



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

**Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών
Συστημάτων**

Διπλωματική Εργασία

**Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με
χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης
γενιάς**

321/2012143

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Επιβλέπων:

Σκούτας Δημήτρης, Ε.ΔΙ.Π. Βαθμίδας Α΄

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Σκούτας Δημήτριος
Ε.ΔΙ.Π. Βαθμίδας Α΄

Σκιάνης Χαράλαμπος
Καθηγητής

Βουγιούκας Δημοσθένης
Αναπληρωτής Καθηγητής

Σάμος, 2 Νοεμβρίου, 2018



Πίνακας περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
2	ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ NOMA	9
2.1	ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ NOMA ΚΑΙ OMA.....	9
2.2	NOMA ΜΕΣΩ ΤΗΣ PD ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ	10
2.2.1	Υπερτιθέμενη κωδικοποίηση (Superposition coding - SC)	10
2.2.2	Διαδοχική Ακύρωση Παρεμβολών (Successive Interference Cancellation - SIC) .	11
2.2.3	Τυπικό NOMA σχήμα	13
2.3	NOMA ΜΕΣΩ ΤΗΣ CD ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ.....	16
2.3.1	Διάδοση χαμηλής πυκνότητας (Low-Density Spreading) CDMA	16
2.3.2	Διάδοση χαμηλής πυκνότητας (Low-Density Spreading) OFDM.....	17
2.3.3	Πολλαπλή Πρόσβαση Αραιού Κώδικα (Sparse Code Multiple Access - SCMA) .	18
2.3.4	Κοινόχρηστη Πρόσβαση Πολλαπλών Χρηστών (Multi-User Shared Access – MUSA).....	20
2.3.5	NOMA σε Massive MIMO Συστήματα.....	21
2.4	ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΤΗΣ NOMA	22
3	ΛΥΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ Η NOMA.....	24
3.1	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ.....	24
3.2	ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ NOMA (COOPERATIVE NOMA C-NOMA)	25
3.3	ΔΙΚΑΙΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ (FAIRNESS) ΜΕΣΩ ΤΗΣ NOMA.....	27
3.3.1	Βέλτιστη Κατανομή Ισχύος (Optimal Power Allocation - PA)	28
3.3.2	Cognitive radio μέσω της διαχείρισης ισχύος.....	30
3.4	ΔΙΚΤΥΟ NOMA	31
3.5	NOMA ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΖΕΥΞΗΣ (LINK ADAPTATION)	33
3.5.1	Μοντέλο συστήματος NOMA με HARQ	33
3.5.2	Σχήμα HARQ.....	34
4	ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ.....	36
4.1	ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΑΪΡΙΑΣΜΑ ΧΡΗΣΤΩΝ	36
4.1.1	Ταίριασμα μέσω της ομοιόμορφης διαφοράς κέρδους καναλιού (Uniform channel gain difference – UCGD pairing)	36
4.1.2	Υβριδικό Ταίριασμα	38
4.2	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	40
4.3	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ	41
4.3.1	Αρχικοποίηση και εκχώρηση προτεραιότητας	42
4.3.2	Εκχώρηση Subband και ταίριασμα χρηστών	42



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

4.3.3 Κατανομή ισχύος πολλαπλών χρηστών	44
4.3.4 Προσαρμοσμένη μετάβαση στην ορθογώνια σηματοδότηση	45
4.3.5 Εκτίμηση Ρυθμού Δεδομένων και Μηχανισμός Ελέγχου.....	45
4.4 ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ	46
4.5 ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΔΙΚΑΙΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ	48
5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	50
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω κατά κύριο λόγο τον επιβλέποντα καθηγητή του τμήματος μας, κ. Σκούτα, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τόσο για το ενδιαφέρον που έδειξε όσο και για τις προτάσεις και τις παρατηρήσεις που έκανε για την βελτίωση της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδακτορικό καθηγητή, κ. Νομικό, για την πολύτιμη βοήθεια του και την άριστη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Περίληψη

Η μη ορθογωνική πολλαπλή πρόσβαση (Non Orthogonal Multiple Access - NOMA) είναι μια από τις υποσχόμενες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης για την ενίσχυση της απόδοσης του συστήματος στα 5G δίκτυα. Η NOMA προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε ένα δίκτυο, όπως είναι η αύξηση της φασματικής απόδοσης. Οι διαθέσιμες τεχνικές μέσω της NOMA μπορούν να διαιρεθούν στον τομέα ισχύος και στον τομέα του κώδικα. Η παρούσα διπλωματική επικεντρώνεται στον τομέα ισχύος, ο οποίος υιοθετεί την υπερτιθέμενη κωδικοποίηση (superposition coding - SC) στον πομπό και την διαδοχική ακύρωση των παρεμβολών (successive interference cancellation - SIC) στον δέκτη. Η NOMA μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για να ικανοποιήσει τόσο τις ανάγκες των χρηστών όσο και τις ανάγκες του δικτύου σε διάφορες τεχνολογίες των 5G δικτύων. Έτσι παρακάτω παρουσιάζουμε κάποιες στρατηγικές για την κατανομή ισχύος, την δίκαιη πρόσβαση αλλά και για το ταίριασμα χρηστών μέσω της NOMA. Επιπρόσθετα, παρουσιάζουμε πως η NOMA εκτελείται όταν συνδυάζεται με άλλες ασύρματες τεχνικές, όπως οι συνεργατικές επικοινωνίες και τα συστήματα MIMO. Επιπλέον, αναφέρουμε διάφορα σημαντικά θέματα σχετικά με τον τρόπο εφαρμογής της NOMA αλλά και μερικές ευκαιρίες για μελλοντική έρευνα.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Abstract

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) is one of the promising multiple access techniques to enhance system performance in 5G networks. NOMA offers several advantages over a network, such as increasing spectrum efficiency. Available techniques through NOMA can be divided into the power domain and the code domain. This diploma focuses on the power domain, which adopts the superposition coding (SC) on the transmitter and the successive interference cancellation (SIC) on the receiver. NOMA can be used effectively to meet both users' needs and network needs in various 5G network technologies. Here are some strategies for power allocation, user fairness and user pairing through NOMA. In addition, we show how NOMA performs when it is combined with other wireless techniques, such as cooperative communications and MIMO systems. In addition, we mention several important issues on NOMA implementation as well as some opportunities for future research.



1 Εισαγωγή

Από τα αναλογικά τηλέφωνα περάσαμε στις υπηρεσίες του Διαδικτύου, συμπεριλαμβανομένης της φωνής και του μηνύματος. Κάθε γενιά καλείται να ικανοποιήσει μια επιπλέον ανάγκη σε σχέση με τον προκάτοχό της. Συνεπώς είναι αναγκαίο να καλυφθούν οι απαιτήσεις της νέας γενιάς, αυτής των 5G δικτύων. Μια νέα τεχνολογική πρόκληση που καλούνται να αντιμετωπίσουν τα δίκτυα κινητής επικοινωνίας είναι αυτή της ραγδαίας αύξησης των χρηστών που επιθυμούν να συνδεθούν μέσω των υπηρεσιών που προσφέρουν τα 5G δίκτυα τα οποία αναμένεται να εξαπλωθούν ως το 2020.

Μια σημαντική ανησυχία για τα 5G δίκτυα αφορά την τεχνολογία ράδιο-πρόσβασης RAT, την αλλαγή στην ταχύτητα των δεδομένων αλλά και την μείωση στην απ' άκρον εις άκρον (end-to-end) καθυστέρηση (latency). Η ραγδαία εξέλιξη των smartphones αλλά και του Internet of Things (IoT) αυξάνουν εκθετικά τις απαιτήσεις για υψηλού ρυθμού δεδομένων εφαρμογές. Οι βιομηχανίες δηλώνουν ότι για τα 5G σε επίπεδο δικτύου ο ρυθμός μετάδοσης πρέπει να είναι στα 10-20 Gbps (δηλαδή 10 με 20 φορές υψηλότερο από το μέγιστο των 4G) και σε επίπεδο χρήστη πρέπει να είναι 1 Gbps (δηλαδή 100 φορές υψηλότερο από των 4G). Επιπλέον θέτουν την καθυστέρηση στο 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου, δηλαδή στο 1/5 της καθυστέρησης των 4G.

Η φυσική σύνδεση σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ονομάζεται τεχνολογία ράδιο-πρόσβασης, η οποία υπάρχει σε ένα δίκτυο ράδιο-πρόσβασης (Radio-Access Network - RAN). Το RAN χρησιμοποιεί μια τεχνική πρόσβασης καναλιού για την συνδεσιμότητα των κινητών τερματικών με το δίκτυο. Η σχεδίαση της τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης είναι μια από τις σημαντικότερες πτυχές για την βελτίωση της χωρητικότητας του συστήματος. Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης διακρίνονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες:

1. Ορθογωνική πολλαπλή πρόσβαση (Orthogonal Multiple Access - OMA),
2. Μη ορθογωνική πολλαπλή πρόσβαση (Non Orthogonal Multiple Access - NOMA).

Ένα ορθογώνιο σχήμα επιτρέπει σε έναν “ιδανικό” δέκτη να διαχωρίσει εξ ολοκλήρου τα ανεπιθύμητα σήματα από το επιθυμητό σήμα χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές. Με άλλα λόγια, τα σήματα των διαφορετικών χρηστών είναι ορθογώνια μεταξύ τους στην OMA. Η πολλαπλή πρόσβαση διαιρεμένη στον χρόνο (Time Division Multiple Access - TDMA) και η ορθογωνική πολλαπλή πρόσβαση διαιρεμένη στην συχνότητα (Orthogonal Frequency Division Multiple Access - OFDMA) αποτελούν μερικά παραδείγματα OMA. Στην TDMA, διάφοροι χρήστες μοιράζονται το ίδιο κανάλι συχνοτήτων με κατανομή του χρόνου, ενώ η OFDMA επιτρέπει την επικοινωνία πολλών χρηστών μέσω της ορθογώνιας πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) στην οποία οι συχνότητες του υποφορέα επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ορθογώνιες μεταξύ τους.

Αντίθετα, η NOMA επιτρέπει το κανάλι μιας συχνότητας να αποδίδεται σε πολλούς χρήστες την ίδια χρονική στιγμή στο ίδιο κελί και τους προσφέρει έναν αριθμό από πλεονεκτήματα, όπως βελτιωμένη φασματική αποδοτικότητα, υψηλότερη ρυθμό-απόδοση μεταξύ κελιών, αποδοτικότερο κανάλι ανατροφοδότησης (όπου μόνο η λαμβανόμενη ισχύ σημάτων απαιτείται και όχι πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση καναλιού (Channel State Information - CSI)), χαμηλή καθυστέρηση (κανένα αίτημα από τους χρήστες στο σταθμό βάσης δεν απαιτείται). Οι διαθέσιμες τεχνικές NOMA μπορούν να διαιρεθούν σε 2 κατηγορίες:



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

1. Τομέα ισχύος (Power Domain – PD)
2. Τομέα κώδικα (Code Domain – CD)

Η OMA είναι μια ρεαλιστική επιλογή για την επίτευξη καλής απόδοσης όσον αφορά την απόδοση σε επίπεδο συστήματος. Ωστόσο, λόγω των υψηλότερων απαιτήσεων, τα δίκτυα 5G βασίζονται στην περαιτέρω ενίσχυση της απόδοσης του συστήματος. Η NOMA επιτυγχάνει ανώτερες φασματικές αποδόσεις με την τεχνική SC στον πομπό και με την SIC στον δέκτη. Επιπλέον, η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων σε 5G θέτει νέες προκλήσεις για την ενεργειακή απόδοση (Energy Efficiency - EE), καθώς το δίκτυο θα είναι εξαιρετικά πυκνό. Με μια αύξηση των κόμβων της δικτυακής υποδομής, η συνολική κατανάλωση ενέργειας μπορεί να ξεπεράσει ένα αποδεκτό επίπεδο. Αν και η ενέργεια καταναλώνεται από το hardware, η NOMA έχει την ικανότητα να προσαρμόζει την στρατηγική μετάδοσης ανάλογα με την κίνηση των δεδομένων του δικτύου και το CSI των χρηστών. Έτσι, λοιπόν, η απόδοση του φάσματος και η ενεργειακή απόδοση βελτιώνονται σημαντικά.



2 Βασικές Έννοιες της NOMA

Η NOMA αποτελεί βασική αρχή για τον σχεδιασμό τεχνικών ράδιο-πρόσβασης για τα 5G δίκτυα [1-3]. Υπάρχουν διαφορετικές λύσεις NOMA, που μπορούν να διαιρεθούν σε 2 βασικές κατηγορίες, την PD και την CD πολυπλεξία. Η βασική ιδέα της NOMA είναι η υποστήριξη πολλών χρηστών στην PD, όπου χρησιμοποιεί έναν συγκεκριμένο χρήστη για να εξαπλώσει τις ακολουθίες. Για την CD μπορούμε να πούμε ότι μοιάζει με την πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access - CDMA), γιατί μοιράζεται όλους τους διαθέσιμους πόρους (χρόνου/ συχνότητας). Κύριος σκοπός της NOMA είναι να αντιμετωπίσει τα διάφορα προβλήματα που δεν επιλύονται με τις τεχνικές OMA. Κάποιες λύσεις που θα παρουσιαστούν για τα διάφορα σχήματα της NOMA διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

1. Την PD πολυπλεξία: Σε διαφορετικούς χρήστες κατανέμονται διαφορετικά επίπεδα ισχύος (power levels) ανάλογα με τις συνθήκες των καναλιών τους, με σκοπό την βέλτιστη απόδοση του συστήματος. Χρησιμοποιώντας την τεχνική της διαδοχικής ακύρωσης παρεμβολών (Successive Interference Cancellation - SIC) μεταξύ των χρηστών, πραγματοποιείται και η κατανομή της ισχύος.
2. Στην CD πολυπλεξία: Αυτή είναι όμοια με την CDMA και την πολλαπλών φορέων CDMA (Multi Carrier CDMA - MC-CDMA), όπου διαφορετικοί χρήστες έχουν διαφορετικούς κώδικες, οι οποίοι πολυπλέκονται πάνω στους ίδιους πόρους (χρόνου/ συχνότητας).

Η διαφορά μεταξύ της PD και της CD πολυπλεξίας έγκειται στο γεγονός πως η CD πολυπλεξία μπορεί να επιτύχει κάποιο κέρδος εξάπλωσης (spreading gain) και διαμόρφωσης (shaping gain), ενώ και για τα δυο υπάρχει αύξηση στο εύρος ζώνης του σήματος (signal bandwidth). Παρακάτω παρουσιάζουμε κάποια βασικά χαρακτηριστικά της NOMA αφού πρώτα δούμε τις διαφορές που έχει με την OMA.

2.1 Διαφορές μεταξύ NOMA και OMA

Μια σημαντική διαφορά που παρατηρούμε είναι αυτή της κατανομής των πόρων. Πιο συγκεκριμένα τα πρωτόκολλα OMA κατανέμουν τους πόρους (χρόνου/ συχνότητας) αποκλειστικά για κάθε έναν χρήστη όπως βλέπουμε στην περίπτωση (a) στο **Σχήμα 1**. Θεωρητικά δεν υπάρχει παρεμβολή μεταξύ των χρηστών και έτσι ο δέκτης μπορεί εύκολα να ανιχνεύσει το πακέτο του κάθε χρήστη. Ωστόσο όμως έχουμε περιορισμένο αριθμό χρηστών λόγω του ότι η πρόσβαση εξαρτάται από τους διαθέσιμους πόρους. Σε αντίθεση, τα NOMA πρωτόκολλα διαθέτουν τον ίδιο πόρο (χρόνου/ συχνότητας) σε πολλούς χρήστες στην PD, το οποίο βλέπουμε στην περίπτωση (b) στο **Σχήμα 1**. Διαθέτοντας τον ίδιο πόρο εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά του καναλιού, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες που έχουν σημαντική διαφορά κέρδους καναλιού να μοιράζονται τον ίδιο πόρο. Εδώ δεν υπάρχει κάποιος αυστηρός περιορισμός αναφορικά με το πόσοι χρήστες μπορεί να υποστηριχθούν. Παρακάτω θα δούμε κάποια επιπλέον χαρακτηριστικά που κάνουν την NOMA να διαφέρει με την OMA. Αυτά είναι τα εξής:

1. Βελτιωμένη φασματική απόδοση, όπου στην

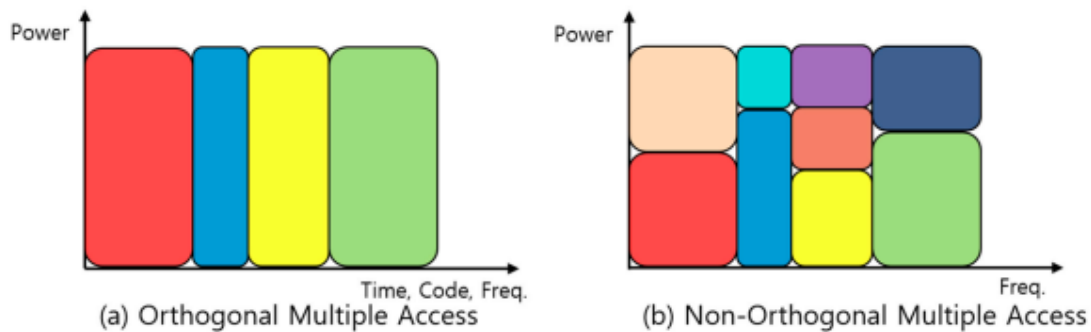


Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

- a. Άνω ζεύξη, η NOMA πετυχαίνει το όριο της χωρητικότητας, ενώ η OMA όχι.
 - b. Κάτω ζεύξη, η NOMA είναι βέλτιστη, ενώ η OMA είναι μη βέλτιστη εάν ο δέκτης γνωρίζει μόνο το CSI.
2. Μαζική συνδεσιμότητα. Η μη ορθογωνική κατανομή των πόρων με την NOMA μας υποδηλώνει ότι ο αριθμός των χρηστών που μπορεί να υποστηρίξει δεν περιορίζεται στο πλήθος των διαθέσιμων πόρων αλλά και γενικότερα από τον χρονοπρογραμματισμό. Πετυχαίνει μέσω της κοινόχρηστης πρόσβασης πολλαπλών χρηστών (Multi User Shared Access - MUSA) καλύτερη κατανομή πόρων και έτσι υποστηρίζει περισσότερους χρήστες σε σχέση με την OMA.
 3. Χαμηλή καθυστέρηση μετάδοσης και χαμηλό κόστος σηματοδότησης. Σε αντίθεση με την OMA, σε μερικά σενάρια για την άνω ζεύξη της NOMA δεν απαιτείται δυναμικός χρονοπρογραμματισμός, καθιστώντας την έτσι, μια ελεύθερη άνω μετάδοση η οποία μπορεί να μειώσει την καθυστέρηση της μετάδοσης και το μεγάλο επίβαρο σηματοδοσίας (signaling).



Σχήμα 1: Διαφορές ανάμεσα σε OMA και NOMA, όπου ο πόρος κάθε χρήστη είναι με διαφορετικό χρώμα [42].

2.2 NOMA μέσω της PD πολυπλεξίας

2.2.1 Υπερτιθέμενη κωδικοποίηση (Superposition coding - SC)

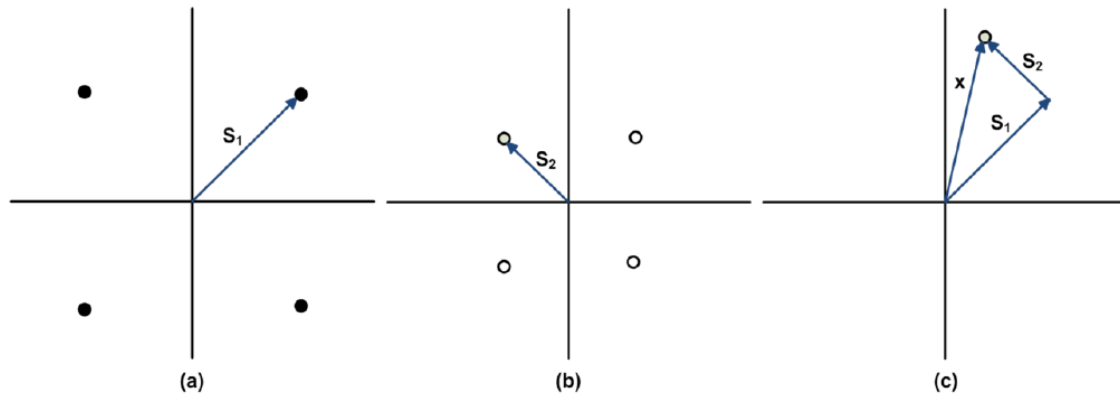
Η τεχνική SC [4 - 7] αποτελεί μια από τις βασικές τεχνικές που μας προσφέρει η NOMA. Πιο συγκεκριμένα, είναι μια τεχνική που παρέχει ταυτόχρονη παροχή πληροφοριών σε διάφορους δέκτες από έναν μόνο σταθμό βάσης. Με άλλα λόγια, ο πομπός μεταδίδει ταυτόχρονα σε πολλούς χρήστες, όπως για παράδειγμα η τηλεόραση σε πολλούς δέκτες. Η τεχνική SC μπορεί να κωδικοποιήσει μήνυμα για έναν χρήστη με κακές συνθήκες καναλιού και στην συνέχεια να τοποθετήσει σε αυτό ένα σήμα από χρήστη που έχει καλές συνθήκες καναλιού. Πρακτικά όμως ο πομπός πρέπει να κωδικοποιεί πληροφορίες σχετικές με κάθε χρήστη.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 2: Κωδικοποίηση με SC, του σήματος (a) χρήστη 1 με το σήμα (b) του χρήστη 2, και το υπερτιθέμενο σήμα (c) αυτών [41].

Το Σχήμα 2 θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε πώς εκτελείται η SC, όπου ο χρήστης 1 έχει διαμόρφωση QPSK με υψηλότερη ισχύ μετάδοσης, του οποίου το σήμα υπερτίθεται σε αυτό του χρήστη 2 με χαμηλότερη ισχύ εκπομπής. Υποθέτουμε ένα σενάριο με 2 χρήστες, όπου ο πομπός περιέχει δυο σημείο-προς-σημείο (point-to-point) κωδικοποιητές f_1 και f_2 που αντιστοιχούν τις εισόδους bits με τις αντίστοιχες εξόδους (ακολουθίες) $S_1(n)$ και $S_2(n)$ των σημάτων των χρηστών για κάθε μπλοκ μήκους T . Παρακάτω το β αναπαριστά ένα κλάσμα από την συνολική ισχύ P για τον τρέχον χρήστη. Η ακολουθία που λαμβάνουμε σαν έξοδο διατυπώνεται ως εξής:

$$X(n) = \sqrt{P \beta_1} S_1(n) + \sqrt{P \beta_2} S_2(n) \quad (\Sigma\chi. 1 [41])$$

2.2.2 Διαδοχική Ακύρωση Παρεμβολών (Successive Interference Cancellation - SIC)

Αρχικά το Σχήμα 3 αποτελεί μια απεικόνιση της τεχνικής NOMA η οποία εκτελεί στον δέκτη διαδοχική ακύρωση παρεμβολών. Η τεχνική SIC πραγματοποιείται κυρίως στους χρήστες που έχουν σχετικά υψηλό SINR ενώ μετά ακολουθούν οι υπόλοιποι με μικρότερο SINR. Βασικό χαρακτηριστικό της τεχνικής SIC είναι ότι εκμεταλλεύεται την διαφορά του SINR μεταξύ των χρηστών που υπάρχει. Ας υποθέσουμε ένα σενάριο με 2 χρήστες με μονές κεραίες εκπομπής και λήψης. Ο σταθμός βάσης μεταδίδει σε κάθε χρήστη με μεταδιδόμενη ισχύ P_i . Το λαμβανόμενο σήμα για κάθε χρήστη δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$y_i = h_i \cdot x + w_i \quad (\Sigma\chi. 2 [41])$$

Όπου,

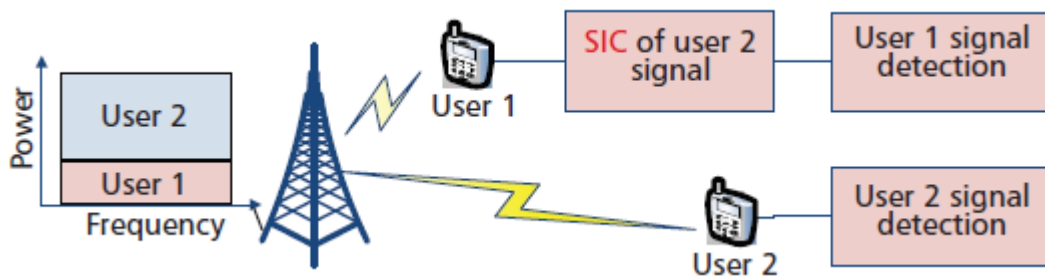
1. το h είναι ο συντελεστής καναλιού μεταξύ του εκάστοτε χρήστη και του σταθμού βάσης.
2. το w είναι ο λαμβανόμενος γκαουσιανός θόρυβος μαζί με τις παρεμβολές εντός της κυψέλης.
3. το x είναι το υπερτιθέμενο σήμα μας.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

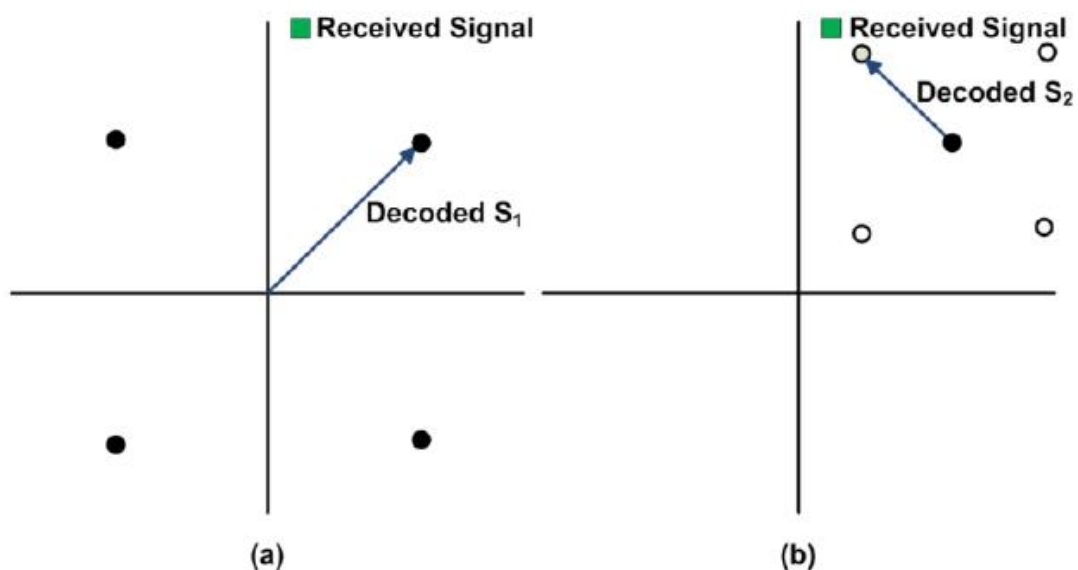
Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 3 : Η NOMA μέσω της PD πολυπλεξίας [2].

Όπως αναφέρθηκε, η τεχνική SIC [4] εκτελείται πρώτα στον χρήστη με το υψηλό SINR και μετά στον χρήστη με το χαμηλότερο SINR. Έτσι πριν εφαρμοστεί η τεχνική SIC, υπάρχει μια ταξινόμηση στους χρήστες ανάλογα με το πόσο ισχυρό είναι το σήμα τους. Στην συνέχεια εφόσον αποκωδικοποιείται το σήμα του πρώτου χρήστη, αφαιρείται από το συνολικό σήμα πριν γίνει η αποκωδικοποίηση του σήματος του χρήστη 2. Όταν εφαρμόζεται η SIC ένα από τα σήματα χρηστών αντιμετωπίζει το άλλο σήμα σαν παρεμβολή. Έτσι, το άλλο σήμα μπορεί να ανιχνευτεί ευκολότερα καθώς το πρώτο σήμα έχει ήδη αφαιρεθεί.

Επιπρόσθετα, με την σειρά του και ο δέκτης αποκωδικοποιεί πρώτα το ισχυρότερο σήμα, το οποίο το αφαιρεί από το συνολικό σήμα και έτσι απομονώνει το ασθενέστερο σήμα. Το κάθε σήμα των χρηστών αποκωδικοποιείται αντιμετωπίζοντας τους άλλους χρήστες ως θόρυβο. Στο **Σχήμα 4** αναπαρίσταται ο τρόπος αποκωδικοποίησης του υπερτιθέμενου σήματος μέσω της τεχνικής SIC. Παρατηρούμε ότι, το σήμα του χρήστη 1 αποκωδικοποιείται πρώτο από το συνολικό λαμβανόμενο σήμα. Στην συνέχεια, η αποκωδικοποίηση του σήματος του χρήστη 2 πραγματοποιείται σε σχέση με το αποκωδικοποιημένο σήμα του χρήστη 1.



Σχήμα 4: Αποκωδικοποίηση με SC (a) του σήματος του χρήστη 1 και (b) του σήματος χρήστη 2 [41].



2.2.3 Τυπικό NOMA σχήμα

2.2.3.1 Σενάριο Κάτω Ζεύξης

Ένα βασικό σενάριο κάτω ζεύξης περιλαμβάνει έναν σταθμό βάσης (Base Station - BS), ένα πλήθος από χρήστες U_i όπου $i = \{1, 2, \dots, N\}$ οι οποίοι έχουν μονή κεραία μετάδοσης. Αρχικά ο BS στέλνει δεδομένα ταυτόχρονα σε όλους τους χρήστες ανάλογα με την συνολική ισχύ τους. Γίνεται ταξινόμηση των καναλιών με βάση το κέρδος του κάθε καναλιού ως εξής:

$$0 < |h_1|^2 \leq |h_2|^2 \leq \dots \leq |h_i|^2 \leq \dots \leq |h_n|^2, \text{ (Σχ. 3 [41])}$$

όπου βλέπουμε ότι ο χρήστης U_i κρατάει πάντα το i -οστό αδύναμο κανάλι (στιγμιαία). Σε αυτό το NOMA σχήμα χρησιμοποιείται ολόκληρο το εύρος ζώνης BW αφού πρέπει να μεταδώσει ταυτόχρονα τα δεδομένα σε όλους τους χρήστες. Αυτό γίνεται με την βοήθεια:

α) της SC στον σταθμό βάσης.

β) της SIC στην πλευρά του χρήστη για την αποκωδικοποίηση.

Σε αυτήν την περίπτωση, η πολυπλεξία του χρήστη γίνεται στον PD. Ο σταθμός βάσης μεταδίδει γραμμικά σε όλους τους χρήστες (γραμμική υπέρθεση για τα δεδομένα των χρηστών), δεσμεύοντας ένα κλάσμα β_i από την συνολική ισχύ για κάθε χρήστη U_i , π.χ. η ισχύς που δεσμεύεται για τον i -οστό χρήστη δίνεται από την σχέση $P_i = \beta_i \cdot P$. Όσο αφορά την λήψη, κάθε χρήστης πρέπει να αποκωδικοποιήσει το σήμα των ασθενών χρηστών, π.χ. ο χρήστης U_i μπορεί να αποκωδικοποιήσει τα σήματα των χρηστών U_m , όπου $m < i$. Στην συνέχεια τα σήματα των αδύναμων χρηστών αφαιρούνται από το λαμβανόμενο σήμα για να γίνει τελικά η αποκωδικοποίηση του σήματος του χρήστη U_i . Αυτό βοηθάει τους πιο ισχυρούς χρήστες ($m > i$) να το αντιλαμβάνονται ως παρεμβολή, η οποία καλείται παρεμβολή εντός κυψέλης (“intra-cell interference”) ή παρεμβολή εντός συμπλέγματος (“intra-cluster interference”). Το σήμα που λαμβάνει ο χρήστης U_i δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$y_i = h_i \cdot x + w_i \text{ (Σχ. 4 [41])}$$

Όπου,

1. $x = \sum_{i=1}^N \sqrt{P \cdot \beta_i \cdot S_i}$, είναι το σήμα που έχει προκύψει από την υπέρθεση όλων των σημάτων μέχρι τον χρήστη U_i .
2. S_i , είναι το σήμα του χρήστη U_i .
3. w_i , είναι ο λευκός γκαουσιανός θόρυβος (Additive White Gaussian Noise - AWGN) του χρήστη U_i .

Ο ισχυρός χρήστης έχει καλύτερο ασύρματο κανάλι, αυτό όμως δεν σημαίνει και ότι η ισχύς του σήματος είναι μεγαλύτερη. Στην πραγματικότητα, στον ισχυρό χρήστη αποδίδεται χαμηλότερη ισχύ εκπομπής από ότι στον ασθενή χρήστη. Έτσι το σήμα του ασθενούς χρήστη είναι πιο ισχυρό. Επομένως, οι ισχυροί χρήστες δέχονται ισχυρές παρεμβολές από τους ασθενούς χρήστες. Αντίθετα, οι ασθενείς χρήστες επηρεάζονται λιγότερο από τους ισχυρούς χρήστες δεδομένου ότι αυτοί είναι συνήθως πιο κοντά στον σταθμό βάσης.

Στο **Σχήμα 5** περιγράφουμε ένα NOMA σενάριο με 2 χρήστες, το οποίο επιδεικνύει τα πλεονεκτήματα του NOMA σχήματος έναντι της OMA. Στην NOMA, το συνολικό εύρος ζώνης, το οποίο ορίζουμε να είναι 1 Hz χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και από τους 2 χρήστες.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

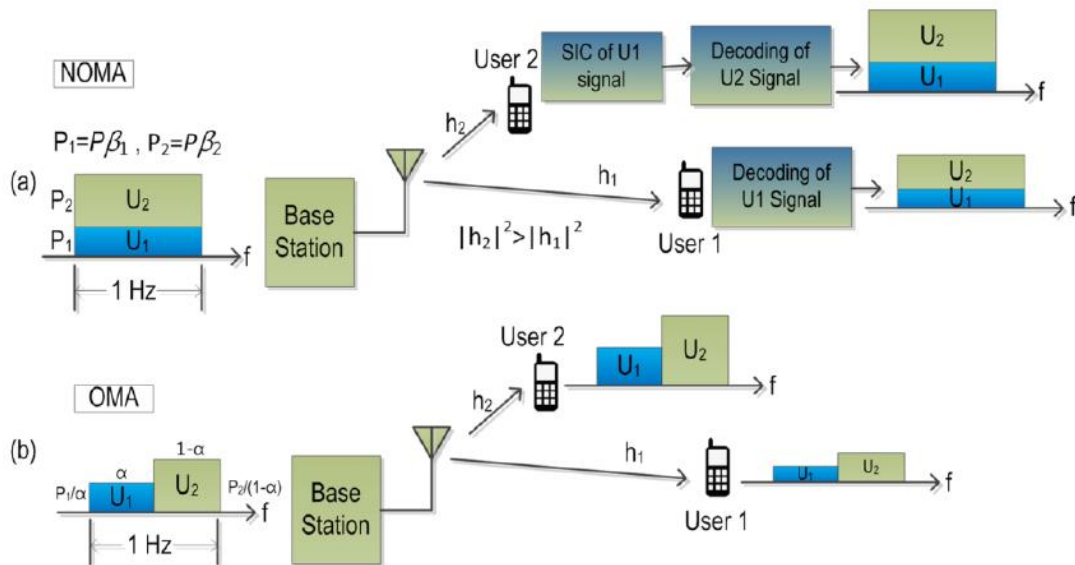
Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Στην OMA, ο χρήστης 1 χρησιμοποιεί α Hz και ο χρήστης 2 το $(1-\alpha)$ Hz. Επίσης, στην NOMA ο χρήστης 2 πρώτα αποκωδικοποιεί το σήμα του χρήστη 1, το οποίο αφαιρείται από το λαμβανόμενο σήμα. Για τον χρήστη 1, δεν χρησιμοποιείται η SIC και το σήμα αποκωδικοποιείται απευθείας. Στο παρακάτω **Πίνακα 1** βλέπουμε τους τύπους για το πως υπολογίζεται ο ρυθμός μετάδοσης για κάθε χρήστη στην NOMA και στην OMA αντίστοιχα.

NOMA	OMA
$R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{P_1 \cdot h_1 ^2}{P_2 \cdot h_1 ^2 + \sigma_n^2} \right)$	$R_1 = \alpha \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_1 \cdot h_1 ^2}{\sigma_n^2} \right)$
$R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{P_2 \cdot h_2 ^2}{\sigma_n^2} \right)$	$R_2 = (1 - \alpha) \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_2 \cdot h_2 ^2}{\sigma_n^2} \right)$

Πίνακας 1: Τύποι ρυθμού μετάδοσης για NOMA και OMA σε σενάριο με 2 χρήστες [41].

Από τους παραπάνω τύπους προκύπτει ότι η απόδοση κάθε χρήστη για το NOMA σχήμα καθορίζεται από τον λόγο κατανομής ισχύος, P_1/P_2 . Άρα ανάλογα με τον λόγο της ισχύος, επηρεάζεται η συνολική απόδοση αλλά και η δικαιοδοσία των χρηστών. Σε ένα ασύμμετρο κανάλι όπου το SNR είναι διαφορετικό για τους δυο χρήστες, οι τιμές των R_1 και R_2 για την NOMA είναι μεγαλύτερες από την OMA [8].



Σχήμα 5: Σενάριο κάτω ζεύξης με δύο χρήστες (a) για τη NOMA και (b) την OMA [41].



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

2.2.3.2 Σενάριο Άνω Ζεύξης

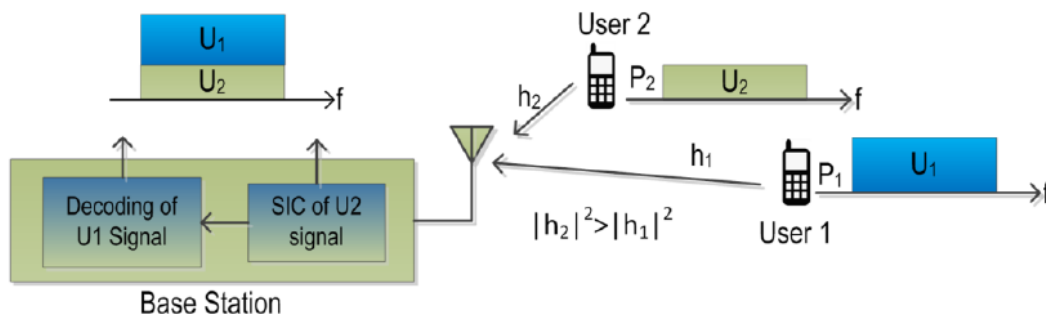
Ένα τέτοιο σενάριο αναπαρίσταται στο **Σχήμα 6**. Σε αυτό το σενάριο, το λαμβανόμενο σήμα εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$y = h_1 \cdot \sqrt{P \cdot \beta_1} \cdot S_1 + h_2 \cdot \sqrt{P \cdot \beta_2} \cdot S_2 + w, \text{ (Σχ. 5 [41])}$$

Όπου ο χρήστης i μεταδίδει το σήμα S_i , με μεταδιδόμενη ισχύ που υπολογίζεται ως εξής:

$$P_i = \sqrt{P \cdot \beta_i}. \text{ (Σχ. 6 [41])}$$

Με την βοήθεια της SIC ο σταθμός βάσης αποκωδικοποιεί τα σήματα των χρηστών 1 και 2 σε δυο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, το σήμα του χρήστη 2 αποκωδικοποιείται θεωρώντας το σήμα του χρήστη 1 ως θόρυβο. Στο δεύτερο στάδιο, ο δέκτης αφαιρεί το αποκωδικοποιημένο σήμα του χρήστη 2 από το συνολικό λαμβανόμενο σήμα και στην συνέχεια αποκωδικοποιεί το σήμα του χρήστη 1. Το σήμα του χρήστη 2 είναι το πιο ισχυρό, αφού βρίσκεται πιο κοντά στον σταθμό βάσης και έτσι έχει ισχυρότερο κανάλι. Για αυτόν τον λόγο, το σήμα 2 αποκωδικοποιείται πρώτο αντιμετωπίζοντας το άλλο σήμα του χρήστη 1 ως παρεμβολή.



Σχήμα 6: Σενάριο άνω ζεύξης της NOMA [41].

2.2.3.3 Διαφορές μεταξύ άνω και κάτω ζεύξης στην NOMA

Υπάρχουν ποικίλες διαφορές μεταξύ των δυο σεναρίων. Αρχικά στην κάτω ζεύξη, οι ισχυροί χρήστες αποκωδικοποιούν με επιτυχία και ακυρώνουν τα σήματα των ασθενών χρηστών πριν αποκωδικοποιήσουν τα δικά τους. Έτσι έχουμε βελτίωση στην απόδοση του συστήματος. Αντίθετα, στην άνω ζεύξη ο σταθμός βάσης αποκωδικοποιεί και ακυρώνει τα σήματα των ισχυρών χρηστών πριν αποκωδικοποιήσει τα σήματα των ασθενών χρηστών. Μια ακόμα διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι για την κάτω ζεύξη είναι πιο δύσκολη η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων ανίχνευσης πολλαπλών χρηστών και σχημάτων ακύρωσης παρεμβολών σε σχέση με την άνω ζεύξη. Κλείνοντας, στην κάτω ζεύξη, οι ισχυροί χρήστες επηρεάζονται περισσότερο από τις παρεμβολές, ενώ στην άνω ζεύξη οι ασθενείς χρήστες επηρεάζονται από τις παρεμβολές των πιο ισχυρών χρηστών. Παρακάτω απαριθμώ κάποιες από τις διαφορές που έχουν τα μεταξύ τους σενάρια. Αυτές αναφέρονται:

- 1) **Ισχύς μετάδοσης:** Στην άνω ζεύξη δεν χρειάζεται να έχουμε διαφορετική ισχύ διότι αυτή εξαρτάται από τις συνθήκες καναλιού του κάθε χρήστη. Έτσι λοιπόν, αν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές τότε το λαμβανόμενο SINR στον σταθμό βάσης μπορεί να είναι και αυτό διαφορετικό ανεξάρτητα από την ισχύ μετάδοσης τους.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

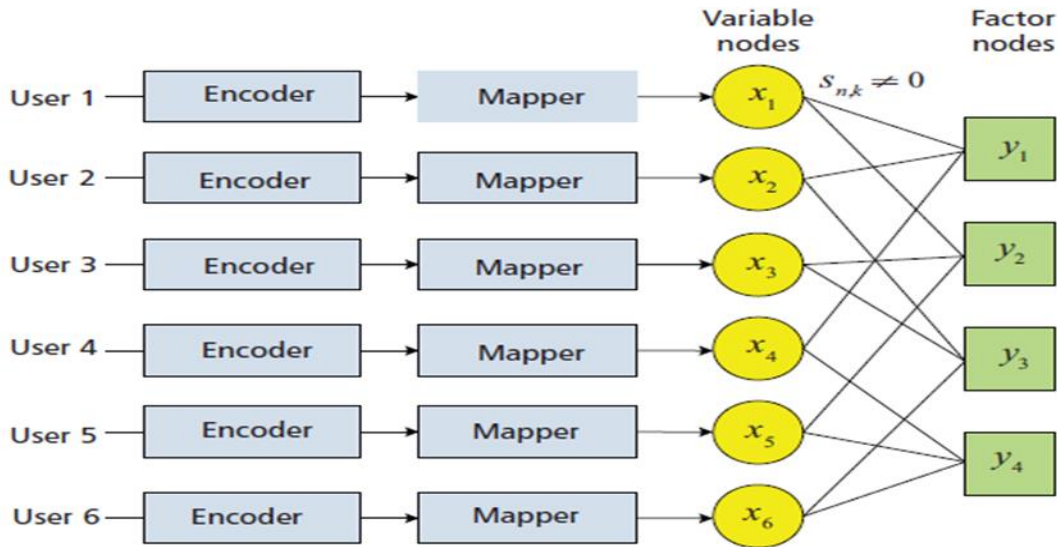
Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

- 2) Τεχνική SIC στον δέκτη: Στην κάτω ζεύξη της NOMA, οι ισχυροί χρήστες επιτυγχάνουν κέρδος απόδοσης (throughput gain), μέσω της διαδοχικής αποκωδικοποίησης και ακύρωσης μηνυμάτων των ασθενών χρηστών, πριν αποκωδικοποιήσουν τα δικά τους σήματα. Αντίθετα στην άνω ζεύξη της NOMA, για να ενισχυθεί το κέρδος απόδοσης των ασθενών χρηστών, πρέπει ο σταθμός βάσης διαδοχικά να αποκωδικοποιεί και να ακυρώνει τα μηνύματα των ισχυρών χρηστών, μέχρις ότου να αποκωδικοποιήσει τα σήματα αυτών.
- 3) Πολυπλοκότητα: Στην κάτω ζεύξη η NOMA απαιτεί την εφαρμογή σχημάτων που να ακυρώνει τις παρεμβολές και να ανιχνεύει πολλαπλούς χρήστες (Multi User Detection - MUD), από πλευράς δέκτη του κάθε χρήστη. Αντίθετα στην άνω ζεύξη, είναι πιο εύκολο να εφαρμοστούν για έναν σταθμό βάσης.
- 4) Παρεμβολή εντός κυψέλης: Αναφορικά με την κάτω ζεύξη, η παρεμβολή εντός κυψέλης σε έναν χρήστη πραγματοποιείται στο δικό του κανάλι. Έτσι ένας χρήστης με ισχυρό κανάλι δέχεται ισχυρή παρεμβολή, ενώ ένας χρήστης με ασθενές κανάλι δέχεται χαμηλή παρεμβολή εξαιτίας του δικού του καναλιού. Ως εκ τούτου, οι χρήστες με ισχυρά κανάλια είναι πιο ευάλωτοι στις παρεμβολές εντός κυψέλης. Αυτό επιλύεται με εφαρμογή της τεχνικής SIC στους χρήστες. Όσον αφορά την άνω ζεύξη, ο σταθμός βάσης λαμβάνει ταυτόχρονα σήματα από όλους τους χρήστες. Έτσι, η παρεμβολή εντός κυψέλης σε έναν χρήστη αποτελεί μια συνάρτηση που περιέχει τα χαρακτηριστικά των καναλιών των χρηστών, οι οποίοι βρίσκονται στην ίδια κυψέλη. Αντίθετα με την κάτω ζεύξη, για την επίλυσή της εδώ εφαρμόζεται η τεχνική SIC στον σταθμό βάσης.

2.3 NOMA μέσω της CD πολυπλεξίας

2.3.1 Διάδοση χαμηλής πυκνότητας (*Low-Density Spreading*) CDMA

Το LDS-CDMA χρησιμοποιεί αραιές αντί πυκνές ακολουθίες διασποράς στα συμβατικά CDMA [9] με σκοπό την μείωση της παρεμβολής σε κάθε τσιπ, ή αλλιώς σε κάθε παλμό. Έτσι λοιπόν, το LDS-CDMA μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος αξιοποιώντας τις ακολουθίες LDS του CDMA. Οπότε με κατάλληλο σχεδιασμό των ακολουθιών διασποράς οι παρεμβολές μειώνονται αποτελεσματικά μεταξύ των πολλαπλών χρηστών και έτσι μπορεί να επιτευχθεί υπερφόρτωση (overloading), δηλαδή να έχουμε περισσότερους χρήστες από ότι πριν. Στον δέκτη, ένας αλγόριθμος μετάδοσης μηνυμάτων (Message Passing Algorithm - MPA) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση του MUD. Ο αλγόριθμος MPA (Σχήμα 7) είναι πολύ αποτελεσματικός, το οποίο περιλαμβάνει μεταβλητούς κόμβους (variable nodes) και κόμβους συντελεστών (factor nodes), όπου τα μηνύματα ανταλλάσσονται μεταξύ αυτών των κόμβων.



Σχήμα 7 : Απεικόνιση της LDS-CDMA, με 6 χρήστες και 4 chips για μετάδοση [2].

2.3.2 Διάδοση χαμηλής πυκνότητας (Low-Density Spreading) OFDM

Η LDS-OFDM μπορεί να θεωρηθεί ως ένας συνδυασμός της LDS-CDMA και της OFDM, στα οποία τα τσιπ είναι οι υποφορείς (subcarriers) του. Στην LDS-OFDM, τα μεταδιδόμενα σύμβολα αντιστοιχίζονται πρώτα σε συγκεκριμένες ακολουθίες LDS και στη συνέχεια μεταδίδονται με διαφορετικούς OFDM υποφορείς. Ο αριθμός των συμβόλων μπορεί να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των υποφορέων. Αυτό σημαίνει ότι επιτρέπεται η υπερφόρτωση για τη βελτίωση της φασματικής απόδοσης. Ο MPA στην LDS-CDMA μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και στον δέκτη του LDS-OFDM. Ουσιαστικά, η LDS-OFDM μπορεί να θεωρηθεί ως μια βελτιωμένη μορφή της MC-CDMA αντικαθιστώντας τις πυκνές ακολουθίες διασποράς με αραιές (LDS).

Παρακάτω στο **Σχήμα 8** φαίνεται η γραφική του αναπαράσταση. Σε αυτό το σχήμα βλέπουμε ένα σύστημα με 4 υποφορείς και 3 χρήστες όπου κάθε χρήστης έχει δυο σύμβολα. Τα σύμβολα των χρηστών αναπαρίστανται από τους μεταβλητούς κόμβους, ενώ οι υποφορείς από τους factor κόμβους. Όπως και στην LDS-CDMA κάθε τσιπ αναπαριστά έναν υποφορέα. Κάθε σύμβολο που χρησιμοποιεί τον ίδιο υποφορέα με ένα άλλο έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται παρεμβολή μεταξύ αυτών. Αυτή η παρεμβολή εξαρτάται φυσικά και από την ισχύ του κάθε συμβόλου. Το μεταδιδόμενο σύμβολο του k -χρήστη και του n -υποφορέα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$x_n^k = \sum_{(i,l) \in J_{n|k}} m_i^l s_{i,n}^l \quad (\text{Σχ. 7 [56]})$$

Όπου,

1. Το $J_{n|k}$ αναπαριστά το σύνολο των συμβόλων που ανήκουν στον k χρήστη ο οποίος μοιράζεται τον n υποφορέα.
2. Το m αναπαριστά το διάνυσμα του διαμορφωμένου συμβόλου.
3. Το s υποδηλώνει έναν διαγώνιο πίνακα.

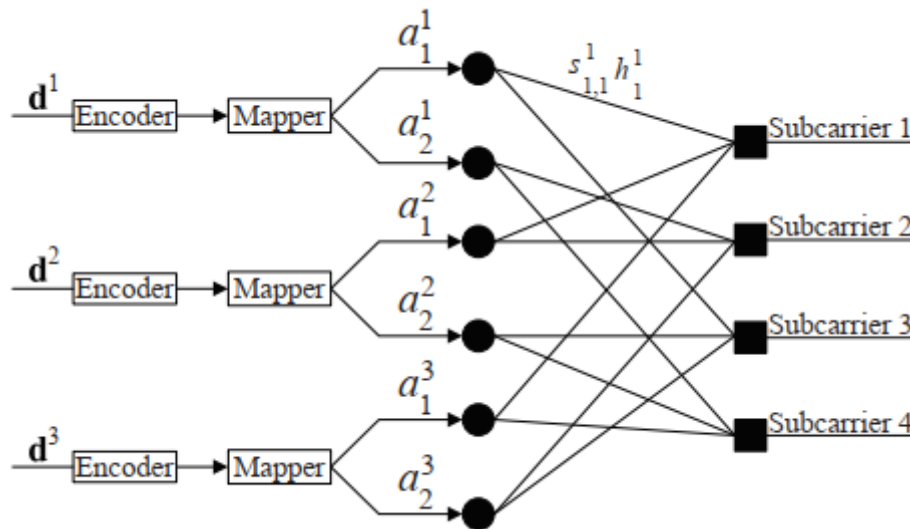


Από την μεριά του δέκτη, εφόσον εκτελεστεί η OFDM τότε το σήμα το επεξεργάζεται ο αλγόριθμος LDS-MUD ώστε να διαχωριστούν τα σύμβολα των χρηστών. Το λαμβανόμενο σήμα του n υποφορέα έχει την εξής μορφή:

$$y_n = \sum_{(i,l) \in J_n} a_i^k s_{i,n}^k h_n^k + w_n \quad (\Sigma\chi. 8 [56])$$

Όπου,

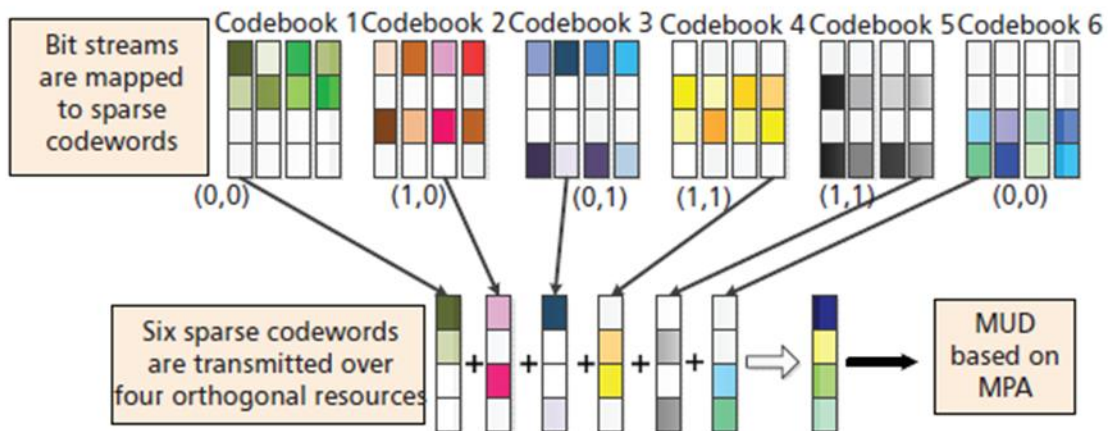
1. Το h_n^k είναι το κέρδος καναλιού του k χρήστη και του n -οστού υποφορέα.
2. Το w_n είναι ο λευκός γκαουσιανός θόρυβος που προστίθεται στον n -οστό υποφορέα.



Σχήμα 8: Γραφική αναπαράσταση του LDS-OFDM [56].

2.3.3 Πολλαπλή Πρόσβαση Αραιού Κώδικα (Sparse Code Multiple Access - SCMA)

Η SCMA είναι μια μη ορθογωνική τεχνική πολλαπλής πρόσβασης, που αναπτύσσεται για τα 5G δίκτυα. Αυτή η τεχνική αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση της LDS-CDMA [10]. Στόχος της είναι να βελτιώσει την φασματική απόδοση στα ασύρματα δίκτυα. Σε αντίθεση με την LDS-CDMA, αυτή αντιστοιχίζει απευθείας τις ροές δεδομένων με τις κωδικές λέξεις. Οι διαφορετικές κωδικές λέξεις είναι αραιές μεταξύ τους όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 9, όπου κάθε χρήστης έχει ένα προκαθορισμένο σύνολο κωδικών λέξεων (codebook). Για την σχεδίαση του codebook βασιζόμαστε στους πολυδιάστατους αστερισμούς [11], αλλά και στο κέρδος διαμόρφωσης. Στην SCMA πολλαπλοί χρήστες μεταδίδουν μέσω του ίδιου resource block (RB) αλλά με διαφορετικό codebook. Στο Σχήμα 9, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχουν 6 codebook. Όλες οι κωδικές λέξεις στο ίδιο βιβλίο περιέχουν μηδενικά σε κάθε διάστασή τους, τα οποία βρίσκονται σε θέσεις τέτοιες ώστε να αποφευχθεί πιθανή σύγκρουση μεταξύ κάποιων χρηστών. Για κάθε χρήστη, τα δυο bit αντιστοιχίζονται σε μια σύνθετη κωδική λέξη. Αυτές οι κωδικές λέξεις των χρηστών πολυπλέκονται και μεταδίδονται μέσα από τους 4 OFDM υποφορείς.

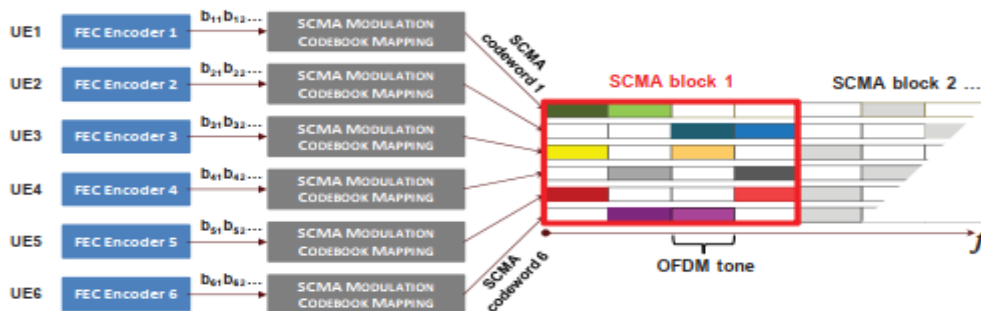


Σχήμα 9: Κωδικοποίηση και πολυπλεξία της SCMA [2].

Σε ένα άλλο παράδειγμα το οποίο βλέπουμε στο **Σχήμα 10** μπορούμε να δούμε πως επιτυγχάνεται η πολλαπλή πρόσβαση μέσω της SCMA. Σε αυτό το σενάριο έχουμε πάλι 6 χρήστες. Ο κάθε i -οστός χρήστης αντιστοιχίζεται με το i -οστό codebook. Εφόσον προηγηθεί η κωδικοποίηση Forward Error Correction (FEC), κάθε κωδικοποιημένο bit αντιστοιχίζεται σε μια κωδικολέξη με βάση το δικό του codebook. Τελικά αυτές οι κωδικολέξεις συνδυάζονται με την OFDM όπου μεταδίδονται ως SCMA blocks, όπως γίνεται και στο LTE με το RB.

Παρατηρώντας το παρακάτω σχήμα μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής χαρακτηριστικά πολλαπλής πρόσβασης της SCMA.

1. Code domain non-orthogonal superposition: Επιτρέπει την προσθήκη πολλαπλών συμβόλων στο ίδιο resource element (RE). Στο **Σχήμα 10** στο πρώτο RE βλέπουμε ότι τα σύμβολα του χρήστη 1, 3 και 5 επικαλύπτονται μεταξύ τους.
2. Sparse spreading: Όπως είπαμε η SCMA χρησιμοποιεί αραιές ακολουθίες για να μειώσει της συγκρούσεις. Στην περίπτωση μας βλέπουμε 3 σύμβολα από διαφορετικούς χρήστες να συγκρούονται σε κάθε RE, αντί για 6 που θα ήταν στην περίπτωση που είχαμε πυκνές ακολουθίες.
3. Multi-dimensional modulation: Αυτή χρησιμοποιεί πολυδιάστατη διαμόρφωση (4 διαστάσεις) έναντι της γραμμικής (2 διαστάσεις) που χρησιμοποιεί η CDMA.



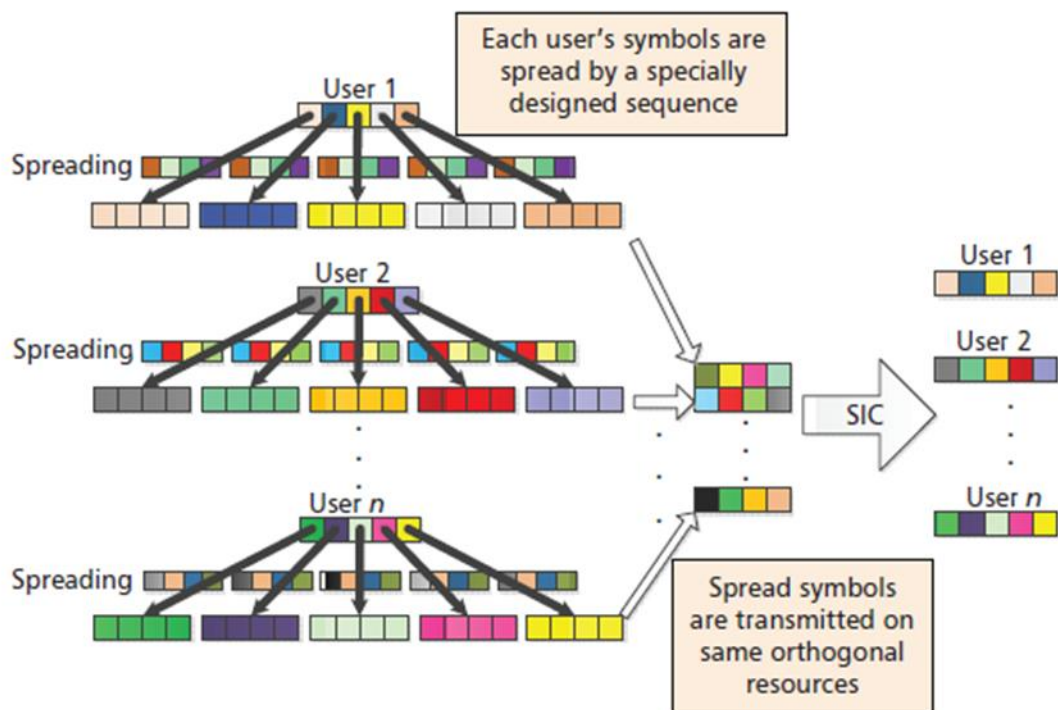
Σχήμα 10: Πολλαπλή πρόσβαση μέσω της SCMA [57].



2.3.4 Κοινόχρηστη Πρόσβαση Πολλαπλών Χρηστών (Multi-User Shared Access – MUSA)

Η άνω ζεύξη της MUSA απεικονίζεται στο **Σχήμα 11**, όπου τα σύμβολα κάθε χρήστη μεταδίδονται με μια ακολουθία διασποράς. Αυτές αποτελούν μια ομάδα από την οποία κάθε χρήστης μπορεί να επιλέξει τυχαία μία. Ο κάθε χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορετική ακολουθία για ένα διαφορετικό σύμβολο. Έτσι μπορεί να μετριάσει τις παρεμβολές και να βελτιώσει περαιτέρω την απόδοση. Στη συνέχεια, ακολουθείται η μετάδοση όλα αυτών των συμβόλων μέσω των ίδιων πόρων (χρόνου-συχνότητας).

Στον δέκτη, εφαρμόζεται ανά επίπεδο η τεχνική SIC για την κωδικολέξη με σκοπό τον διαχωρισμό των δεδομένων από διαφορετικούς χρήστες. Η πολυπλοκότητα για την άνω ζεύξη αποτελεί μικρότερης σημασίας πρόβλημα, καθώς σε κάθε περίπτωση ο δέκτης πρέπει να αποκωδικοποιήσει τα δεδομένα όλων των χρηστών. Αυτό που είναι σημαντικό και επηρεάζει τον δέκτη είναι ότι μπορεί να υπάρχει αλλαγή στην σειρά της όλης διαδικασίας προκειμένου να εκτελεστεί η λειτουργία της SIC. Βασική διαφορά μεταξύ της MUSA και της MC-CDMA είναι το γεγονός ότι στην πρώτη υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ των σημάτων που λαμβάνονται από τον σταθμό βάσης, κάτι που κάνει πιο εύκολη την εφαρμογή της SIC.



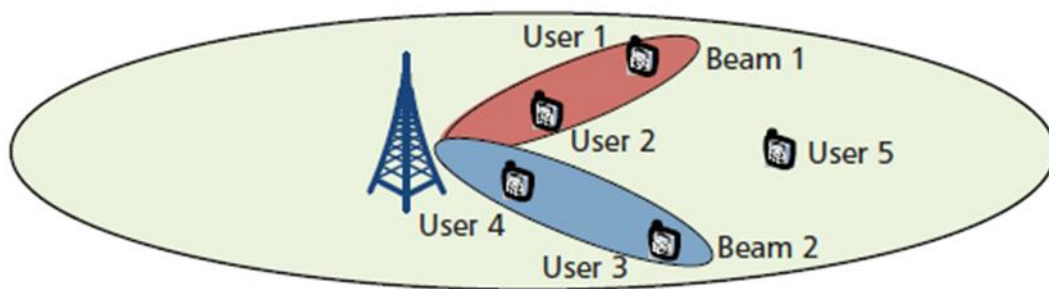
Σχήμα 11: Άνω ζεύξη του συστήματος MUSA [2].



Αναφορικά με την κάτω ζεύξη της MUSA, οι χρήστες κατηγοριοποιούνται σε γκρουπ. Σε κάθε γκρουπ αντιστοιχίζονται τα σύμβολα των χρηστών με τους ανάλογους αστερισμούς. Ο αστερισμός διαμόρφωσης καθορίζεται όχι μόνο από τη σειρά διαμόρφωσης κάθε χρήστη, αλλά και από την κατανομή της ισχύος μετάδοσης των χρηστών. Τέλος, οι ορθογώνιες ακολουθίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξαπλώσουν τα επικαλυπτόμενα σύμβολα και έτσι να αποκτήσουν κάποιο κέρδος διαφορεικότητας (diversity gain) είτε χρονικό είτε συχνοτικό.

2.3.5 NOMA σε Massive MIMO Συστήματα

Η NOMA μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την τεχνολογία MU-MIMO για την περαιτέρω βελτίωση της φασματικής απόδοσης του συστήματος [12]. Όπως απεικονίζεται στο **Σχήμα 12**, μέσω των πολλαπλών κεραιών εκπομπής που έχει ο σταθμός βάσης διαμορφώνονται διαφορετικές ροές (beams). Κάθε ροή εφαρμόζει την τεχνική NOMA ξεχωριστά. Στον δέκτη, η παρεμβολή εντός της ροής μπορεί να μειωθεί με χωρικό φιλτράρισμα και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί η SIC μεταξύ των χρηστών για την αφαίρεσή της.



Σχήμα 12: NOMA σε MIMO συστήματα [2].

Στην MIMO-NOMA οι χρήστες τοποθετούνται σε ομάδες ζευγαριών, όπως ο χρήστης 1 με τον χρήστη 2. Οπότε είναι αναγκαίο να εφαρμοστεί ένας αλγόριθμος [13 14] για το ταίριασμα των χρηστών. Μόλις οι χρήστες γίνουν ζευγάρια και αντιστοιχηθούν σε μια συστοιχία, τότε τους μοιράζεται ένα κοινό διάνυσμα προκωδικοποίησης το οποίο μετατρέπει το κανάλι MIMO σε πολλά παράλληλα SISO κανάλια.

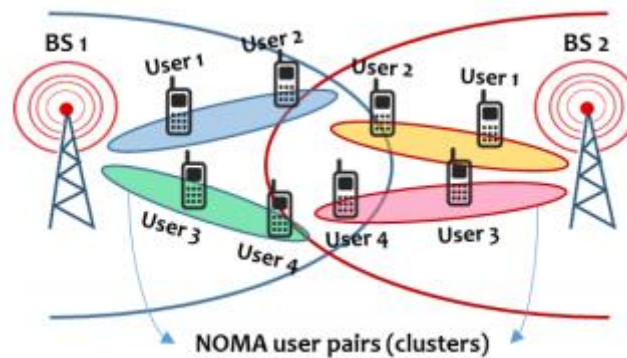
Οι χρήστες της συστοιχίας έχουν διαφορετικές συνθήκες καναλιού. Όπως είναι γνωστό οι χρήστες που είναι κοντά στον σταθμό βάσης διαφέρουν αρκετά από τους χρήστες στην άκρη της κυψέλης. Στο **Σχήμα 13** μπορούμε να δούμε από την πλευρά του δέκτη ότι οι χρήστες που είναι μακριά, δηλαδή ο χρήστης 2 και ο χρήστης 4, αντιμετωπίζουν τα σήματα των χρηστών 1 και 3 σαν θόρυβο. Οι χρήστες που είναι κοντά στον σταθμό βάσης αποκωδικοποιούν και αφαιρούν το σήμα παρεμβολής που δέχονται πριν αποκωδικοποιήσουν το δικό τους σήμα. Γνωστό είναι επίσης το γεγονός ότι οι χρήστες που βρίσκονται στην άκρη της κυψέλης υποφέρουν από τις παρεμβολές των γειτονικών κυψελών.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 13: Σύστημα MIMO-NOMA δυο κυψελών και με δυο χρήστες σε κάθε συστοιχία [58].

Στο **Σχήμα 13** περιγράφεται το εξής σενάριο το οποίο έχει δυο κυψέλες ($L=2$), με K συστοιχίες χρηστών. Θεωρούμε ότι κάθε συστοιχία έχει 2 χρήστες. Κάθε χρήστης έχει N κεραιές μετάδοσης, ενώ ο σταθμός βάσης έχει M κεραιές. Δηλώνουμε με λ τον αριθμό της κυψέλης, με k τον αριθμό της συστοιχίας και j τον αριθμό του εκάστοτε χρήστη. Οι χρήστες που είναι κοντά στους σταθμούς βάσης ορίζονται με $j=1$, ενώ αυτοί για $j=2$ είναι οι χρήστες που βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης. Ακόμη ορίζουμε με \mathbf{H} τον πίνακα καναλιού και με \mathbf{G} τον πίνακα παρεμβολής που δέχεται η μια κυψέλη από την άλλη. Τώρα είμαστε σε θέση να παρουσιάσουμε την εξίσωση του λαμβανόμενου σήματος για τους χρήστες κοντά στον σταθμό βάσης ($j=1$) αλλά και για τους χρήστες ($j=2$) που είναι στα άκρα της λ-οστής κυψέλης.

$$y_{1,k}^{[\lambda]} = H_{1,k}^{[\lambda]} \sum_{m=1}^K x_m^{[\lambda]} + z_{1,k}^{[\lambda]} \quad (\Sigma\chi. 9 [58])$$

$$y_{2,k}^{[\lambda]} = H_{2,k}^{[\lambda]} \sum_{m=1}^K x_m^{[\lambda]} + \sum_{\lambda \in L/\{\lambda\}} (G_{2,k}^{[\lambda,\lambda]} \sum_{m=1}^K x_m^{[\lambda]}) + z_{2,k}^{[\lambda]} \quad (\Sigma\chi. 10 [58])$$

Όπου,

1. Το x είναι το υπερτιθέμενο σήμα για την k συστοιχία.

2.4 Διαφορετικά Σχήματα της NOMA

Επιπρόσθετα κάποια άλλα σχήματα της NOMA εκτός αυτά του PD και του CD περιγράφονται παρακάτω. Ένα από αυτά είναι η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση μοτίβων (Pattern Division Multiple Access - PDMA). Η PDMA αποτελεί ένα σχήμα NOMA το οποίο μπορεί να υλοποιηθεί σε πολλούς τομείς, όπως για παράδειγμα στον CD, στον PD αλλά και στον spatial domain. Στον πομπό, η PDMA χρησιμοποιεί μη ορθογώνια μοτίβα, με σκοπό την μείωση των αλληλοεπικαλύψεων μεταξύ των χρηστών. Η πολυπλεξία των χρηστών όπως αναφέραμε μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολλούς τομείς αλλά και σε συνδυασμό αυτών.

Η πολυπλεξία στον CD προϋποθέτει την επιτυχή ακύρωση διαδοχικά των παρεμβολών. Είναι παρόμοια με την LDS-CDMA, όπου οι ακολουθίες LDS αντικαθίστανται από μη ορθογώνια μοτίβα. Επιπλέον παρόμοια είναι και με την SCMA, με την διαφορά ότι οι υποφορείς για τα



Διπλωματική Εργασία

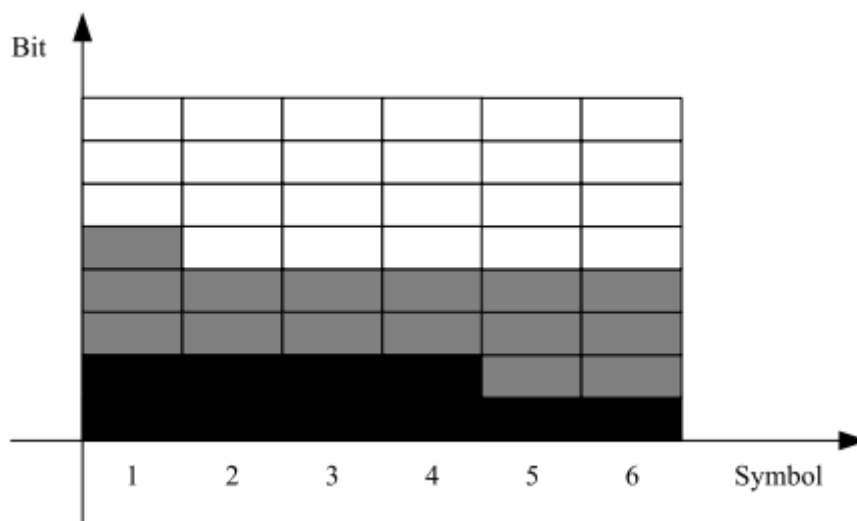
Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

ίδια σύμβολα μπορεί να είναι διαφορετικοί. Στον δέκτη, εκτελείται ο αλγόριθμος MPA για την ανίχνευση των ακολουθιών στην PDMA, ενώ η πολυπλεξία για τον power domain προϋποθέτει την SIC στον δέκτη σύμφωνα με το εκάστοτε SINR των πολυπλεγμένων χρηστών.

Η πολυπλεξία στον χωρικό τομέα, καλείται spatial PDMA και απαιτεί την χρήση πολλαπλών κεραιών στον BS. Η διαφορικότητα στην PDMA μπορεί να προέλθει από πολλαπλές κεραιές μετάδοσης, οι οποίες προτιμώνται σε μακροκυψέλες. Σε αντίθεση με την MIMO, δεν απαιτείται κοινή κωδικοποίηση για την επίτευξη ορθογωνικότητας στην spatial PDMA. Κλείνοντας για την PDMA αξίζει να αναφερθεί ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο και για μεταδόσεις στην άνω ζεύξη αλλά και στην κάτω ζεύξη.

Μια άλλη μορφή της NOMA είναι η πολυπλεξία διαίρεσης δυαδικών ψηφίων (Bit-Division Multiplexing - BDM) [15] που χρησιμοποιείται συνήθως για μεταδόσεις στην κάτω ζεύξη. Η βασική της ιδέα βασίζεται στην ιεραρχική διαμόρφωση και στο γεγονός ότι οι πόροι των πολυπλεγμένων χρηστών χωρίζονται σε επίπεδα των bit. Ωστόσο, η κατανομή πόρων στην BDM είναι ορθογώνια στον τομέα των bit με τα σήματα των πολλαπλών χρηστών να μοιράζονται τον ίδιο αστερισμό. Στο **Σχήμα 14** βλέπουμε ένα παράδειγμα κατανομής των bit μέσω της BDM. Αναλυτικά υπάρχουν 3 υπό-κανάλια, τα οποία βλέπουμε με διαφορετικά χρώματα (άσπρο, μαύρο και γκρι). Κάθε υπό-κάνάλι περιέχει ένα σύνολο από 6 σύμβολα το οποίο αποτελείται από 8 bits. Αυτό σημαίνει ότι το ένα γκρουπ που βλέπουμε και στο σχήμα περιέχει 48 bits συνολικά.



Σχήμα 14: Κατανομή bit μέσω της BDM [15].



3 Λύσεις που προσφέρει η NOMA

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν κάποιες από τις λύσεις που προσφέρει η χρήση της NOMA.

3.1 Αντιμετώπιση των απωλειών διαδρομής

Σε ένα κυψελωτό δίκτυο με τυχαία τοποθετημένους χρήστες η απώλεια διαδρομής που μπορεί να παρουσιαστεί περιγράφεται από τα δυο ακόλουθα σενάρια παρακάτω.

Σενάριο 1^ο : Σε αυτό το σενάριο υποθέτουμε ότι κάθε χρήστης έχει έναν συγκεκριμένο ρυθμό δεδομένων ο οποίος καθορίζεται από την ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service - QoS). Εδώ η πιθανότητα διακοπής αποτελεί τη βασική μετρική επίδοσης, από την στιγμή που αξιολογεί τη δυνατότητα της NOMA να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των χρηστών.

Σενάριο 2^ο : Οι ρυθμοί δεδομένων των χρηστών κατανέμονται ανάλογα με τις συνθήκες του καναλιού. Σύμφωνα με την παράθεση [16] αν οι ρυθμοί δεδομένων και η ισχύς αποδοθούν σωστά στους χρήστες, η NOMA μπορεί να προσφέρει μειωμένη πιθανότητα διακοπής σε σχέση με άλλες ορθογώνιες τεχνικές της OMA.

Στην κάτω ζεύξη κάθε χρήστης για να μετρήσει το κανάλι χρησιμοποιεί σήματα αναφοράς και τροφοδοτεί το CSI σε διάφορες μεταδόσεις. Αυτή η ανατροφοδότηση του CSI περιέχει ένα δείκτη κατάταξης (Rank Indicator - RI), έναν πίνακα αποκωδικοποίησης (Precoding Matrix Indicator - PMI) και έναν δείκτη ποιότητας καναλιού (Channel Quality Indicator - CQI) [17]. Πραγματοποιείται αναφορά της κατάταξης των χρηστών σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στην συνέχεια ο σταθμός βάσης χρησιμοποιεί τις πληροφορίες ανάδρασης για να πραγματοποιηθεί έλεγχος ισχύος. Κατά την διάρκεια της μέτρησης του καναλιού από το κάθε χρήστη, πρέπει να έχουμε πλήρη ισχύ μετάδοσης από τον σταθμό βάσης και να μην υπάρχουν παρεμβολές από τους χρήστες της ίδιας κυψέλης. Για αυτό τον λόγο ο RI είναι κατάλληλος για τις τεχνικές OMA.

Στην περίπτωση όμως της NOMA, η μεταδιδόμενη ισχύς μοιράζεται ανάμεσα στους ισχυρούς και ασθενείς χρήστες. Στην NOMA λόγω των παρεμβολών που βιώνουν οι χρήστες της ίδιας κυψέλης επηρεάζεται και η ισχύς του σήματος τους. Το γεγονός αυτό μπορεί να τον τοποθετήσει σε διαφορετική κατάταξη από αυτή του RI. Στην NOMA αυτή η ανατροφοδότηση της κατάταξης μπορεί να περιορίσει το επιτεύξιμο κέρδος. Για αυτό τον λόγο υπάρχουν δυο βέλτιστες μέθοδοι [17] με σκοπό την επίλυση του προβλήματος κατάταξης. Η πρώτη μέθοδος βασίζεται σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά, δηλαδή ο σταθμός βάσης επιλέγει τους χρήστες ανάλογα με το πόσο κοντά του ή όχι βρίσκονται. Η δεύτερη αφορά την ανάδραση, όπου αυτή τροφοδοτεί τους χρήστες με πληροφορίες σχετικές με την κατάταξη, ενώ ο σταθμός βάσης είναι αυτός που επιλέγει την βέλτιστη κατάταξη.



3.2 Συνεργατική NOMA (Cooperative NOMA C-NOMA)

Στα ασύρματα δίκτυα, οι συνεργατικές επικοινωνίες έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν χωρική διαφορικότητα για να μετριάσουν τις διαλείψεις. Αυτές διευκολύνουν την εγκατάσταση πολλαπλών κεραιών σε μικρά τερματικά [18]. Σε μια συνεργατική επικοινωνία, ορισμένοι κόμβοι αναμετάδοσης βοηθούν την πηγή να διαβιβάσει τις πληροφορίες στους κατάλληλους προορισμούς. Έτσι, η ενσωμάτωση των συνεργατικών επικοινωνιών μαζί με την NOMA μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα του συστήματος από πλευράς αξιοπιστίας και χωρητικότητας. Οι συνεργατικές επικοινωνίες για χρήστες με καλύτερες συνθήκες καναλιού μπορούν να υλοποιηθούν χρησιμοποιώντας τεχνικές επικοινωνίας μικρής εμβέλειας, όπως είναι η ραδιοτεχνολογία ευρείας ζώνης (Ultra-Wideband - UWB) και το Bluetooth (BT).

Ένα συνεργατικό NOMA σχήμα [19] εκμεταλλεύεται τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες από τα συστήματα NOMA. Σε ένα τέτοιο σχήμα, ο χρήστης που έχει τις καλύτερες συνθήκες καναλιού αποκωδικοποιεί τα μηνύματα για τους άλλους. Έτσι λοιπόν, οι χρήστες λειτουργούν ως αναμεταδότες για να βελτιώσουν την αξιοπιστία της λήψης για χρήστες με κακή σύνδεση με τον σταθμό βάσης. Συγκεκριμένα το συνεργατικό NOMA σχήμα αποτελείται από 2 φάσεις.

1. Η 1^η φάση καλείται φάση μετάδοσης (transmission phase). Εκεί ο σταθμός βάσης στέλνει τα υπερτιθέμενα σήματα στους NOMA χρήστες, οι οποίοι πραγματοποιούν διαδοχικές ανιχνεύσεις σήματος.
2. Η 2^η φάση είναι η συνεργατική φάση (cooperative phase). Ορίζουμε με N τον αριθμό των χρηστών. Αυτή αποτελείται από $N-1$ χρονοθυρίδες, όπου στην i -οστή, ο $(N - i + 1)$ χρήστης μεταδίδει ένα συνδυασμό από $(N-1)$ μηνύματα.

Η C-NOMA μπορεί να επιτύχει το μέγιστο κέρδος διαφορικότητας για όλους τους χρήστες. Αυτό επιτυγχάνεται διότι οι συντελεστές κατανομής ισχύος για κάθε χρονοθυρίδα είναι διαφορετικοί, αφού βασίζονται στις τοπικές συνθήκες του καναλιού. Ωστόσο όμως οι επιπρόσθετες χρονοθυρίδες αυξάνουν την πολυπλοκότητα, για τον λόγο του ότι στην συνεργατική φάση απαιτούνται αναμεταδόσεις μηνυμάτων για κάθε χρήστη που ενεργεί σαν αναμεταδότης. Έτσι, για την μείωση της εκτελείται ταιρίασμα χρηστών (user pairing) με βάση το κέρδος του καναλιού. Η απόδοση των C-NOMA σχημάτων μπορεί να ενισχυθεί περαιτέρω με την εφαρμογή κατάλληλων σχημάτων κατανομής ισχύος [20, 21].

Ένα δίκτυο αναμετάδοσης NOMA [22, 23] προϋποθέτει ο σταθμός βάσης και οι χρήστες να είναι εξοπλισμένοι με πολλές κεραιές μετάδοσης. Σε αυτό το δίκτυο, η πιθανότητα διακοπής επηρεάζεται σημαντικά από τις θέσεις στις οποίες βρίσκονται οι αναμεταδότες. Έτσι στην περίπτωση που οι αναμεταδότες είναι κοντά με τον σταθμό βάσης η NOMA ξεπερνά τα συμβατικά OMA σχήματα. Σε αντίθεση όμως, τα συμβατικά OMA σχήματα επιτυγχάνουν καλύτερη πιθανότητα διακοπής όταν οι αναμεταδότες βρίσκονται κοντά στους χρήστες. Σε κάθε όμως περίπτωση, η NOMA προσφέρει καλύτερη φασματική απόδοση και δίκαιη πρόσβαση μεταξύ των χρηστών.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Εν αντιθέσει με τα C-NOMA συστήματα, τα συνεργατικά συστήματα αναμετάδοσης (Cooperative Relaying System - CRS) που χρησιμοποιούν την NOMA [24] ενισχύουν την φασματική απόδοση, όταν πρόκειται για χωρικής πολυπλεξίας μεταδόσεις. Σε ένα τέτοιο σύστημα, η πηγή μεταδίδει το υπερτιθέμενο σήμα μέσω του αναμεταδότη στον κατάλληλο προορισμό κατά την διάρκεια της πρώτης χρονοθυρίδας. Στην επόμενη χρονοθυρίδα, μόνο ο αναμεταδότης είναι αυτός που μεταδίδει το αποκωδικοποιημένο σύμβολο στον τελικό προορισμό, ο οποίος λαμβάνει ένα σύμβολο μετά από δυο χρονοθυρίδες.

Στο **Σχήμα 15** ακολουθεί ένα παράδειγμα της παράθεσης [25] όπου ο σταθμός βάσης μπορεί να επικοινωνήσει απευθείας με έναν κοντινό του χρήστη, ενώ ταυτόχρονα επικοινωνεί και με έναν απομακρυσμένο χρήστη με την βοήθεια του αναμεταδότη. Στο σύστημα αυτό, ο κάθε κόμβος είναι εξοπλισμένος με μονή κεραία μετάδοσης, ενώ ο αναμεταδότης χρησιμοποιεί την στρατηγική αποκωδικοποίησης και προώθησης (decode-and-forward - DF). Κατά την διάρκεια της πρώτης φάσης, ο σταθμός μεταδίδει τα σύμβολα στον χρήστη 1 (User Equipment 1 - UE1) και στον αναμεταδότη. Τα σήματα που λαμβάνουν αυτοί δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις **(11)** και **(12)**, η οποία περιλαμβάνει τους συντελεστές που επηρεάζουν το κανάλι (\mathbf{h}) μεταξύ σταθμού βάσης με χρήστη 1 και αναμεταδότη, αλλά και μεταξύ χρήστη-αναμεταδότη. Στις εξισώσεις προστίθεται ο γκαουσιανός θόρυβος για κάθε δέκτη. Συμβολίζουμε με t_1 την πρώτη φάση, ενώ την δεύτερη φάση με το t_2 .

$$y_1(t_1) = h_{1,b} \cdot x_N(t_1) + n_1(t_1) \text{ (Σχ. 11 [25])}$$

$$y_r(t_1) = h_{r,b} \cdot x_N(t_1) + n_r(t_1) \text{ (Σχ. 12 [25])}$$

Η πρώτη φάση ολοκληρώνεται με τον χρήστη 1 να αποκωδικοποιεί πρώτα το σύμβολο $x_2(t_1)$, το οποίο είναι για τον δεύτερο χρήστη, ενώ στην συνέχεια αποκωδικοποιεί μέσω της SIC το σύμβολο που είναι για τον ίδιο, δηλαδή το x_1 . Έπειτα κατά την διάρκεια της δεύτερης φάσης, ο αναμεταδότης μεταδίδει το αποκωδικοποιημένο σύμβολο x_2 στον χρήστη 2, ενώ ταυτόχρονα ο σταθμός βάσης το σύμβολο x_1 στον χρήστη 1. Τώρα, ο χρήστης 1 μπορεί να αφαιρέσει το σήμα παρεμβολής, που προέρχεται από τον αναμεταδότη, χρησιμοποιώντας το σύμβολο x_2 που αποκτήθηκε μέσω της SIC κατά την διάρκεια της πρώτης φάσης. Σε αυτήν την φάση τα λαμβανόμενα σήματα περιγράφονται από τις εξής παρακάτω εξισώσεις. Το P συμβολίζει την μεταδιδόμενη ισχύ, ενώ το g είναι η παρεμβολή που υφίσταται.

$$y_1(t_2) = h_{1,b} \cdot \sqrt{P_b} a_1(t_2) \cdot x_1(t_2) + g_{1,r} \cdot \sqrt{P_r} \cdot x_2(t_1) + n_1(t_2) \text{ (Σχ. 13 [25])}$$

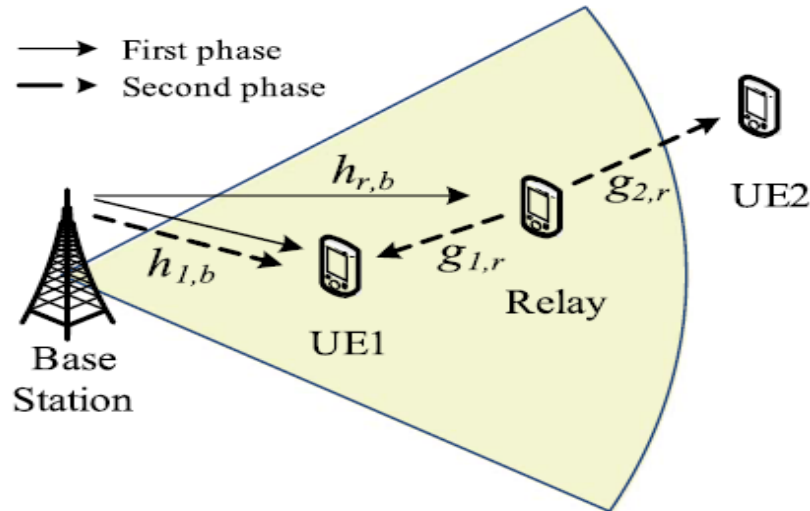
$$y_2(t_2) = g_{2,r} \cdot \sqrt{P_r} \cdot x_2(t_1) + n_2(t_2) \text{ (Σχ. 14 [25])}$$



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 15: Σύστημα 2 χρηστών, όπου ο BS επικοινωνεί απευθείας με τον UE1 ενώ χρειάζεται τον αναμεταδότη για τον UE2 [25].

3.3 Δίκαιη πρόσβαση (fairness) μέσω της NOMA

Γενικά, οι χρήστες NOMA έχουν διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων καθώς η τεχνική NOMA βασίζεται στην σειρά αποκωδικοποίησης που θέτει η μέθοδος SIC [8 26]. Λαμβάνοντας υπόψη την παράμετρο της ισότητας, η NOMA βελτιώνει την απόδοση των χρηστών με τις χειρότερες συνθήκες καναλιού υπερέχοντας έτσι της OMA [27]. Παρόλο που η σειρά αποκωδικοποίησης βασίζεται στο CSI των χρηστών, η παροχή της NOMA σε ορισμένες περιπτώσεις που είναι κρίσιμης σημασίας απαιτεί αυστηρά την δίκαιη πρόσβαση. Το πρόβλημα της κατανομής ισχύος από την άποψη της ισότητας μπορεί να διερευνηθεί κάτω από δυο παραδοχές:

- 1) Την βέλτιστη κατανομή ισχύος (Power Allocation - PA) λαμβάνοντας υπόψιν όλους τους χρήστες.
- 2) Την cognitive PA λαμβάνοντας υπόψη μόνο τους ασθενείς χρήστες.

Σε σύγκριση με την OMA, η βέλτιστη κατανομή για την NOMA θέτει περισσότερους περιορισμούς προσπαθώντας να διασφαλίσει εξίσου την δίκαιη πρόσβαση μεταξύ των ασθενών και ισχυρών χρηστών. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια θέματα για την δίκαιη πρόσβαση των χρηστών μέσω της NOMA. Αυτά είναι τα εξής:



3.3.1 Βέλτιστη Κατανομή Ισχύος (Optimal Power Allocation - PA)

3.3.1.1 Ordered power allocation

Ένας αποδοτικός τρόπος για την διασφάλιση της δίκαιης πρόσβασης στα NOMA συστήματα είναι η παροχή περισσότερης ισχύος σε χρήστες με ασθενείς συνθήκες καναλιού. Έτσι οι ασθενείς χρήστες μπορούν να επιτύχουν έναν ικανοποιητικό ρυθμό δεδομένων. Ωστόσο λόγω των περιορισμών αυξάνεται η πολυπλοκότητα, ειδικά στα NOMA σενάρια που κάνουν χρήση πολλών κεραιών λήψης [28, 29].

3.3.1.2 Max – min rate fairness

Αν ο σταθμός βάσης γνωρίζει στιγμιαία το CSI, τότε η δίκαιη πρόσβαση μεταξύ των χρηστών μπορεί να εξασφαλιστεί με τη μεγιστοποίηση του ελάχιστου επιτεύξιμου ρυθμού δεδομένων. Αντίθετα, αν το CSI δεν είναι στιγμιαία διαθέσιμο τότε η πιθανότητα διακοπής θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί με ένα μέτριο CSI. Σε αυτήν την περίπτωση, η δίκαιη πρόσβαση μεταξύ των χρηστών μπορεί να διασφαλιστεί με την ελαχιστοποίηση της μέγιστης πιθανότητας διακοπής. Γενικότερα, η δίκαιη πρόσβαση σε ένα σύστημα NOMA, μπορεί να προσδιοριστεί με τον έλεγχο του ρυθμού που κατανέμεται στις ταυτόχρονες μεταδόσεις [30].

Το πρόβλημα της μέγιστης και ελάχιστης κατανομής ισχύος μεγιστοποιεί τους ρυθμούς στους ασθενείς χρήστες [27, 31, 32] και διακρίνεται σε δυο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι όταν ο σταθμός βάσης έχει ένα τέλειο CSI και έτσι οι ρυθμοί δεδομένων των χρηστών προσαρμόζονται στις συνθήκες του καναλιού. Η δεύτερη κατηγορία αφορά τους χρήστες που έχουν έναν σταθερό ρυθμό δεδομένων κάτω από ένα μέτριο CSI. Ας αναλύσουμε τώρα τα δύο κριτήρια για την απόδοση της δίκαιης πρόσβασης στην NOMA.

3.3.1.2.1 Max-Min fairness με στιγμιαίο CSI

Από την στιγμή που μπορεί να υπάρχει μια συνεχής ανατροφοδότηση από τον πομπό, οι ρυθμοί των χρηστών μπορούν να κατανεμηθούν στιγμιαία από το κανάλι. Έτσι λοιπόν, η καλύτερη λύση είναι η μεγιστοποίηση του ελάχιστου επιτεύξιμου ρυθμού δεδομένων, η οποία μπορεί να διατυπωθεί μαθηματικά και ως εξής:

$$\max_{\beta} \min_{i \in N} R_{i,i}^{NOMA}(\beta) \quad (\Sigma\chi. 15 [27])$$

Όπου

1. $\sum_{j=1}^N \beta_j \leq 1$ (Σχ. 16 [27])
2. $0 \leq \beta_j$ για $j \in N$ (Σχ. 17 [27])

Αναφορικά με τις σταθερές των εξισώσεων το R συμβολίζει τον επιτεύξιμο ρυθμό δεδομένων, ενώ το β είναι το φράγμα της συνολικής ισχύος για κάθε χρήστη. Παρατηρούμε ότι, οι σταθερές από τις σχέσεις (16), (17) είναι γραμμικές κάτι που δεν μπορούμε να το πούμε και για την (15). Στόχος μας, είναι το πρόβλημα και όλα τα επιμέρους προβλήματα να είναι της ίδιας μορφής ώστε να επιλυθεί. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος απαιτείται η ανάπτυξη αλγορίθμων χαμηλής πολυπλοκότητας για την βέλτιστη λύση του.



3.3.1.2.2 Min-Max fairness με μέτριο CSI

Αυτή η περίπτωση χρήζει ιδιαίτερης σημασίας για τον λόγο του ότι έχουμε ένα μέτριο CSI. Μια λύση για αυτήν την περίπτωση είναι η βελτιστοποίηση της πιθανότητας διακοπής όλων των NOMA χρηστών σύμφωνα με την σειρά των καναλιών τους που ορίζεται από την NOMA. Αυτό το πρόβλημα βελτιστοποίησης ορίζεται μαθηματικά με τον εξής τύπο:

$$\min_{\beta} \max_{i \in N} P_i^{NOMA}(\beta) \quad (\Sigma\chi. 18 [27])$$

Όπου

$$1. P_i^{NOMA}(\beta) = \sum_{k=0}^{i-1} \gamma_{i,k} (1 - e^{-\delta_{i,k} \zeta_i}) \quad (\Sigma\chi. 19 [27])$$

Αυτή έχει τους ίδιους περιορισμούς και με την εξίσωση (15), δηλαδή τις σχέσεις (16) και (17), ενώ η $P_i^{NOMA}(\beta)$ ορίζεται από την σχέση (19) η οποία προκύπτει από την εφαρμογή του διωνυμικού θεωρήματος. Φυσικά, η αύξηση της συνολικής ισχύος μειώνει τη βέλτιστη πιθανότητα διακοπής.

3.3.1.3 Αναλογική Δίκαιη Πρόσβαση (Proportional fairness)

Η proportional fairness είναι ικανή να μεγιστοποιεί το λογαριθμικό άθροισμα της απόδοσης των χρηστών. Στα σενάρια NOMA, μια εφικτή πολιτική είναι ο προγραμματισμός των χρηστών με βάση τον στιγμιαίο ρυθμό δεδομένων, καθώς παράλληλα εγγυάται ένα μέτριο ρυθμό δεδομένων [33 34]. Παρακάτω ορίζεται ο στιγμιαίος ρυθμός δεδομένων του χρήστη ως εξής:

$$R_m(t+1) = \left(1 - \frac{1}{t_c}\right) R_m(t) + \frac{1}{t_c} \sum_{k=1}^K x_{m,k}(t) r_{m,k}(t) \quad (\Sigma\chi. 20 [27])$$

όπου $k = 1, \dots, K$

και $m = 1, \dots, M$

Αναφορικά με τις σταθερές, ορίζουμε το t_c να είναι το window size, το $r_{m,k}(t)$ να είναι ο ρυθμός του χρήστη m για το k resource block (RB). Επιπλέον το $x_{m,k}(t)$ είναι ο δείκτης που μας δείχνει αν ο χρήστης έχει προγραμματιστεί για το t - frame. Αν ο δείκτης ισούται με 1 τότε έχει προγραμματιστεί ο χρήστης. Αλλιώς αν ισούται με 0 τότε πρέπει να υπολογίσουμε πάλι το $r_{m,k}(t)$ που δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$r_{m,k}(t) = N_{SC} S_e n_{m,k}(t) / T_s = r_0 n_{m,k}(t) \quad (\Sigma\chi. 21 [27])$$

Συμβολίζουμε με N_{SC} τον αριθμό των υποφορέων για κάθε RB. Το S_e είναι ο αριθμός των συμβόλων για ένα frame στο πεδίο του χρόνου, ενώ το T_s είναι η χρονική διάρκεια του frame. Συμβολίζουμε με $n_{m,k}(t)$ την φασματική απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί. Αυτή υπολογίζεται με βάση το επιλεγμένο σχήμα κωδικοποίησης και διαμόρφωσης (Modulation Coding Scheme - MCS) και του αναμενόμενου ποσοστού σφάλματος ανά μπλοκ (Block Error



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Rate - BLER). Όπως αναφέραμε στόχος της είναι να μεγιστοποιηθεί το λογαριθμικό άθροισμα του μέσου ρυθμού δεδομένων. Ο τρόπος υπολογισμού είναι αυτή του γεωμετρικού μέσου όρου (Geometric Mean Rate - GMR). Για να επιτευχθεί πρέπει να οριστεί ο παράγοντας προγραμματισμού $\omega_k(t)$, τον οποίο βλέπουμε στην παρακάτω εξίσωση.

$$\omega_k(t) = \sum_{m=1}^M x_{m,k}(t) [r_{m,k}(t)/R_m(t)] \text{ όπου } k = 1, \dots, K \text{ (Σχ. 22 [27])}$$

Έτσι από το υπάρχον σύνολο χρηστών πρέπει να επιλεγεί ένας ή δύο χρήστες για κάθε RB με σκοπό να πάρει την μέγιστη τιμή του $\omega_k(t)$.

3.3.1.4 *a utility function*

Η συνάρτηση αυτή αποτελεί μια γενίκευση της proportional fairness και της max min fairness. Αυτή ορίζεται μαθηματικά ως εξής:

$$f_\alpha(x) = \begin{cases} \log x, & \text{για } \alpha = 1 \\ x^{1-\alpha}/(1-\alpha), & \text{αλλιώς} \end{cases} \text{ (Σχ. 23 [27])}$$

Στην περίπτωση που το $\alpha=1$ οδηγούμαστε στην proportional fairness, ενώ όταν τείνει στο άπειρο οδηγούμαστε στην max min fairness.

3.3.1.5 *Weighted sum rate*

Η βασική ιδέα είναι ότι πρέπει να προστεθεί ένας επιπλέον συντελεστής με θετικό πρόσημο για το ρυθμό δεδομένων κάθε χρήστη, ο οποίος να αντικατοπτρίζει την προτεραιότητα του κάθε χρήστη μέσα στον πίνακα κατανομής πόρων [35]. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να επιτευχθεί έως ένα βαθμό δίκαιη πρόσβαση μεταξύ των χρηστών στο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης (Medium Access Control - MAC).

3.3.1.6 *Δείκτης Jain*

Γενικά, ο δείκτης Jain [36] χρησιμοποιείται μόνο για την αξιολόγηση της δίκαιης πρόσβασης μέσα σε ένα σύστημα. Αυτός δεν μπορεί να αποτρέψει τους ασθενείς χρήστες να έχουν χαμηλούς ρυθμούς κάτι το οποίο προκαλεί την μείωση της τιμής του. Για αυτό τον λόγο απαιτούνται αλγόριθμοι χαμηλής πολυπλοκότητας για να αποφέρουν βέλτιστες λύσεις. Οι τιμές που παίρνει αυτός ο δείκτης κυμαίνονται από $1/K$ μέχρι και 1. Στην περίπτωση που η τιμή του ξεπεράσει αυτές τις τιμές τότε λέμε ότι υπάρχει δίκαιη κατανομή, ενώ αν ισούται με 1 τότε ξέρουμε ότι όλοι οι χρήστες έχουν ακριβώς την ίδια απόδοση.

3.3.2 *Cognitive radio μέσω της διαχείρισης ισχύος*

Στόχος του είναι να εγγυηθεί υψηλό QoS στους ασθενείς χρήστες, περιορίζοντας την ισχύ που κατανέμεται στους ισχυρούς χρήστες. Έτσι λοιπόν, παρακάτω συνοψίζονται τα πλεονεκτήματα της cognitive PA όπως είναι:



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

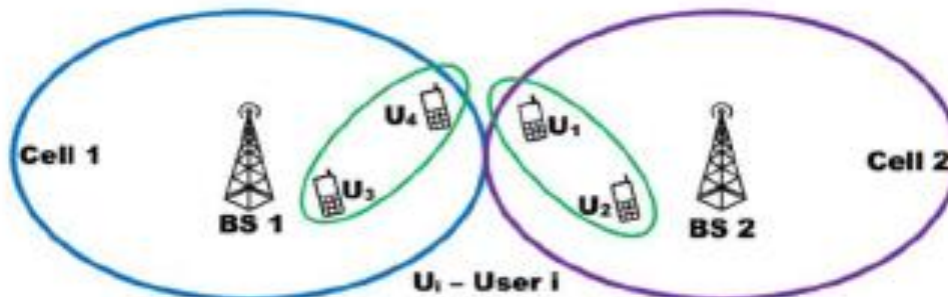
Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

- 1) **Εγγυημένη QoS:** Με την εγγυημένη QoS να παρέχεται στους ασθενείς χρήστες αποτελεί ζωτικής σημασίας για κρίσιμες εφαρμογές πραγματικού χρόνου.
- 2) **Fairness tradeoff:** Η cognitive PA είναι ικανή να επιτύχει ένα αξιόλογο tradeoff μεταξύ της συνολικής απόδοσης του συστήματος και της δίκαιης πρόσβασης των χρηστών.
- 3) **Υψηλή ευελιξία:** Προσφέρει στον σταθμό βάσης ελευθερία με σκοπό να υποστηρίξει τον ισχυρό χρήστη αν του δοθεί η ευκαιρία.
- 4) **Χαμηλή πολυπλοκότητα:** Σε σχέση με την βέλτιστη κατανομή της πρώτης κατηγορίας, έχουμε χαμηλότερη πολυπλοκότητα κατά την διάρκεια της κατανομής ισχύος.

3.4 Δίκτυο NOMA

Ας υποθέσουμε ένα σενάριο με 2 κυψέλες όπως θα δούμε και στο **Σχήμα 16**, το οποίο περιλαμβάνει συνολικά 4 χρήστες και δυο σταθμούς βάσης. Οι χρήστες U_3 και U_4 βρίσκονται στην κυψέλη 1 οι οποίοι εξυπηρετούνται από τον BS1, ενώ οι χρήστες U_1 και U_2 στην κυψέλη 2 και εξυπηρετούνται από τον BS2. Ορίζουμε ότι υπάρχει ταίριασμα μεταξύ των χρηστών U_3 με U_4 και U_1 με U_2 . Δεδομένου ότι ένας χρήστης που βρίσκεται στα άκρα της κυψέλης δεν εκτελεί την μέθοδο SIC πριν αποκωδικοποιήσει το σήμα του, καθιστά αδύνατον για τους χρήστες U_1 και U_4 να αποφύγουν τις παρεμβολές που δέχονται από τους χρήστες U_2 και U_3 αντίστοιχα. Έτσι λοιπόν, με σκοπό την μείωση της παρεμβολής οι σταθμοί βάσης διαθέτουν περισσότερη ισχύ στους χρήστες U_4 και U_1 . Σε ένα τέτοιο σενάριο, εμφανίζονται παρεμβολές μεταξύ των κυψελών για την κάτω ζεύξη, αλλά και αμοιβαίες παρεμβολές μεταξύ των U_4 και U_1 για την άνω ζεύξη [28].

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος δεν είναι κατάλληλη η εφαρμογή λύσεων που χρησιμοποιούνται στα σενάρια με μια κυψέλη. Μια πιθανή λύση του προβλήματος, είναι η εφαρμογή μιας κοινής τεχνικής προκωδικοποίησης των σημάτων που θα εκτελείται και στην γειτονική κυψέλη. Αυτό απαιτεί τον σχεδιασμό ενός προκωδικοποιητή κάτι που είναι δύσκολο να υλοποιηθεί καθώς ο σταθμός βάσης πρέπει να γνωρίζει τα δεδομένα και το CSI για κάθε χρήστη. Ο σχεδιασμός του προκωδικοποιητή απαιτεί δυναμική επιλογή χρήστη για κάθε ζευγάρι NOMA χρηστών [4].



Σχήμα 16: Δίκτυο NOMA [41].



Στο **Σχήμα 16** παρουσιάζεται ένα δίκτυο στο οποίο εφαρμόζεται η ισοστάθμιση μηδενικού εξαναγκασμού (zero-forcing - ZF) αποκωδικοποίηση στους χρήστες με χειρότερες συνθήκες καναλιού έτσι ώστε να περιοριστούν οι παρεμβολές μεταξύ των κυψελών. Εδώ ο προκωδικοποιητής εφαρμόζεται στους χρήστες που είναι στα άκρα της κυψέλης. Οι σταθμοί βάσης μπορούν να συνεργαστούν μεταξύ τους για την κοινή μετάδοση και λήψη των δεδομένων. Τα σήματα που λαμβάνουν οι χρήστες είναι της παρακάτω μορφής:

$$y = HWs + n \quad (\text{Σχ. 24})$$

Όπου ο $\mathbf{H} = [h_1 h_2 h_3 h_4]$ είναι ένας 4×2 πίνακας που περιγράφει το κανάλι για την κάτω ζεύξη, περιέχοντας τα διανύσματα h_i των τεσσάρων χρηστών. Ο \mathbf{W} είναι και αυτός ένας πίνακας όπου περιέχει τα διανύσματα του προκωδικοποιητή. Επιπλέον ο \mathbf{s} είναι ο πίνακας των μεταδιδόμενων σημάτων, όπου περιέχει όλα τα μεταδιδόμενα σύμβολα κάθε χρήστη.

Ο προκωδικοποιητής \mathbf{W} μπορεί να σχεδιαστεί με ποικίλους τρόπους, όπως για παράδειγμα με την μεγιστοποίηση της συνολικής χωρητικότητας ή της συνολικής ενεργειακής απόδοσης. Μερικές προσπάθειες για τον σχεδιασμό έχουν διατυπωθεί στο [37]. Όπως φαίνεται και στο σχήμα το ένα ζευγάρι χρηστών είναι οι χρήστες 3 και 4, ενώ το άλλο είναι οι χρήστες 1 και 2. Τα κανάλια αυτών των ζευγαριών πρέπει να έχουν υψηλή αυτοσυσχέτιση μεταξύ τους. Αυτό για να επιτευχθεί πρέπει να χρησιμοποιηθεί δυναμική επιλογή χρήστη σε κάθε ζεύγος χρηστών, ειδικά θα υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ των ροών.

Σε ένα σενάριο με πολλούς χρήστες η ZF αποκωδικοποίηση εφαρμόζεται για μια μόνο κυψέλη. Αντίθετα όμως σε ένα δίκτυο NOMA ίσως να μην συμβαίνει αυτό διότι μια ροή μπορεί και να μην καλύπτει περισσότερους από έναν χωρικά χωρισμένους χρήστες. Για τον παραπάνω λόγο έχει προταθεί στο [38] ένα σχήμα της SC κωδικοποίησης, όπου 2 συντονισμένοι σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν τον κώδικα του Alamouti για να μεταδώσουν με έναν ικανοποιητικό ρυθμό μετάδοσης στους χρήστες που είναι στα άκρα της κυψέλης, δίχως όμως να υποβαθμίσουν τους ρυθμούς των χρηστών που βρίσκονται κοντά τους. Παρακάτω θα εξετάσουμε το σχήμα αυτό που χρησιμοποιεί τον κώδικα Alamouti [39] το οποίο υποστηρίζει έναν χρήστη στα άκρα των κυψελών. Συγκεκριμένα όπως φαίνεται και παρακάτω στο **Σχήμα 17**, δυο BS μεταδίδουν κωδικοποιημένα σήματα Alamouti (space time) στον χρήστη c , ο οποίος βρίσκεται στα άκρα της κυψέλης. Παράλληλα, κάθε σταθμός βάσης έχει μια κεραία μετάδοσης και μεταδίδει σήματα στους κοντινούς του χρήστες. Η μετάδοση αυτών των σημάτων γίνεται με βάση την SC κωδικοποίηση από τους σταθμούς βάσης. Τα λαμβανόμενα σήματα των τριών χρηστών περιγράφονται από τις εξής παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{aligned} r_1 &= h_{1,1}(s_1 + s_c) + h_{1,2}(s_2 + \bar{s}_c) + n_1 \quad , \\ r_2 &= h_{2,2}(s_2 + \bar{s}_c) + h_{2,1}(s_1 + s_c) + n_2 \quad , \\ r_c &= h_{c,1}(s_1 + s_c) + h_{c,2}(s_2 + \bar{s}_c) + n_c \quad (\text{Σχ. 24 [38]}) \end{aligned}$$

Όπου:

1. το n είναι ο θόρυβος για κάθε χρήστη,
2. το $h_{i,j}$ είναι οι συντελεστές καναλιού από τον σταθμό βάσης j στον χρήστη i ,

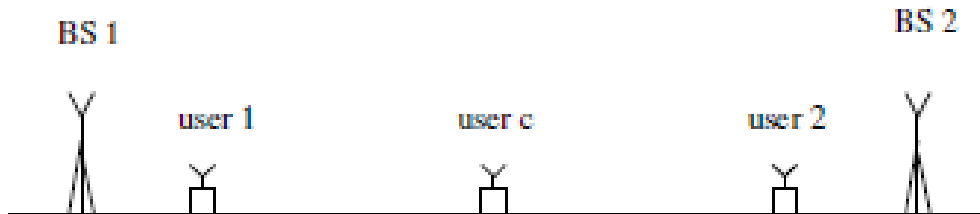


Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

- το $s_i(t)$ εκφράζει το σύμβολο του χρήστη i από τον σταθμό βάσης i την χρονική στιγμή t , όπου το t παραλείπεται για λόγους ευκολίας.



Σχήμα 17: Απεικόνιση CoMP συστήματος με δύο σταθμούς βάσης [38].

3.5 NOMA με Προσαρμογή Ζεύξης (Link Adaptation)

Η προσαρμογή ζεύξης είναι ένας μηχανισμός ο οποίος χρησιμοποιείται στις ασύρματες επικοινωνίες για την επιλογή των παραμέτρων του σήματος όπως είναι η διαμόρφωση και η κωδικοποίηση. Σημαντικό και απαραίτητο μέρος του είναι το υβριδικό πρωτόκολλο αυτόματης αίτησης επανάληψης (Hybrid Automatic Repeat Request - HARQ). Το πρωτόκολλο αυτό σχεδιάστηκε για αξιόπιστες επικοινωνίες το οποίο βασίζεται στις αναμεταδόσεις αλλά και στο κέρδος κωδικοποίησης καναλιού. Κατά την διάρκεια μετάδοσης πολλών NOMA πακέτων μπορεί να υπάρξουν κάποιες συγκρούσεις μεταξύ τους. Εφόσον υπάρξει σύγκρουση, τότε ακολουθείται η αποστολή ενός αιτήματος αναμετάδοσης του πακέτου στους χρήστες που παρουσιάστηκε αυτή η σύγκρουση. Η αναμετάδοση των σημάτων σε συνδυασμό με το HARQ πρωτόκολλο μπορούν να βελτιώσουν την φασματική απόδοση της NOMA.

Υπάρχουν δυο τρόποι χρήσης του πρωτόκολλου για να επιτευχθεί αυτή η βελτίωση που είναι (α) το HARQ με αυξημένο πλεόνασμα (Incremental Redundancy - IR) και (β) το HARQ με SIC. Στην HARQ με IR, υπάρχουν διάφορα σύνολα κωδικοποιημένων bits που παράγονται για την ίδια πληροφορία. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε σύνολο μεταδίδονται πρόσθετα πλεονάζοντα bits πληροφορίας σε κάθε επανάληψη μετάδοσης. Το κάθε αναμεταδιδόμενο σήμα μεταφέρει μια συγκεκριμένη πληροφορία. Ο δέκτης πρέπει να τα αποκωδικοποιήσει όλα. Προκειμένου να βελτιωθεί η φασματική απόδοση μέσω της IR, πρέπει αυτή να συνδυάσει όλα αυτά τα αναμεταδιδόμενα σήματα επιτυχώς. Από την άλλη μεριά η HARQ με SIC, μπορεί εύκολα μέσω αυτής της τεχνικής να ακυρώσει τις παρεμβολές που δέχεται από τους χρήστες. Αυτό οδηγεί στην αύξηση του SINR και στην βελτίωση της φασματικής απόδοσης του NOMA συστήματος.

3.5.1 Μοντέλο συστήματος NOMA με HARQ

Θεωρούμε ένα σύστημα NOMA κάτω ζεύξης με απλές κεραίες εκπομπής στον BS και απλές κεραίες λήψης στους χρήστες. Για το ακόλουθο σενάριο ορίζουμε ότι ο χρήστης 1 έχει το χαμηλότερο SINR, δηλαδή είναι ο ασθενής χρήστης. Αντίθετα, ο χρήστης 2 είναι ο ισχυρός χρήστης και μαζί με τον χρήστη 1 αποτελούν ένα ζευγάρι χρηστών κατά την αρχική

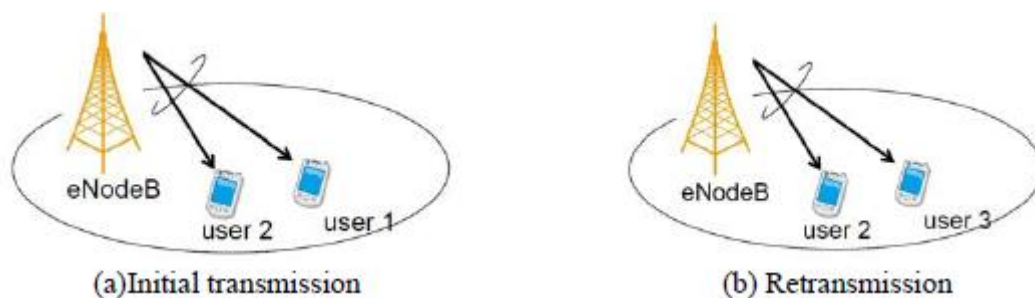


Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

μετάδοση. Για την ανίχνευση του σήματος του χρήστη 2, πρέπει να προηγηθεί η ανίχνευση του σήματος του χρήστη 1 και μετά να εφαρμοστεί η SIC. Εφαρμόζοντας την τεχνική αυτή θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε την τιμή του SINR του επιθυμητού μας σήματος. Ακόμη θεωρούμε ότι η ανίχνευση του σήματος 1 δεν ήταν σωστή από τον χρήστη 2 εξαιτίας των ισχυρών παρεμβολών. Έτσι λοιπόν είναι αδύνατον να ανιχνευθεί το σήμα 2 και για αυτό τον λόγο οδηγούμαστε στην εφαρμογή του HARQ με σκοπό την ανάκτηση του. Ωστόσο, κατά την διάρκεια της αναμετάδοσης προκειμένου να μην θέσουμε κάποιο περιορισμό στο ταίριασμα των χρηστών, ένας τρίτος χρήστης με χαμηλό SINR γίνεται ζευγάρι με τον χρήστη 2. Το παραπάνω σενάριο που περιγράψαμε απεικονίζεται και στο **Σχήμα 18** που βλέπουμε και παρακάτω.



Σχήμα 18: Μοντέλο συστήματος NOMA με HARQ [55].

3.5.2 Σχήμα HARQ

Ένα προτεινόμενο σχήμα HARQ προτάθηκε από τον X. Li [55] του οποίου η λογική παρουσιάζεται παρακάτω. Η NOMA HARQ αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα από τις παρεμβολές των άλλων χρηστών στην φάση της αναμετάδοσης. Αυτές δυσκολεύουν την ανίχνευση του εκάστοτε σήματος. Συνεπώς δεν μπορεί να επιλεγεί κάποιο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που να είναι κατάλληλο για το υπάρχον σήμα. Εξαιτίας όμως των παρεμβολών δημιουργούνται λανθασμένα πακέτα. Έτσι, προκειμένου να λυθεί αυτό το πρόβλημα πρέπει να εφαρμόσουμε σχήματα που να έχουν την εξής λογική που περιγράφεται παρακάτω.

Τέτοια HARQ σχήματα πρέπει να περιλαμβάνουν τον ενισχυμένο σχεδιασμό του υπερτιθέμενου σήματος που πρόκειται να σταλθεί από την πλευρά του πομπού αλλά και την τεχνική της SIC από την πλευρά του δέκτη. Ειδικότερα, αυτά τα λανθασμένα πακέτα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες όπου σε αυτές εφαρμόζονται διαφορετικές στρατηγικές αναμετάδοσης.

1. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα λανθασμένα πακέτα τα οποία δημιουργούνται κυρίως από την μη σωστή επιλογή του σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Σε αυτή την κατηγορία έχει προηγηθεί η επιτυχής ανίχνευση και ακύρωση του σήματος του ασθενούς χρήστη. Κατά την φάση της αναμετάδοσης, μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική HARQ με σκοπό την ανάκτηση των δεδομένων.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

2. Αντίθετα στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν κυρίως τα λανθασμένα πακέτα που προκαλούνται από τις παρεμβολές των χρηστών. Σε αυτήν δεν έχει προηγηθεί επιτυχής ανίχνευση σήματος του αδύναμου χρήστη και δεν είναι αποτελεσματική η χρήση της HARQ.

Για να εφαρμόσουμε διαφορετικές στρατηγικές αναμετάδοσης είναι απαραίτητο ο σταθμός βάσης να γνωρίζει αν το λανθασμένο πακέτο έχει δημιουργηθεί από τις παρεμβολές ή όχι. Έτσι, ο ισχυρός χρήστης πρέπει πλέον να υποστηρίζει δύο είδη ανάδρασης NACK HARQ. Το πρώτο είδος θα είναι το NACK που θα μας δείχνει πότε τα λανθασμένα πακέτα δεν προκλήθηκαν από τις παρεμβολές των άλλων χρηστών, ενώ το δεύτερο πότε τα λανθασμένα πακέτα προκλήθηκαν από τις παρεμβολές αυτές. Κατά την διάρκεια της μετάδοσης, αν ο σταθμός βάσης λάβει το NACK που οφείλεται στις παρεμβολές, στέλνει το υπερτιθέμενο σήμα το οποίο περιλαμβάνει το σήμα του χρήστη 1 και τα σήματα των δυο άλλων χρηστών. Ο λόγος που έχει συμπεριληφθεί το σήμα 1 είναι ότι με την χρήση του αρχικού σήματος και του σήματος αναμετάδοσης μπορεί ο χρήστης 2 να πραγματοποιήσει SIC ώστε να αφαιρέσει το σήμα 1. Αυτό οδηγεί σε μια σημαντική βελτίωση του SINR για την ανίχνευση του σήματος του χρήστη 2. Κατά την διάρκεια της λήψης, η διαδικασία που ακολουθείται από τον χρήστη 2 είναι η παρακάτω:

1. Εκτέλεση της ακύρωσης παρεμβολής του σήματος 1 χρησιμοποιώντας το αρχικό σήμα μετάδοσης και το σήμα αναμετάδοσης.
2. Ανίχνευση του σήματος 3 θεωρώντας το σήμα 2 ως παρεμβολή.
3. Εκτέλεση της τεχνικής SIC για να αφαιρεθεί το σήμα 3 με σκοπό να ενισχυθεί η ανίχνευση του σήματος 2 και να βελτιωθεί το SINR του.
4. Ανίχνευση του σήματος 2 από το σήμα που έχει προκύψει ύστερα από την εφαρμογή των προηγούμενων βημάτων. Εδώ σε αυτό το βήμα το σήμα 2 υποφέρει μόνο από τον θόρυβο και όχι από τις παρεμβολές άλλων χρηστών.



4 Προκλήσεις

4.1 Δυναμικό Ταίριασμα Χρηστών

Σε αυτήν την ενότητα θα μας απασχολήσουν τα θέματα που δημιουργούνται σχετικά με το ταίριασμα χρηστών για τα NOMA σχήματα. Όπως έχουμε αναφέρει, οι χρήστες βιώνουν πολλές παρεμβολές εξαιτίας του ότι μοιράζονται ίδιο πόρο (χρονικό/ συχνотικό). Έτσι είναι δύσκολο να εκτελέσουν όλοι μαζί την τεχνική NOMA. Συγκεκριμένα, οι χρήστες διαιρούνται σε γκρουπ, όπου στο καθένα ξεχωριστά εφαρμόζεται η NOMA. Απαιτείται λοιπόν δυναμικός σχεδιασμός γκρουπ χρηστών, κάτι το οποίο είναι δύσκολο να υλοποιηθεί. Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από το ποιοι χρήστες έχουν ομαδοποιηθεί μαζί.

Στην NOMA πραγματοποιείται ταίριασμα μεταξύ των χρηστών που έχουν καλή ποιότητα καναλιού μαζί με αυτούς που δεν έχουν. Έτσι λοιπόν απομένουν οι χρήστες που έχουν μια μέτρια ποιότητα καναλιού, τους οποίους θα τους αναφέρουμε ως μεσαίους χρήστες. Αυτοί έχουν μικρή διαφορά κέρδους καναλιού και έτσι αν προχωρήσουμε στο ταίριασμα μεταξύ τους, τότε μέσω της SIC προκαλείται υποβάθμιση της απόδοσης τους το οποίο οδηγεί στην μείωση της χωρητικότητας τους [43-45]. Στην περίπτωση που δεν προχωρήσουμε στο ταίριασμα αυτών των χρηστών γλιτώνουμε το πρόβλημα που προκαλείται από την SIC, αλλά όμως οι χρήστες δεν επωφελούνται από τα πλεονεκτήματα της NOMA.

Ως εκ τούτου, θα αναφέρουμε παρακάτω δυο στρατηγικές για το ταίριασμα των χρηστών από τις οποίες θα έχουμε κάποιο κέρδος ως προς την χωρητικότητα, ενώ παράλληλα θα ελαχιστοποιούμε και το πρόβλημα των μεσαίων χρηστών.

4.1.1 Ταίριασμα μέσω της ομοιόμορφης διαφοράς κέρδους καναλιού (Uniform channel gain difference – UCGD pairing)

Θεωρούμε ότι σε αυτό το σχήμα έχουμε δυο χρήστες ανά ζευγάρι. Το κέρδος καναλιού των χρηστών κατηγοριοποιείται σε δυο γκρουπ, με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ικανοποιημένοι και οι μεσαίοι χρήστες. Οπότε θέτουμε ένα σενάριο με N χρήστες και με ταξινομημένους συντελεστές καναλιού h_N κατά αύξουσα σειρά. Τα γκρουπ χρηστών που προκύπτουν περιγράφονται από τις παρακάτω σχέσεις.

$$\mathbf{G}_1 = \{|h_i|^2 : |h_i|^2 < \tilde{h}\} \text{ (Σχ. 25 [46])}$$

$$\mathbf{G}_2 = \{|h_i|^2 : |h_i|^2 > \tilde{h}\} \text{ (Σχ. 26 [46])}$$



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

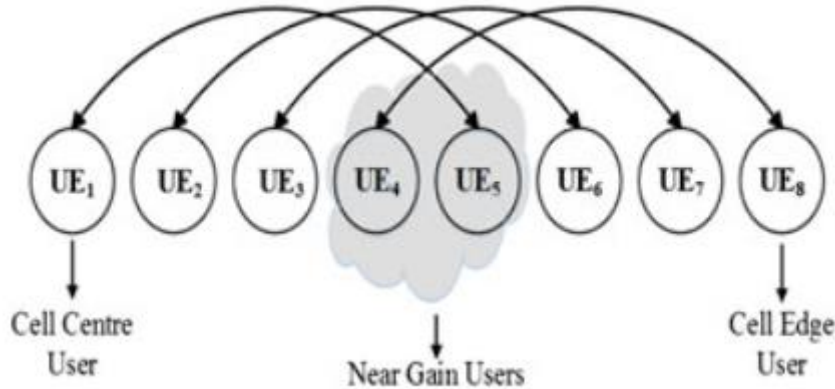
Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Για το πρώτο γκρουπ έχουμε τα κέρδη των χρηστών $|h_1|^2, |h_2|^2, \dots, \left| h_{\frac{N}{2}} \right|^2$, δηλαδή κάτω του μέσου \tilde{h} , ενώ στο δεύτερο γκρουπ είναι τα $\left| h_{\frac{N}{2}+1} \right|^2, \left| h_{\frac{N}{2}+2} \right|^2, \dots, |h_N|^2$. Δυο χρήστες από διαφορετικά γκρουπ για να ομαδοποιηθούν μαζί πρέπει να ικανοποιείται η εξής παρακάτω σχέση.

$$\left| |h_j|^2 - |h_i|^2 \right| > \gamma \text{ (Σχ. 27 [46])}$$

Γενικά το ταίριασμα των χρηστών μέσω της UCGD δεν επικεντρώνεται στο να ομαδοποιήσει τους χρήστες που είναι στο κέντρο της κυψέλης με αυτούς στα άκρα της. Αυτή η τεχνική ψάχνει να βρει μεσαίους χρήστες που να μπορεί να ομαδοποιήσει με τους χρήστες που βρίσκονται στο κέντρο ή στο άκρο της κυψέλης, αποφεύγοντας έτσι το πρόβλημα που δημιουργείται από την SIC.

Ας θεωρήσουμε ένα απλό παράδειγμα όπου οι χρήστες τοποθετούνται μέσα στην κυψέλη τυχαία και διαιρούνται σε δυο γκρουπ σύμφωνα με τις Σχ. 25, 26. Υποθέτουμε ότι κάθε χρήστης από το γκρουπ 1 αντιστοιχίζεται με έναν χρήστη του γκρουπ 2 όπως φαίνεται και στο Σχήμα 19. Θετούμε ότι ισχύει πως ο χρήστης 1 έχει το μεγαλύτερο κέρδος, ενώ μετά ακολουθεί ο χρήστης 2 και συνεχίζει με αύξουσα σειρά.



Σχήμα 19: Ταίριασμα χρηστών μέσω της UCGD [46].

Έτσι λοιπόν ο μηχανισμός για το ταίριασμα των χρηστών μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω σχέση.

$$Pair_l = (|h_i|^2, \left| h_{\frac{N}{2}+i} \right|^2) \text{ (Σχ. 28 [46])}$$

Όπου:

1. $\forall i \geq 1$
2. $\forall l \leq \frac{N}{2}$



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Από την παραπάνω σχέση βλέπουμε ότι ο χρήστης με το μικρότερο κέρδος του γκρουπ 1 ομαδοποιείται με αυτόν που έχει το μικρότερο κέρδος από το γκρουπ 2. Αυτό συνεχίζει να γίνεται και για τους χρήστες με το επόμενο κατά σειρά μικρότερο κέρδος. Η διαδικασία αυτή τελειώνει με την ομαδοποίηση των χρηστών με το υψηλότερο κέρδος από κάθε γκρουπ.

Το σημαντικό πλεονέκτημα μέσω του UCGD ταιριάσματος χρηστών είναι ότι έχουμε αύξηση της χωρητικότητας των μεσαίων χρηστών. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτοί οι χρήστες δεν ομαδοποιούνται με χρήστες με παρόμοιο κέρδος, αλλά με χρήστες από άλλη κατηγορία (π.χ. στα άκρα της κυψέλης) και έτσι μειώνονται οι παρεμβολές στο μέσο της κυψέλης.

Αναφορικά με τους ρυθμούς δεδομένων, προκύπτει ότι υπάρχει μια μείωση στους low-gain χρήστες του UCGD ταιριάσματος. Αυτό συμβαίνει διότι πλέον αυτοί ταιριάζουν με χρήστες που βρίσκονται στο μέσο της κυψέλης αντί στο κέντρο. Έτσι, υπάρχει μια μικρή μείωση στην κατανομή ισχύος για τους χρήστες στα άκρα της κυψέλης που οδηγεί και στην μείωση των ρυθμών δεδομένων. Αντίθετα, στους high-gain χρήστες του UCGD ταιριάσματος υπάρχει μια αύξηση αυτών. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτοί ομαδοποιούνται με τους μεσαίους χρήστες αντί με αυτούς στα άκρα της κυψέλης, των οποίων η απαίτηση ισχύος είναι μικρότερη από τους χρήστες που βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης. Έτσι, έχουμε κάποια αύξηση στην κατανομή ισχύος για χρήστες με υψηλό κέρδος, το οποίο οδηγεί και στην αύξηση της χωρητικότητας τους.

4.1.2 Υβριδικό Ταίριασμα

Το ταίριασμα χρηστών μέσω του hybrid pairing περιγράφεται παρακάτω. Εδώ, όσο υπάρχει υψηλή διαφορά κέρδους οι χρήστες που βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης ομαδοποιούνται μεταξύ τους, αυτό συμβαίνει στο συμβατικό κοντά-μακριά ταίριασμα (conventional near-far pairing), αλλά όσο ελαχιστοποιείται η διαφορά τότε ακολουθείται η λογική του UCGD pairing. Θεωρούμε ότι τα κέρδη καναλιού είναι ταξινομημένα ως εξής:

$$|h_1|^2, |h_2|^2, \dots, |h_k|^2 \dots \left| h_{\frac{N}{2}} \right|^2, \left| h_{\frac{N}{2}+1} \right|^2, \left| h_{\frac{N}{2}+2} \right|^2 \dots \left| h_{\frac{N}{2}+k} \right|^2, \dots, |h_N|^2 \quad (\text{Σχ. 29 [46]})$$

Όπου:

1. Το k υποδηλώνει το σημείο μετάβασης από το conventional near-far pairing στο UCGD pairing.

Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται τα εξής δυο γκρουπ χρηστών που παρουσιάζονται στα παρακάτω σύνολα.

$$\mathbf{G}_1 = \left\{ |h_1|^2, |h_2|^2 \dots |h_k|^2, |h_{k+1}|^2 \dots \left| h_{\frac{N}{2}} \right|^2 \right\} \quad (\text{Σχ. 30 [46]})$$

$$\mathbf{G}_2 = \left\{ \left| h_{\frac{N}{2}+1} \right|^2, \left| h_{\frac{N}{2}+2} \right|^2 \dots \left| h_{\frac{N}{2}+k} \right|^2 \dots |h_N|^2 \right\} \quad (\text{Σχ. 31 [46]})$$

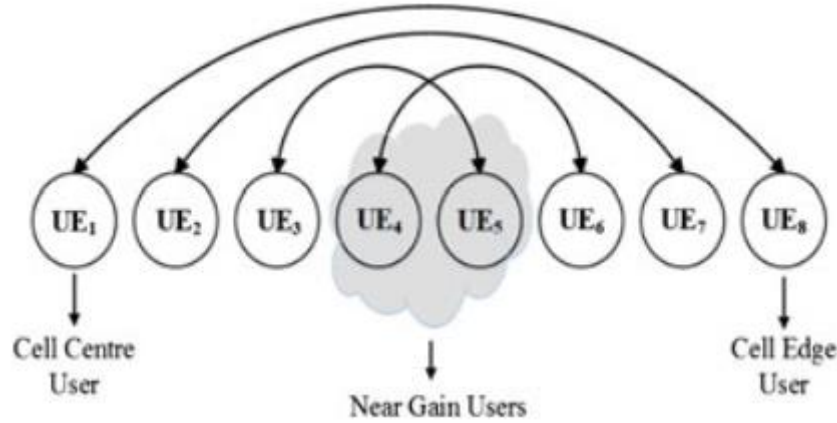


Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Επομένως, είμαστε σε θέση να απεικονίσουμε την λογική του hybrid pairing και σχηματικά όπως φαίνεται και παρακάτω.



Σχήμα 20: Hybrid pairing [46].

Ο μηχανισμός ομαδοποίησης των χρηστών περιγράφεται από την παρακάτω γενική μορφή.

$$Pair_l \begin{cases} |h_i|^2, |h_{N+1-i}|^2, \forall 1 \leq i, l < k \\ |h_i|^2, \left| h_{\frac{N}{2}+i-k+1} \right|^2, \forall k \leq i, l \leq \frac{N}{2} \end{cases} \quad (\Sigma\chi. 32 [46])$$

Από την παραπάνω σχέση μπορούμε να δούμε ότι ο χρήστης με το χαμηλότερο κέρδος ομαδοποιείται μαζί με αυτόν που έχει το υψηλότερο κέρδος, δηλαδή $Pair_1 = (|h_1|^2, |h_N|^2)$. Αυτό γίνεται και για τα επόμενα μέχρι να φτάσουμε στο σημείο k , όπου και ακολουθούμε στην συνέχεια το UCGD pairing. Αναφορικά, με την χωρητικότητα μπορούμε να πούμε ότι στους low-gain χρήστες αυξάνεται όταν ομαδοποιούνται με high-gain χρήστες, ενώ μειώνεται όταν γίνεται το αντίθετο λόγω της χαμηλής ισχύος. Αυτό επιτυγχάνεται και στο conventional near-far pairing, ενώ από την στιγμή που αλλάξουμε το σχήμα σε UCGD pairing τότε επιτυγχάνουμε την χωρητικότητα που αναφέραμε για το UCGD pairing.



4.2 Αντιμετώπιση της απώλειας μετάδοσης

Υποθέτουμε ότι έχουμε ένα μοντέλο συστήματος που περιγράφεται από το εξής σενάριο. Σε αυτό υπάρχει ένας BS ο οποίος ταυτόχρονα μεταδίδει σε K χρήστες μονής κεραίας. Η απώλεια μετάδοσης της πληροφορίας από τον σταθμό βάσης στους χρήστες θεωρείται δεδομένη και προκαλείται από τις παρεμβολές που υφίστανται τα μεταδιδόμενα σύμβολα που θέλει να μεταδώσει η εκάστοτε πηγή. Για αυτό τον λόγο διαφορετικά σχήματα κωδικοποίησης της πηγής και του καναλιού έχουν αναπτυχθεί έτσι ώστε να μειώσουν την απώλεια μετάδοσης απ' άκρον εις άκρον στα κανάλια εξασθένισης (fading channels). Μια μαθηματική εξίσωση που περιγράφει την απώλεια μετάδοσης D του k χρήστη είναι η εξής παρακάτω:

$$D_k(R_k) = \sigma^2 2^{-2R_k} \text{ (Σχ. 33 [47])}$$

Ενώ η αναμενόμενη απώλεια E μπορεί να περιγραφεί και ως εξής:

$$E_k(D_k) = D_k(R_k)(1 - P_{out}^{(k)}) + \sigma^2 P_{out}^{(k)} \text{ (Σχ. 34 [47])}$$

Σε αυτό το σενάριο, γνωρίζουμε ότι ο επιτεύξιμος ρυθμός δεδομένων δίνεται από την εξής σχέση:

$$R_k = B \log(1 + \gamma_k) \text{ (Σχ. 35 [47])}$$

Όπου:

1. $\gamma_k = \frac{\beta_k P |h_k|^2}{P |h_k|^2 \sum_{l=k+1}^K \beta_l + \sigma_k^2}$ είναι το SNR του k χρήστη.
2. B , το εύρος ζώνης του συστήματος.
3. P , η συνολική ισχύς μετάδοσης.
4. h , ο συντελεστής καναλιού.
5. σ , η διασπορά.

Επιπλέον όπως είναι γνωστό η πιθανότητα διακοπής είναι η πιθανότητα ένας συγκεκριμένος χρήστης να βρίσκεται σε διακοπή. Έτσι, με την βοήθεια της Σχ. 35 η χωρητικότητα αυτής της διακοπής για τον k χρήστη υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$R_{out}^{(k)} = B \log(1 + \gamma_k)(1 - P_{out}^{(k)}) \text{ (Σχ. 36 [47])}$$

Οπότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η αναμενόμενη απώλεια E για έναν χρήστη k μπορεί να εκφραστεί πλέον και με τον όρο της πιθανότητας διακοπής όπως φαίνεται και στην παρακάτω σχέση.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

$$E_k(D_k) = \sigma^2 2^{-2R_k} (1 - P_{out}^{(k)}) + \sigma^2 P_{out}^{(k)} \quad (\text{Σχ. 37 [47]})$$

Σύμφωνα με τους Islam και Kwak [47], τα αποτελέσματα για την ανάλυση της χωρητικότητας διακοπής αλλά και της αναμενόμενης απώλειας μας βοήθησαν στο να καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα. Με βάση τις καμπύλες από το (Σχήμα 1 [47]) αξίζει να αναφέρουμε ότι ο ισχυρός χρήστης πετυχαίνει μέγιστη χωρητικότητα διακοπής για μικρό εύρος τιμών της πιθανότητας διακοπής αντίθετα με τον ασθενή χρήστη. Επιπλέον με βάση το (Σχήμα 2 [47]) μπορούμε να πούμε ότι ο ισχυρός χρήστης πετυχαίνει ελάχιστη απώλεια μετάδοσης σε στενό εύρος τιμών της πιθανότητας διακοπής, ενώ αντίθετα ο ασθενής χρήστης σε ένα πιο φαρδύ εύρος τιμών. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι δεν μπορούμε να έχουμε ταυτόχρονα μέγιστη χωρητικότητα διακοπής και ελάχιστη απώλεια μετάδοσης. Στην NOMA τα χαρακτηριστικά των δυο προαναφερθέντων μετρικών επίδοσης διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των ισχυρών και ασθενών χρηστών, αλλά όμως όλοι τους τα βιώνουν σε διαφορετικό εύρος τιμών της πιθανότητας διακοπής.

4.3 Κατανομή πόρων

Όπως είναι γνωστό τα 5G συστήματα θα πρέπει να είναι ικανά να υποστηρίξουν υψηλούς ρυθμούς δεδομένων κάτω από μια πολύ χαμηλή καθυστέρηση. Αυτό είναι δύσκολο να συμβεί από την στιγμή που οι πόροι είναι περιορισμένοι. Όποτε έγκειται το πρόβλημα της κατανομής των πόρων αλλά και η ανάγκη της σωστής διαχείρισης αυτών των διαθέσιμων πόρων. Η διαχείριση των πόρων αποτελείται από μια σειρά διαδικασιών, μέσα από τις οποίες προκύπτει ο χρονοπρογραμματισμός των πόρων αυτών που θα αποδοθούν στον εκάστοτε χρήστη [48]. Γνωρίζουμε ότι το συνολικό εύρος ζώνης BW διαιρείται σε επιμέρους τμήματα (subbands), όπου το κάθε ένα αποδίδεται σε έναν χρήστη ή σε ένα σύνολο χρηστών (το οποίο συμβαίνει στην NOMA). Με την πάροδο του χρόνου ο αριθμός των πακέτων διαφέρει για κάθε χρήστη. Επομένως, το ταίριασμα των χρηστών και η βέλτιστη κατανομή ισχύος μεταξύ των χρηστών στην NOMA προϋποθέτει έναν αλγόριθμο ο οποίος θα προσφέρει την βέλτιστη απόδοση με τους λιγότερους πόρους.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε μια τεχνική κατανομή πόρων που παρέχει σε κάθε χρήστη τον απαιτούμενο ρυθμό δεδομένων κάτω από τον ελάχιστο αριθμό subbands αλλά και από μια επιτρεπτή μέγιστη ισχύ μετάδοσης. Αυτή μπορεί να διατυπωθεί μαθηματικά ως εξής:

$$\text{minimize}_{P_{s,k}} \sum_{k=1}^K \text{card}(S_k) \quad (\text{Σχ. 38 [49]})$$

Όπου:

1. $P_{s,k}$: η ισχύς μετάδοσης του χρήστη k για το subband s .
2. K : το σύνολο των χρηστών.
3. S_k : όλα τα subbands που έχουν δεσμευτεί από τον χρήστη k , ενώ γνωρίζουμε παράλληλα τα διαθέσιμα subbands (S - S_k).



4. $card(S_k)$: αναπαριστά το πλήθος των subband που δεσμεύονται για τον χρήστη k .

Η παραπάνω σχέση έχει ως στόχο να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των subbands κάτω από τους εξής περιορισμούς των παρακάτω σχέσεων:

$$\sum_{s \in S_k} R_{s,k} = R_{k,requested}, \quad \forall k, 1 \leq k \leq K \quad (\text{Σχ. 39 [49]})$$

$$\sum_{k=1}^K (\sum_{s \in S_k} P_{s,k}) \leq P_{max} \quad (\text{Σχ. 40 [49]})$$

$$P_{s,k} \geq 0, \quad \forall s \in S_k, 1 \leq k \leq K \quad (\text{Σχ. 41 [49]})$$

Όπου:

1. $R_{s,k}$: ο επιτευξιμος ρυθμός δεδομένων του χρήστη k για το subband s .
2. $R_{k,requested}$: ο ρυθμός δεδομένων που ζητά ο χρήστης k από τον BS.
3. $P_{s,k}$: η ισχύς μετάδοσης του χρήστη k για το subband s .

Όπως αναφέρουν οι συγγραφείς του [49], το σύστημα για την κατανομή πόρων στην NOMA πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του τους ακόλουθους σχεδιαστικούς περιορισμούς. Αυτοί οι περιορισμοί είναι η επιλογή του σχήματος για το ταίριασμα των χρηστών, η κατανομή ισχύος μεταξύ των subbands αλλά και η διαίρεση ισχύος που θα γίνει μεταξύ των ζευγαριών μέσα στο ίδιο subband. Έτσι η τεχνική που έχει προταθεί λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω διαιρεί το πρόβλημα σε επιμέρους μικρότερα βήματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

4.3.1 Αρχικοποίηση και εκχώρηση προτεραιότητας

Σε αυτό το βήμα θέτουμε ποιος χρήστης από όλο το σύνολο χρηστών έχει προτεραιότητα. Ο σταθμός στηρίζεται στα κέρδη καναλιού μεταξύ του εκάστοτε χρήστη και του ίδιου του σταθμού. Τα κέρδη του καναλιού ομαδοποιούνται σε έναν πίνακα \mathbf{H} , διαστάσεων $S \times K$. Αρχικά οι ισχύς μετάδοσης των χρηστών και οι ρυθμοί δεδομένων τους είναι ίσοι με το μηδέν. Έτσι ο σταθμός βάσης ορίζει την προτεραιότητα των χρηστών με τον εξής τρόπο:

1. Για κάθε χρήστη k επιλέγει την μέγιστη τιμή κέρδους καναλιού από όλες τις τιμές της k -στήλης του πίνακα.
2. Ο χρήστης με την υψηλότερη προτεραιότητα είναι αυτός που έχει το χαμηλότερο καλύτερο κέρδος καναλιού.

4.3.2 Εκχώρηση Subband και ταίριασμα χρηστών

Επόμενο βήμα είναι να γίνει το ταίριασμα των χρηστών για κάθε ένα subband. Αυτό πραγματοποιείται με τον εξής τρόπο:

1. Βήμα 1: User selection

Επιλογή του χρήστη k_1 , ο οποίος θέλει να επικοινωνήσει αλλά δεν έχει επιτύχει τον ρυθμό δεδομένων που έχει θέσει. Η επιλογή του χρήστη υπακούει στα εξής κριτήρια:



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

- a. Όσο υπάρχουν τουλάχιστον 2 χρήστες οι οποίοι έχουν ρυθμούς δεδομένων ίσοι με μηδέν, τότε επιλέγει τον χρήστη k_1 με τον τρόπο που ορίζει το Βήμα 1.
- b. Μόλις τα παραπάνω κριτήρια παύουν να ικανοποιούνται ή όταν υπάρχει ακόμη ένας χρήστης με μηδενικό ρυθμό δεδομένων, τότε επιλέγεται ο χρήστης k_1 που είχε την μεγαλύτερη απόκλιση ρυθμού δεδομένων σε σχέση με αυτόν που είχε ζητήσει.

2. Βήμα 2: Subband assignment

Δηλώνουμε ως s_f το ευνοϊκότερο subband για τον χρήστη k_1 , δηλαδή αυτό με το μεγαλύτερο κέρδος καναλιού. Αυτό πλέον αφαιρείται από τα διαθέσιμα subbands.

3. Βήμα 3: User pairing

Επιλογή του χρήστη m με σκοπό να ταιριάζει μαζί με τον χρήστη k_1 για το subband s_f . Το ταιρίασμα αυτό μπορεί να γίνει με τους δυο παρακάτω τρόπους:

- a. *Pairing 1*: Ο χρήστης k_2 που έχει το επόμενο χαμηλότερο κέρδος καναλιού για το subband s_f , συγκριτικά με τον χρήστη k_1 , είναι και αυτός που επιλέγετε για να ταιριάζει με τον χρήστη k_1 .
- b. *Pairing 2*: Εδώ επιλέγετε ο χρήστης k_2 που έχει το χειρότερο κέρδος καναλιού για το subband s_f .

Και στις 2 περιπτώσεις ταιριάσματος, το κέρδος καναλιού του χρήστη k_2 είναι μικρότερο από αυτό του χρήστη k_1 . Έτσι ο χρήστης m δεν εκτελεί την μέθοδο SIC, αλλά αντιμετωπίζει το σήμα του χρήστη k_1 ως θόρυβο. Στην περίπτωση που έχουμε περισσότερους από δύο χρήστες, δηλαδή αυξήσουμε τον αριθμό των προγραμματισμένων χρηστών, τότε το Βήμα 1 και το Βήμα 2 παραμένουν ίδια, αλλά το Βήμα 3 αλλάζει. Οι αλλαγές περιλαμβάνουν ότι πλέον έχουμε $n(s_f)-1$ χρήστες που μπορούν να ταιριάζουν με τον χρήστη k_1 , όπου το $n(s_f)$ δηλώνει τον αριθμό των προγραμματισμένων χρηστών για το s_f . Υπάρχουν δυο τρόποι για τον προγραμματισμό των χρηστών:

- a. Οι $n(s_f)-1$ χρήστες που επιλέγονται είναι αυτοί οι οποίοι έχουν ελάχιστα μικρότερη τιμή κέρδους καναλιού από τον χρήστη k_1 .
- b. Οι χρήστες που έχουν αρκετά μικρότερο κέρδος καναλιού από αυτό του χρήστη k_1 διαιρούνται σε $n(s_f)-1$ γκρουπ, όπου θα προγραμματιστούν μαζί οι χρήστες που έχουν το χειρότερο κέρδος καναλιού για κάθε ένα από τα γκρουπ του s_f .

4. Βήμα 4: Inverting roles

Στην περίπτωση που ο χρήστης k_1 έχει το μικρότερο κέρδος καναλιού για το s_f , τότε επιλέγετε ο χρήστης k_2 που έχει το μεγαλύτερο κέρδος καναλιού στο s_f εάν έχει υιοθετηθεί το pairing 2 του βήματος 3. Αλλιώς αν έχει υιοθετηθεί το pairing 1 τότε επιλέγετε ο χρήστης k_2 που έχει το επόμενο μεγαλύτερο κέρδος από αυτό του χρήστη k_1 για το subband s_f .



4.3.3 Κατανομή ισχύος πολλαπλών χρηστών

Η επόμενη σε σειρά διαδικασία αφορά την κατανομή ισχύος στους χρήστες. Αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με κάποια από τις εξής παρακάτω τεχνικές.

4.3.3.1 Τεχνική 1: Power Allocation According to the Actual Achieved Throughput

Αυτή η τεχνική αποτελείται από δυο επιμέρους βήματα. Στο πρώτο βήμα, η ισχύ κατανέμεται σε κάθε subband ανάλογα με την απόδοση και τον ρυθμό δεδομένων που έχει επιτευχθεί. Αυτή υπολογίζεται ως εξής:

$$P_s = \frac{d_{s,k_1}^2 + d_{s,k_2}^2}{\sum_{s \in S_u} d_{s,k_1}^2 + \sum_{s \in S_u} d_{s,k_2}^2} \times P_{rem} \quad , s \in S_u \quad (\Sigma\chi. 42 [49])$$

Όπου:

1. $d_{s,k}$: δηλώνει την απόσταση μεταξύ της απόδοσης του εκάστοτε χρήστη k και του αιτούμενου ρυθμού δεδομένων για το subband s .

Στην συνέχεια η ισχύς διαιρείται σε κάθε ένα subband με βάση τον αλγόριθμο κλασματικής κατανομής ισχύος μετάδοσης (Fractional Transmit Power Allocation - FTPA) που παρουσιάζεται παρακάτω. Η κατανομή ισχύος μέσω του FTPA γίνεται με έναν δυναμικό τρόπο που βασίζεται στα κέρδη καναλιού των δυο πολυπλεγμένων χρηστών. Έτσι το β_s μπορεί να περιγραφεί με τον εξής τύπο:

$$\beta_s = \frac{h_{s,k_1}^{-2a}}{h_{s,k_1}^{-2a} + h_{s,k_2}^{-2a}} \quad (\Sigma\chi. 43 [49])$$

Όπου:

1. το a δηλώνει το ποσοστό που διαιρείται η ισχύς για να αποδοθεί στον χρήστη k_2 και πρέπει να ισχύει $0 \leq a \leq 1$.

Έτσι η ισχύς που κατανέμεται σε κάθε προγραμματισμένο χρήστη k_n για κάθε ένα subband περιγράφεται από την παρακάτω σχέση.

$$P_{s,k_n} = P_s \frac{(h_{s,k_n}^2)^{-a}}{\sum_{j \in N_s} (h_{s,k_j}^2)^{-a}} \quad , s \in S_u \quad (\Sigma\chi. 44 [49])$$

4.3.3.2 Τεχνική 2: Static Power Allocation

Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται τακτικά όταν πρόκειται για την τεχνική NOMA. Αυτή η τεχνική προϋποθέτει το ιδανικό μοίρασμα της ισχύος μετάδοσης στα επιμέρους subbands. Αναλυτικότερα, αυτή κατανέμει εξίσου, για κάθε στάδιο της επαναληπτικής διαδικασίας της κατανομής ισχύος, την υπόλοιπη ισχύ P_{rem} στα επιμέρους subbands στα οποία οι χρήστες δεν έχουν φτάσει τον απαιτούμενο ρυθμό δεδομένων. Η ισχύς που αποδίδεται σε κάθε subband υπολογίζεται ως εξής:



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

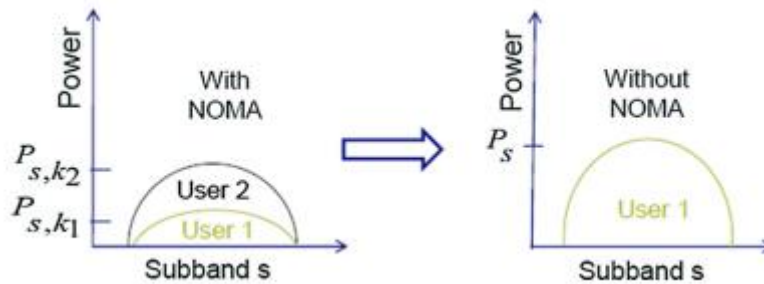
Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

$$P_s = \frac{P_{rem}}{N_u}, s \in S_u \text{ (Σχ. 45 [49])}$$

Στην συνέχεια η P_s κατανέμεται στα ζευγάρια χρηστών του κάθε subband μέσω του FTPA αλγόριθμου.

4.3.4 Προσαρμοσμένη μετάβαση στην ορθογώνια σηματοδοσία

Μερικές φορές έχουμε μεγαλύτερη απώλεια ρυθμού δεδομένων για έναν χρήστη k_1 , όταν αυτός μοιράζεται το ίδιο subband με έναν άλλον χρήστη k_2 . Σε αυτήν την περίπτωση που απεικονίζεται και στο **Σχήμα 21** δεν αποτελεί κατάλληλη λύση η NOMA, ενώ θα πρέπει να διαθέσουμε εξ ολοκλήρου το subband για τον χρήστη k_1 .



Σχήμα 21: Adaptive switching from NOMA to Orthogonal Signaling [49].

Αυτό μας οδηγεί στο να μεταβούμε σε ορθογώνια επεξεργασία του σήματος από την στιγμή που ισχύει η παρακάτω συνθήκη:

$$\gamma(R_s - R_{s,k_1}) > R_{s,k_2} \text{ (Σχ. 46 [49])}$$

Όπου το R_s υποδηλώνει τον ρυθμό δεδομένων της OMA.

4.3.5 Εκτίμηση Ρυθμού Δεδομένων και Μηχανισμός Ελέγχου

Στο τέλος κάθε φάσης και αφού έχει κατανεμηθεί σε όλους τους χρήστες η ισχύς, ο αλγόριθμος ελέγχει τους ρυθμούς δεδομένων τους. Στην περίπτωση που ο χρήστης έχει φτάσει το επιθυμητό επίπεδο ρυθμού δεδομένων, δηλαδή αν $R_{k_1,total}$ ισούται με το $R_{k_1,requested}$, τότε αυτός αφαιρείται από το σύνολο διαθέσιμων χρηστών. Έτσι, μαζί με τον χρήστη και το subband στο οποίο αντιστοιχεί ο χρήστης παύει πλέον να συμμετέχει στην επαναληπτική διαδικασία. Στην συνέχεια η ισχύς που έχει κατανεμηθεί σε κάθε χρήστη αφαιρείται από την διαθέσιμη ισχύ P_{rem} . Στην περίπτωση που ο ρυθμός δεδομένων του χρήστη είναι μεγαλύτερος από αυτόν που είχε ζητήσει, δηλαδή $R_{k_1,total} > R_{k_1,requested}$, θα πρέπει να μειωθεί έτσι ώστε να φτάσει ακριβώς στο επίπεδο που είχε ζητήσει.

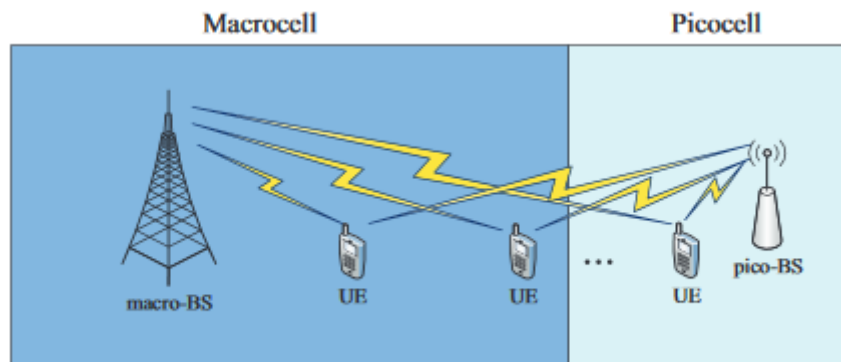


4.4 Ετερογενή Δίκτυα

Τα ετερογενή δίκτυα (Heterogeneous Networks - HetNets) αποτελούν ένα ελπιδοφόρο παράδειγμα δικτύου για τα 5G συστήματα που έχει ως σκοπό την αύξηση της απόδοσης του συστήματος και την μείωση των παρεμβολών που υπάρχουν μέσα στην κυψέλη. Το HetNet αποτελείται από έναν macro BS και από υποβαθμισμένους σταθμούς βάσης (BSs) χαμηλότερης ισχύος και μικρότερης κάλυψης, τους pico BSs. Ουσιαστικά, η βασική ιδέα των HetNets είναι να μετακινήσει τους υποβαθμισμένους BSs πιο κοντά στους χρήστες που εξυπηρετούνται προκειμένου έτσι να σχηματιστούν πιο μικρές κυψέλες (π.χ. microcell, femtocell) μέσα στην μακρο-κυψέλη. Ωστόσο η πυκνή τοποθέτηση αυτών των μικρών κυψελών δημιουργεί ευκαιρίες και προκλήσεις. Οι χρήστες που είναι στα άκρα των μικρών κυψελών μπορεί να υποφέρουν από τις παρεμβολές των γειτονικών υψηλής ισχύος κυψελών. Έτσι, παρουσιάζεται η ανάγκη της χρησιμοποίησης συνεργατικών (cooperative) τεχνικών, μέσω αναμεταδοτών, προκειμένου να μειωθούν αυτές οι παρεμβολές [50].

Επιπλέον τα HetNets μπορούν να αυξήσουν την χωρητικότητα του συστήματος από την στιγμή που οι cell-edge χρήστες έχουν την δυνατότητα να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα από τον macro BS και από τον pico BS. Έτσι με την χρήση της NOMA στους χρήστες μπορούμε να λαμβάνουμε ταυτόχρονα διαφορετικά δεδομένα και από τους δυο σταθμούς βάσης. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε ένα συνεργατικό NOMA σχήμα για το HetNet, το οποίο εκμεταλλεύεται τις άνισες τιμές ισχύος από τους διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Σε αυτό το σχήμα, κάθε σταθμός βάσης διαθέτει πολλαπλές κεραιές μετάδοσης έτσι ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα πολλούς χρήστες μέσω της dirty paper κωδικοποίησης (DPC), η οποία μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις παρεμβολές. Από την πλευρά της NOMA στον δέκτη χρησιμοποιείται η SIC για την διαδοχική ακύρωση των παρεμβολών.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε το μοντέλο συστήματος του HetNet στην κάτω ζεύξη το οποίο απεικονίζεται και στο **Σχήμα 22**. Εδώ, κάθε κυψέλη φιλοξενεί έναν macro BS (mBS) και πολλούς επιμέρους pico BSs (pBSs). Δηλώνουμε με N_m τον συνολικό αριθμό των mBS και με N_p τον συνολικό αριθμό των pBSs. Ένας mBS έχει υψηλή ισχύ μετάδοσης P_m , η οποία χρησιμοποιείται για να παρέχει την απαιτούμενη κάλυψη. Αντίθετα ο pBS έχει χαμηλότερη ισχύ μετάδοσης P_p για να υποστηρίξει τους cell-edge χρήστες αλλά και για να ενισχύσει τοπικά την χωρητικότητα. Όπως αναφέραμε κάθε σταθμός διαθέτει πολλαπλές κεραιές μετάδοσης, ενώ οι χρήστες διαθέτουν μια κεραιά λήψης.



Σχήμα 22: Wireless Heterogeneous Networks [51].

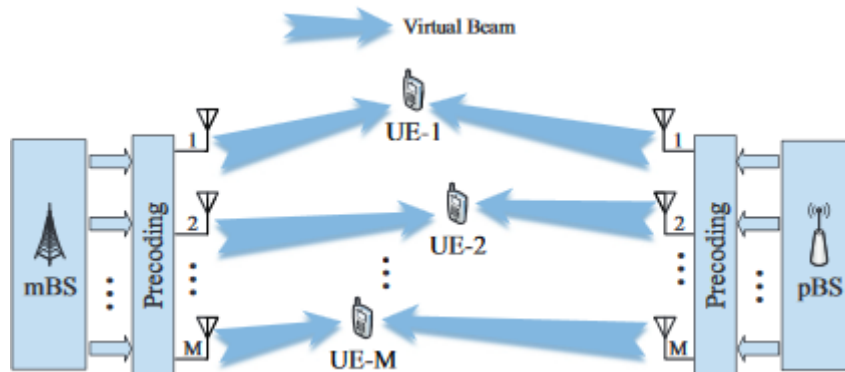


Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Όπως αναφέραμε προηγουμένως η DPC εφαρμόζεται στις μεταδόσεις του σταθμού βάσης προς τους χρήστες, όσο η NOMA εφαρμόζεται στις μεταδόσεις των BSs προς τους χρήστες μονής κεραίας. Αυτό το DPC+NOMA σχήμα απεικονίζεται παρακάτω και στο **Σχήμα 23**. Όπως βλέπουμε στο σχήμα αυτό, μετά την χρήση της DPC, οι σταθμοί pBS και mBS μεταδίδουν πολλαπλά beams όπως γίνεται και σε ένα MU-MIMO σύστημα. Έτσι, κάθε χρήστης λαμβάνει δυο beams, ένα από τον pBS και ένα από τον mBS, τα οποία δημιουργούν το υπερτιθέμενο σήμα του εκάστοτε χρήστη.



Σχήμα 23: Transmission Channel Model [51].

Αυτό το σχήμα για να μεγιστοποιήσει την συνολική του απόδοση πρέπει σε κάθε προγραμματισμένο κύκλο και για κάθε resource block (RB):

1. ο χρήστης να συνεργάζεται με όλους τους σταθμούς βάσης.
2. ο κάθε χρήστης της κυψέλης μέσω της NOMA να δέχεται διαφορετικά δεδομένα από τους σταθμούς βάσης.

Ο παρακάτω αλγόριθμος που θα περιγράψουμε προσπαθεί να υλοποιήσει τα παραπάνω. Έτσι αφού οριστεί το συγκεκριμένο ζευγάρι σταθμών βάσεων (mBS, pBS), τα υπόλοιπα pBSs μεταβαίνουν σε «λειτουργία σίγασης» έτσι ώστε να μην υπάρξει παρεμβολή. Ωστόσο λόγω του ότι πολλοί χρήστες της ίδιας περιοχής μπορούν να εξυπηρετηθούν από έναν MIMO BS είναι αναγκαίο να βρεθεί ο καλύτερος χρήστης αυτής της περιοχής. Αρχικά, ο αλγόριθμος πρέπει να κωδικοποιήσει την παρακάτω ακολουθία από bits:

$$C_i = [mBS][pBS][UE 1] \dots [UE M] \text{ (}\Sigma\chi. 47 \text{ [51])}$$

Όπου το mBS είναι η δυαδική ακολουθία του όρου mBS και αντίστοιχα για τα υπόλοιπα. Μετά την κωδικοποίηση ο αλγόριθμος προσδιορίζει κάποιες πιθανές λύσεις. Αυτός αποτελείται από 4 βήματα και εκτελείται επαναληπτικά μέχρι να επιλεγεί μια λύση. Αυτά είναι τα εξής:

1. Προσδιορισμός πιθανών λύσεων βασιζόμενος στην **Σχ. 47**, όπου παράγονται N πιθανές λύσεις.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

2. Επιλογή χρήστη: Μέσα από την fitness function (Σχήμα 9 του άρθρου [51]) κρατάμε τον πιθανό χρήστη που πετυχαίνει την υψηλότερη συνολική απόδοση.
3. Genetic operation: Μετά την επιλογή του χρήστη, ο αλγόριθμος δημιουργεί άλλο ένα πλήθος πιθανών λύσεων από τις ήδη φιλτραρισμένες λύσεις που μας έδωσε η fitness function στο βήμα 2. Η αλλαγή της τιμής έστω και ενός bit δημιουργεί μια πιθανή λύση.
4. Termination: Αξιολογούνται οι καινούργιες πιθανές λύσεις μέσω της fitness function και έτσι εντοπίζεται η περιοχή που έχει τον χρήστη με την μεγαλύτερη συνολική απόδοση.

Η διαδικασία τερματίζει αν έστω μια από τις παρακάτω συνθήκες ικανοποιείται, αλλιώς η διαδικασία συνεχίζει από το βήμα 2. Οι συνθήκες αυτές είναι οι εξής:

1. Η διαφορά των τιμών μεταξύ της νέας λύσης και της μητρική της να είναι μικρότερες από το όριο (threshold).
2. Ο τρέχων αριθμός των επαναλήψεων να ξεπεράσει τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων που είχαμε θέσει.

4.5 Ομοιόμορφη Δίκαιη Πρόσβαση

Στα χιλιοστομετρικού μήκους (Millimeter Wave - mmWave) δίκτυα σε απόσταση μεγαλύτερη από 175 μέτρων, οι περισσότερες θέσεις παρουσιάζουν διακοπή σήματος [52]. Δεδομένου ότι η διακοπή εξαρτάται από την γεωμετρική τοποθέτηση του χρήστη σε μεγάλο βαθμό, απαιτείται η παράδοση ενός σχήματος NOMA που θα παρέχει ομοιόμορφη διακοπή στους χρήστες. Παρακάτω θεωρούμε ένα σενάριο άνω ζεύξης, το οποίο στοχεύει μέσω της αξιοποίησης των τεχνικών mmWave και NOMA να βελτιστοποιήσει την χρήση των πόρων του δικτύου.

Αυτό το σενάριο περιγράφει ένα NOMA σύστημα το οποίο τουλάχιστον υποστηρίζει 2M τυχαίους χρήστες, οι οποίοι διακρίνονται σε ισχυρούς και ασθενείς ανάλογα με το κέρδος καναλιού. Οι χρήστες φιλοξενούνται κάτω από μια ενιαία μεγάλη ζώνη συχνοτήτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να βελτιώνει τους ρυθμούς δεδομένων των χρηστών αλλά να προκαλεί παράλληλα και παρεμβολές μεταξύ τους. Αρχικά πρέπει να περιγράψουμε την απώλεια διαδρομής [53] για ένα mmWave σύστημα η οποία δίνεται από την εξής παρακάτω εξίσωση που είναι εκφρασμένη σε dB:

$$L_{mm}(r) = p + 10a \log(r) + X_{mm} \text{ (Σχ. 48 [54])}$$

Όπου:

1. r : είναι η απόσταση του χρήστη από τον σταθμό βάσης.
2. X_{mm} : είναι η μεταβλητή που χρησιμοποιείται για την εξασθένιση.
3. a : εκθέτης για την απώλεια διαδρομής.
4. p : η σταθερή απώλεια διαδρομής για το $L_{mm}(r)$ δίνεται από $p = 32.4 + 20 \log(fc)$.

Στην συνέχεια εφόσον έχει εφαρμοστεί η ZF και η SIC για το σύστημα μας μπορούμε να υπολογίσουμε το SINR των ισχυρών και ασθενών χρηστών, τα οποία περιγράφονται από τις εξής παρακάτω σχέσεις.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Για τους ισχυρούς χρήστες υπολογίζεται ως:

$$SINR_{n,1} = \frac{|w_{n,1}h_{n,1}|^2 \beta_{n,1} P_{n,1}}{\sum_{j=1}^{K/2} |w_{n,1}h_{j,2}|^2 \beta_{j,2} P_{j,2} + \sigma_n^2} \quad (\text{Σχ. 49 [54]})$$

Ενώ για τους ασθενείς χρήστες με τον ακόλουθο τύπο:

$$SINR_{n,2} = \frac{|w_{n,2}h_{n,2}|^2 \beta_{n,2} P_{n,2}}{\sigma_n^2} \quad (\text{Σχ. 50 [54]})$$

Όπου γενικά ισχύει ότι:

1. **W**: είναι ο postcoding πίνακας που προκύπτει από την zero-forcing για τους χρήστες.
2. **H**: είναι ο συντελεστής καναλιού.
3. β : παράγοντας για την κατανομή ισχύος.
4. σ : είναι η διασπορά.
5. **P**: είναι η μεταδιδόμενη ισχύς.

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο (Σχήμα 7 [54]) και των προαναφερθέντων εξισώσεων, μπορούμε να πούμε ότι η καμπύλη της πιθανότητας διακοπής προς το SINR ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή για όλο το εύρος ζώνης των 2GHz με φέρον συχνότητα $f_c = 94$ GHz. Αξίζει να αναφέρουμε ότι τα χαρακτηριστικά διάδοσης του mmWave δικτύου καθορίστηκαν για αποστάσεις 200-300 μέτρων.



5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συνεργατικού NOMA δικτύου για την κάτω ζεύξη υπό τους όρους της πιθανότητας διακοπής και του μέσου ρυθμού μετάδοσης (average throughput). Το σενάριο που προσομοιώσαμε περιλαμβάνει έναν BS που ταυτόχρονα επικοινωνεί με τους δυο χρήστες (χρήστη m , χρήστη n) μέσω ενός αναμεταδότη. Οι δύο χρήστες αποτελούν ένα ζευγάρι χρηστών το οποίο επικοινωνεί μέσω NOMA με την πηγή πληροφορίας. Σε αυτό το σενάριο θεωρούμε ότι η σύνδεση σταθμού βάσης και αναμεταδότη $\{S \rightarrow R \text{ link}\}$ πραγματοποιείται με την λήψη του σήματος από τον αναμεταδότη, ο οποίος το ενισχύει και το προωθεί στον προορισμό του δίχως κάποια αποκωδικοποίηση. Όποτε ο αναμεταδότης πάντα έχει επιτυχημένη μετάδοση στο $S \rightarrow R$ και μπορούμε να πούμε ότι λειτουργεί σαν «πηγή».

Αναφορικά με την σύνδεση αναμεταδότη με χρήστες $\{R \rightarrow D \text{ link}\}$ θέτουμε ότι παρουσιάζεται διακοπή όταν το στιγμιαίο SINR βρίσκεται κάτω από κατώφλι λήψης. Στο σενάριο μας οι τιμές που αποδίδονται για το κατώφλι είναι 1 bps/Hz και 3 bps/Hz. Επιπρόσθετα για τον υπολογισμό του απ' άκρον εις άκρον μέσου ρυθμού μετάδοσης του συστήματος θα χρειαστούμε να υπολογίσουμε ξεχωριστά για κάθε μια μετάδοση τον απ' άκρον εις άκρον ρυθμό μετάδοσης του. Για να γίνει αυτό πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο του Shannon $\log_2(1 + SINR)$ και να συγκρίνουμε τότε η τιμή του στιγμιαίου SINR είναι μεγαλύτερη του κατωφλίου που είχαμε θέσει. Στο τέλος για να πάρουμε τον μέσο ρυθμό μετάδοσης, αρκεί να διαιρέσουμε με τον συνολικό αριθμό των μεταδιδόμενων frames, τον οποίο ορίσαμε να είναι ίσο με 10000.

Για την προσομοίωση του συνεργατικού NOMA δικτύου αξίζει να αναφερθεί ότι αποδώσαμε μικρότερη ισχύ μετάδοσης στον αναμεταδότη ($P_r = 0.2W$) συγκριτικά με αυτή ($P_s = 0.8W$) του BS, άρα ισχύει $P_r < P_s$. Ορίσαμε τις μεταβλητές που αφορούν την κατανομή ισχύος για τους δυο χρήστες να έχουν τις εξής τιμές, $a_m = 4/5$ και $a_n = 1/5$. Αυτό σημαίνει ότι αποδίδεται μεγαλύτερη ισχύ στον χρήστη m από ότι στον χρήστη n , αφού ισχύει ότι $a_m > a_n$. Συμβολίζουμε την τυπική απόκλιση του χρήστη m και του χρήστη n ως std_m και std_n αντίστοιχα, όπου οι τιμές των παραμέτρων αυτών αλλάζουν σε κάθε σενάριο προσομοίωσης. Με βάση αυτές τις μεταβλητές καθορίζουμε ποιος χρήστης έχει το χειρότερο κανάλι.

Οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για το πρώτο σενάριο δίνονται από τον παρακάτω Πίνακα 2, που αφορά τα διαγράμματα από το Σχήμα 24, το Σχήμα 25, το Σχήμα 26 και το Σχήμα 27. Η τιμή κατωφλίου για το Σχήμα 24 και Σχήμα 25 είναι ίση με 1 bps/Hz, ενώ στο Σχήμα 26 και στο Σχήμα 27 είναι ίση με 3 bps/Hz. Στο Σχήμα 24 παρουσιάζονται οι καμπύλες της πιθανότητας διακοπής έναντι του SNR κατά την εκπομπή του συστήματος για κάθε έναν χρήστη ξεχωριστά αλλά και συνολικά. Γενικά παρατηρούμε ότι όσο η τιμή του SNR εκπομπής αυξάνεται η τιμή της πιθανότητας διακοπής μειώνεται. Οι καμπύλες των δυο χρηστών παρατηρούμε ότι είναι σχεδόν ίδιες αφού έχουμε θέσει ότι έχουν ίδιες τιμές τυπικής απόκλισης, κάτι που σημαίνει ότι έχουν τις ίδιες συνθήκες καναλιού. Ωστόσο η πιθανότητα διακοπής συνολικά για όλους τους χρήστες παρουσιάζει μικρή απόκλιση συγκριτικά με αυτή του κάθε χρήστη ξεχωριστά. Ακόμη αξίζει να αναφερθεί ότι όσο το σήμα γίνεται πιο ισχυρό, δηλαδή για μεγαλύτερες τιμές του SNR εκπομπής, έχουμε μικρότερη πιθανότητα διακοπής η



Διπλωματική Εργασία

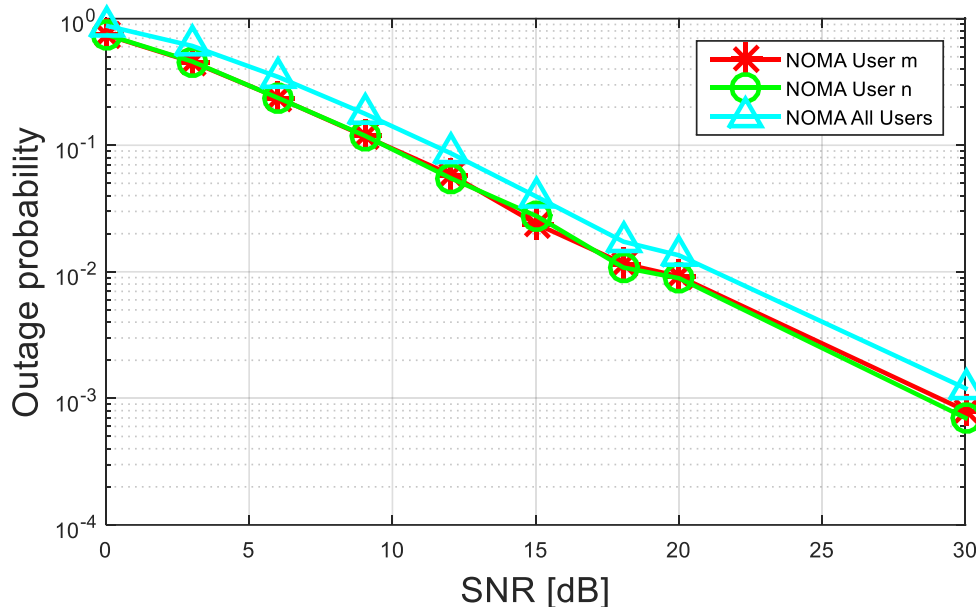
Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

οποία όταν το SNR=30dB φτάνει στο ελάχιστο όριο της. Η ανάλυση αυτή έγινε για τιμή κατωφλίου ίση με 1 bps/Hz.

Τυπική απόκλιση του αναμεταδότη για την σύνδεση {S→R link}	$deviation = 0.5$
Τυπική απόκλιση του χρήστη m για την σύνδεση {R→D link}	$std_m = 0.5$
Τυπική απόκλιση του χρήστη n για την σύνδεση {R→D link}	$std_n = 0.5$
Μεταβλητή κατανομή ισχύος για τον χρήστη m	$a_m = 4/5$
Μεταβλητή κατανομή ισχύος για τον χρήστη n	$a_n = 1/5$

Πίνακας 2: Τιμές Παραμέτρων για το Σχήμα 24, το Σχήμα 25, το Σχήμα 26 και το Σχήμα 27.



Σχήμα 24: Outage probability vs SNR [dB], όπου link_threshold=1 bps/Hz, std_m=0.5 και std_n=0.5.

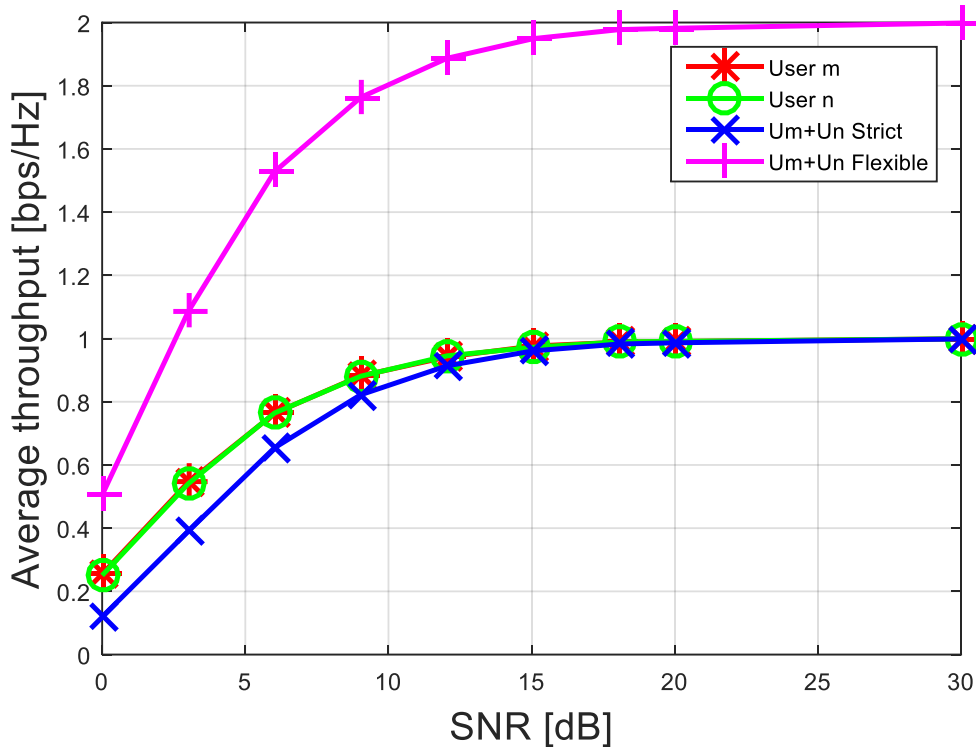
Στο Σχήμα 25 παρουσιάζονται οι καμπύλες του μέσου ρυθμού μετάδοσης έναντι του SNR εκπομπής του συστήματος για κάθε έναν χρήστη ξεχωριστά, συνολικά αλλά και στην περίπτωση που και οι δυο χρήστες δεν βρίσκονται σε διακοπή. Η καμπύλη $U_m + U_n$ Flexible αναφέρεται συνολικά και για τους δυο χρήστες, ενώ η καμπύλη $U_m + U_n$ Strict αναφέρεται στο σενάριο που και οι δυο χρήστες είναι σε διακοπή. Παρατηρούμε ότι όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή του SNR εκπομπής τόσο πιο καλό ρυθμό μετάδοσης έχουμε. Αν συγκρίνουμε τις καμπύλες των χρηστών ξεχωριστά βλέπουμε ότι είναι παρόμοιες μεταξύ τους. Η καμπύλη $U_m + U_n$ Strict διαφέρει ελάχιστα με αυτές των δυο χρηστών ξεχωριστά όσο το SNR εκπομπής βρίσκεται σε χαμηλές τιμές και πιο συγκεκριμένα όταν ισχύει SNR < 15dB. Ωστόσο αυτές οι τρεις καμπύλες διαφέρουν αρκετά με την καμπύλη $U_m + U_n$ Flexible όπου παρουσιάζει διπλάσιο ρυθμό μετάδοσης συγκριτικά με αυτές. Γενικά επιτυγχάνεται μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για τιμές του SNR μεγαλύτερες ή ίσες των 20dB.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 25: Average throughput [bps/Hz] vs SNR [dB], όπου $\text{link_threshold}=1$ bps/Hz, $\text{std_m}=0.5$ και $\text{std_n}=0.5$.

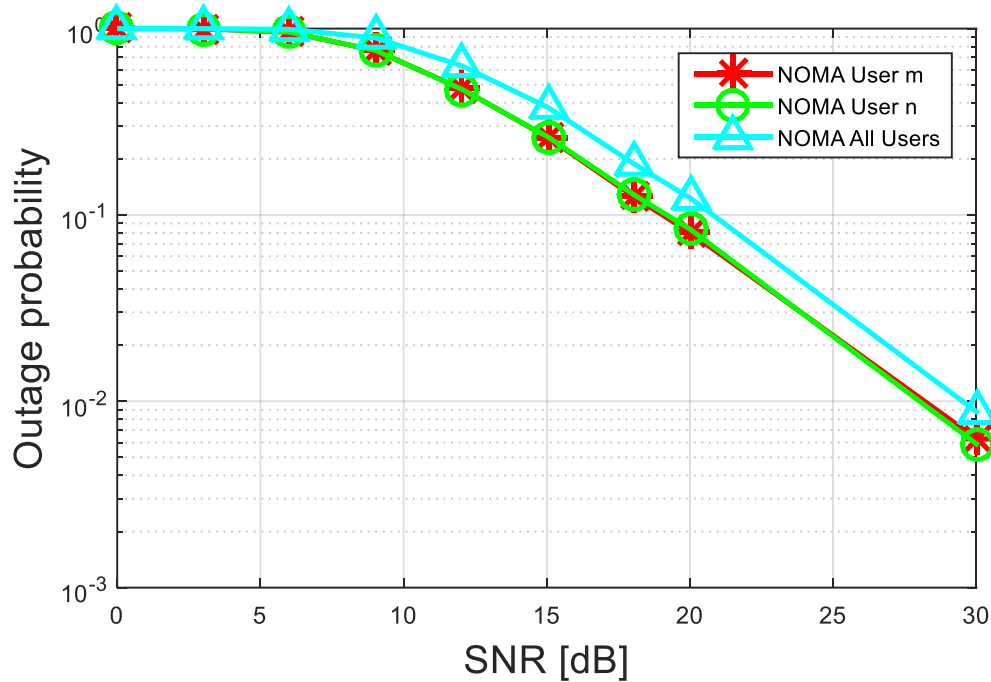
Σε αντίθεση, αν συγκρίνουμε τις γραφικές παραστάσεις από το Σχήμα 26 και από το Σχήμα 27 στα οποία θέσαμε τιμή κατωφλίου ίσο με 3 bps/Hz, παρατηρούμε είναι εντελώς διαφορετικές από τις δυο προηγούμενες. Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν αποδίδονται από τον Πίνακα 2. Συγκεκριμένα για το Σχήμα 26, παρατηρούμε γενικά ότι για τιμές του SNR μικρότερες από 7dB έχουμε υψηλή πιθανότητα διακοπής για όλους τους χρήστες, ατομικά και συλλογικά. Εδώ παρατηρούμε ότι η πιθανότητα διακοπής επιτυγχάνει την ελάχιστη τιμή της όταν το SNR=30dB, τόσο συλλογικά όσο και ατομικά. Αναφορικά με τις καμπύλες από το Σχήμα 26 βλέπουμε ότι μοιάζουν μεταξύ τους, ειδικά αυτές των δυο χρηστών, ενώ αυτή που απεικονίζεται για όλους τους χρήστες παρουσιάζει μια μικρή διαφορά όταν οι τιμές του SNR είναι μεγαλύτερες των 7dB, η οποία μεγαλώνει όσο αυξάνεται το SNR.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 26: Outage probability vs SNR [dB], όπου $\text{link_threshold}=3$ bps/Hz, $\text{std_m}=0.5$ και $\text{std_n}=0.5$.

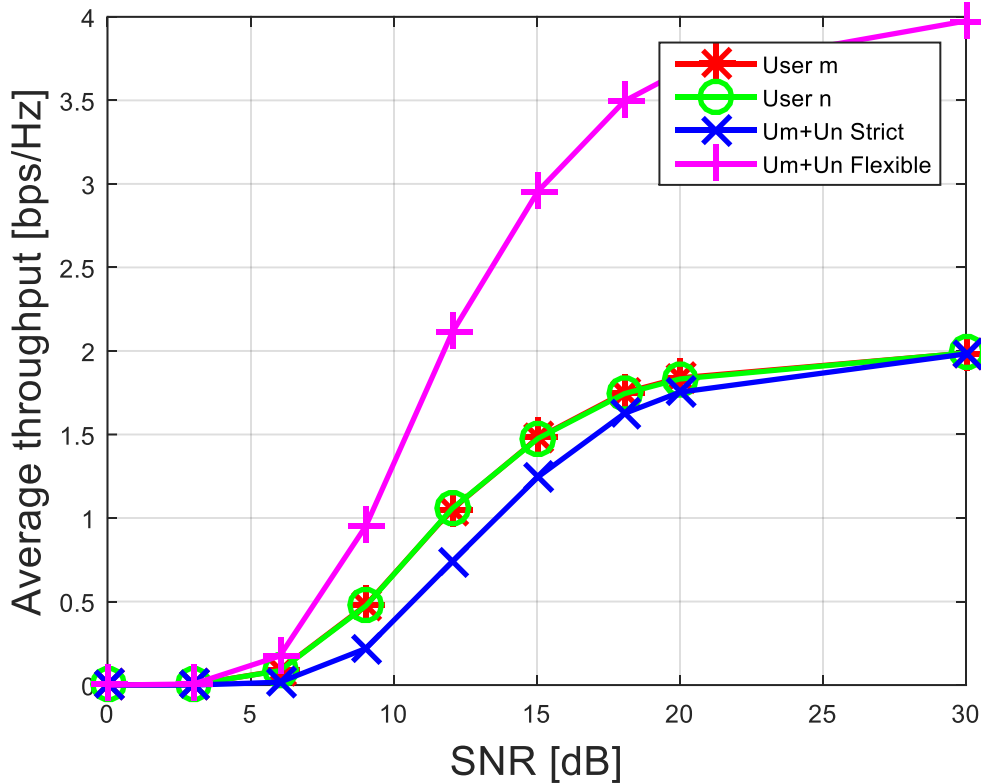
Στο Σχήμα 27 παρουσιάζονται οι καμπύλες του μέσου ρυθμού μετάδοσης έναντι του SNR εκπομπής του συστήματος για κάθε έναν χρήστη ξεχωριστά, συνολικά αλλά και στην περίπτωση που και οι δυο χρήστες δεν βρίσκονται σε διακοπή με τιμή κατωφλίου ίση με 3 bps/Hz. Παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές του SNR έχουμε μηδενικό ρυθμό μετάδοσης. Αντίθετα επιτυγχάνεται μέγιστος ρυθμός μετάδοσης όταν το $\text{SNR}=30\text{dB}$. Επομένως, προκύπτει ότι όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή του SNR εκπομπής τόσο πιο καλό ρυθμό μετάδοσης έχουμε. Οι καμπύλες των δυο χρηστών ξεχωριστά μοιάζουν μεταξύ τους. Αυτές οι δυο σε σύγκριση με την καμπύλη $U_m + U_n$ Strict μπορούμε να πούμε ότι παρουσιάζουν ελάχιστη διαφορά όταν οι τιμές SNR κατά την εκπομπή ανήκουν στο εύρος των [7dB – 17dB]. Αντίθετα για SNR εκπομπής μεγαλύτερο των 7dB βλέπουμε ότι η καμπύλη $U_m + U_n$ Flexible παρουσιάζει διπλάσιο ρυθμό μετάδοσης συγκριτικά με τις καμπύλες των δυο χρηστών ξεχωριστά. Το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι θεωρούμε ότι αποφεύγουμε τη διακοπή όταν και οι δύο χρήστες μπορούν να αποκωδικοποιήσουν τα δεδομένα τους.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 27: Average throughput [bps/Hz] vs SNR [dB], όπου $link_threshold=3$ bps/Hz, $std_m=0.5$ και $std_n=0.5$.

Παρακάτω θα περάσουμε στο δεύτερο σενάριο της προσομοίωσης του οποίου οι τιμές των παραμέτρων απεικονίζονται στον **Πίνακα 3**. Με βάση αυτές τις τιμές θα περιγράψουμε συνολικά άλλες 4 γραφικές παραστάσεις, όπου στις δυο πρώτες θα έχουμε τιμή κατωφλίου ίση με 1 bps/Hz ενώ στις 2 επόμενες ίση με 3 bps/Hz.

Τυπική απόκλιση του αναμεταδότη για την σύνδεση {S→R link}	$deviation = 0.5$
Τυπική απόκλιση του χρήστη m για την σύνδεση {R→D link}	$std_m = 0.8$
Τυπική απόκλιση του χρήστη n για την σύνδεση {R→D link}	$std_n = 0.2$
Μεταβλητή κατανομή ισχύος για τον χρήστη m	$a_m = 4/5$
Μεταβλητή κατανομή ισχύος για τον χρήστη n	$a_n = 1/5$

Πίνακας 3: Τιμές Παραμέτρων για το Σχήμα 28, το Σχήμα 29, το Σχήμα 30 και το Σχήμα 31.

Σε αυτό το σενάριο ισχύει ότι η τυπική απόκλιση του χρήστη m είναι μεγαλύτερη από αυτή του χρήστη n, δηλαδή ισχύει ότι $std_m > std_n$. Αυτό μας υποδηλώνει ότι ο χρήστης m έχει καλύτερες συνθήκες καναλιού. Αυτό μπορούμε να το παρατηρήσουμε και από τις καμπύλες των δυο χρηστών που απεικονίζονται στο **Σχήμα 28** και **Σχήμα 29**. Αναφορικά με το **Σχήμα**

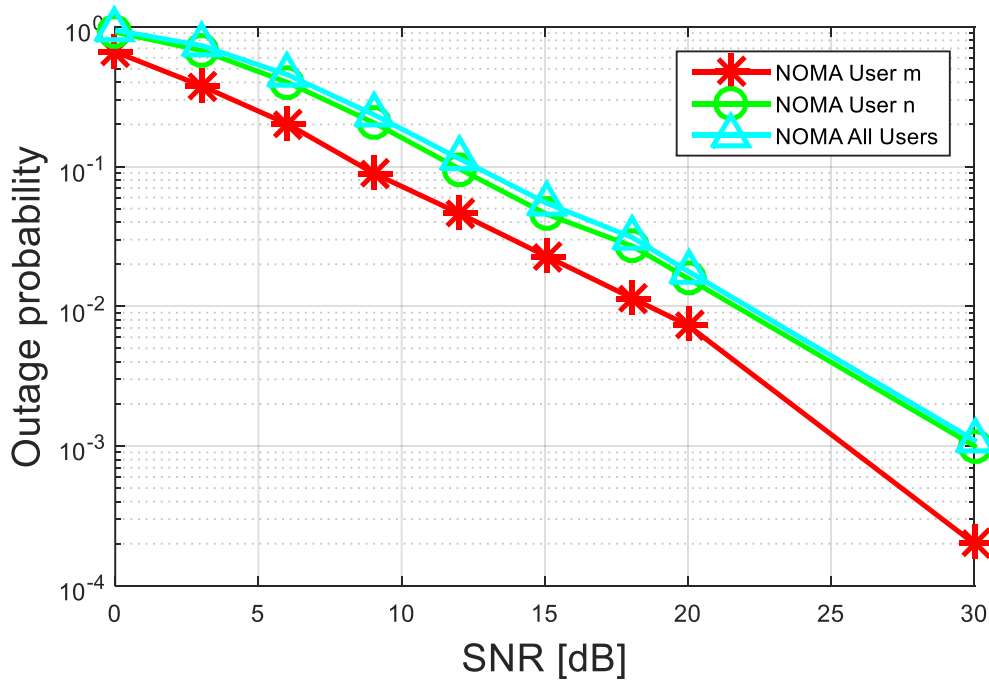


Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

28, μπορούμε να πούμε ότι η καμπύλη του χρήστη n και αυτή που αφορά συνολικά όλους τους χρήστες μοιάζουν μεταξύ τους. Για μικρές τιμές του SNR εκπομπής και οι δυο οι καμπύλες αυτές έχουν υψηλή πιθανότητα διακοπής, ενώ η καμπύλη του χρήστη m παρουσιάζει μια πιο μικρή πιθανότητα διακοπής συγκριτικά με τις άλλες δυο. Η μέγιστη διαφορά που επιτυγχάνεται είναι της τάξεων των 0.1 μονάδων. Αυτό συμβαίνει γιατί ο χρήστης m έχει καλύτερες συνθήκες καναλιού. Η πιθανότητα διακοπής μηδενίζεται και για τις τρεις καμπύλες όταν το SNR > 30dB.



Σχήμα 28: Outage probability vs SNR [dB], όπου link_threshold=1, std_m=0.8 και std_n=0.2.

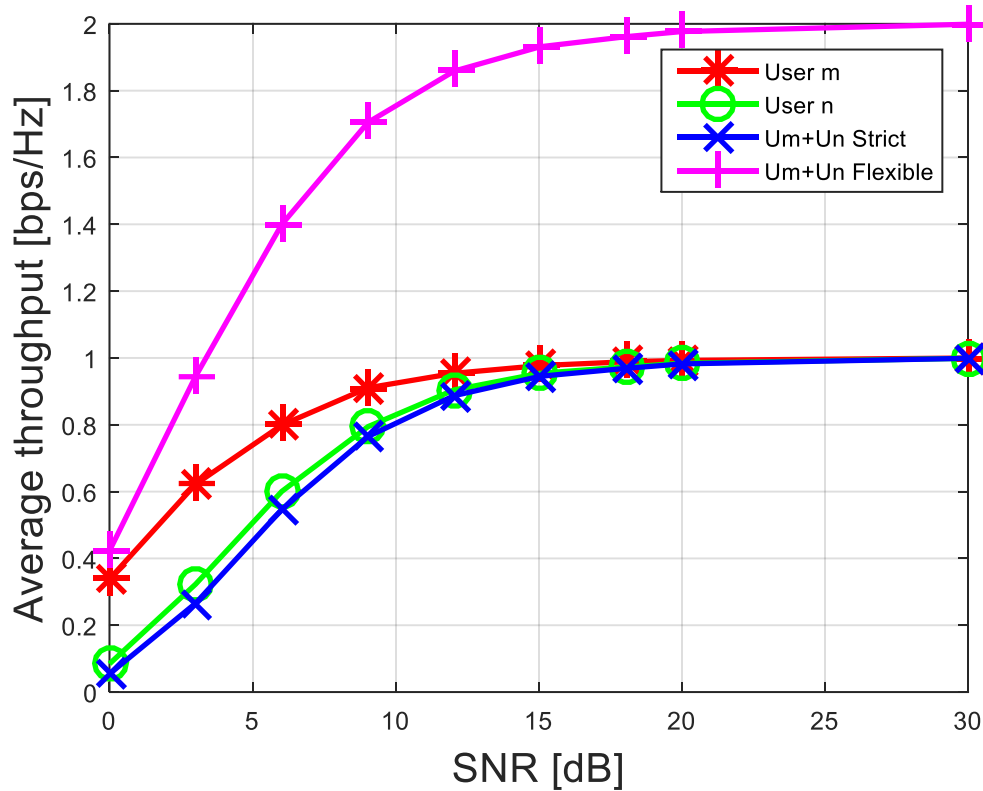
Στο Σχήμα 29 παρουσιάζονται οι καμπύλες του μέσου ρυθμού μετάδοσης έναντι του SNR κατά την εκπομπή του συστήματος για κάθε έναν χρήστη ξεχωριστά, συνολικά αλλά και στην περίπτωση που και οι δυο χρήστες δεν βρίσκονται σε διακοπή με τιμή κατωφλίου ίση με 1 bps/Hz. Παρατηρούμε ότι η καμπύλη του χρήστη n με την καμπύλη $U_m + U_n$ Strict μοιάζουν αρκετά μεταξύ τους. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο χρήστης m επιτυγχάνει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης όταν το SNR=17dB, ενώ ο χρήστης n αλλά και συνολικά οι χρήστες έχουν μέγιστο ρυθμό μετάδοσης όταν η τιμή του SNR εκπομπής ισούται με 20dB. Παρατηρούμε ότι η καμπύλη $U_m + U_n$ Flexible επιτυγχάνει διπλάσιο ρυθμό δεδομένων συγκριτικά με τις άλλες για μεγάλες τιμές του SNR εκπομπής. Και σε αυτό το σχήμα παρατηρείται ότι έχουμε απόκλιση μεταξύ της καμπύλης του χρήστη m με τις άλλες για SNR < 15dB.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 29: Average throughput [bps/Hz] vs SNR [dB], όπου $\text{link_threshold}=1$ bps/Hz, $\text{std}_m=0.8$ και $\text{std}_n=0.2$.

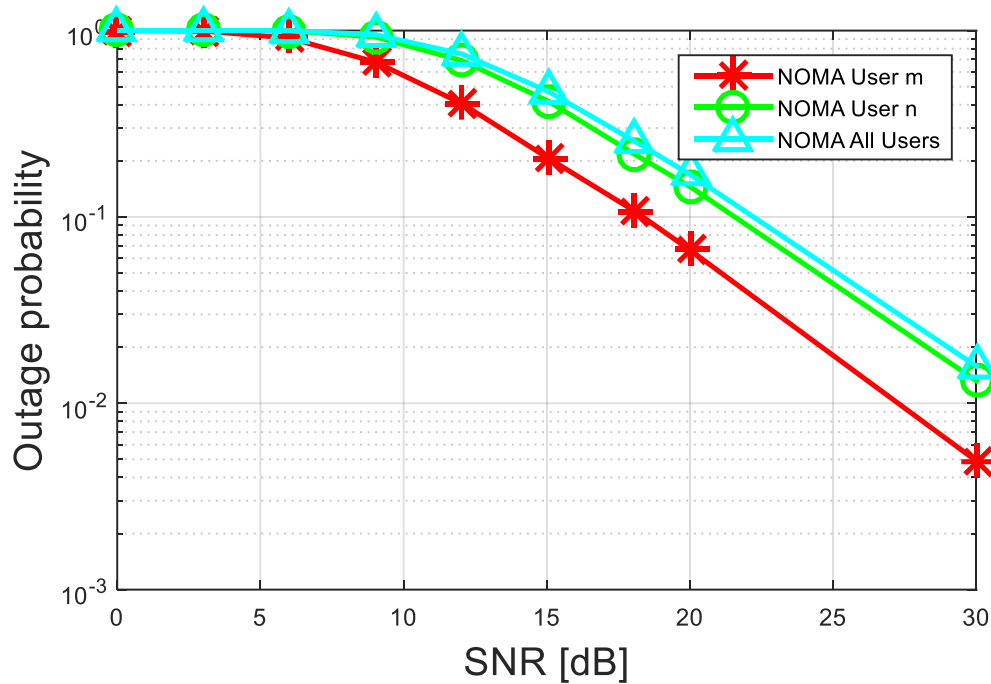
Παρακάτω θα παρουσιάσουμε άλλα δυο σχήματα τα οποία διαφέρουν από τα δυο προηγούμενα μόνο στην τιμή του κατωφλιού που αντί για 1 bps/Hz ισούται πλέον με 3 bps/Hz. Παρατηρούμε ότι είναι εντελώς διαφορετικά τα μεταξύ τους διαγράμματα για αυτές τις δυο τιμές κατωφλιού. Γενικά συμπεραίνουμε ότι όσο αυξάνεται η τιμή κατωφλιού τόσο πιο μεγάλη είναι η πιθανότητα διακοπής και τόσο πιο αργά επιτυγχάνεται μέγιστος ρυθμός μετάδοσης. Στο Σχήμα 30 βλέπουμε ότι η καμπύλη του χρήστη m έχει μέγιστη πιθανότητα διακοπής όταν ισχύει $\text{SNR}<5\text{dB}$, ενώ οι άλλες δυο έχουν όταν ισχύει $\text{SNR}<7\text{dB}$. Παρατηρούμε ακόμα ότι και οι τρεις καμπύλες επιτυγχάνουν την ελάχιστη τιμή πιθανότητας διακοπής στα 30dB. Και εδώ παρουσιάζεται διαφορά μεταξύ της καμπύλης του χρήστη m με τις άλλες δυο. Αύτη η μέγιστη διαφορά παρουσιάζεται για τιμές του SNR εκπομπής μεγαλύτερες του 15 dB.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 30: Outage probability vs SNR [dB], όπου $\text{link_threshold}=3$ bps/Hz, $\text{std_m}=0.8$ και $\text{std_n}=0.2$.

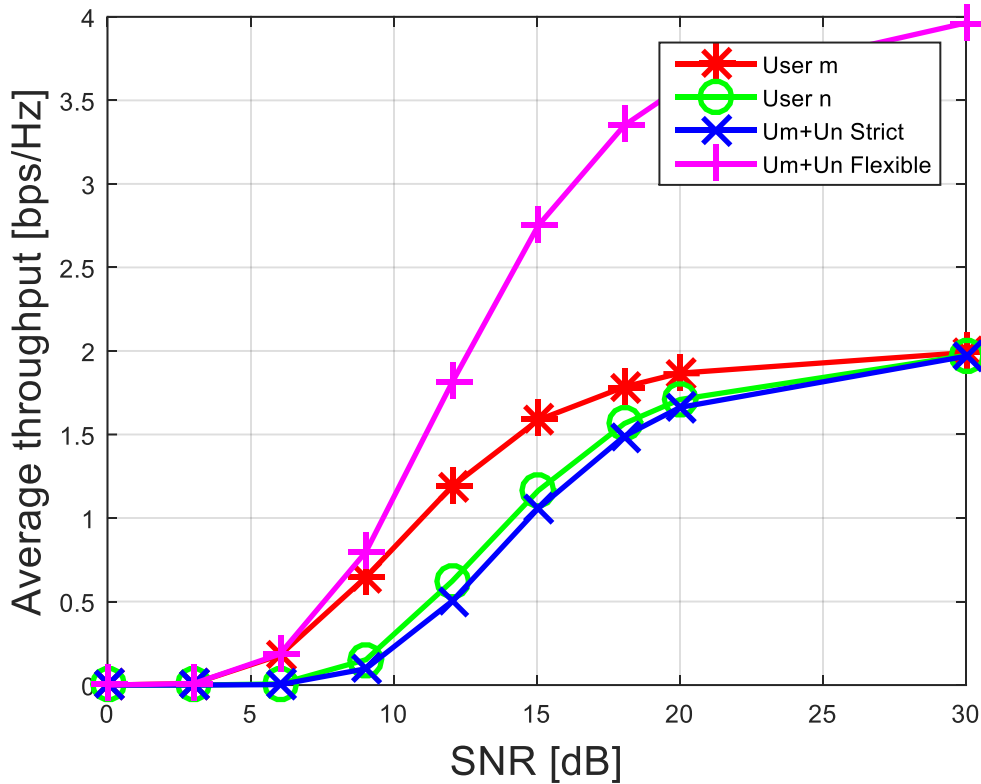
Στο παρακάτω **Σχήμα 31** βλέπουμε τις καμπύλες του μέσου ρυθμού μετάδοσης έναντι του SNR κατά την εκπομπή του συστήματος για κάθε έναν χρήστη ξεχωριστά, συνολικά αλλά και στην περίπτωση που και οι δυο χρήστες δεν βρίσκονται σε διακοπή με τιμή κατωφλίου ίση με 3 bps/Hz. Παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές του SNR εκπομπής έχουμε μηδενικό ρυθμό μετάδοσης, ενώ όσο πιο ισχυρό γίνεται το σήμα τόσο πιο μεγάλο ρυθμό μετάδοσης έχουμε. Όπως και με την πιθανότητα διακοπής έτσι και σε αυτό το σχήμα βλέπουμε μέγιστη απόκλιση μεταξύ της καμπύλης του χρήστη m και των άλλων δυο για ένα «μέτριο» SNR, ενώ η καμπύλη $U_m + U_n$ Flexible ξεκινάει προς τον διπλασιασμό της συγκριτικά με όλες τις υπόλοιπες. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης και για τις τέσσερις καμπύλες επιτυγχάνεται στα 30 dB.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 31: Average throughput [bps/Hz] vs SNR [dB], όπου $link_threshold=3$ bps/Hz, $std_m=0.8$ και $std_n=0.2$.

Τώρα θα περάσουμε στο τρίτο και τελευταίο σενάριο που περιλαμβάνει το **Σχήμα 32**, το **Σχήμα 33**, το **Σχήμα 34** και το **Σχήμα 35**. Τα δυο πρώτα έχουν τιμή κατωφλίου ίση με 1 bps/Hz, ενώ τα άλλα δυο ίση με 3 bps/Hz. Εδώ ο χρήστης n είναι αυτός που έχει καλύτερη συνθήκη καναλιού αφού θέσαμε ότι $std_n=0.8$ και $std_m=0.2$. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για αυτό το σενάριο είναι ίδια με αυτά του δεύτερου σεναρίου. Η μόνη διαφορά είναι ότι τώρα ο χρήστης m είναι ο χρήστης με τις χειρότερες συνθήκες καναλιού. Όποτε συμπεραίνουμε ότι ανάλογα με την τιμή της τυπικής απόκλισης καθορίζουμε ποιος χρήστης βιώνει καλύτερες συνθήκες καναλιού, άρα και καλύτερο ρυθμό μετάδοσης. Οι τιμές των παραμέτρων παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4**.

Τυπική απόκλιση του αναμεταδότη για την σύνδεση {S→R link}	$deviation = 0.5$
Τυπική απόκλιση του χρήστη m για την σύνδεση {R→D link}	$std_m = 0.2$
Τυπική απόκλιση του χρήστη n για την σύνδεση {R→D link}	$std_n = 0.8$
Μεταβλητή κατανομή ισχύος για τον χρήστη m	$a_m = 4/5$
Μεταβλητή κατανομή ισχύος για τον χρήστη n	$a_n = 1/5$

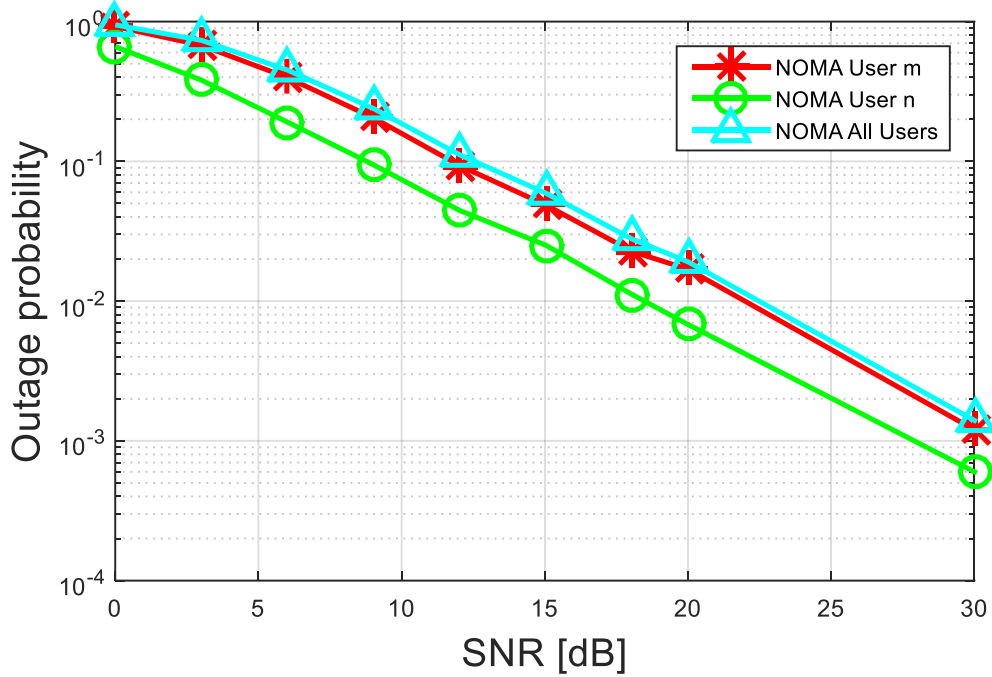
Πίνακας 4: Τιμές Παραμέτρων για το Σχήμα 32, το Σχήμα 33, το Σχήμα 34 και το Σχήμα 35.



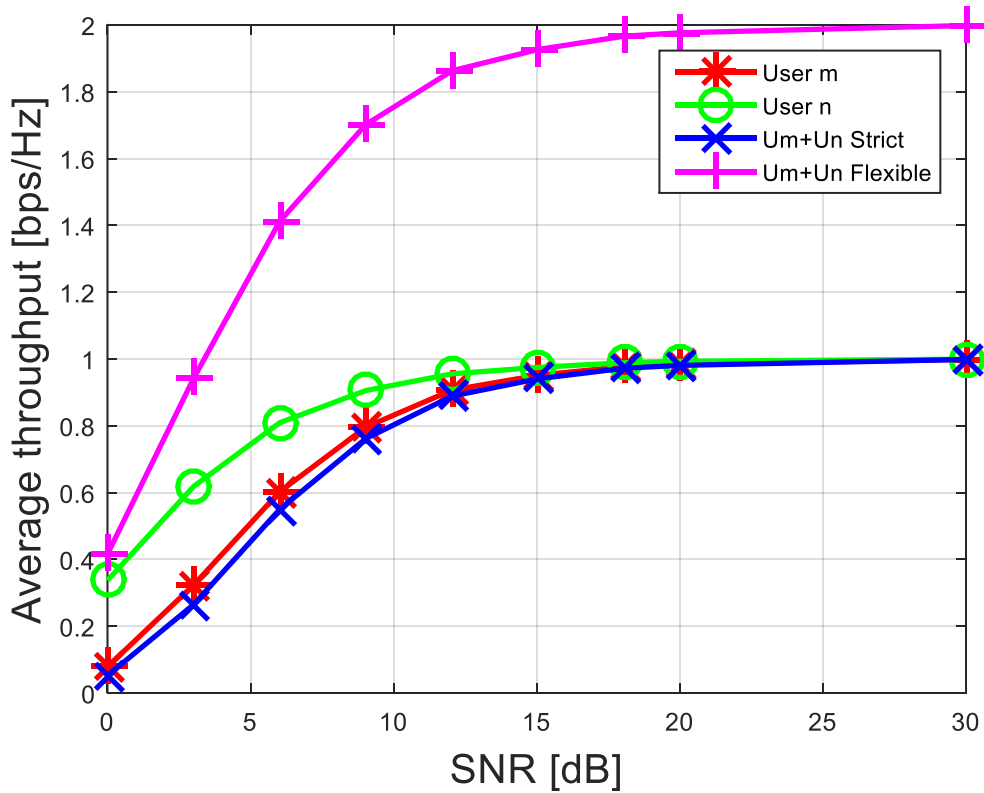
Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 32: Outage probability vs SNR [dB], όπου $\text{link_threshold}=1$ bps/Hz, $\text{std}_m=0.2$ και $\text{std}_n=0.8$.



Σχήμα 33: Average throughput [bps/Hz] vs SNR [dB], όπου $\text{link_threshold}=1$ bps/Hz, $\text{std}_m=0.2$ και $\text{std}_n=0.8$.

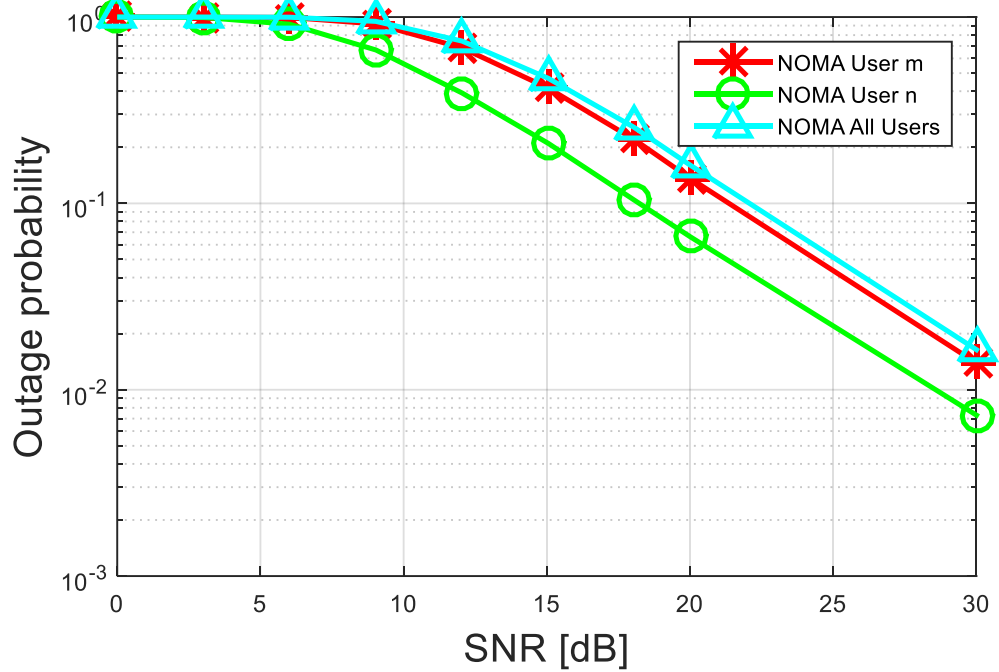


Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

Παρακάτω παρουσιάζουμε το **Σχήμα 33** και το **Σχήμα 34** τα οποία όπως αναφέραμε είναι ίδια με αυτά του δεύτερου σεναρίου και για τιμή κατωφλίου ίση με 3 bps/Hz.



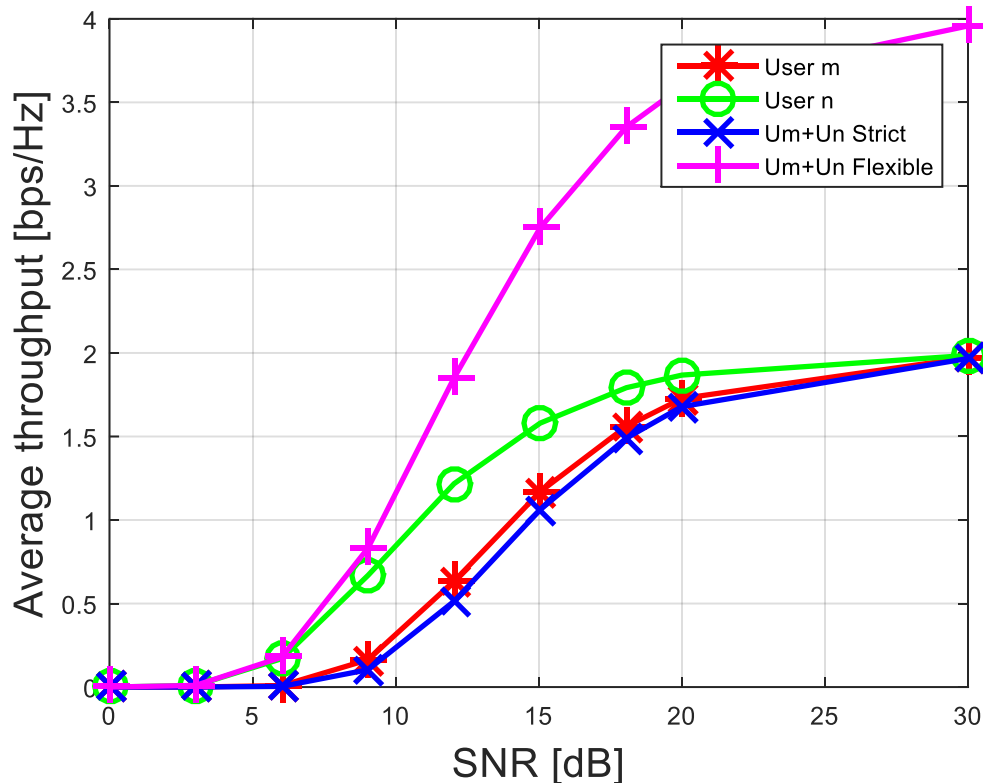
Σχήμα 34: Outage probability vs SNR [dB], όπου link_threshold=3 bps/Hz, std_m=0.2 και std_n=0.8.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων



Σχήμα 35: Average throughput [bps/Hz] vs SNR [dB], όπου $link_threshold=3$ bps/Hz, $std_m=0.2$ και $std_n=0.8$.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο αυτό γίνεται φανερό πως όσο αυξάνεται το SNR εκπομπής, δηλαδή το σήμα του χρήστη γίνεται πιο ισχυρό, τόσο μειώνεται η πιθανότητα διακοπής ενώ αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης του. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι τιμή κατωφλίου τόσο περισσότερο ενισχύεται η πιθανότητα διακοπής. Αυτό είναι λογικό γιατί θέλουμε να κρατήσουμε μεγαλύτερες στιγμιαίες τιμές του SNR. Είδαμε επίσης τον αντίκτυπο που έχει η τυπική απόκλιση στους χρήστες. Διαπιστώσαμε ότι μπορούμε να θέσουμε ποιος χρήστης θα έχει καλύτερες συνθήκες καναλιού και είδαμε τις συνέπειες ως προς την απόδοση του και την πιθανότητα διακοπής. Εν κατακλείδι, αποδίδοντας τους ίδια τιμή τυπικής απόκλισης είδαμε ότι οι γραφικές τους παραστάσεις δεν επέδειξαν αξιοσημείωτη διαφορά.



6 Βιβλιογραφία

1. Z. Ding, Y. Liu, J. Choi, Q. Sun, M. ElKashlan, C.-L. I, and H. V. Poor, “Application of Non-Orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 2, pp. 185–191, Feb. 2017.
2. L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C. I I, and Z. Wang, “Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 9, pp. 74–81, Sep. 2015.
3. Z. Wei, J. Yuan, D. W. K. Ng, M. ElKashlan, and Z. Ding, “A survey of downlink non-orthogonal multiple access for 5G wireless communication networks,” *ZTE Communications Magazine*, vol. 14, no. 4, pp. 17–26, Oct. 2016.
4. T. Cover, “Broadcast channels,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 18, no. 1, pp. 2–14, Jan 1972.
5. P. Bergmans, “Random coding theorem for broadcast channels with degraded components,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 19, no. 2, pp. 197–207, Mar. 1973.
6. P. Patel and J. Holtzman, “Analysis of a simple successive interference cancellation scheme in a DS/CDMA system,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 12, no. 5, pp. 796–807, Jun. 1994.
7. J. G. Andrews, “Interference cancellation for cellular systems: a contemporary overview,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 12, no. 2, pp. 19–29, Apr. 2005.
8. D. Tse and P. Viswanath, “Fundamentals of Wireless Communication,” *Cambridge University Press*, 2005.
9. R. Hoshyar, F. P. Wathan, and R. Tafazolli, “Novel Low-Density Signature for Synchronous CDMA Systems Over AWGN Channel,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 56, no. 4, pp. 1616–1626, Apr. 2008.
10. M. Al-Imari, P. Xiao, M. A. Imran, and R. Tafazolli, “Uplink non-orthogonal multiple access for 5G wireless networks,” in *2014 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS)*, pp. 781–785, 2014.
11. G. D. Forney and L. F. Wei, “Multidimensional constellations. I. Introduction, figures of merit, and generalized cross constellations,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 7, no. 6, pp. 877–892, Aug. 1989.
12. Huawei Technologies, “5G: A technology vision,” White paper, Nov. 2013.
13. H. Nikopour and H. Baligh, “Sparse code multiple access,” in *2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 332–336, 2013.
14. Z. Yuan, G. Yu, and W. Li, “Multi-User Shared Access for 5G,” *Telecommunications Network Technology*, vol. 5, no. 5, pp. 28–30, May 2015.
15. J. Huang, K. Peng, C. Pan, F. Yang, and H. Jin, “Scalable Video Broadcasting Using Bit Division Multiplexing,” *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 60, no. 4, pp. 701–706, Dec. 2014.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

16. Z. Ding, Z. Yang, P. Fan, and H.V. Poor, “On the performance of non-orthogonal multiple access in 5G systems with randomly deployed users,” *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 21, no. 12, pp. 1501-1505, Dec. 2014.
17. X. Chen, A. Benjebbour, Y. Lan, A. Li, and H. Jiang, “Impact of rank optimization on downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) with SU-MIMO,” *IEEE International Conference on Communication Systems*, pp. 233–237, Nov. 2014.
18. A. S. Ibrahim, A. K. Sadek, W. Su, and K. J. R. Liu, “Cooperative communications with relay-selection: When to cooperate and whom to cooperate with,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 7, Jul. 2008.
19. Z. Ding, M. Peng, and H. V. Poor, “Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 8, pp. 1462-1465, Aug. 2015.
20. Y. Hayashi, Y. Kishiyama, and K. Higuchi, “Investigations on power allocation among beams in non-orthogonal access with random beamforming and intra-beam SIC for cellular MIMO downlink,” in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf., Las Vegas, NV, USA*, Sep. 2013.
21. B. Kim, S. Lim, H. Kim, S. Suh, J. Kwun, S. Choi, C. Lee, S. Lee, and D. Hong, “Non-orthogonal multiple access in a downlink multiuser beamforming system,” in *Proc. IEEE Military Commun. Conf., San Diego, CA, USA*, Nov. 2013.
22. J. Men and J. Ge, “Non-orthogonal multiple access for multiple-antenna relaying networks,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 10, pp. 1686-1689, Oct. 2015.
23. J. Men and J. Ge, “Performance analysis of non-orthogonal multiple access in downlink cooperative network,” *IET Commun.*, vol. 9, no. 18, pp. 2267-2273, Dec. 2015.
24. J. B. Kim and I. H. Lee, “Capacity analysis of cooperative relaying systems using non-Orthogonal Multiple Access,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 11, pp. 1949-1952, Nov. 2015.
25. J. B. Kim and I. H. Lee, “Non-orthogonal multiple access in coordinated direct and relay transmission,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 11, pp. 2037-2040, Nov. 2015.
26. A. Benjebbour, Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Li, A. Harada, and T. Nakamura, “Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access,” in *Proc. Int. Symp. Intelligent Signal Process. Commun. Syst. (ISPACS)*, pp. 770-774, Nov. 2013.
27. S. Timotheou and I. Krikidis, “Fairness for non-orthogonal multiple access in 5G systems,” *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 22, no. 10, pp. 1647-1651, Oct. 2015.
28. J. Choi, “Minimum power multicast beamforming with superposition coding for multiresolution broadcast and application to NOMA systems,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 63, no. 3, pp. 791–800, Mar. 2015.
29. M. F. Hanif, Z. Ding, T. Ratnarajah, and G. K. Karagiannidis, “A minorization-maximization method for optimizing sum rate in the downlink of non-orthogonal multiple access systems,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 64, no. 1, pp. 76–88, Jan. 2016.
30. M. Mollanoori and M. Ghaderi, “Uplink scheduling in wireless networks with successive interference cancellation,” *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 13, no. 5, pp. 1132-1144, May 2014.



31. J. Cui, Z. Ding, and P. Fan, “A novel power allocation scheme under outage constraints in NOMA systems,” *IEEE Signal Process. Lett.*, no. 99, 2016.
32. Y. Liu, M. ElKashlan, Z. Ding, and G. K. Karagiannidis, “Fairness of user clustering in MIMO non-orthogonal multiple access systems,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 7, pp. 1465–1468, July 2016.
33. F. Liu, P. Mahonen, and M. Petrova, “Proportional fairness-based power allocation and user set selection for downlink NOMA systems,” in *IEEE Proc. of Inter. Commun. Conf. (ICC), Kuala Lumpur, Malaysia*, pp. 1–6, May 2016.
34. J. Mei, L. Yao, H. Long, and K. Zheng, “Joint user pairing and power allocation for downlink non-orthogonal multiple access systems,” in *IEEE Proc. of Inter. Commun. Conf. (ICC), Kuala Lumpur, Malaysia*, pp. 1–6, May 2016.
35. Y. Sun, D. W. K. Ng, Z. Ding, and R. Schober, “Optimal joint power and subcarrier allocation for MC-NOMA systems,” in *Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pp. 1-6, Dec 2016.
36. R. Jain, D.-M. Chiu, and W. R. Hawe, “A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer system,” *Eastern Research Laboratory, Digital Equipment Corporation Hudson, MA*, vol. 38, 1984.
37. K. Beomju, and et.al. “Non-orthogonal Multiple Access in a downlink Multiuser Beamforming System,” in *Proc. of MILCOM*, pp.1278-1283, 2013.
38. J. Choi, “Non-Orthogonal Multiple Access in downlink Coordinated Two-Point Systems,” *IEEE Communications Letters*, vol.18, no.2, pp.313-316, Feb. 2014.
39. S. Alamouti, “A simple transmit diversity technique for wireless communications,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 16, no. 8, pp. 1451–1458, 1998.
40. S. Han, C. L. I, Z. Xu, and Q. Sun, “Energy efficiency and spectrum efficiency co-design: From NOMA to network NOMA,” *IEEE Commun. Society MMTC E-Lett.*, vol. 9, no. 5, pp. 21-24, Sep. 2014.
41. S. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, and K. S. Kwak, “Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 721-742, 2017.
42. J. Cheon and H. S. Cho, “Power Allocation Scheme for Non-Orthogonal Multiple Access in Underwater Acoustic Communications,” *Sensors*, vol. 17, no. 11, pp. 2465, Oct. 2017.
43. K. Saito, A. Benjebbour, Y. Kishiyama, Y. Okumura, and T. Nakamura, “Performance and design of SIC receiver for downlink NOMA with open-loop SU-MIMO,” in *2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW)*, pp. 1161–1165, Jun. 2015.
44. K. Saito, A. Benjebbour, A. Harada, Y. Kishiyama, and T. Nakamura, “Link-Level Performance of downlink NOMA with SIC Receiver Considering Error Vector Magnitude,” in *2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, pp. 1–5, May 2015.
45. C. Yan, A. Harada, A. Benjebbour, Y. Lan, A. Li, and H. Jiang, “Receiver design for downlink non-orthogonal multiple access (NOMA),” in *2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Glasgow, Scotland*, pp. 1–6, May 2015.



Διπλωματική Εργασία

Μελέτη και προσομοίωση συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης με χρήση μη-ορθογώνιας πολυπλεξίας (NOMA) σε δίκτυα πέμπτης γενιάς.

Παπαδόγιαννος Σπυρίδων

46. M. B. Shahab, M. Irfan, M. F. Kader, and S. Young Shin, "User pairing schemes for capacity maximization in non-orthogonal multiple access systems," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 16, no. 17, pp. 2884–2894, Dec. 2016.
47. S. M. R. Islam, and K.S. Kwak, "Outage capacity and source distortion analysis for NOMA users in 5Gsystems," in *Electronics Letters*, vol. 52, no. 15, pp. 1344-1345, Jul. 2016.
48. B. Lee, D. Park, and H. Seo, "Wireless Communications Resource Management," *Wiley*, 2009.
49. M. R. Hojiej, J. Farah, C. A. Nour, and C. Douillard, "New Optimal and Suboptimal Resource Allocation Techniques for downlink Non-orthogonal Multiple Access," *Wireless Personal Communication*, vol. 87, no. 3, pp. 837-867, May 2015.
50. Y. Xu, and R. Q. Hu, "Optimal intra-cell cooperation in the heterogeneous relay networks," in *Proc. IEEE GLOBECOM 2012*, pp. 4120-4125, Dec. 2012.
51. Y. Xu, H. Sun, R. Q. Hu, and Y. Qian, "Cooperative non-orthogonal multiple access in heterogeneous networks," in *Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pp 1-6, Dec 2015.
52. S. Rangan, T. S. Rappaport, and E. Erkip, "Millimeter-wave cellular wireless networks: potentials and challenges," *Proc. IEEE*, vol. 102, no. 3, pp. 366-385, Mar. 2014.
53. M. N. Kulkarni, S. Singh, and J. G. Andrews, "Coverage and rate trends in dense urban mmWave cellular networks," in *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pp. 3809-3814, Dec. 2014.
54. S. A. R. Naqvi, and S. A. Hassan, "Combining NOMA and mmWave technology for cellular communication," *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, Sep. 2016.
55. X. Li, "An Enhanced Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) Scheme for Non-orthogonal Multiple Access (NOMA) System of 5G," *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research ict*, 2016.
56. R. Hoshyar, R. Razavi, and M. A. Imari, "LDS-OFDM an efficient multiple access technique," in *VTC-spring*, pp. 1-5, 2010.
57. Y. Wu, C. Wang, Y. Chen, and A. Bayesteh, "Sparse Code Multiple Access for 5G Radio Transmission," in *Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, pp. 1-6, Sep. 2017.
58. W. Shin, M. Vaezi, J. Lee, and H. V. Poor, "On the number of users served in MIMO-NOMA cellular networks," in *Wireless Communication Systems (ISWCS), 2016 International Symposium on IEEE*, pp. 638-642, Sep. 2016.