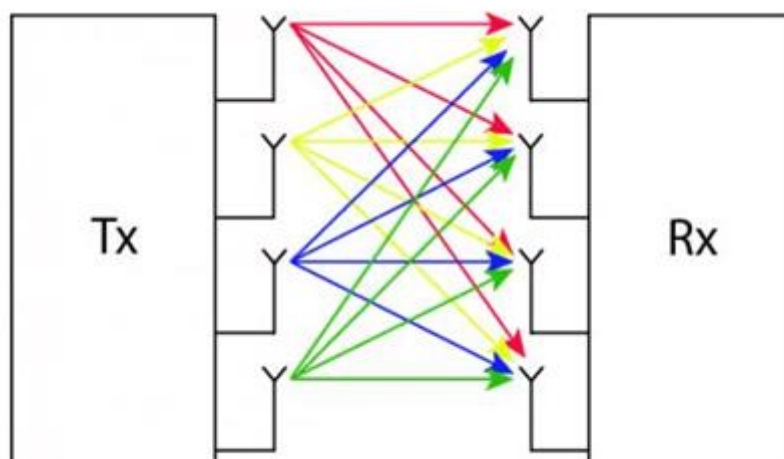
2x2 MIMO: Παρέχει δύο χωρικές ροές για τη μετάδοση και λήψη δεδομένων στο ίδιο κανάλι ή συχνότητα. Για την υλοποίηση αυτή χρειάζονται μόνο δύο κεραίες για ταυτόχρονη σύνδεση έως και δύο χρηστών, με ξεχωριστή ροή για τον καθένα. Τα ακριβά smartphones και tablets διαθέτουν συχνά δύο κεραίες και μπορούν να επωφεληθούν από το 2x2 MIMO

3x3 MIMO: Παρέχει τρεις χωρικές ροές και απαιτεί τρεις κεραίες, ώστε να μπορεί ταυτόχρονα να διαχειριστεί έως και τρεις χρήστες.

Τα ακριβότερα laptops της αγοράς εξοπλίζονται με τρεις κεραίες και μπορούν να επωφεληθούν από το 3×3 MIMO.

4×4 MIMO: Παρέχει τέσσερις χωρικές ροές και απαιτεί τέσσερις κεραίες για ταυτόχρονη σύνδεση έως και τεσσάρων πελατών. Η PCI-Express ASUS PCE-AC88 αποτελεί τον πρώτο ασύρματο προσαρμογέα δικτύου που έχει υλοποιήσει το 4×4 MIMO.

8×8 MIMO: Παρέχει οκτώ χωρικές ροές στο ίδιο ασύρματο κανάλι ή την ίδια συχνότητα σε μέγιστο αριθμό έως και τεσσάρων (και όχι 8) πελατών. Για την υλοποίηση αυτή χρειάζονται οκτώ κεραίες, ενώ η εφαρμογή της δεν είναι τόσο συνηθισμένη όσο οι προηγούμενες.[7]



Εικόνα 8 4X4 MIMO System[10]

3.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα του MU-MIMO

1.Ο υψηλότερος ρυθμός δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια πολλαπλών κεραιών και τεχνικής SM (Spatial Multiplexing). Αυτό βοηθά στην επίτευξη υψηλότερης απόδοσης κατερχόμενης ζεύξης και άνω ζεύξης.

2.Βοηθά στην επίτευξη μείωσης του BER (Bit Error Rate) λόγω της εφαρμογής προηγμένων αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος στα ληφθέντα σύμβολα δεδομένων από πολλαπλές κεραιές.

3.Οι τεχνικές όπως το STBC (Space Time Block Coding) και το BF (Beamforming) όταν χρησιμοποιούνται στο σύστημα MIMO βοηθούν στην επίτευξη επέκτασης της κάλυψης των κυττάρων.

4.Το σύστημα που βασίζεται στο MIMO ελαχιστοποιεί τα αποτελέσματα εξασθένισης που βλέπουν οι πληροφορίες που ταξιδεύουν από τη μετάδοση στο τέλος λήψης. Αυτό οφείλεται σε διάφορες τεχνικές ποικιλομορφίας όπως ο χρόνος, η συχνότητα και ο χώρος.

5.Υπάρχει χαμηλότερη ευαισθησία στο χτύπημα από μη εξουσιοδοτημένα άτομα λόγω πολλαπλών κεραιών και αλγορίθμων.

6.Τα συστήματα με το MIMO προσφέρουν υψηλό QoS (Ποιότητα υπηρεσίας) με αυξημένη απόδοση φάσματος και ρυθμούς δεδομένων.

7.Η ευρεία κάλυψη που υποστηρίζεται από το σύστημα MIMO βοηθά στην υποστήριξη μεγάλου αριθμού συνδρομητών ανά κελί.

8.Το σύστημα που βασίζεται στο MIMO υιοθετείται ευρέως στα τελευταία ασύρματα πρότυπα, δηλαδή. WLAN (802.11n, 802.11ac κ.λπ.), WiMAX (IEEE 802.16e), LTE, LTE-Advanced κ.λπ.[8]

Μειονεκτήματα

1.Οι απαιτήσεις πόρων και η πολυπλοκότητα του υλικού είναι υψηλότερη σε σύγκριση με ένα σύστημα που βασίζεται σε κεραία. Κάθε κεραία απαιτεί μεμονωμένες μονάδες RF για επεξεργασία ραδιοσήματος. Επιπλέον απαιτείται προηγμένο τσιπ DSP για την εκτέλεση προηγμένων αλγορίθμων επεξεργασίας μαθηματικών σημάτων.

2.Οι πόροι υλικού αυξάνουν τις απαιτήσεις ισχύος. Η μπαταρία εξαντλείται γρηγορότερα λόγω της επεξεργασίας πολύπλοκων και υπολογιστικά εντατικών αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος. Αυτό μειώνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών που βασίζονται σε MIMO.

3.Τα συστήματα που βασίζονται σε MIMO κοστίζουν υψηλότερα σε σύγκριση με ένα σύστημα που βασίζεται σε μία κεραία λόγω αυξημένων απαιτήσεων υλικού και προηγμένου λογισμικού.[8]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τεχνική Multiple Input Multiple Output (MIMO) είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για την αύξηση της αξιοπιστίας και της φασματικής απόδοσης της ραδιοφωνικής σύνδεσης σε μελλοντικά συστήματα κινητής επικοινωνίας. Το δυναμικό της απόδοσης συστημάτων MIMO έχει επαληθευτεί θεωρητικά. Η τεράστια τεχνολογία αυτής της τεχνικής θεωρείται από τη βιομηχανία ως βασική τεχνολογία στο μέλλον του 5G. Μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την χωρητικότητα του καναλιού, την ενεργειακή απόδοση και την απόδοση φάσματος του ασύρματου συστήματος επικοινωνίας. Καθώς οι συσκευές εξοπλίζονται με υψηλές δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, αυτοί οι τύποι τεχνικών πολλαπλών κεραιών γίνονται πολύ πιο εύκολο να εφαρμοστούν. Ωστόσο, σε κινητά τηλέφωνα, λόγω του περιορισμένου παράγοντα μορφής και διάρκειας ζωής της μπαταρίας, αποδεικνύεται δύσκολο να εφαρμοστούν προηγμένες τεχνικές κεραιών. Επιπλέον, όλες οι υπάρχουσες συσκευές πρέπει να αναβαθμιστούν και η δυνατότητα πολλαπλών κεραιών πρέπει να προστεθεί για να ικανοποιήσει το επερχόμενο πρότυπο 4G. Συνολικά, το MIMO είναι απαραίτητη τεχνολογία για να υιοθετήσει την υψηλή κρίση της μετάδοσης δεδομένων στις προσεχείς εποχές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Url's-Αναφορες

[1]Key Technologies in Massive MIMO Qiang Hu1* , Meixiang Zhang1 , and Renzheng Gao1

[2]<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46175/Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

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

[4] <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/MIMO>

[5]<https://medium.com/@miccowang/the-role-of-massive-mimo-in-5g-c362e790ef61>

[6]<https://www.qualcomm.com/news/onq/2019/06/20/how-5g-massive-mimo-transforms-your-mobile-experiences>

[7]<https://nowmag.gr/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1-mu-mimo/>

[8]<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-MIMO.html>

[9]<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/466/1/012083/pdf>

[10]<https://www.everythingrf.com/community/what-is-mimo-technology>

[11]<https://www.edgex.in/multiple-input-and-multiple-output-mimo-wireless-communications/>

Christos Bouras*†, Stylianos Kokkalis† , Anastasia Kollia† , Andreas Papazois†

*Computer Technology Institute & Press "Diophantus", Patras, Greece-Techno-economic analysis of MIMO & DAS in 5G

