



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Πανεπιστήμιο Πατρών
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στα πλαίσια του
Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών
Υπολογιστική Δεδομένων και Αποφάσεων

Μηχανισμός Κατανομής Πόρων σε Massive MIMO Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς – Διατύπωση του προβλήματος του σακιδίου

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΚΟΥΛΟΥΡΗ
Α.Μ. 1070378

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Κυριάκος Βλάχος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Ιωάννης Γαροφαλάκης, Καθηγητής

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ, 2020

© Copyright συγγραφέας Χριστίνα Κουλούρη, 2020.

© Copyright θέματος Χρήστος Μπούρας.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

~ Focus on goals, not obstacles. ~

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί το τέλος της μεταπτυχιακής μου φοίτησης στο Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής (ΤΜΗΥΠ) της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών. Ο τίτλος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι «**Μηχανισμός Κατανομής Πόρων σε Massive MIMO Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς - Διατύπωση του προβλήματος του σακιδίου**».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή της διπλωματικής κ. Χρήστο Μπούρα, καθηγητή του ΤΜΗΥΠ της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών και Επιστημονικό Υπεύθυνο της Μονάδας 6 του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων (ITYE), για τις πολύτιμες συμβουλές του και τη συνεχή καθοδήγησή του, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μεταδιδάκτορα κ. Βασίλειο Κόκκινο, ο οποίος υπήρξε πολύτιμος συνεργάτης. Οι συμβουλές και η πολυετής εμπειρία του με βοήθησαν καθ' όλη τη διάρκεια για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για τη συμπαράσταση και τη βοήθεια που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Με την ουσιαστική στήριξή τους και τις συμβουλές τους, κατάφερα να ολοκληρώσω με επιτυχία τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

Πάτρα, Μάιος 2020
Κουλούρη Χριστίνα

Περίληψη

Τη σήμερον ημέρα, οι χρήστες δικτύων χρειάζονται πιο γρήγορες ταχύτητες δεδομένων και πιο αξιόπιστη υπηρεσία. Η επόμενη γενιά ασύρματων δικτύων 5G δεσμεύεται να προσφέρει αυτές τις υπηρεσίες και πολλά άλλα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάμε την τρέχουσα κατάσταση της τεχνολογίας MIMO σε δίκτυα 5G, δίνοντας έμφαση στην επιτευχθείσα απόδοση όσον αφορά το επιτευχθέν εύρος ζώνης. Οι τεχνολογίες πολλαπλών κεραιών, όπως η τεχνολογία MIMO, αναμένεται να διαδραματίσουν κυρίαρχο ρόλο στα 5G δίκτυα, καθώς θα πρέπει να διαχειρίζονται πολύ υψηλότερες ταχύτητες από τα σημερινά κυψελοειδή δίκτυα και μεγαλύτερη κίνηση στο δίκτυο. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούμε στην Massive MIMO τεχνολογία.

Προτείνουμε ένα μηχανισμό ανάθεσης πόρων από το σταθμό βάσης στις διαθέσιμες κεραιές και για την ανάθεση των πόρων στους διαθέσιμους χρήστες, εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο του Knapsack Problem. Ο μηχανισμός αυτός αποτελεί κατά έναν τρόπο μία διαφορετική προσέγγιση της τεχνολογίας MIMO, καθώς επιδιώκει την εξυπηρέτηση όσο το δυνατόν περισσότερων χρηστών, κατά το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Στόχος αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, είναι να αξιολογήσουμε την πρόσβαση των χρηστών στις κεραιές και να μελετήσουμε την περίπτωση όπου ο σταθμός βάσης μοιράζει πόρους στις κεραιές με τις οποίες επικοινωνεί, σύμφωνα με την εκτίμηση του καναλιού που λαμβάνει από κάθε κεραιά. Για να το πετύχουμε αυτό, εφαρμόζουμε στην υλοποίησή μας τον αλγόριθμο του Knapsack Problem και πιο συγκεκριμένα τον 0-1 Knapsack Algorithm.

Το πρόβλημα του σακιδίου (Knapsack Problem) είναι ένα πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο αντικειμένων, το καθένα με βάρος και τιμή, καθορίζει τον αριθμό κάθε στοιχείου που συμπεριλαμβάνεται σε μια συλλογή, έτσι ώστε το συνολικό βάρος να είναι μικρότερο ή ίσο με ένα δεδομένο όριο και η συνολική αξία να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη.

Όλα τα παραπάνω, μας οδήγησαν στην ιδέα για την ανάπτυξη αυτού του μηχανισμού, που συνδυάζει τα Massive MIMO δίκτυα πέμπτης γενιάς, με το Πρόβλημα του Σακιδίου. Όπως φάνηκε και από προηγούμενες έρευνες που χρειάστηκαν για τη διεκπεραίωση αυτού

του μηχανισμού, η διατύπωση αλγόριθμων τύπου KP στα 5G δίκτυα, μπορούν να επιφέρουν βέλτιστα αποτελέσματα όσον αφορά τους πόρους που κατανέμονται στους χρήστες.

Το σενάριο που εκτελείται, αφορά την εξυπηρέτηση του μέγιστου αριθμού χρηστών που συνδέεται με το σταθμό βάσης, παρέχοντας υπηρεσίες υψηλής ποιότητας. Ακόμα, για την προσομοίωση των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιούμε το υπολογιστικό περιβάλλον της MATLAB, προκειμένου να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε την ποιότητα υπηρεσίας που παρέχεται στον χρήστη από το σταθμό βάσης, με την προτεινόμενη τεχνική κατανομής πόρων.

Τέλος, τα αποτελέσματα υλοποίησης του μηχανισμού που προτείνουμε, είναι αρκετά ικανοποιητικά και επιβεβαιώνουν τη διατύπωση του KP αλγόριθμων στα 5G δίκτυα, ο οποίος επιφέρει βέλτιστα αποτελέσματα. Παράλληλα, η μελέτη μας ανοίγει πολλαπλά ερευνητικά πεδία, για μελλοντική εργασία, σε διάφορους τομείς.

Abstract

Nowadays, mobile users need faster data speeds and more reliable service. The next generation of wireless networks 5G pledges to commit that, and much more. Multiple-Input, Multiple-Output (MIMO) technology in 5G networks is studied in this postgraduate thesis, with emphasis on the achieved performance in terms of achieved Bandwidth. Multi-antenna technologies, such as MIMO, are anticipated to play a key role in 5G systems, as they will have to handle much higher speeds than today's cellular networks and greater network traffic. Specifically, we will refer to Massive MIMO (Ma-MIMO) technology.

A resource allocation mechanism is proposed from the Base Station (BS) to the available antennas, using the Knapsack Problem (KP) algorithm. This mechanism is in a way a different approach to MIMO technology, as it seeks to serve as many users as possible, in the best possible way. The purpose of this postgraduate thesis is to evaluate user access throughput to the antennas and to study the case where the BS allocates resources, according to the channel rate it receives from each User Equipment (UE). To achieve this, we apply in our implementation the Knapsack Problem algorithm and more specifically the 0-1 Knapsack Algorithm.

The Knapsack Problem is a combination optimization problem. Taking into account a set of objects, each with weight and value, it determines the number of each item included in a collection, so that the total weight is less than or equal to a given limit and the total value is as high as possible.

All the above led us to the idea of developing this mechanism, which combines fifth-generation Massive MIMO networks with the Knapsack. As shown by previous research, the formulation of KP-type algorithms in 5G networks can bring optimal results, regarding the resources that the base station allocates to users.

The scenario executed is about serving the maximum number of UE connected to the BS, in high quality services. Finally, we simulate the results in MATLAB, in order to be able

to evaluate the Quality of Service (QoS) that is provided to the UE by the BS, with the resource allocation technique that is proposed.

Finally, the implementation results of the proposed mechanism are quite satisfactory and confirm the formulation of KP algorithms in 5G networks, which leads to optimal results. At the same time, our study opens up multiple research fields, for future work in various fields.

Δημοσιεύσεις

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας διεξάχθηκε η παρακάτω έρευνα:

- ❖ **Christos Bouras, Vasileios Kokkinos and Christina Koulouri, “Resource Allocation Mechanism for Massive MIMO”, 2020, International Conference on Networking and Services (ICNS 2020).**

Περίληψη:

Σήμερα, οι χρήστες δικτύων χρειάζονται πιο γρήγορες ταχύτητες δεδομένων και πιο αξιόπιστη υπηρεσία. Η επόμενη γενιά ασύρματων δικτύων 5G δεσμεύεται να προσφέρει αυτές τις υπηρεσίες και πολλά άλλα. Στην παρούσα έρευνα, μελετάμε την τρέχουσα κατάσταση της τεχνολογίας MIMO σε δίκτυα 5G, δίνοντας έμφαση στην επιτευχθείσα απόδοση όσον αφορά το επιτευχθέν εύρος ζώνης. Οι τεχνολογίες πολλαπλών κεραιών, όπως η τεχνολογία MIMO, αναμένεται να διαδραματίσουν κυρίαρχο ρόλο στα 5G δίκτυα, καθώς θα πρέπει να διαχειρίζονται πολύ υψηλότερες ταχύτητες από τα σημερινά κυψελοειδή δίκτυα και μεγαλύτερη κίνηση στο δίκτυο. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούμε στην Massive MIMO τεχνολογία.

Σε αυτή την έρευνα, προτείνουμε ένα μηχανισμό ανάθεσης πόρων από το σταθμό βάσης στις διαθέσιμες κεραιές και για την ανάθεση των πόρων στους διαθέσιμους χρήστες, εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο του Knapsack Problem. Στόχος αυτής της μελέτης, είναι να αξιολογήσουμε την πρόσβαση των χρηστών στις κεραιές και να μελετήσουμε την περίπτωση όπου ο σταθμός βάσης μοιράζει πόρους στις κεραιές με τις οποίες επικοινωνεί, σύμφωνα με την εκτίμηση του καναλιού που λαμβάνει από κάθε κεραιά.

Το σενάριο που εκτελείται, αφορά την εξυπηρέτηση του μέγιστου αριθμού χρηστών που συνδέεται με το σταθμό βάσης, παρέχοντας υπηρεσίες υψηλής ποιότητας. Ακόμα, για την προσομοίωση των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιούμε το υπολογιστικό περιβάλλον της MATLAB, προκειμένου να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε την ποιότητα υπηρεσίας που παρέχεται στον χρήστη από το σταθμό βάσης, με την προτεινόμενη τεχνική κατανομής πόρων.

Abstract:

Nowadays, mobile users need faster data speeds and more reliable service. The next generation of wireless networks 5G pledges to commit that, and much more. Multiple-Input, Multiple-Output (MIMO) technology in 5G networks is studied in this paper, with emphasis on the achieved performance in terms of achieved Bandwidth. Multi-antenna technologies, such as MIMO, are anticipated to play a key role in 5G systems, as they will have to handle much higher speeds than today's cellular networks and greater network traffic. Specifically, we will refer to Massive MIMO (Ma-MIMO) technology.

In this paper, a resource allocation mechanism is proposed from the Base Station (BS) to the available antennas, using the Knapsack Problem (KP) algorithm. The goal of this paper, is to evaluate user access throughput to the antennas and to study the case where the BS allocates resources, according to the channel rate it receives from each User Equipment (UE).

The scenario executed is about serving the maximum number of UE connected to the BS, in high quality services. Finally, we simulate the results in MATLAB, in order to be able to evaluate the Quality of Service (QoS) that is provided to the UE by the BS, with the resource allocation technique that is proposed.

Εκτός της παρούσας διπλωματικής εργασίας διεξάχθηκαν οι παρακάτω έρευνες:

- ❖ **Eirini Barri, Christos Bouras, Apostolos Gkamas, Christina Koulouri, Evangelos Michos, Spyridon Aniceto Katsampiris Salgado, “GuideMe A Networked Application for Indoor Orientation and Guidance”, 2020, International Conference on Networking and Services (ICNS 2020). (Accepted)**

Περίληψη:

Στις μέρες μας, τα συστήματα πλοήγησης εσωτερικού χώρου, βρίσκονται όλο και περισσότερο σε ζήτηση και συνήθως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, όπως έξυπνες πόλεις, ρομπότ και άτομα με προβλήματα όρασης. Όσον αφορά την πλοήγηση εξωτερικού χώρου, η τεχνολογία Global Positioning System (GPS) εξακολουθεί να είναι μία από τις πιο κοινές (αν όχι η πιο) χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις.

Παρόλο που εξακολουθεί να θεωρείται ιδανική λύση για πλοήγηση σε εξωτερικούς χώρους, προκύπτουν προκλήσεις και προβλήματα όταν χρησιμοποιείται το GPS για πλοήγηση μέσα σε κτίρια και αυτό, λόγω εμποδίων (π.χ. εμπορικά κέντρα, νοσοκομεία κ.λπ.), καθώς και επειδή τα σήματα δε μπορούν να απορροφηθούν από τους τοίχους του κτιρίου . Έτσι, για την αντιμετώπιση του προαναφερθέντος προβλήματος, έχουν προκύψει άλλες τεχνολογίες που στοχεύουν στην πλοήγηση εσωτερικού χώρου, όπως Wireless-Fidelity (Wi-Fi), Bluetooth και αισθητήρες.

Σκοπός αυτής της έρευνας είναι η πλοήγηση εσωτερικού χώρου και πιο συγκεκριμένα, στοχεύει στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός συστήματος παρακολούθησης και πλοήγησης, το οποίο απευθύνεται σε άτομα που αντιμετωπίζουν δυσκολίες στον

εσωτερικό προσανατολισμό. Βασικό κομμάτι του συστήματος είναι μια συσκευή, η οποία παρέχει τη δυνατότητα πλοήγησης και διαδρομής με φωνητικές εντολές, με βάση τις δυνατότητες θέσης και προσανατολισμού της συσκευής.

Abstract:

Today's indoor navigational systems are more and more in demand, commonly used for applications such as smart cities, robots and visually impaired people. As far as outdoor navigation is considered, the Global Positioning System (GPS) technology is still one of the most (if not the most) commonly used approaches.

Even though it is still considered an ideal solution for navigating in outdoor areas, challenges and problems arise when GPS is considered for navigation inside buildings due to obstacles (e.g. shopping malls, hospitals, etc.) and because signals cannot be absorbed by the building walls. To tackle the aforementioned issue, other technologies have emerged aimed at indoor navigation, such as Wireless-Fidelity (Wi-Fi), Bluetooth and sensors.

This paper's contribution is towards indoor navigation and more specifically, it targets at designing and developing a tracking and navigation system aimed at people that experience difficulties in indoor orientation. The central part of the system is a device that provides the ability to navigate and route by voice commands, based on the device's location and orientation capabilities.

- ❖ **Eirini Barri, Christos Bouras, Apostolos Gkamas, Christina Koulouri, Evangelos Michos, Spyridon Aniceto Katsampiris Salgado, “Text to Speech through Bluetooth for People with Special Needs Navigation”, 2020, International Conference on Networking and Services (ICNS 2020). (Accepted)**

Περίληψη:

Όσον αφορά την πλοήγηση εξωτερικού χώρου, η τεχνολογία Global Positioning System (GPS) εξακολουθεί να είναι μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες (αν όχι η πιο) προσεγγίσεις. Παρόλο που εξακολουθεί να θεωρείται ιδανική λύση για πλοήγηση σε εξωτερικούς χώρους, προκύπτουν προκλήσεις και προβλήματα όταν χρησιμοποιείται το GPS για πλοήγηση μέσα σε κτίρια λόγω εμποδίων (π.χ. εμπορικά κέντρα, νοσοκομεία κ.λπ.), καθώς και επειδή τα σήματα δεν μπορούν να απορροφηθούν από τους τοίχους του κτιρίου .

Σκοπός αυτής της έρευνας, είναι το σύστημα πλοήγησης που βοηθά άτομα με ειδικές ανάγκες, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ηχητικής καθοδήγησης που ενσωματώνει είσοδο από ένα σύστημα αναγνώρισης φωνής. Το κεντρικό τμήμα του συστήματος, είναι μια συσκευή που παρέχει τη δυνατότητα πλοήγησης και διαδρομής με φωνητικές εντολές, με βάση τις δυνατότητες θέσης και προσανατολισμού της συσκευής.

Το προτεινόμενο σύστημα φωνητικής σύνθεσης χρησιμοποιείται, έτσι ώστε να καθοδηγεί τον χρήστη μέσα από εμπόδια σε εσωτερικούς χώρους. Η ασύρματη σύνδεση μεταξύ του κινητού τηλεφώνου του χρήστη και της κινητής συσκευής, διατίθεται μέσω πρωτοκόλλων Bluetooth χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (BLE). Για τις φωνητικές εντολές, θα χρησιμοποιηθεί το Google Cloud Text-To-Speech (TTS), υποθέτοντας ότι η σύνδεση στο διαδίκτυο είναι ενεργή στη συσκευή του χρήστη.

Abstract:

As far as outdoor navigation is considered, the Global Positioning System (GPS) technology is still one of the most (if not the most) commonly used approaches. Even though it is still considered an ideal solution for navigating in outdoor areas, challenges and problems arise when GPS is considered for navigation inside buildings due to obstacles (e.g. shopping malls, hospitals, etc.) and because signals cannot be absorbed by the building walls.

This paper's contribution is navigation system that assists people with special needs using an audio guidance system that incorporates input from a voice recognition system. The central part of the system is a device that provides the ability to navigate and route by voice commands, based on the device's location and orientation capabilities.

The suggested voice synthesis system is used, so as to guide the user through obstacles in indoor locations. Wireless connection between the user's mobile phone and the mobile device are made available through low energy consumption Bluetooth Low-Energy (BLE) protocols. For the voice commands, Google Cloud Text-To-Speech (TTS) will be used, supposed that an online connection is active on the user's device.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	7
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ	9
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	17
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	19
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	21
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	22
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΉ	27
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	28
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 2 : ΓΕΝΉΣ ΑΣΎΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΎΩΝ	30
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΉ	31
2.2 ΠΡΩΤΗ ΓΕΝΉΑ ΔΙΚΤΎΩΝ – 1G	31
2.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΕΝΉΑ ΔΙΚΤΎΩΝ – 2G.....	32
2.4 ΤΡΙΤΗ ΓΕΝΉΑ ΔΙΚΤΎΩΝ – 3G.....	33
2.5 ΤΕΤΑΡΤΗ ΓΕΝΉΑ ΔΙΚΤΎΩΝ – 4G.....	34
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 3 : ΠΕΜΠΤΗ ΓΕΝΉΑ ΔΙΚΤΎΩΝ – 5G	36
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	37
3.2 ΣΎΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΓΕΝΉΣ	37
3.3 ΑΝΑΓΚΑΪΟΤΗΤΑ 5G ΔΙΚΤΎΩΝ	39
3.4 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΆ	40
3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	41
3.6 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΡΉΣΤΗ.....	43
3.7 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 5G ΔΙΚΤΎΩΝ.....	44
3.7.1 <i>Milimeter Waves</i>	45
3.7.2 <i>Small Cells</i>	46
3.7.3 <i>Massive MIMO</i>	47
3.7.4 <i>Beamforming</i>	48
3.7.5 <i>Full Duplex</i>	49
3.8 ΠΡΟΚΛΉΣΕΙΣ	50

3.9 ΚΙΝΔΥΝΟΙ	52
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 4 : ΤΕΧΝΟΛΟΓΪΑ ΜΙΜΟ	54
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	55
4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΪΩΝ	55
4.2.1 Τεχνολογία SISO	56
4.2.2 Τεχνολογία SIMO	57
4.2.3 Τεχνολογία MISO	58
4.2.4 Τεχνολογία MIMO	59
4.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MASSIVE MIMO	60
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 5 : ΤΟ ΠΡΌΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΣΑΚΙΔΪΟΥ	63
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	63
5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΆ 0-1 ΚΝΑΡSACK PROBLEM	64
5.3 ΠΑΡΑΔΕΪΓΜΑΤΑ	65
5.3.1 Παράδειγμα 1	65
5.3.2 Παράδειγμα 2	65
5.4 ΕΠΕΚΤΆΣΕΙΣ	67
5.5 ΆΛΛΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	68
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 6 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΌΥ	69
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	69
6.2 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΈΡΕΥΝΕΣ	70
6.3 ΠΡΟΤΕΙΝΌΜΕΝΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	73
6.3.1 Εισαγωγή	74
6.3.2 Σενάριο	74
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 7 : ΠΕΡΙΒΆΛΛΟΝ ΠΡΟΣΟΜΌΪΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΪΑΣΗ	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΆΤΩΝ	80
7.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΣΟΜΌΪΩΣΗΣ	81
7.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	81
7.3 ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΆΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	83
7.3.1 Εφαρμογή του Knapsack σε Massive MIMO Δίκτυο	83
7.3.2 Χαρακτηριστικά του Knapsack	84
7.3.3 Καλύτερος Knapsack Αλγόριθμος	85
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 9 : ΣΥΜΠΕΡΆΣΜΑΤΑ	87
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 10 : ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΪΑ	89
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 11 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΪΑ	91

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Εξέλιξη Ασύρματων Δικτύων Επικοινωνιών	31
Εικόνα 2. Χαρακτηριστικά 1G.....	32
Εικόνα 3. Χαρακτηριστικά 2G.....	33
Εικόνα 4. Χαρακτηριστικά 3G.....	34
Εικόνα 5. Χαρακτηριστικά 4G.....	35
Εικόνα 6. 5G Δίκτυα.....	37
Εικόνα 7. Ετήσια Αύξηση Συσκευών Τύπου M2M	39
Εικόνα 8. Φάσμα συχνοτήτων από το πρότυπο 5G NR.....	40
Εικόνα 9. Χαρακτηριστικά 5G.....	41
Εικόνα 10. Συνδεδεμένα Οχήματα.....	44
Εικόνα 11. Milimeter Waves	45
Εικόνα 12. Small Cells	46
Εικόνα 13. Massive MIMO	47
Εικόνα 14. Beamforming.....	48
Εικόνα 15. Full Duplex.....	49
Εικόνα 16. Μορφές Συνδέσεων Τεχνολογίας Κεραίας.....	56
Εικόνα 17. Διαφορές SU-MIMO και MU-MIMO.....	56
Εικόνα 18. Τεχνολογία SISO.....	57
Εικόνα 19. Τεχνολογία SIMO.....	58
Εικόνα 20. Τεχνολογία MISO.....	59
Εικόνα 21. Τεχνολογία MIMO	60
Εικόνα 22. 5G Massive MIMO Κεραία	61
Εικόνα 23. Knapsack Problem.....	63
Εικόνα 24. S. Skiena Book	68
Εικόνα 25. Τοπολογία του 5G Δικτύου.....	75
Εικόνα 26. Προτεινόμενος Αλγόριθμος.....	79
Εικόνα 27. Περιβάλλον Προσομοίωσης MATLAB	81

Εικόνα 28. Δίκτυο Προσομοίωσης	83
Εικόνα 29. Αριθμός UE που συνδέονται στο BS με βάση την ελάχιστη απόσταση.....	84
Εικόνα 30. Αριθμός βάρους κάθε UE που συνδέεται στο BS με συνολικό βάρος 400MHz	85
Εικόνα 31. Αριθμός BS και η τιμή του καλύτερου KP για κάθε BS.....	86

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: < Σύγκριση Όλων των Γενιών Ασύρματων Δικτύων >	37
Πίνακας 2: < Χαρακτηριστικά 5G >	42
Πίνακας 3: < Πρόβλημα KP >	64
Πίνακας 4: < Παράδειγμα KP >	65
Πίνακας 5: < Παράμετροι Αλγορίθμου >	79

Ακρωνύμια

Συντομεύσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, συνοδευόμενες από την επεξήγησή τους.

Συντόμευση	Επεξήγηση
1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
AKA	Authentication and Key Agreement
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AP	Access Point
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions
BDMA	Beam Division Multiple Access
BLE	Bluetooth Low-Energy
BS	Base Station

CCSA	China Communications Standards Association
CDMA2000	Code - Division Multiple Access
CSI	Channel Status Information
DL	DownLink
DR	Data Rate
EDGE	Global Systems Mobile Evolution
EHF	Extremely high frequency
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FR	Frequency Range
Gbps	Gigabits Per Second
Ghz	Gigahertz
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global Systems for Mobile Communication
HD	High Definition
HQ	High Quality
HSPA	High Speed Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things

IMT	International Mobile Telecommunications
IMTS	Improved Mobile Telephone System
ITU	International Telecommunication Union
Kbps	Kilobits Per Second
KP	Knapsack Problem
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
m	meters
M2M	Machine to Machine
M2Mi	Machine-to-Machine Intelligence
Ma-MIMO	Massive Multiple Input Multiple Output
Mbps	Megabits Per Second
MBps	Mega Byte Per Second
Mhz	Megahertz
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
mmWaves	Milimeter Waves
ms	milisecond
MTC	Machine Type Communication

MU-MIMO	Multi User Multiple Input Multiple Output
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NP	Non-Deterministic Polynomial-Time
NR	New Radio
NTT	Nippon Telegraph and Telephone
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RB	Resource Block
SDMA	Space-division multiple access
SIMO	Single Input Multiple Output
SINR	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio
SISO	Single Input Single Output
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SU-MIMO	Single User Multiple Input Multiple Output
TDD	Time Division Duplex
TSDSI	Telecommunications Standards Development Society
TTA	Telecommunications Technology Association
TTC	Telecommunication Technology Committee
TTS	Text-To-Speech

UE	User Equipment
UL	UpLink
VR	Virtual Reality
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability Microwave Access

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Μερικοί από τους βασικούς λόγους που μας οδηγούν στην νέα γενιά δικτύων 5G, είναι η ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα, βελτιωμένη ταχύτητα δεδομένων, μειωμένη καθυστέρηση, μαζική συνδεσιμότητα συσκευών, χαμηλότερο κόστος και καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας. Δεν αποτελεί είδηση ότι η νέα γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (Fifth Generation, 5G), είναι πιο κοντά από ποτέ, με την επερχόμενη εδραίωσή τους να είναι η χρονιά του 2020.

Το δίκτυο 5G είναι η επόμενη μεγάλη γενιά κυψελοειδών κινητών επικοινωνιών, πέρα από τα ήδη υπάρχοντα πρότυπα 4G / IMT Advanced. Η νέα γενιά δικτύων αναμένεται να υποστηρίξει μια σημαντική ποσότητα δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, θα εξυπηρετεί έναν πολύ μεγάλο αριθμό ασύρματων συνδέσεων, παρέχοντας υψηλότερα επίπεδα όσον αφορά την ποιότητα των υπηρεσιών. Όταν μιλάμε για καθυστέρηση επικοινωνίας, αξιοπιστία και ασφάλεια, το δίκτυο 5G θα φέρει καλύτερα αποτελέσματα, με χαμηλότερο κόστος και καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Προκειμένου να επιτευχθούν όλα όσα αναφέραμε παραπάνω, έχουν σχεδιαστεί πέντε τεχνολογίες, Millimeter Waves, Small Cells, Massive MIMO, Beamforming και Full Duplex, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

Με μια κύρια προσαρμογή των κατάλληλων συστημάτων που αναφέρονται τόσο στην επικοινωνία όσο και στον εντοπισμό, μπορεί να γίνει αντιληπτή η επικοινωνία με γνώμονα την τοποθεσία και να υποστηριχθεί ένας τεράστιος αριθμός υπηρεσιών βάσει τοποθεσίας. Τα 5G δίκτυα έχουν ένα ανώτερο σχήμα μετάδοσης που ονομάζεται BDMA. Αυτή η τεχνολογία εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλαπλούς χρήστες μέσα από διαφορετικές δέσμες. Λαμβάνοντας υπόψη την επικοινωνία μεταξύ του σταθμού βάσης και του χρήστη, μια ορθογώνια δέσμη διανέμεται σε κάθε χρήστη κινητής τηλεφωνίας. Με αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται η χωρητικότητα του συστήματος, λόγω της τεχνικής BDMA που χωρίζει τη δέσμη της κεραίας, σύμφωνα με τη θέση του χρήστη.

Η τεχνολογία Ma-MIMO αποτελεί έναν βασικό παράγοντα της δημιουργίας της επόμενης γενιάς προτύπων δικτύου. Το MIMO σημαίνει πολλαπλές εισοδοί - πολλαπλές έξοδοι. Χαρακτηρίζεται από ασύρματα συστήματα, τα οποία επιτρέπουν την ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη περισσότερων από ένα σημάτων δεδομένων, μέσω του ίδιου ραδιοφωνικού καναλιού. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ξεχωριστές κεραίες στην εκπομπή και στη λήψη για κάθε σήμα δεδομένων.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, προτείνεται ένας μηχανισμός κατανομής πόρων από το σταθμό βάσης στις διαθέσιμες κεραίες, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Knapsack. Αυτός ο αλγόριθμος είναι μια διαφορετική προσέγγιση της τεχνολογίας MIMO, καθώς επιδιώκει να εξυπηρετήσει όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες, σε ένα εξαιρετικό επίπεδο εξυπηρέτησης.

Στόχος αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, είναι να αξιολογήσουμε την πρόσβαση των χρηστών στις κεραίες και να μελετήσουμε την περίπτωση όπου ο σταθμός βάσης μοιράζει πόρους στις κεραίες με τις οποίες επικοινωνεί, σύμφωνα με την εκτίμηση του καναλιού που λαμβάνει από κάθε κεραία. Το σενάριο που εκτελείται, αφορά την εξυπηρέτηση του μέγιστου αριθμού χρηστών που συνδέεται με το σταθμό βάσης, ενώ ορισμένοι χρήστες βρίσκονται στα όρια ενός κελιού. Είναι πολύ σημαντικό για τον προτεινόμενο μηχανισμό να καταφέρει να εξυπηρετήσει αυτούς τους χρήστες, επιτυγχάνοντας ένα ικανοποιητικό επίπεδο QoS, όσον αφορά το επιτευχθέν εύρος ζώνης.

Τέλος, θα προσομοιώσουμε τον προτεινόμενο αλγόριθμο στο υπολογιστικό περιβάλλον της MATLAB, προκειμένου να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε εάν τα αιτήματα του χρήστη ικανοποιούνται με τον βέλτιστο τρόπο. Για να το επιτύχουμε αυτό, εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο 0-1 Knapsack στην εφαρμογή μας.

Η διπλωματική εργασία δομείται ως εξής:

- ❖ Στο **Κεφάλαιο 2**, θα κάνουμε μία ιστορική αναδρομή στις γενιές των ασύρματων δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, θα αναφέρουμε εν συντομία τα κυριότερα σημεία από τις προηγούμενες γενιές δικτύων, ξεκινώντας από τα Δίκτυα Πρώτης Γενιάς μέχρι και τα Δίκτυα Τέταρτης Γενιάς.
- ❖ Στο **Κεφάλαιο 3**, θα συνεχίσουμε με την εισαγωγή στα Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς και θα τα συγκρίνουμε με τις προηγούμενες γενιές δικτύων. Στη συνέχεια, θα δούμε ποια είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τα οποία τα καθιστούν τόσο αναγκαία στις μέρες μας. Έπειτα, θα αναλύσουμε τα πλεονεκτήματα και τις δυνατότητες που παρέχουν στον τελικό χρήστη. Θα αναφέρουμε τις πέντε βασικές τεχνολογίες που αποτελούν τον «βασικό κορμό» των 5G δικτύων (Millimeter Waves, Small Cells, Massive MIMO, Beamforming και Full Duplex). Τέλος, θα αναλύσουμε τις προκλήσεις και τους κινδύνους που προκύπτουν από τα δίκτυα της νέας γενιάς.
- ❖ Στο **Κεφάλαιο 4**, γίνεται αναφορά στην τεχνολογία MIMO. Δίνονται εν συντομία οι τεχνολογίες SISO, SIMO, MISO και MIMO, ενώ στη συνέχεια δίνεται περισσότερη έμφαση στην τεχνολογία Massive MIMO, η οποία αποτελεί βασικό στοιχείο της μεταπτυχιακής έρευνας.
- ❖ Στο **Κεφάλαιο 5**, παρουσιάζεται το Πρόβλημα του Σακιδίου (Knapsack Problem) και τα χαρακτηριστικά του. Ο αλγόριθμος του Knapsack, αποτελεί μια βασική προσέγγιση για την καλύτερη εξυπηρέτηση όσο το δυνατόν περισσότερων χρηστών, σε μεγαλύτερα επίπεδα εξυπηρέτησης. Τέλος, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα του.
- ❖ Στο **Κεφάλαιο 6**, δίνεται η περιγραφή του μηχανισμού. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μια αναφορά σε προηγούμενες έρευνες και παρουσιάζεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος κατανομής πόρων σε Massive MIMO δίκτυα, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Knapsack.
- ❖ Στο **Κεφάλαιο 7**, περιγράφεται το περιβάλλον προσομοίωσης που επιλέχθηκε, καθώς και οι παράμετροι και οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για την εξομίωση του αλγόριθμου. Επιπλέον, προβάλλουμε και συζητάμε τα αποτελέσματα από την προσομοίωση που αξιολογούν την απόδοση του συστήματός μας. Τέλος, παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις με τα συμπεράσματα που εξάγονται από την κάθε μία.
- ❖ Στο **Κεφάλαιο 8**, καταλήγουμε στα συμπεράσματα, που παρατηρούνται από τα αποτελέσματα της μελέτης που διεξάχθηκε για την μεταπτυχιακή εργασία.
- ❖ Στο **Κεφάλαιο 9** δίνονται ιδέες για μελλοντική εργασία στο συγκεκριμένο θέμα, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω μελέτης και επέκταση του μοντέλου της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

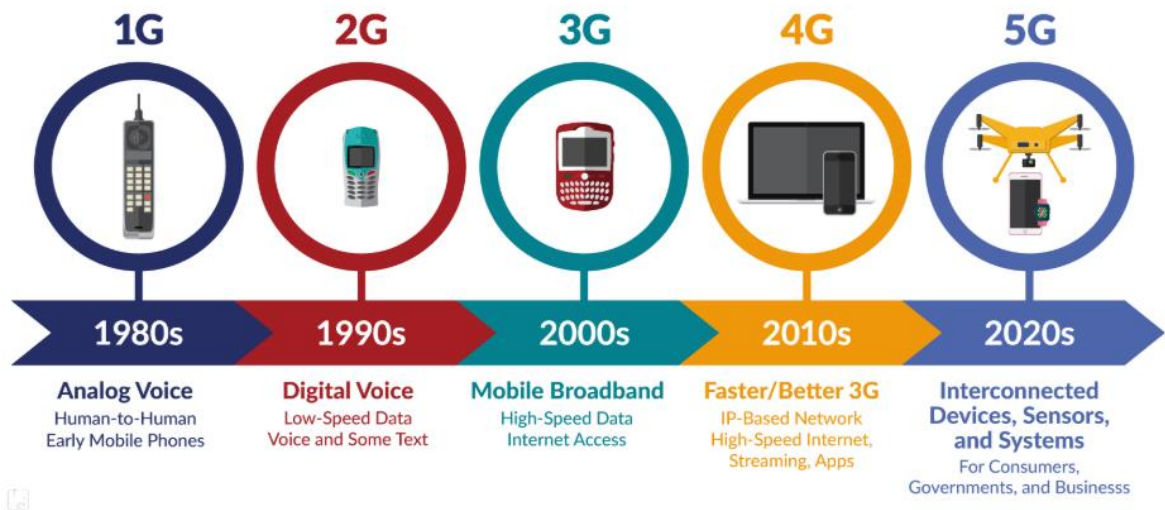
Κεφάλαιο 2 : Γενιές Ασύρματων Δικτύων

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Οι τηλεπικοινωνίες και η δικτύωση υπήρξαν και θα είναι μια από τις βασικές τεχνολογίες για να βοηθήσουν την εξέλιξη της ανθρωπότητας και της ίδιας της τεχνολογίας. Εάν δεν ήταν τα κανάλια επικοινωνίας και μετάδοσης δεδομένων, πιθανότατα θα ήμασταν ακόμη σε μια εποχή όπου η τεχνολογία δε θα ήταν τόσο προηγμένη όσο είναι σήμερα [1].

Τις τελευταίες δεκαετίες, υπήρξε μια τεράστια πρόοδος στην τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας στις κινητές συσκευές. Αυτή η καινοτομία αποτελείται από πολλές γενιές και συνεχίζεται. Για να κατανοήσουμε πραγματικά πώς φτάσαμε ως εδώ, είναι σημαντικό να χαρτογραφήσουμε το ταξίδι της ασταμάτητης ανόδου των ασύρματων προτύπων, από την Πρώτη Γενιά Δικτύων (1G), μέχρι το σημείο που βρισκόμαστε σήμερα την Τέταρτη Γενιά Δικτύων (4G), και την Πέμπτη Γενιά Δικτύων (5G) στο εγγύς μέλλον.

Στη συνέχεια, θα δούμε αναλυτικά την εξέλιξη των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών, για να κατανοήσουμε τι έχει αλλάξει πραγματικά και ποιες είναι οι βασικές αρχές αυτής της τεχνολογίας ασύρματης επικοινωνίας.



Εικόνα 1. Εξέλιξη Ασύρματων Δικτύων Επικοινωνιών [2]

2.2 Πρώτη Γενιά Δικτύων – 1G

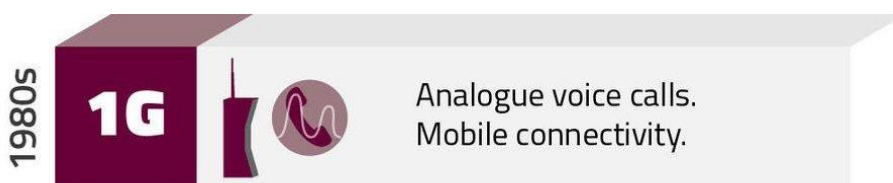
Η Πρώτη Γενιά κινητών Δικτύων, κυκλοφόρησε από την NTT στο Τόκιο το 1979. Μέχρι το 1984, η NTT είχε εισάγει τα 1G Δίκτυα για να καλύψει ολόκληρη την Ιαπωνία. Το 1983, οι ΗΠΑ ενέκριναν τις πρώτες λειτουργίες 1G και το DynaTAC της Motorola έγινε ένα από τα πρώτα «κινητά» τηλέφωνα που είχαν ευρεία χρήση σε όλη την πολιτεία. Άλλες χώρες όπως ο Καναδάς και το Ηνωμένο Βασίλειο δημιούργησαν τα δικά τους δίκτυα 1G λίγα χρόνια αργότερα [3].

Στην αρχή, η Πρώτη Γενιά Δικτύων δεν είχε κάποια ονομασία. Ήταν απλά ένα δίκτυο με δυνατότητες μόνο φωνητικής κλήσης, το οποίο στη συνέχεια πήρε το όνομα 1G μετά την εμφάνιση της Δεύτερης Γενιάς Δικτύων - 2G [1]. Τα 1G Δίκτυα μεταδίδουν φωνητικά

σήματα με αναλογικό τρόπο. Ο χρήστης πρέπει να ενεργοποιήσει ένα κουμπί μετάδοσης και να απενεργοποιήσει τη λήψη, γι' αυτό και θα λέγαμε ότι έγινε ένα σύστημα «πατήστε για μετάδοση». Η ταυτόχρονη ακρόαση και ομιλία δεν επιτρέπεται σε αυτό το σύστημα, επομένως, τη δεκαετία του 1960 κυκλοφόρησε το IMTS [4]. Αυτό το σύστημα αποτελείται από δύο κανάλια, ένα κανάλι χρησιμοποιήθηκε για αποστολή και το άλλο χρησιμοποιήθηκε για λήψη, με αποτέλεσμα την εξάλειψη του συστήματος «πατήστε για μετάδοση». Το IMTS χρησιμοποιούσε 23 κανάλια που κυμαίνονταν στο εύρος 150Mhz έως 450Mhz.

Η εταιρεία Bell Labs στις ΗΠΑ εφηύρε την AMPS και έτσι εισήγαγε τα 1G Δίκτυα το 1983. Το AMPS ήταν γνωστό ως MCS-LI στην Ιαπωνία και στην Αγγλία ονομάστηκε TACS.

Η βασική ιδέα των κυψελοειδών δικτύων πρώτης γενιάς είναι ότι η γεωγραφική περιοχή κατανέμεται σε κελιά. Το κελί έχει μήκος 10-25kms και κάθε κελί έχει έναν σταθμό βάσης. Το μήκος του κελιού στο AMPS είναι μικρότερο σε σύγκριση με τα κελιά στο IMTS και ως εκ τούτου μπορεί να υποστηρίξει και άλλα κοντινά κελιά. Επίσης, τα κελιά στο AMPS απαιτούν λιγότερη ισχύ και είναι φθηνότερα. Στο AMPS διατίθενται δύο δέσμες των 25Mhz. Η μία είναι για μετάδοση από το σταθμό βάσης στο κινητό και η άλλη είναι για μετάδοση από το κινητό στο σταθμό βάσης [4].



Εικόνα 2. Χαρακτηριστικά 1G [5]

Ωστόσο, η τεχνολογία 1G υπέφερε από ορισμένα μειονεκτήματα. Η κάλυψη ήταν κακή και η ποιότητα του ήχου ήταν χαμηλή. Δεν υπήρχε υποστήριξη μεταξύ διαφόρων χειριστών και καθώς διαφορετικά συστήματα λειτουργούσαν σε διαφορετικά εύρη συχνοτήτων, δεν υπήρχε συμβατότητα μεταξύ των συστημάτων. Ένα πιο σημαντικό μειονέκτημα, είναι ότι οι κλήσεις δεν ήταν κρυπτογραφημένες, με αποτέλεσμα οποιοσδήποτε με σαρωτή ραδιοφώνου θα μπορούσε να μπει σε μια κλήση και να ακούσει ολόκληρη τη συζήτηση [4].

Παρά τα μειονεκτήματα αυτά, το DynaTAC κατάφερε ακόμα να συγκεντρώσει 20 εκατομμύρια παγκόσμιους συνδρομητές μέχρι το 1990 [3]. Δεν υπήρχε καμία επιστροφή, η επιτυχία των 1G Δικτύων, άνοιξε το δρόμο για τη Δεύτερη Γενιά - 2G.

2.3 Δεύτερη Γενιά Δικτύων – 2G

Η Δεύτερη Γενιά Δικτύων - 2G με ψηφιακή μετάδοση, εισήχθη στα τέλη της δεκαετίας του 1980 έως το 2003. Για πρώτη φορά, οι κλήσεις θα μπορούσαν να κρυπτογραφηθούν και οι ψηφιακές φωνητικές κλήσεις ήταν σημαντικά πιο καθαρές με λιγότερα παράσιτα [6].

Τα 2G δίκτυα ήταν κάτι πολύ περισσότερο από τηλεπικοινωνίες, αφού βοήθησαν να τεθούν τα θεμέλια για μια πολιτιστική επανάσταση. Για πρώτη φορά, οι χρήστες μπορούσαν να στείλουν μηνύματα κειμένου (SMS), μηνύματα εικόνας και μηνύματα πολυμέσων (MMS) στα τηλέφωνα τους. Το αναλογικό παρελθόν του 1G έδωσε τη θέση του στο ψηφιακό μέλλον που παρουσίασαν τα 2G δίκτυα. Αυτό οδήγησε σε μαζική υιοθέτηση από καταναλωτές και επιχειρήσεις, σε κλίμακα που δεν είχαν ξαναδεί [3].

Κατά τη διάρκεια της εποχής των 2G δικτύων, σημειώθηκαν αρκετές εξελίξεις στο φάσμα όπως το GSM, το GPRS και το EDGE [1].

- **GSM:** Το Global Systems for Mobile Communication επέτρεψε τη μεταφορά δεδομένων πάνω από τη φωνητική επικοινωνία σε ταχύτητες των 30-35 kbps. Έπαιξε κρίσιμο ρόλο στην εξέλιξη, καθώς η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας ήταν ακριβώς τη στιγμή που χρησιμοποιούσαν τη συνδεσιμότητα του κινητού τηλεφώνου και η δημοτικότητα εξερράγη.
- **GPRS:** Το General Packet Radio Service λειτούργησε με παρόμοια τεχνολογία με το GSM, με μερικές βελτιώσεις και υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων στα 110 kbps.
- **EDGE:** Οι βελτιωμένοι ρυθμοί δεδομένων για το GSM Evolution που εισήχθησαν το 2003, ήταν κάπως γνωστό ότι ήταν 2,9G ή 3G λόγω των σημαντικών εξελίξεων σε σχέση με το GPRS και το GSM. Προσφέρει υψηλές ταχύτητες των 135 kbps και συνεχίζει να χρησιμοποιείται σε πολλά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ακόμη και σήμερα, καθώς ικανοποιεί τις βασικές ανάγκες τόσο των παροχών όσο και των χρηστών σε διάφορα μέρη του κόσμου.



Εικόνα 3. Χαρακτηριστικά 2G [5]

Αν και οι ταχύτητες μετάδοσης των 2G δικτύων ήταν αρχικά μικρές, οι επιχειρηματίες έσπευσαν να επενδύσουν σε νέες υποδομές, όπως πύργους κινητής τηλεφωνίας [3]. Παρά τις σχετικά αργές ταχύτητες, η επανάσταση των 2G δικτύων στο επιχειρηματικό τοπίο άλλαξε τον κόσμο για πάντα.

2.4 Τρίτη Γενιά Δικτύων – 3G

Η Τρίτη Γενιά Δικτύων - 3G κυκλοφόρησε από την NTT DoCoMo το 2001 και είχε ως στόχο την τυποποίηση του πρωτοκόλλου δικτύου που χρησιμοποιούν οι προμηθευτές. Αυτό σήμαινε, ότι οι χρήστες θα μπορούσαν να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα από

οποιαδήποτε τοποθεσία στον κόσμο, καθώς τα «πακέτα δεδομένων» που οδηγούν στη συνδεσιμότητα στον Ιστό τυποποιήθηκαν [3].

Ήταν μια μεγάλη επανάσταση όσον αφορά την τεχνολογική πρόοδο για τη μετάδοση δικτύων και δεδομένων. Τα 3G δίκτυα έχουν δυνατότητες ταχύτητας έως 2 mbps. Οι αυξημένες ταχύτητες, οδήγησαν επίσης στην αύξηση νέων υπηρεσιών, όπως τηλεδιάσκεψη, βίντεο streaming και φωνή μέσω IP, όπως το Skype [3]. Ακόμα, οι υψηλές αυτές ταχύτητες επέτρεψαν στα smartphone να παρέχουν ταχύτερη επικοινωνία, αποστολή / λήψη μεγάλων μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και κειμένων, γρήγορη περιήγηση στον ιστό και περισσότερη ασφάλεια μεταξύ άλλων.



Εικόνα 4. Χαρακτηριστικά 3G [5]

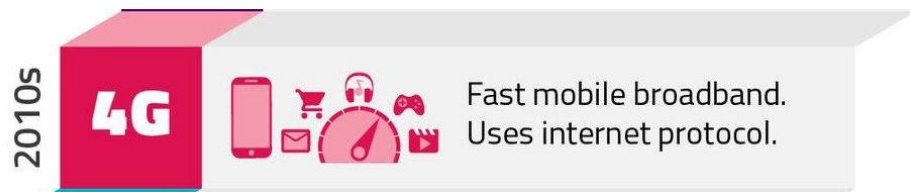
Τα 3G δίκτυα βασίστηκαν ευρέως σε τεχνολογίες CDMA2000 και EDGE. Επειδή το EDGE ήταν τόσο προηγμένο, μπόρεσε να προσφέρει αρκετές δυνατότητες για να θεωρηθεί 3G. Αντίθετα, το CDMA2000 λειτούργησε με παρόμοιες βασικές έννοιες αλλά βελτιωμένες. Επέτρεψε σε πολλά κανάλια να επικοινωνούν ταυτόχρονα, βελτιώνοντας έτσι την υπερβολική ταχύτητα και τη συνδεσιμότητα [1].

Το 2002 κυκλοφόρησε το Blackberry και πολλά από τα ισχυρά χαρακτηριστικά του κατέστη δυνατά, χάρη στη συνδεσιμότητα 3G. Τέλος, η εποχή των 3G δικτύων έφεραν την κυκλοφορία των iPhone το 2007 [3].

2.5 Τέταρτη Γενιά Δικτύων – 4G

Η Τέταρτη Γενιά Δικτύων - 4G αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη Στοκχόλμη, τη Σουηδία και το Όσλο της Νορβηγίας το 2009 ως πρότυπο 4G LTE. Το LTE σημαίνει Long Term Evolution και δεν είναι τόσο τεχνολογία όσο είναι η διαδρομή που ακολουθείται για την επίτευξη ταχύτητας 4G. Ήταν ένας πλήρης επανασχεδιασμός και απλοποίηση της αρχιτεκτονικής του δικτύου 3G, με αποτέλεσμα την αύξηση των ταχυτήτων στο δίκτυο [1].

Στη συνέχεια παρουσιάστηκε σε ολόκληρο τον κόσμο και έκανε πραγματικότητα το βίντεο streaming υψηλής ποιότητας για εκατομμύρια καταναλωτές. Τα 4G δίκτυα προσφέρουν γρήγορη πρόσβαση στον ιστό για κινητά (έως 1Gbps για σταθερούς χρήστες) που διευκολύνει τις υπηρεσίες παιχνιδιών, βίντεο HD και τηλεδιάσκεψη HQ [3].



Εικόνα 5. Χαρακτηριστικά 4G [5]

Το πλεονέκτημα ήταν ότι ενώ η μετάβαση από 2G σε 3G ήταν τόσο απλή, οι κινητές συσκευές έπρεπε να είναι ειδικά σχεδιασμένες για να υποστηρίξουν τα 4G δίκτυα. Αυτό βοήθησε τους κατασκευαστές συσκευών να αυξήσουν δραματικά τα κέρδη τους, εισάγοντας νέα φορητά ακουστικά 4G και ήταν ένας παράγοντας για την άνοδο της Apple, η οποία έγινε η πρώτη εταιρεία τρισεκατομμυρίων δολαρίων στον κόσμο [3].

Κεφάλαιο 3 : Πέμπτη Γενιά Δικτύων – 5G

3.1 Εισαγωγή

Ο Kevin Ashton, είναι γνωστός για την επινόηση του όρου «το Διαδίκτυο των πραγμάτων», ή IoT (Internet of Things), το οποίο είναι ένα σύστημα όπου το Διαδίκτυο συνδέεται με τον φυσικό κόσμο μέσω πανταχού παρόντων αισθητήρων [7]. Το IoT χαρακτηρίστηκε ως η επόμενη μεγάλη ψηφιακή επανάσταση, η οποία θα έβλεπε δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές να μοιράζονται απρόσκοπτα δεδομένα σε όλο τον κόσμο. Σύμφωνα με τον Ashton, ένα κινητό τηλέφωνο δεν είναι τηλέφωνο, αλλά



Εικόνα 6. 5G Δίκτυα [8]

το IoT στην τσέπη σας [3]. Διαθέτει έναν αριθμό αισθητήρων συνδεδεμένων στο δίκτυο, που σας βοηθούν να ολοκληρώσετε τα πάντα, από πλοήγηση έως φωτογραφίες, έως επικοινωνία και άλλα. Το IoT θα δει τα δεδομένα να μετακινούνται από τα κέντρα διακομιστών, σε αυτό που ορίζεται ως «συσκευές αιχμής», όπως συσκευές με δυνατότητα Wi-Fi, όπως ψυγεία, πλυντήρια και αυτοκίνητα.

Το 2008, η NASA βοήθησε στην εκκίνηση του M2Mi Corp για την ανάπτυξη της τεχνολογίας IoT και M2M, καθώς και της τεχνολογίας 5G που απαιτείται για την υποστήριξή της. Την ίδια χρονιά, η Νότια Κορέα ανέπτυξε ένα πρόγραμμα έρευνας και ανάπτυξης 5G, ενώ το Πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης ίδρυσε το NYU WIRELESS με επίκεντρο το 5G το 2012.

Μερικοί από τους βασικούς λόγους που μας οδηγούν στην Πέμπτη Γενιά Δικτύων - 5G, είναι η ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα, βελτιωμένη ταχύτητα δεδομένων, μειωμένη καθυστέρηση, μαζική συνδεσιμότητα συσκευών, χαμηλότερο κόστος και καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας. Δεν αποτελεί είδηση ότι η νέα γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (Fifth Generation, 5G), είναι πιο κοντά από ποτέ, με την επερχόμενη εδραίωσή τους να είναι η χρονιά του 2020.

Οι στόχοι για τα 5G δίκτυα περιλαμβάνουν σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες (τουλάχιστον 1 Gbps και ίσως έως 10 Gbps), με χαμηλότερες απαιτήσεις ισχύος για την καλύτερη υποστήριξη τεράστιων αριθμών νέων συσκευών IoT [1]. Επιπλέον, θα έχει δυνατότητες να παρέχει πιο γρήγορες ταχύτητες κλήσης, συνδεσιμότητα πολλαπλών συσκευών και υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων.

Το δίκτυο 5G είναι η επόμενη μεγάλη γενιά κυψελοειδών κινητών επικοινωνιών, πέρα από τα ήδη υπάρχοντα πρότυπα 4G / IMT Advanced [4]. Η νέα γενιά δικτύων αναμένεται να υποστηρίξει μια σημαντική ποσότητα δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, θα εξυπηρετεί έναν πολύ μεγάλο αριθμό ασύρματων συνδέσεων, παρέχοντας υψηλότερα επίπεδα όσον αφορά την ποιότητα των υπηρεσιών. Όταν μιλάμε για καθυστέρηση επικοινωνίας, αξιοπιστία και ασφάλεια, το δίκτυο 5G θα φέρει καλύτερα αποτελέσματα, με χαμηλότερο κόστος και καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

3.2 Σύγκριση με προηγούμενες γενιές

Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, οι προγραμματιστές γνώριζαν ότι τα δίκτυα 3G και ακόμη και τα 4G δίκτυα, δε θα μπορούσαν να υποστηρίξουν ένα δίκτυο με μια σημαντική ποσότητα δεδομένων κινητής τηλεφωνίας, έναν πολύ μεγάλο αριθμό ασύρματων συνδέσεων, καθώς και υψηλότερα επίπεδα όσον αφορά την ποιότητα των υπηρεσιών. Ενώ η

καθυστέρηση στα 4G δίκτυα μεταξύ 40ms και 60ms είναι πολύ αργή για απαντήσεις σε πραγματικό χρόνο, ορισμένοι ερευνητές άρχισαν να αναπτύσσουν την επόμενη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας [3].

Ακόμα, αν τα 5G δίκτυα πετύχουν τις αναμενόμενες ταχύτητες των 10 Gbps, αυτό σημαίνει ότι θα είναι 100 φορές ταχύτερο από τα 4G δίκτυα. Θα είναι επίσης 30 φορές πιο γρήγορα από τα προηγμένα πρότυπα 4G, όπως το LTE-Advanced. Ωστόσο, ακόμη και με πιο «μικρές» εκτιμήσεις, θα ξεπεράσουν εύκολα τόσο τα 3G όσο και τα 4G δίκτυα.

Τα 3G δίκτυα έχουν μέσες ταχύτητες λήψης 8Mbps και μέγιστο 384Kbps, σε αντίθεση με τα 4G δίκτυα που έχουν μέση ταχύτητα λήψης 32,5Mbps και μέγιστο 100Mbps. Τα δίκτυα 4G+ έχουν μέσο όρο 42Mbps και μέγιστη ταχύτητα λήψης 300Mbps. Ωστόσο, τα 5G δίκτυα, συγκριτικά, έχουν μέση ταχύτητα λήψης 130-240Mbps και μέγιστο 1-10Gbps [9].

Ας δούμε ένα παράδειγμα για να κατανοήσουμε τη σημασία των ταχυτήτων. Αν για τη λήψη μιας ταινίας πλήρους HD, χρειάζονται 4 έως 40 δευτερόλεπτα τα 5G δίκτυα, τα 4G δίκτυα θα χρειαστούν πάνω από 7 λεπτά και τα 3G δίκτυα πάνω από μια ημέρα! Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορές στα χαρακτηριστικά των γενιών ασύρματων δικτύων και η εξέλιξή τους.

Technology Features	1G	2G	3G	4G	5G
Start/Deployment	1970 - 1980	1990 - 2004	2004 - 2010	Now	Soon(Probably2020)
Data Bandwidth	2Kbps	64Kbps	2Mbps	1Gbps	Heigher then 1Gbps
Technology	Analog celluar Technology	Digital celluar Technology	CDMA 2000 (1X RIT,EVDO) UMTS,EDGE	WiMax LTE Wi-fi	WWW(coming soon)
Service	MobileTelephony (voice)	Digital voice SMS Higher Capacity Packetized data	Integrated high Quality audio Video and data	Dynamic information access,Wearable devices	Dynamic information access,Wearable devices with AI capabilities
Multiplexing	FDMA	TDMA,CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Switching	Circuit	Circuit,packet	Packet	All Packet	All Packet
Core Network	PSTN	PSTN	Packet N/W	Internet	Internet

Πίνακας 1. Σύγκριση Όλων των Γενιών Ασύρματων Δικτύων [6]

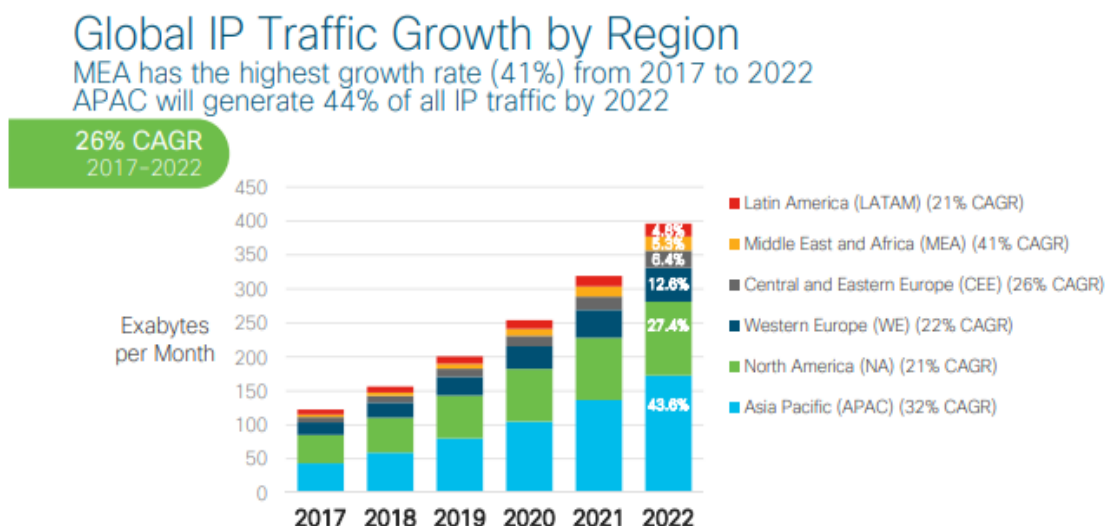
Επομένως, παρατηρούμε ότι η ασύρματη τεχνολογία εξελίχθηκε γρήγορα από τα τέλη του αιώνα. Από δυνατότητες 2G μόνο για φωνή και 3G με δυνατότητα διαδικτύου, το σημερινό οικοσύστημα ασύρματης δραστηριότητας βασίζεται στην αξιόπιστη σύνδεση του 4G. Ειδικά, τα δίκτυα 5G βελτιώνουν την τρέχουσα τεχνολογία των 4G δικτύων, ως προς την ταχύτητα (συγκρίσιμη με αυτή των δικτύων οπτικών ινών), γεγονός το οποίο την καθιστά κατάλληλη για κρίσιμες εφαρμογές που απαιτούν ταχεία αντίδραση, όπως για παράδειγμα ο τηλεχειρισμός οχημάτων. Επιπλέον, τα δίκτυα 5G διαθέτουν καλύτερη κάλυψη και αξιοπιστία από τα 4G δίκτυα, καθώς μπορούν να συνδεθούν περισσότερες συσκευές στο Διαδίκτυο ταυτόχρονα (IoT), χωρίς προβλήματα εύρους ζώνης [10].

Ακόμα, η τεχνολογία ασύρματου 5G δικτύου, κυκλοφορεί σε μεγάλες πόλεις παγκοσμίως. Μέχρι το 2024, εκτιμάται ότι 1,5 δισεκατομμύριο χρήστες κινητών τηλεφώνων, θα χρησιμοποιούν ασύρματα δίκτυα 5G [11]. Η υψηλότερη συνδεσιμότητα που προσφέρει η νέα γενιά δικτύων 5G, υποσχέθηκε να μετατρέψει τα πάντα, από τραπεζικές υπηρεσίες μέχρι και υγειονομική περίθαλψη. Καταλήγοντας, τα 5G δίκτυα προσφέρουν τη δυνατότητα καινοτομιών όπως απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις, τηλεϊατρική, ακόμα και απομακρυσμένη παρακολούθηση ζωτικών σημείων που θα μπορούσαν να σώσουν ζωές!

3.3 Αναγκαιότητα 5G Δικτύων

Η κίνηση των δεδομένων που παράγονται από τις κινητές τηλεφωνικές συσκευές, αλλά και από τις διάφορες συσκευές που απαρτίζουν το Διαδίκτυο των Αντικειμένων IoT, εξυπηρετούνται από τα υπάρχοντα δίκτυα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς (4G). Τα δίκτυα αυτά έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις, καθώς καθιστούν δυνατή την επικοινωνία μεταξύ μηχανών MTC του Διαδικτύου των Αντικειμένων (IoT) και εξυπηρετούν τις ευρυζωνικές υπηρεσίες. Παρόλα αυτά, ο ολοένα αυξανόμενος όγκος των δεδομένων που διαχειρίζονται τα δίκτυα, εκτιμάται ότι το 2020 θα φθάσει τα 35 Exabytes [12]. Επίσης, ο αριθμός των συσκευών του IoT, και των δεδομένων που απορρέουν από αυτές, αναμένεται να αυξηθεί εκθετικά, καθώς ο αριθμός των μηχανών θα ξεπεράσει τα κινητά.

Ακολουθώς, η ανάγκη ανάπτυξης ενός νέου δικτύου επικοινωνιών, το οποίο καλείται να καλύψει αυτές τις ανάγκες δημιουργώντας καινούργιες απαιτήσεις, εμφανίζεται επιτακτική. Τα 5G δίκτυα αναμένεται να αποτελέσουν τη μελλοντική βάση δικτύων, αξιοποιώντας αναδυόμενες τεχνολογίες πρόσβασης και έναν συνδυασμό υπάρχοντων τεχνολογιών δικτύων. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται μια ετήσια αύξηση του αριθμού των κινητών και των συσκευών τύπου M2M.



Εικόνα 7. Ετήσια Αύξηση Συσκευών Τύπου M2M [13]

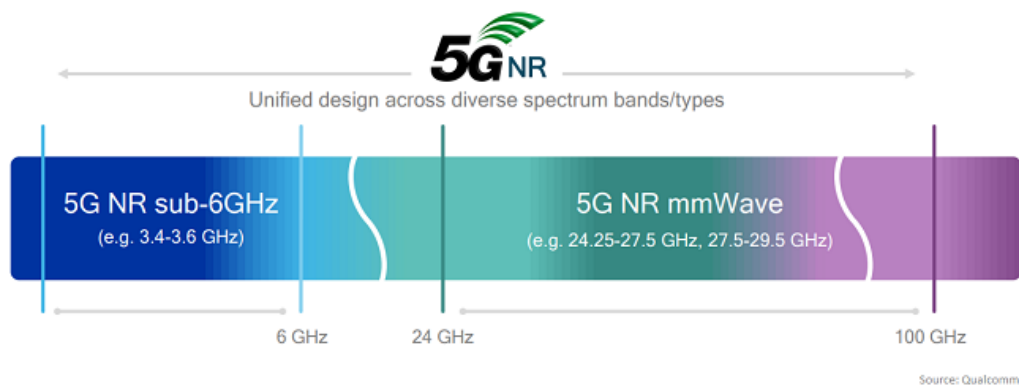
3.4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Ο οργανισμός 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ενώνει τους επτά οργανισμούς ανάπτυξης τυπικών τηλεπικοινωνιών (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), γνωστοί και ως «Οργανωτικοί Συνεργάτες» και παρέχει στα μέλη του ένα σταθερό περιβάλλον για την παραγωγή των Αναφορών και Προδιαγραφών που ορίζουν τις τεχνολογίες 3GPP. Το έργο καλύπτει τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας, συμπεριλαμβανομένης της πρόσβασης στο ραδιόφωνο, του βασικού δικτύου και των δυνατοτήτων υπηρεσιών, οι οποίες παρέχουν μια πλήρη περιγραφή του συστήματος για τις κινητές τηλεπικοινωνίες. Επιπρόσθετα, οι προδιαγραφές και οι μελέτες 3GPP βασίζονται στη συμβολή από μέλη εταιρειών, ομάδες εργασίας και σε επίπεδο ομάδας τεχνικών προδιαγραφών [14].

Ο οργανισμός 3GPP έχει μελετήσει μια νέα τεχνολογία επικοινωνίας New Radio (NR), η οποία ικανοποιεί τις απαιτήσεις για ένα 5G δίκτυο πρόσβασης ραδιοφώνου (RAN) και έχει κάνει προδιαγραφές για αυτό, ως Έκδοση 15 (Release 15) του 3GPP [15].

Το πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας (Air Interface) που ορίζεται από τον οργανισμό 3GPP για τα 5G δίκτυα, ονομάζεται 5G New Radio (5G NR) και αναμένεται να αποτελέσει το διεθνές πρότυπο σε επίπεδο επικοινωνίας με μέσο διάδοσης τον αέρα [16]. Οι ζώνες συχνοτήτων για 5G NR χωρίζονται σε δύο διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων με διαφορετικές δυνατότητες η κάθε μία [15]:

- **Frequency Range 1 (FR1):** Εύρος συχνοτήτων κάτω από 6GHz και το μέγιστο διαθέσιμο εύρος ζώνης καναλιού ορίζεται στα 100MHz.
- **Frequency Range 2 (FR2):** Εύρος συχνοτήτων άνω των 24GHz, συχνότητες οι οποίες είναι ικανές να προσφέρουν αυξημένο διαθέσιμο εύρος ζώνης, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από 50MHz έως 400MHz, με υποστήριξη συσσώρευσης δύο καναλιών στην Έκδοση 15 (Release 15) του 3GPP.



Εικόνα 8. Φάσμα συχνοτήτων από το πρότυπο 5G NR [17]

Ακόμα, σε συστήματα 5G χρησιμοποιούνται συχνότητες έως 300GHz [18]. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα υποστήριξης υψηλών ταχυτήτων μεταφοράς δεδομένων, χωρίς να υπάρχουν παρεμβολές με άλλα ασύρματα σήματα.

Τέλος, με μια κύρια προσαρμογή των κατάλληλων συστημάτων που αναφέρονται τόσο στην επικοινωνία όσο και στον εντοπισμό, μπορεί να γίνει αντιληπτή η επικοινωνία με γνώμονα την τοποθεσία και να υποστηριχθεί ένας τεράστιος αριθμός υπηρεσιών βάσει τοποθεσίας. Τα 5G δίκτυα έχουν ένα ανώτερο σχήμα μετάδοσης που ονομάζεται BDMA. Αυτή η τεχνολογία εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλαπλούς χρήστες μέσα από διαφορετικές δέσμες. Λαμβάνοντας υπόψη την επικοινωνία μεταξύ του σταθμού βάσης και του χρήστη, μια ορθογώνια δέσμη διανέμεται σε κάθε χρήστη κινητής τηλεφωνίας. Με αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται η χωρητικότητα του συστήματος, λόγω της τεχνικής BDMA που χωρίζει τη δέσμη της κεραίας, σύμφωνα με τη θέση του χρήστη [19].

3.5 Πλεονεκτήματα

Τα πιο βασικά οφέλη του 5G είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα στις μεταδόσεις, η χαμηλότερη καθυστέρηση και επομένως η μεγαλύτερη χωρητικότητα απομακρυσμένης εκτέλεσης, ο μεγαλύτερος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών και η δυνατότητα εφαρμογής εικονικών δικτύων (διαχωρισμός δικτύου), παρέχοντας πιο προσαρμοσμένη συνδεσιμότητα σε συγκεκριμένες ανάγκες. Πιο συγκεκριμένα:



Εικόνα 9. Χαρακτηριστικά 5G [5]

1. Μεγαλύτερη ταχύτητα στις μεταδόσεις:

Η ταχύτητα στις μεταδόσεις μπορεί να προσεγγίσει 15 ή 20 Gbps. Με την απόλαυση υψηλότερης ταχύτητας μπορούμε να έχουμε πρόσβαση σε αρχεία, προγράμματα και απομακρυσμένες εφαρμογές, άμεσα και χωρίς αναμονή. Με την εντατικοποίηση της χρήσης του cloud, όλες οι συσκευές (κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές κ.λπ.) θα εξαρτηθούν λιγότερο από την εσωτερική μνήμη και από τη συσσώρευση δεδομένων, ενώ δεν θα είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μεγάλου αριθμού επεξεργαστών σε ορισμένα αντικείμενα επειδή η χρήση υπολογιστή μπορεί να γίνει στο Cloud [20].

Για παράδειγμα, η δυνατότητα απομακρυσμένης ενεργοποίησης λογισμικού σαν να εκτελέστηκε στην προσωπική συσκευή, επιτρέπει να μην είναι εγκατεστημένη οι εφαρμογές για κινητά (APP) στο τερματικό, καθώς θα εκτελούνται απευθείας από το cloud. Όπως δεν θα είναι πλέον απαραίτητο να αποθηκεύουμε πληροφορίες στη μνήμη της συσκευής (φωτογραφίες, βίντεο κ.λπ.).

2. Χαμηλότερη καθυστέρηση:

Η καθυστέρηση είναι ο χρόνος που έχει παρέλθει από τη στιγμή που δίνουμε μια εντολή στη συσκευή μας, έως ότου πραγματοποιηθεί η ενέργεια. Στα 5G δίκτυα, η καθυστέρηση θα είναι δέκα φορές μικρότερη από ότι στα 4G δίκτυα, έχοντας τη δυνατότητα να εκτελεί απομακρυσμένες ενέργειες σε πραγματικό χρόνο [20].

Επομένως, χάρη στη χαμηλή καθυστέρηση και την αύξηση των αισθητήρων, προκύπτουν πολλά πλεονεκτήματα. Θα είναι δυνατό να ελέγξει κανείς τα μηχανήματα μιας βιομηχανικής μονάδας, τις απομακρυσμένες μεταφορές, χειρουργικές επεμβάσεις στις οποίες ο γιατρός μπορεί να παρέμβει σε έναν ασθενή που βρίσκεται σε άλλη πλευρά του κόσμου, με βοήθεια για όργανα ακριβείας που διαχειρίζονται εξ αποστάσεως, ή να έχει τον πλήρη έλεγχο συστημάτων απομακρυσμένης μεταφοράς, αυτοματοποιημένα και χωρίς οδηγό.

3. Μεγαλύτερος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών:

Με τα 5G δίκτυα, ο αριθμός των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο αυξάνεται κατά μεγάλο βαθμό και αναμένεται να φτάσει σε κλίμακα εκατομμυρίων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Όλες οι συνδεδεμένες συσκευές θα έχουν πρόσβαση σε άμεσες συνδέσεις στο Διαδίκτυο, οι οποίες σε πραγματικό χρόνο θα ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους. Αυτό θα ευνοήσει το IoT. Επιπλέον, αναμένεται ότι ένα κοινό σπίτι θα έχει εκατοντάδες συνδεδεμένες συσκευές αποστολής και λήψης πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Συγκεκριμένα, αν πάρουμε για παράδειγμα βιομηχανικά εργοστάσια, τότε οι συνδεδεμένες συσκευές θα ήταν χιλιάδες. Αυτός ο μεγαλύτερος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών θα μας οδηγήσει στις έξυπνες πόλεις και το αυτόνομο αυτοκίνητο [20].

Για παράδειγμα, τοποθετώντας αισθητήρες σε διαφορετικά σημεία και αντικείμενα στην πόλη, ένα μεγάλο μέρος της μπορεί να παρακολουθείται. Τέλος, αν μοιράζεστε τις πληροφορίες των αισθητήρων των αυτοκινήτων και των αισθητήρων της πόλης, καθώς και τα δεδομένα ανταλλαγής, τότε μπορείτε να βελτιώσετε την ποιότητα ζωής των πόλεων, να διευκολύνετε την πλοήγηση του αυτόνομου αυτοκινήτου (επιλέξτε καλύτερες διαδρομές, μειώστε τον αριθμό των ατυχημάτων, βρείτε διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης κλπ.)

4. Διαχωρισμός δικτύου:

Το 5G δίκτυα επιτρέπουν την υλοποίηση εικονικών δικτύων (διαχωρισμός δικτύου), δηλαδή τη δημιουργία υποδικτύων, προκειμένου να παρέχει συνδεσιμότητα πιο προσαρμοσμένη στις συγκεκριμένες ανάγκες.

Η δημιουργία υποδικτύων θα δώσει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σε ένα μέρος του δικτύου, που είναι ένα προγραμματιζόμενο δίκτυο και θα επιτρέψει να δοθεί προτεραιότητα στις συνδέσεις, όπως θα μπορούσαν να είναι οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης μπροστά σε άλλους χρήστες. Αυτό το επιτυγχάνει εφαρμόζοντας για παράδειγμα διαφορετικούς χρόνους καθυστέρησης, ή βάζοντάς τους σε μια ιεραρχημένη λίστα κατά τη σύνδεση με το δίκτυο, ώστε να μην επηρεάζονται από πιθανές υπερφορτώσεις του δικτύου κινητής τηλεφωνίας [20].

Στον παρακάτω πίνακα, συγκεντρώνουμε τα βασικά χαρακτηριστικά των 5G δικτύων:

Χαρακτηριστικά	Περιγραφές	Τεχνολογία
Ακραίοι ρυθμοί μετάδοσης (Gbps)	10-20 φορές μεγαλύτεροι ρυθμοί από το 4G	Millimeter-wave band Massive MIMO
Αριθμός συνδεδεμένων συσκευών (# device/m ²)	Αισθητήρες, μηχανές, ιατρικοί αισθητήρες.	D2D Dense small cells IoT
Φασματική απόδοση (b/s/Hz)	Αυξημένη απόδοση φάσματος.	NOMA Massive MIMO CoMP
E2E καθυστέρηση (ms)	Το 5G θα υποστηρίζει χαμηλότερη καθυστέρηση από το 4G, της τάξεως του 1 ms.	D2D Dense small cells
Ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων	Το 5G θα μπορεί να διαχειρισθεί δεδομένα 100 φορές πιο γρήγορα από το 4G.	NFV Millimeter-wave band D2D Dense small cells
Ενέργεια (mJoule/bit)	Μεταφορά δεδομένων με σημαντικά λιγότερη ενέργεια.	Massive MIMO Millimeter-wave band
Κινητικότητα (m/s)	Γρηγορότερες ταχύτητες χρηστών θα υποστηρίζονται από το 5G.	Heterogeneous networks

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά 5G [12]

3.6 Δυνατότητες για τον χρήστη

Στην προηγούμενη ενότητα αναφέραμε μερικά από τα βασικότερα πλεονεκτήματα των 5G δικτύων. Σε αυτή την ενότητα, θα μιλήσουμε πιο συγκεκριμένα για τις δυνατότητες που προσφέρουν τα δίκτυα 5G στον τελικό χρήστη. Οι πιο σημαντικές είναι:

1. Συνδεδεμένα οχήματα

Με το 5G έρχεται πρωτοφανής ταχύτητα και συνδεσιμότητα. Αυτό ακριβώς απαιτείται για να γίνουν τα αυτόνομα αυτοκίνητα πραγματικότητα. Τα 5G δίκτυα διαθέτουν ό,τι χρειάζεται για να επιτρέπουν ταχύτερη από ποτέ επικοινωνία και επεξεργασία δεδομένων μεταξύ οχημάτων, δικτύων, υποδομών, ακόμη και πεζών [21]. Με άλλα λόγια, τα 5G δίκτυα θα διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ όλων των δρόμων, περιλαμβάνοντας φανάρια, βενζινάδικα, προς όφελος της ασφάλειας και της διαχείρισης της κυκλοφορίας.



Εικόνα 10. Συνδεδεμένα Οχήματα [22]

2. Smartphone

Μεγάλες αλλαγές βρίσκονται στον ορίζοντα για smartphone, ενώ σύντομα θα κυριαρχούν αποκλειστικά οι συσκευές 5G. Το κύριο πλεονέκτημα του 5G έναντι 4G για τους χρήστες είναι η καλύτερη κάλυψη. Αυτό σημαίνει ότι τα σήματα θα φτάσουν σε προηγουμένως δυσπρόσιτα μέρη, με τις υπηρεσίες να προσφέρουν εγγυημένη σύνδεση [21]. Επιπλέον, οι συνδρομητές θα αποκτήσουν επιτέλους την εξαιρετική ποιότητα που αναμένουν στις συσκευές τους, ενώ οι λήψεις προβλέπεται να μην έχουν αισθητή καθυστέρηση.

3. Ροή και ψυγαγωγία

Το 5G προσφέρει εντυπωσιακό πλεονέκτημα σε σχέση με προηγούμενες τεχνολογίες, με σχεδόν απεριόριστη χωρητικότητα και μικρούς χρόνους καθυστέρησης. Εκτός από την καλύτερη ποιότητα και την πολύ ταχύτερη ροή, το 5G υπόσχεται επαναστατικές συναρπαστικές εμπειρίες, συμπεριλαμβανομένου του ψηφιακού περιεχομένου πολλαπλών αισθητήρων [21]. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη χωρητικότητα, η οποία θα υποστηρίξει τεχνολογίες όπως η εικονική πραγματικότητα, η επαυξημένη πραγματικότητα και το 3D.

3.7 Τεχνολογίες 5G Δικτύων

Οι σημερινοί χρήστες κινητών θέλουν γρηγορότερες ταχύτητες δεδομένων και πιο αξιόπιστη υπηρεσία. Όπως έχουμε αναλύσει σε προηγούμενα κεφάλαια, το δίκτυο 5G είναι η επόμενη μεγάλη γενιά κυψελοειδών κινητών επικοινωνιών και είναι υπεύθυνη για να παρέχει όλες αυτές τις υπηρεσίες στους χρήστες και πολλά άλλα. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, έχουν σχεδιαστεί πέντε ολοκαίνουργιες τεχνολογίες: Millimeter Waves, Small Cells, Massive MIMO, Full Duplex και Beamforming. Για να γίνει πιο κατανοητή η διαφορά του 5G από τα σημερινά δίκτυα 4G, θα δούμε παρακάτω πιο συγκεκριμένα τις πέντε τεχνολογίες των 5G

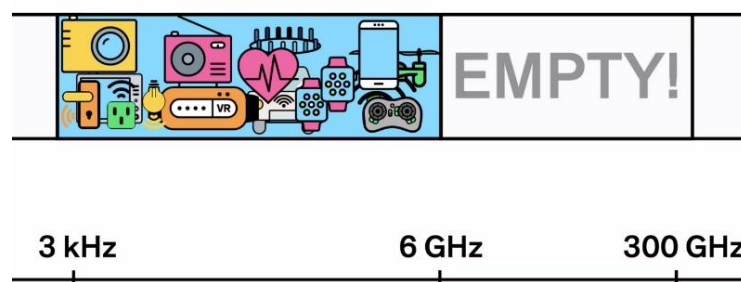
δικτύων. Με αυτόν τον τρόπο, γίνονται πιο εμφανή τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την κάθε μία τεχνολογία ξεχωριστά, για τους ασύρματους χρήστες.

3.7.1 Milimeter Waves

Εξαιρετικά υψηλή συχνότητα EHF, είναι η ονομασία της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών ITU, για τη ζώνη ραδιοσυχνοτήτων στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα από 30 έως 300GHz. Βρίσκεται μεταξύ της ζώνης εξαιρετικά υψηλής συχνότητας και της ζώνης υπέρυθρης ακτινοβολίας, το κάτω μέρος της οποίας είναι η ζώνη terahertz. Τα ραδιοκύματα σε αυτή τη ζώνη έχουν μήκη κύματος από 1 έως 10mm, για αυτό και ονομάζεται ζώνη χιλιοστών και η ακτινοβολία σε αυτή τη ζώνη ονομάζεται κύματα χιλιοστών (mmWaves) [23]. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μήκους χιλιοστού διερευνήθηκαν για πρώτη φορά από τον φυσικό Jagadish Chandra Bose, Ινδό της Βεγγάλης, κατά τη διάρκεια του 1894-1896, όταν έφτασε τα 60GHz στα πειράματά του [24].

Ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα σημερινά ασύρματα δίκτυα, είναι τα ο μεγάλοι όγκοι ατόμων, άρα και συσκευών, οι οποίοι καταναλώνουν περισσότερα δεδομένα από ποτέ, και παρόλα αυτά παραμένουν στις ίδιες ζώνες του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιούν οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας. Το αποτέλεσμα αυτού, είναι μικρότερο εύρος ζώνης για όλους, προκαλώντας πιο αργή εξυπηρέτηση και περισσότερες διακοπές στη σύνδεση.

Ένας τρόπος να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, είναι η μετάδοση απλών σημάτων σε ένα νέο εύρος ζώνης, που δεν έχει χρησιμοποιηθεί ποτέ για υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας. Δηλαδή σε συχνότητες μεταξύ 30 έως και 300GHz, σε σύγκριση με τις ζώνες κάτω των 6GHz που χρησιμοποιήθηκαν για κινητές συσκευές στο παρελθόν. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι πάροχοι πειραματίζονται με εκπομπές σε mmWaves, τα οποία χρησιμοποιούν υψηλότερες συχνότητες από τα ραδιοκύματα που εξυπηρετούν τα σημερινά smartphone, τα οποία μετρούν μήκος δεκάδων εκατοστών.



Εικόνα 11. Milimeter Waves [25]

Μέχρι τώρα, μόνο οι χειριστές δορυφόρων και συστημάτων ραντάρ χρησιμοποιούσαν mmWaves για πραγματικές εφαρμογές. Στις μέρες μας, ορισμένοι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας έχουν αρχίσει να τα χρησιμοποιούν για την αποστολή δεδομένων μεταξύ

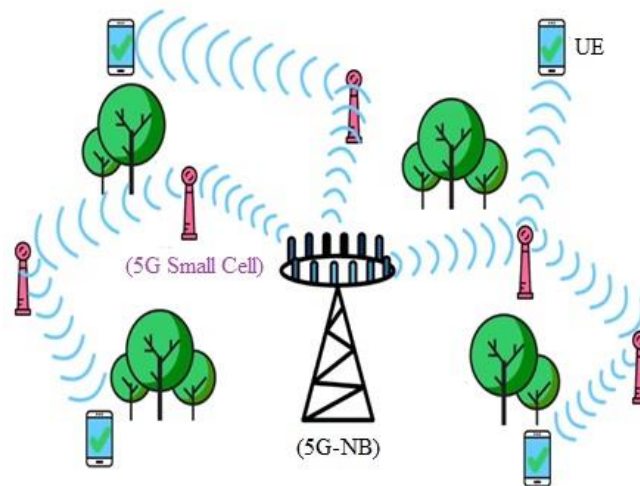
στατικών σημείων, όπως δύο σταθμοί βάσης [23]. Αλλά η χρήση mmWaves για τη σύνδεση χρηστών κινητών συσκευών με έναν κοντινό σταθμό βάσης είναι μια εντελώς νέα προσέγγιση.

Ωστόσο, υπάρχει ένα μεγάλο μειονέκτημα των mmWaves. Τα mmWaves δεν μπορούν εύκολα να ταξιδέψουν σε κτίρια ή εμπόδια και να απορροφηθούν από φύλλα και βροχή [25]. Επομένως, αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο τα 5G δίκτυα αυξάνουν τους κλασσικούς πύργους κυψελών, με μια άλλη νέα τεχνολογία που ονομάζεται Small Cells.

3.7.2 Small Cells

Τα Small Cells, ή διαφορετικά μικρές κυψέλες, είναι κόμβοι ραδιοεπικοινωνίας χαμηλής ισχύος, που λειτουργούν σε φάσμα εύρους από 10 μέτρα έως λίγα χιλιόμετρα. Είναι «μικρά», σε σύγκριση με τα macrocell, καθώς έχουν μικρότερο εύρος και επειδή συνήθως χειρίζονται λιγότερες ταυτόχρονες κλήσεις ή συνδέσεις [26]. Τα Small Cells είναι φορητοί μικροσκοπικοί σταθμοί βάσης που απαιτούν ελάχιστη ισχύ για να λειτουργήσουν και μπορούν να τοποθετηθούν κάθε 250 μέτρα περίπου σε όλες τις πόλεις.

Καθώς οι ασύρματοι πάροχοι επιδιώκουν να «συμπυκνώσουν» τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα για να παρέχουν τις απαιτήσεις χωρητικότητας δεδομένων των 5G δικτύων, τα Small Cells αποτελούν μια λύση που επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων, με αύξηση της χωρητικότητας, της ποιότητας και της ανθεκτικότητας του κυψελοειδούς δικτύου.



Εικόνα 12. Small Cells [27]

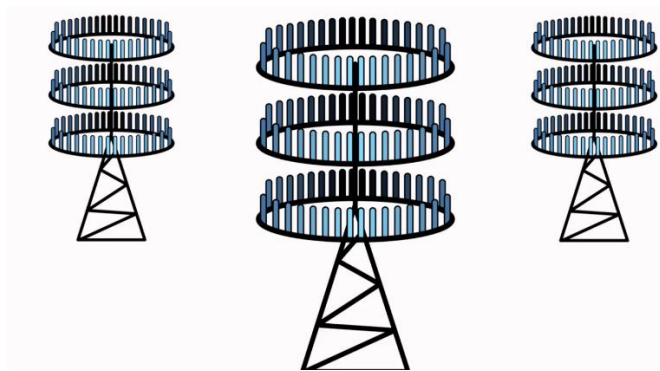
Ακόμα, αυτή η ριζικά διαφορετική δομή του δικτύου, θα πρέπει να παρέχει πιο στοχευμένη και αποτελεσματική χρήση του φάσματος. Έχοντας περισσότερους σταθμούς, σημαίνει ότι οι συχνότητες που χρησιμοποιεί ένας σταθμός για να συνδέονται με συσκευές σε μια περιοχή, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν από άλλο σταθμό σε διαφορετική περιοχή για να εξυπηρετήσουν έναν άλλο πελάτη [23]. Επιπλέον, για να αποφευχθεί η πτώση

σημάτων, οι αερομεταφορείς θα μπορούσαν να εγκαταστήσουν χιλιάδες από αυτούς τους σταθμούς σε μια πόλη και να σχηματίσουν ένα πυκνό δίκτυο που λειτουργεί σαν ομάδα αναμετάδοσης, δηλαδή να λαμβάνει σήματα από άλλους σταθμούς βάσης και να στέλνει δεδομένα σε χρήστες, σε οποιαδήποτε τοποθεσία. Υπάρχει όμως ένα πρόβλημα. Ο τεράστιος αριθμός των Small Cells που απαιτούνται για την κατασκευή ενός δικτύου 5G, μπορεί να δυσκολεύει την εγκατάσταση σε αγροτικές περιοχές [25].

Καταλήγοντας, εκτός από τη μετάδοση σε mmWaves, οι σταθμοί βάσης 5G θα έχουν επιπλέον, πολλές περισσότερες κεραιές από τους σταθμούς βάσης των σημερινών κυψελοειδών δικτύων. Αυτό θα τους βοηθήσει να επωφεληθούν από την επόμενη νέα τεχνολογία, το Massive MIMO.

3.7.3 Massive MIMO

Η τεχνολογία Multiple Input Multiple Output (MIMO), αποτελεί βασικό παράγοντα και θεμελιώδες στοιχείο όταν μιλάμε για τη δημιουργία των 5G δικτύων. Το MIMO αναφέρεται σε ασύρματες τεχνολογίες, οι οποίες επιτρέπουν τη μετάδοση και τη λήψη περισσότερων από ένα σημάτων δεδομένων ταυτόχρονα, μέσω του ίδιου καναλιού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ξεχωριστών κεραιών για τη μετάδοση και λήψη κάθε σήματος δεδομένων [23]. Οι σημερινοί σταθμοί βάσης 4G διαθέτουν δώδεκα θύρες για κεραιές που χειρίζονται όλη την κυψελοειδή κίνηση, οκτώ για πομπούς και τέσσερις για δέκτες. Αντίθετα, οι σταθμοί βάσης 5G μπορούν να υποστηρίξουν περίπου εκατό θύρες, πράγμα που σημαίνει ότι σε ένα μόνο πίνακα, μπορούν να χωρέσουν πολλές περισσότερες κεραιές [25].



Εικόνα 13. Massive MIMO [25]

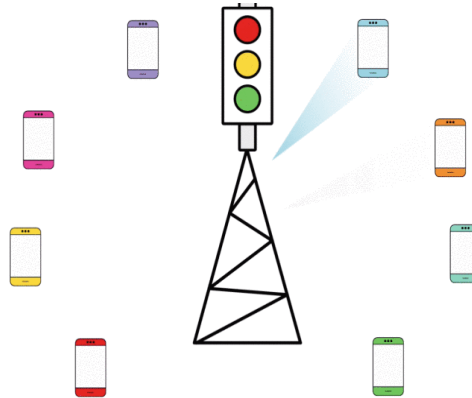
Επομένως, με περισσότερες θύρες για κεραιές ο σταθμός βάσης μπορεί να εξυπηρετεί ταυτόχρονα περισσότερους χρήστες και συγχρόνως αποκτά καλύτερες επιδόσεις σχηματισμού δεσμών. Αυτό βελτιώνει σημαντικά την χωρητικότητα και την εμβέλεια του σταθμού βάσης. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας πίνακες κεραιών που καλύπτουν 360°, μπορούν να αποφευχθούν τα κλασσικά προβλήματα των ορίων των κεραιών, αφού ο σταθμός βάσης (Ma-MIMO) μπορεί να προσαρμοστεί με αυτόν τον τρόπο στην κίνηση του χρήστη, σε διαφορετικές κατευθύνσεις κατά το βέλτιστο. Ακόμα, οι πίνακες με τις κεραιές μπορούν να

βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις σε κάθε σταθμό βάσης [28]. Ακολούθως, επιτρέπει τη βέλτιστη εκτέλεση των μεταδόσεων των σημάτων από διαφορετικές θέσεις κεραίας.

Στο επόμενο κεφάλαιο, θα περιγράψουμε πιο αναλυτικά την τεχνολογία Massive MIMO.

3.7.4 Beamforming

Το Beamforming, ή διαφορετικά spatial filtering, είναι μια τεχνική επεξεργασίας σήματος που χρησιμοποιείται σε πίνακες αισθητήρων, για μετάδοση ή λήψη σήματος με συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αυτό επιτυγχάνεται συνδυάζοντας στοιχεία σε πίνακες κεραιών, με τέτοιο τρόπο, ώστε τα σήματα σε συγκεκριμένες γωνίες να έχουν εποικοδομητικές παρεμβολές, ενώ άλλα να αντιμετωπίζουν τις μη εποικοδομητικές παρεμβολές [25]. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στα άκρα μετάδοσης, όσο και στα άκρα λήψης, προκειμένου να επιτευχθεί χωρική εκλεκτικότητα.



Εικόνα 14. Beamforming [25]

Ακόμα, αυτό το σύστημα σηματοδότησης κίνησης για σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας, προσδιορίζει την πιο αποτελεσματική διαδρομή παράδοσης δεδομένων σε έναν συγκεκριμένο χρήστη και μειώνει τις παρεμβολές για τους κοντινούς χρήστες. Ανάλογα με την κατάσταση και την τεχνολογία, υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να εφαρμοστεί η τεχνολογία αυτή στα δίκτυα 5G, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ραδιοκύματα ή ηχητικά κύματα. Πιο συγκεκριμένα, έχει βρει πολλές εφαρμογές σε ραντάρ, σόναρ, σεισμολογία, ασύρματες επικοινωνίες, ραδιοαστρονομία, ακουστική και βιοϊατρική [29].

- **Beamforming και Massive MIMO:**

Το Beamforming μπορεί να βοηθήσει την τεχνολογία Massive MIMO να κάνει πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος. Η κύρια πρόκληση για το Massive MIMO είναι η μείωση των παρεμβολών, κατά τη μετάδοση περισσότερων πληροφοριών, από πολλές περισσότερες κεραίες. Σε Massive MIMO σταθμούς βάσης, οι αλγόριθμοι επεξεργασίας σήματος σχεδιάζουν την καλύτερη διαδρομή μετάδοσης μέσω του αέρα σε κάθε χρήστη. Στη

συνέχεια, μπορούν να στείλουν μεμονωμένα πακέτα δεδομένων σε πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις, αναπηδώντας από τα κτίρια και άλλα αντικείμενα με ένα ακριβώς συντονισμένο μοτίβο [23]. Χαρτογραφώντας τις κινήσεις των πακέτων και την ώρα άφιξης, το Beamforming επιτρέπει σε πολλούς χρήστες και κεραιές σε έναν πίνακα Massive MIMO, να ανταλλάσσουν ταυτόχρονα, πολλές περισσότερες πληροφορίες.

- **Beamforming και mmWaves:**

Όσον αφορά τα mmWaves, η τεχνολογία Beamforming χρησιμοποιείται κυρίως για την αντιμετώπιση διαφορετικών συνόλων προβλημάτων. Τα κυψελοειδή σήματα αποκλείονται εύκολα από αντικείμενα, ενώ σε μεγάλες αποστάσεις τείνουν να εξασθενίζουν. Σε αυτήν την περίπτωση, η τεχνολογία Beamforming μπορεί να βοηθήσει, εστιάζοντας ένα σήμα σε μια συμπυκνωμένη δέσμη. Αυτή η δέσμη θα δείχνει μόνο προς την κατεύθυνση ενός χρήστη, αντί να εκπέμπει σε πολλές κατευθύνσεις ταυτόχρονα [23]. Με αυτόν τον τρόπο, οι πιθανότητες να φτάσει το σήμα στο χρήστη είναι περισσότερες, ενώ οι παρεμβολές για όλους τους άλλους χρήστες μπορούν να μειωθούν.

Τέλος, εκτός από την αύξηση των δεδομένων με μετάδοση σε mmWaves και την ενίσχυση της απόδοσης φάσματος με Massive MIMO, οι μηχανικοί ασύρματων δικτύων προσπαθούν να πετύχουν το συνδυασμό υψηλής απόδοσης και χαμηλής καθυστέρησης που απαιτείται για το δίκτυο 5G. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας τεχνολογίας που ονομάζεται Full Duplex, η οποία τροποποιεί τον τρόπο μετάδοσης και λήψης δεδομένων από τις κεραιές.

3.7.5 Full Duplex

Οι σημερινοί σταθμοί βάσης και τα κινητά τηλέφωνα βασίζονται σε πομποδέκτες, που πρέπει να κάνουν ξεχωριστή μετάδοση και λήψη με την ίδια συχνότητα. Διαφορετικά, μπορεί να λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες, μόνο αν ένας χρήστης επιθυμεί να μεταδώσει και να λάβει πληροφορίες ταυτόχρονα. Αντίθετα, με τα 5G δίκτυα, ένας πομποδέκτης θα μπορεί να μεταδίδει και να λαμβάνει δεδομένα ταυτόχρονα, στην ίδια συχνότητα. Αυτή η τεχνολογία είναι γνωστή ως Full Duplex και θα μπορούσε να διπλασιάσει τη χωρητικότητα των ασύρματων δικτύων στο πιο θεμελιώδες φυσικό τους στρώμα [23].



Εικόνα 15. Full Duplex [25]

Επιπλέον, για την εφαρμογή της τεχνολογίας Full Duplex σε προσωπικές συσκευές, οι ερευνητές πρέπει να σχεδιάσουν ένα κύκλωμα που μπορεί να δρομολογεί εισερχόμενα και εξερχόμενα σήματα, ώστε να μην συγκρούονται όταν μια κεραία μεταδίδει και λαμβάνει δεδομένα ταυτόχρονα. Φυσικά, αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολο, λόγω της τάσης των ραδιοκυμάτων να ταξιδεύουν προς τα εμπρός και προς τα πίσω στην ίδια συχνότητα, μια αρχή γνωστή ως αμοιβαιότητα. Εντούτοις, πρόσφατα οι ειδικοί έχουν συναρμολογήσει τρανζίστορ πυριτίου, που λειτουργούν σε διακόπτες υψηλής ταχύτητας, με στόχο να σταματήσουν το πισωγύρισμα αυτών των κυμάτων, επιτρέποντάς τους να μεταδίδουν και να λαμβάνουν σήματα στην ίδια συχνότητα ταυτόχρονα [23].

Φυσικά, ένα μειονέκτημα της τεχνολογίας Full Duplex είναι ότι δημιουργεί περισσότερες παρεμβολές σήματος, μέσω μιας ενοχλητικής ηχούς. Όταν ένας πομπός εκπέμπει ένα σήμα, αυτό το σήμα είναι πολύ πιο κοντά στην κεραία της συσκευής και επομένως πιο ισχυρό από οποιοδήποτε σήμα λαμβάνει [25]. Καταλήγουμε λοιπόν στο γεγονός ότι, για να μπορέσει μία κεραία να μιλάει και να ακούει ταυτόχρονα, είναι δυνατό μόνο με ειδική τεχνολογία ακύρωσης ηχούς!

3.8 Προκλήσεις

Αναμένεται ότι το δίκτυο 5G, το πολυσυζητημένο επερχόμενο πρότυπο ευρυζωνικών κινητών επικοινωνιών, θα έχει μεγάλο αντίκτυπο μόλις ολοκληρωθεί η ανάπτυξη του δικτύου. Η ταχύτητα και το εύρος ζώνης των 5G δικτύων θα είναι τέτοια, που θα μπορούσε να αντικαταστήσει αποτελεσματικά τις οικιακές διαδικτυακές συνδέσεις που χρησιμοποιούν αυτή τη στιγμή Wi-Fi. Παρόλα αυτά, μαζί με τα οφέλη των 5G δικτύων, υπάρχει και μία σειρά από προκλήσεις που θα κληθούν να αντιμετωπίσουν.

1. Ζώνες συχνοτήτων

Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, το 4G LTE λειτουργεί ήδη σε καθιερωμένες ζώνες συχνοτήτων κάτω των 6GHz, ενώ το 5G απαιτεί συχνότητες έως και 300GHz. Μερικά είναι πιο γνωστά και ως mmWave. Αυτές οι ζώνες μπορούν να μεταφέρουν πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα και να προσφέρουν εξαιρετικά γρήγορες ταχύτητες που προσφέρουν 20 φορές αύξηση σε σχέση με την ταχύτερη θεωρητική απόδοση του LTE [30]. Επιπρόσθετα, οι εταιρείες ασύρματης κινητής τηλεφωνίας πρέπει να υποβάλλουν προσφορές για τις ζώνες υψηλότερου φάσματος, ενώ δημιουργούν και αναπτύσσουν τα αντίστοιχα δίκτυα 5G.

2. Ανάπτυξη και κάλυψη

Παρά το γεγονός ότι το 5G προσφέρει σημαντική αύξηση της ταχύτητας και του εύρους ζώνης, το πιο περιορισμένο εύρος θα απαιτήσει περαιτέρω υποδομή. Συγκεκριμένα, οι υψηλότερες συχνότητες επιτρέπουν ραδιοκύματα υψηλής κατεύθυνσης, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι μπορούν να «στοχεύονται» ή να «στοχεύουν». Αυτή η τεχνολογία ονομάζεται beamforming. Επομένως, η πρόκληση είναι στις κεραίες 5G. Οι κεραίες 5G, ενώ είναι σε θέση να χειρίζονται περισσότερους χρήστες και δεδομένα, θα εκπέμπουν σε μικρότερες αποστάσεις από ότι είναι σχεδιασμένες.

Ακόμα και όταν οι κεραιές και οι σταθμοί βάσης γίνονται μικρότεροι στο παραπάνω σενάριο, περισσότερες από αυτές, πιθανότατα θα πρέπει να εγκατασταθούν σε κτίρια ή σπίτια. Οι πόλεις θα χρειαστεί πιθανώς να εγκαταστήσουν επιπλέον κεραιές για να διαδώσουν τα κύματα για εκτεταμένο εύρος, διατηρώντας παράλληλα σταθερές ταχύτητες σε πυκνότερες περιοχές πληθυσμού [30]. Είναι πιθανό οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν ζώνες χαμηλότερης συχνότητας για να καλύψουν ευρύτερες περιοχές, μέχρι να μεγαλώσει το δίκτυο 5G.

Στο μέλλον, μπορεί να σημαίνει ότι τα modem και οι routers Wi-Fi αντικαθίστανται από 5G small cells, ή κάτι διαφορετικό, για να προκύψουν οι 5G συνδέσεις σε σπίτια και επιχειρήσεις. Με αυτόν τον τρόπο, θα καταργήσουν τις ενσύρματες συνδέσεις στο Διαδίκτυο. Τέλος, η διάδοση της πρόσβασης σε αγροτικές περιοχές θα είναι τόσο μεγάλη πρόκληση όσο και με το LTE.

3. Κόστος κατασκευής, κόστος αγοράς

Η κατασκευή ενός δικτύου είναι δαπανηρή και οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας θα συγκεντρώσουν τα χρήματα για να το κάνουν, αυξάνοντας τα έσοδα των πελατών. Όπως τα σχέδια για το LTE είχαν υψηλότερο αρχικό κόστος, το 5G πιθανότατα θα ακολουθήσει παρόμοια πορεία. Και δεν δημιουργεί απλώς ένα επίπεδο πάνω από ένα υπάρχον δίκτυο, αντίθετα θέτει τις βάσεις για κάτι εντελώς καινούριο! Σύμφωνα με το Mobile Operator 5G Carex της Heavy Reading, οι συνολικές παγκόσμιες δαπάνες για 5G, θα φθάσουν τα 88 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2023 [30]. Όταν γίνει πραγματικά βιώσιμο, ορισμένα τμήματα συσκευών θα συνδεθούν με εντελώς νέους τρόπους, κυρίως οχήματα, συσκευές, ρομπότ και υποδομές πόλεων.

4. Υποστήριξη συσκευής

Υπάρχουν πολλές συζητήσεις για smartphone και άλλες συσκευές με δυνατότητες 5G, ωστόσο η διαθεσιμότητά τους εξαρτάται από το πόσο ακριβά είναι για τους κατασκευαστές, καθώς και για το πόσο γρήγορα εξαπλώνεται το δίκτυο παντού.

Κάποιοι φορείς στις ΗΠΑ, τη Νότια Κορέα και την Ιαπωνία, μεταξύ άλλων χωρών, έχουν ήδη ξεκινήσει 5G δοκιμές σε συγκεκριμένες πόλεις, ενώ οι κατασκευαστές έχουν επιβεβαιώσει ότι οι συμβατές κινητές συσκευές έρχονται σύντομα [30]. Η αυτόνομη τεχνολογία οχημάτων είναι ήδη στην αγορά σε περιορισμένες μορφές. Παρόλα αυτά, τα αυτόνομα οχήματα απέχουν αρκετά χρόνια.

Η ιδέα πίσω από το IoT βασίζεται σε ένα γρήγορο δίκτυο που μπορεί να συνδέσει συσκευές και υπηρεσίες μαζί. Αυτή είναι μια από τις υποσχέσεις που οι αναλυτές έχουν προβλέψει για το δυναμικό των 5G δικτύων, αλλά οι άνθρωποι θα θελήσουν αρχικά να δουν πόση επιπλέον ταχύτητα θα εμπλουτίσει τη ζωή τους.

5. Ασφάλεια και προστασία προσωπικών δεδομένων

Η ασφάλεια και η προστασία προσωπικών δεδομένων θα ήταν μια πρόκληση με οποιαδήποτε τεχνολογία που βασίζεται σε δεδομένα. Εντούτοις, η ανάπτυξη των 5G δικτύων θα πρέπει να αντιμετωπίσει τόσο τις τυπικές, όσο και τις πιο εξελιγμένες απειλές για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο. Αν και το 5G εμπίπτει στο ΑΚΑ, ένα σύστημα που έχει

σχεδιαστεί για να δημιουργεί εμπιστοσύνη μεταξύ των δικτύων, προς το παρόν θα ήταν δυνατό να παρακολουθεί κανείς άτομα που βρίσκονται κοντά τους, χρησιμοποιώντας τα τηλέφωνα τους [30]. Θα μπορούσαν ακόμη και να παρακολουθήσουν ζωντανές τηλεφωνικές κλήσεις. Επομένως, έτσι όπως έχει η κατάσταση τώρα, η ευθύνη θα είναι στις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας και στις κοινοπραξίες δικτύου, έτσι ώστε να παρέχουν ένα ψηφιακό δίκτυ προστασίας για τους πελάτες.

Τέλος, με τις ταχύτητες δεδομένων που αναμένεται να είναι σε υψηλότερα από τα τρέχοντα επίπεδα, έτσι θα αυξηθεί η συνδεσιμότητα. Θα αναγκάσει τις υπηρεσίες εικονικοποίησης δεδομένων που βασίζονται σε cloud υπηρεσίες να είναι όσο το δυνατόν πιο «αεροστεγείς», με στόχο την προστασία των δεδομένων και του απορρήτου των χρηστών [30]. Ομοίως, οι χρήστες θα πρέπει να είναι πιο προσεκτικοί ως διαχειριστές των δεδομένων τους.

3.9 Κίνδυνοι

Παρόλο που το 5G δίκτυο μπορεί να βελτιώσει την καθημερινή μας ζωή, ορισμένοι καταναλωτές έχουν εκφράσει την ανησυχία τους για πιθανούς κινδύνους για την υγεία. Πολλές από αυτές τις ανησυχίες αφορούν τη χρήση από τα 5G δίκτυα, της ακτινοβολίας κύματος υψηλότερης ενέργειας.

Ο Kenneth Foster, καθηγητής βιομηχανικής στο Πανεπιστήμιο της Πενσυλβανίας, δήλωσε ότι συχνά υπάρχει σύγχυση μεταξύ ιονίζουσας και μη ιονίζουσας ακτινοβολίας επειδή ο όρος ακτινοβολία χρησιμοποιείται και για τα δύο [31]. Επιπλέον, πρόσθεσε ότι όλο το φως είναι ακτινοβολία επειδή είναι απλά ενέργεια που κινείται μέσω του διαστήματος. Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι επικίνδυνη επειδή μπορεί να σπάσει τους χημικούς δεσμούς.

Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι ο λόγος που φοράμε αντηλιακό έξω, επειδή το υπεριώδες φως μικρού μήκους κύματος από τον ουρανό έχει αρκετή ενέργεια για να χτυπήσει ηλεκτρόνια από τα άτομα τους, καταστρέφοντας τα κύτταρα του δέρματος και το DNA. Από την άλλη πλευρά, τα Millimeter waves δεν ιοντίζουν, αφού έχουν μεγαλύτερα μήκη κύματος και δεν έχουν αρκετή ενέργεια για να καταστρέψουν άμεσα τα κύτταρα.

Ακόμα, οι ειδικοί πιστεύουν ότι η έκθεση σε μη ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να είναι υπεύθυνη για μια σειρά ασθενειών, από όγκους του εγκεφάλου έως χρόνιες κεφαλαλγίες. Με τα χρόνια, υπήρξαν χιλιάδες μελέτες που διερευνούν αυτές τις ανησυχίες. Ωστόσο, τα mmWaves απορροφώνται κυρίως μέσα σε λίγα χιλιοστά του ανθρώπινου δέρματος και στα επιφανειακά στρώματα του κερατοειδούς. Επομένως, η βραχυπρόθεσμη έκθεση μπορεί να έχει δυσμενείς φυσιολογικές επιδράσεις στο περιφερικό νευρικό σύστημα, στο ανοσοποιητικό σύστημα και στο καρδιαγγειακό σύστημα. Έρευνες προτείνουν ότι η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να θέσει κινδύνους για την υγεία στο δέρμα (π.χ. μελάνωμα), τα μάτια (π.χ. οφθαλμικό μελάνωμα) και να προκαλέσει στειρότητα [32].

Το 2018, το Εθνικό Πρόγραμμα Τοξικολογίας (National Toxicology Program) δημοσίευσε μια δεκαετία μελέτη που βρήκε κάποια στοιχεία για αύξηση των όγκων του εγκεφάλου και των επινεφριδίων στους αρσενικούς αρουραίους που εκτέθηκαν στην ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας που εκπέμπεται από κινητά τηλέφωνα 2G και 3G, αλλά όχι σε ποντίκια ή θηλυκούς αρουραίους. Τα ζώα εκτέθηκαν σε επίπεδα ακτινοβολίας τέσσερις φορές υψηλότερα από το μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο για ανθρώπινη έκθεση [31].

Δεδομένου ότι το 5G είναι μια νέα τεχνολογία, δεν υπάρχει έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία. Παρόλα αυτά,, έχουμε σημαντικά στοιχεία σχετικά με τις επιβλαβείς επιπτώσεις των 2G και 3G. Λίγα είναι γνωστά τα αποτελέσματα της έκθεσης στο 4G, μια τεχνολογία 10 ετών, διότι οι κυβερνήσεις έχουν παραλείψει να χρηματοδοτήσουν αυτήν την έρευνα. Εν τω μεταξύ, παρατηρούμε αύξηση σε ορισμένους τύπους όγκων κεφαλής και λαιμού στα μητρώα όγκων, τα οποία μπορεί τουλάχιστον να οφείλονται εν μέρει στον πολλαπλασιασμό της ακτινοβολίας κινητών τηλεφώνων. Αυτές οι αυξήσεις συνάδουν με τα αποτελέσματα των μελετών ελέγχου περιπτώσεων κινδύνου όγκου σε χρήστες βαριών κινητών τηλεφώνων.

Για τους υποστηρικτές του 5G, πολλοί πιστεύουν ότι τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει το 5G δίκτυο στην κοινωνία υπερτερεί των αγνώστων. Ωστόσο, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι χρειαζόμαστε περισσότερες έρευνες σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία, που μπορεί να οφείλονται στα 5G δίκτυα [32]. Τέλος, η Ευρωπαϊκή Ένωση αναφέρει ότι δεν υπάρχουν ακόμα έρευνες που να αποδεικνύουν αυτά που υποστηρίζουν. Ακόμα, δηλώνει ότι οι επιστήμονες θα συνεχίζουν να δοκιμάζουν τα νέα δίκτυα καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία, με σκοπό να βεβαιωθούν ότι η τεχνολογία που θα χρησιμοποιούμε καθημερινά, θα παραμένει ασφαλής για τον άνθρωπο.

Κεφάλαιο 4 : Τεχνολογία MIMO

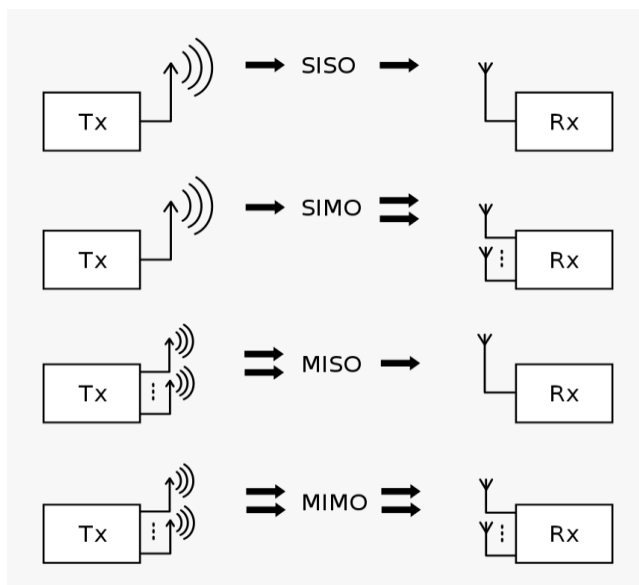
4.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία Multiple Input Multiple Output (MIMO), έχει γίνει βασικό στοιχείο των προτύπων ασύρματης επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των IEEE 802.11n (Wi-Fi), IEEE 802.11ac (Wi-Fi), HSPA + (3G), WiMAX (4G) και 4G LTE [33]. Στις ασύρματες επικοινωνίες η τεχνολογία MIMO, αναφέρεται στη χρήση πολλαπλών κεραιών στον πομπό και το δέκτη. Συγκεκριμένα, αποτελεί μια τεχνική για την αποστολή και λήψη περισσότερων του ενός σημάτων δεδομένων ταυτόχρονα, μέσω του ίδιου ραδιοφωνικού καναλιού, εκμεταλλευόμενο τη διάδοση πολλαπλών διαδρομών. Ακόμα, η τεχνολογία αυτή διαφέρει ουσιαστικά, από τις έξυπνες τεχνικές κεραιών που αναπτύχθηκαν για να βελτιώσουν την απόδοση ενός μεμονωμένου σήματος δεδομένων, όπως για παράδειγμα είναι η τεχνολογία Beamforming [33].

4.2 Κατηγορίες Τεχνολογιών

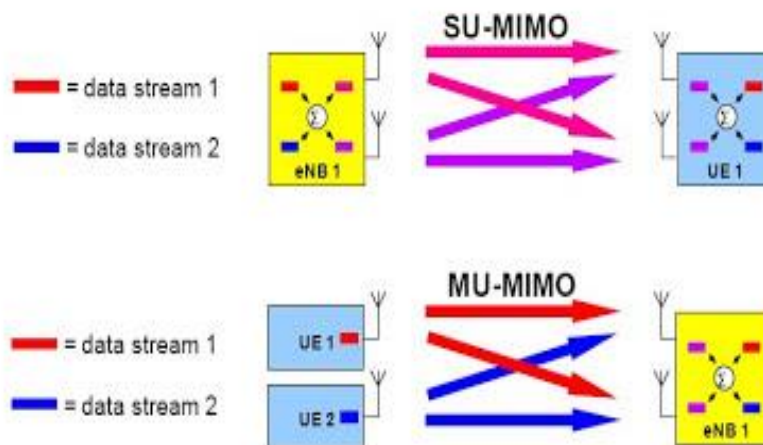
Οι διαφορετικές μορφές της τεχνολογίας των κεραιών, αναφέρονται σε μονές ή πολλαπλές εισόδους και εξόδους. Αυτά σχετίζονται με τη ράδιο - σύνδεση. Με αυτόν τον τρόπο η είσοδος είναι ο πομπός, καθώς μεταδίδεται στη σύνδεση ή στη διαδρομή σήματος και η έξοδος είναι ο δέκτης. Ο δέκτης βρίσκεται στην έξοδο της ασύρματης σύνδεσης [34]. Ως εκ τούτου, οι διάφορες μορφές συνδέσεων μονής ή πολλαπλής κεραιάς ορίζονται ως εξής:

- SISO - Μονή έξοδος
- SIMO - Μονή είσοδος Πολλαπλή έξοδος
- MISO - Μονή έξοδος πολλαπλών εισόδων
- MIMO - Πολλαπλή είσοδος πολλαπλή έξοδος



Εικόνα 16. Μορφές Συνδέσεων Τεχνολογίας Κεραίας [35]

Ακόμα, ο όρος Multi User-MIMO (MU-MIMO) χρησιμοποιείται για μια έκδοση πολλαπλών χρηστών του MIMO [36]. Αντίθετα, η τεχνολογία Single User-MIMO (SU-MIMO), εκχωρεί το πλήρες εύρος ζώνης του σημείου πρόσβασης (AP) σε μία μόνο συσκευή υψηλής ταχύτητας, κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος [37]. Οι διαφορές τους απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα. Στο επόμενο κεφάλαιο θα περιγράψουμε αναλυτικά όλες αυτές τις τεχνολογίες.



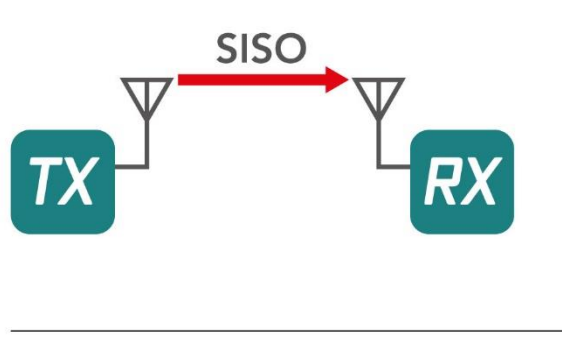
Εικόνα 17. Διαφορές SU-MIMO και MU-MIMO [38]

4.2.1 Τεχνολογία SISO

Η απλούστερη μορφή ραδιοσύνδεσης μπορεί να οριστεί ως Single Input Single Output (SISO). Πρόκειται ουσιαστικά για ένα τυπικό ραδιοφωνικό κανάλι, στο οποίο και ο πομπός αλλά και ο δέκτης, λειτουργούν με μία κεραία. Δεν υπάρχει ποικιλία και δεν απαιτείται πρόσθετη επεξεργασία [34].

Το πλεονέκτημα ενός συστήματος SISO είναι η απλότητά του. Το SISO δεν απαιτεί επεξεργασία όσον αφορά τις διάφορες μορφές ποικιλομορφίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ωστόσο, το κανάλι SISO είναι περιορισμένο στην απόδοσή του. Οι παρεμβολές και το ξεθώριασμα, θα επηρεάσουν το σύστημα περισσότερο από ένα σύστημα MIMO, χρησιμοποιώντας κάποια μορφή διαφορετικότητας και το εύρος ζώνης του καναλιού περιορίζεται από το Θεώρημα Shannon–Hartley [39].

Θεώρημα Shannon–Hartley: Η απόδοση εξαρτάται από το εύρος ζώνης του καναλιού και την αναλογία σήματος προς θόρυβο [40].



Εικόνα 18. Τεχνολογία SISO [41]

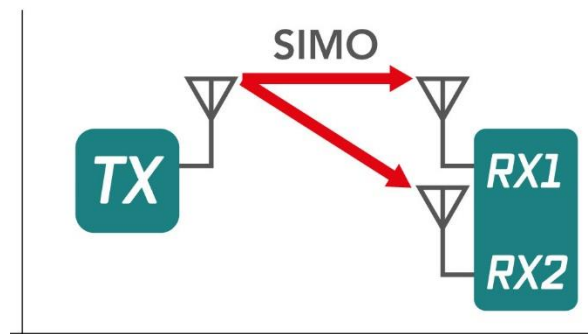
4.2.2 Τεχνολογία SIMO

Η έκδοση Single Input Multiple Output (SIMO), παρουσιάζεται όταν ο πομπός διαθέτει μία μόνο κεραία και ο δέκτης έχει πολλές κεραίες [39]. Το SIMO είναι επίσης γνωστό ως ποικιλία λήψης. Χρησιμοποιείται συχνά για να επιτρέψει σε ένα σύστημα δέκτη να λαμβάνει σήματα από διάφορες ανεξάρτητες πηγές, με σκοπό να καταπολεμήσει τις επιπτώσεις της εξασθένησης. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια με σταθμούς ακρόασης και λήψης μικρών κυμάτων, για την καταπολέμηση των επιπτώσεων της ιονοσφαιρικής εξασθένησης και των παρεμβολών.

Το SIMO έχει το πλεονέκτημα ότι είναι σχετικά εύκολο να εφαρμοστεί. Ωστόσο, έχει ένα μειονέκτημα είναι ότι απαιτείται η επεξεργασία στον δέκτη [34]. Επιπρόσθετα, η χρήση του SIMO μπορεί να είναι αρκετά αποδεκτή σε πολλές εφαρμογές, όμως όταν ο δέκτης βρίσκεται σε μια κινητή συσκευή όπως ένα ακουστικό κινητού τηλεφώνου, τα επίπεδα επεξεργασίας μπορεί να περιορίζονται από διάφορες μεταβλητές, όπως το μέγεθος, το κόστος και την εξάντληση της μπαταρίας.

Υπάρχουν δύο μορφές SIMO που μπορούν να χρησιμοποιηθούν [34]:

- **Μεταβλητή ποικιλία SIMO:** Αυτή η μορφή SIMO, αναζητά το ισχυρότερο σήμα και μεταβαίνει σε αυτήν την κεραία.
- **Μέγιστος λόγος που συνδυάζει SIMO:** Αυτή η μορφή SIMO, λαμβάνει και τα δύο σήματα και τα συνοψίζει για να δώσει το συνδυασμό. Με αυτόν τον τρόπο, τα σήματα και από τις δύο κεραίες συμβάλλουν στο συνολικό σήμα.

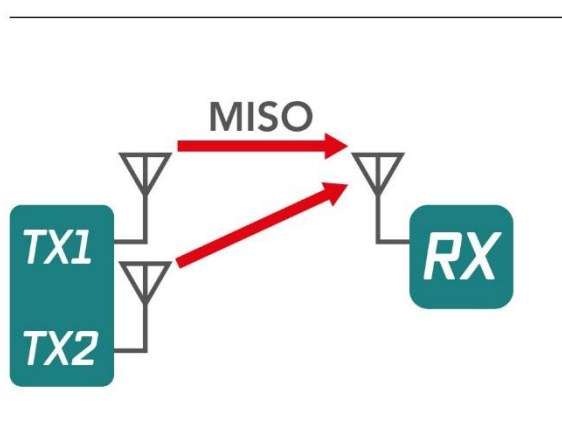


Εικόνα 19. Τεχνολογία SIMO [41]

4.2.3 Τεχνολογία MISO

Η έκδοση Multiple Input Single Output (MISO) είναι γνωστό ως ποικιλία λήψης. Σε αυτήν την περίπτωση, τα ίδια δεδομένα μεταδίδονται εφεδρικά και από τις δύο κεραίες πομπού. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν διαφορετικές διαθέσιμες πηγές, αλλά υπάρχει μόνο ένας προορισμός διαθέσιμος. Έπειτα ο δέκτης μπορεί να λάβει το βέλτιστο σήμα, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιήσει για να λάβει εξαγωγή των απαιτούμενων δεδομένων [39].

Το πλεονέκτημα της χρήσης του MISO, είναι ότι οι πολλαπλές κεραίες και η πλεονασματική κωδικοποίηση – επεξεργασία, μετακινούνται από τον δέκτη στον πομπό. Σε περιπτώσεις όπως χρήστες κινητού τηλεφώνου, αυτό μπορεί να είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα όσον αφορά τον χώρο για τις κεραίες, αλλά και τη μείωση του επιπέδου επεξεργασίας που απαιτείται στον δέκτη για την κωδικοποίηση πλεονασμού [34]. Επομένως, αυτό έχει θετικό αντίκτυπο στο μέγεθος, το κόστος και τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, καθώς το χαμηλότερο επίπεδο επεξεργασίας απαιτεί λιγότερη κατανάλωση μπαταρίας.



Εικόνα 20. Τεχνολογία MISO [41]

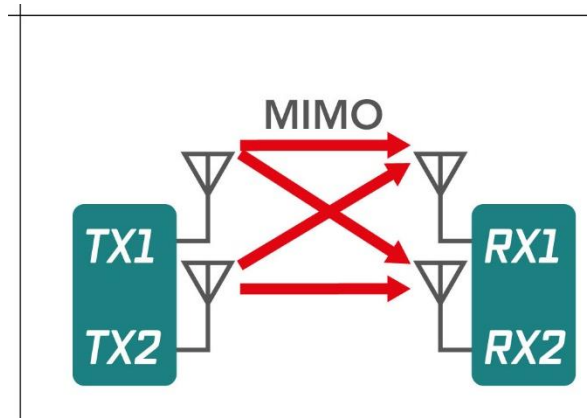
4.2.4 Τεχνολογία MIMO

Όπου υπάρχουν περισσότερες από μία κεραίες σε κάθε άκρο του ραδιοφωνικού συνδέσμου, αυτό ονομάζεται Multiple Input Multiple Output (MIMO). Στην τεχνολογία αυτή, μπορεί να υπάρχουν πολλές κεραίες μετάδοσης από τις οποίες μπορεί να σταλεί το σήμα, και επίσης υπάρχουν πολλές κεραίες λήψης μέσω των οποίων μπορεί να ληφθεί το σήμα. Επιπλέον, δεδομένου ότι μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές κεραίες μετάδοσης, το σήμα μπορεί να μεταδοθεί από οποιαδήποτε κεραία και επομένως το σήμα μπορεί να ακολουθήσει οποιαδήποτε διαδρομή για να φτάσει τέλος λήψης [39]. Αυτή η διαδρομή που ακολουθείται από το σήμα εξαρτάται από τη θέση της κεραίας.

Η τεχνολογία MIMO εκμεταλλεύεται την πολλαπλή μετάδοση και οι κεραίες στην πηγή και στον προορισμό ενοποιούνται για τη μείωση των σφαλμάτων και τη βελτιστοποίηση της ταχύτητας δεδομένων [42]. Στην πράξη, το κανάλι μεταξύ του πομπού και του δέκτη εκτιμάται από ορθογώνιες πιλοτικές ακολουθίες, οι οποίες περιορίζονται από το χρόνο συνοχής του καναλιού [43].

Ακόμα, η τεχνολογία MIMO, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει βελτιώσεις τόσο στην ευρωστία των καναλιών, όσο και στην απόδοση. πιο συγκεκριμένα, προσφέρει τεράστια πλεονεκτήματα όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, τη φασματική απόδοση, την ανθεκτικότητα και την αξιοπιστία [28]. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι για να υπάρξει μεγαλύτερο όφελος από το MIMO, είναι απαραίτητο να γίνει κωδικοποίηση στα κανάλια, έτσι ώστε να υπάρχει διαχωρισμός στα δεδομένα από τις διαφορετικές διαδρομές. Αυτό απαιτεί επεξεργασία, αλλά παρέχει επιπλέον ευρωστία καναλιού και χωρητικότητα μεταφοράς δεδομένων.

Υπάρχουν πολλές μορφές MIMO που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως το SISO, SIMO και MISO έως τα πλήρη συστήματα MIMO [34]. Όλα αυτά είναι σε θέση να παρέχουν σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση, αλλά κυρίως στο κόστος της πρόσθετης επεξεργασίας και του αριθμού των κεραιών που χρησιμοποιούνται. Φυσικά, πρέπει να υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στην απόδοση έναντι κόστους, μεγέθους, διαθέσιμης επεξεργασίας και της επακόλουθης διάρκειας ζωής της μπαταρίας κατά την επιλογή της σωστής επιλογής.

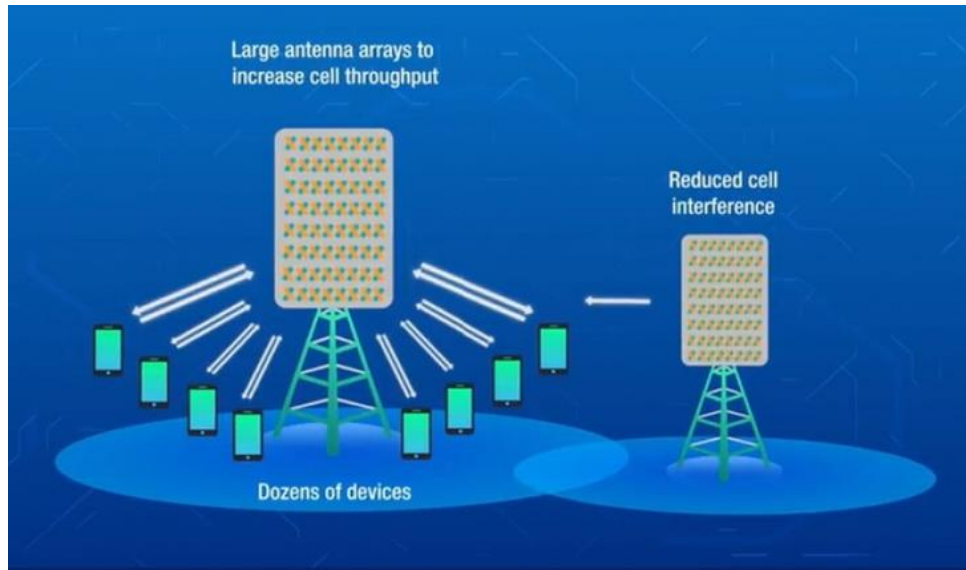


Εικόνα 21. Τεχνολογία MIMO [41]

4.3 Τεχνολογία Massive MIMO

Η τεχνολογία Massive MIMO, αποτελεί βασικό παράγοντα και θεμελιώδες στοιχείο όταν μιλάμε για 5G δίκτυα. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, η τεχνολογία MIMO αφορά ασύρματες τεχνολογίες, οι οποίες επιτρέπουν τη μετάδοση και τη λήψη περισσότερων από ένα σημάτων δεδομένων ταυτόχρονα, μέσω του ίδιου καναλιού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ξεχωριστών κεραιών για τη μετάδοση και λήψη κάθε σήματος δεδομένων [42]. Οι σημερινοί σταθμοί βάσης 4G, διαθέτουν δώδεκα θύρες για κεραιές που χειρίζονται όλη την κυψελοειδή κίνηση, οκτώ για πομπούς και τέσσερις για δέκτες. Αντίθετα, οι σταθμοί βάσης 5G μπορούν να υποστηρίξουν περίπου εκατό θύρες, πράγμα που σημαίνει ότι σε ένα μόνο πίνακα, μπορούν να χωρέσουν πολλές περισσότερες κεραιές [28].

Επομένως, με περισσότερες θύρες για κεραιές ο σταθμός βάσης μπορεί να εξυπηρετεί ταυτόχρονα περισσότερους χρήστες και συγχρόνως αποκτά καλύτερες επιδόσεις σχηματισμού δεσμών. Αυτό βελτιώνει σημαντικά την χωρητικότητα και την εμβέλεια του σταθμού βάσης. Ακόμα, χρησιμοποιώντας πίνακες κεραιών που καλύπτουν 360°, μπορούν να αποφευχθούν τα κλασσικά προβλήματα των ορίων των κεραιών, αφού ο σταθμός βάσης (Massive MIMO) μπορεί να προσαρμοστεί με αυτόν τον τρόπο στην κίνηση του χρήστη, σε διαφορετικές κατευθύνσεις κατά το βέλτιστο. Επιπλέον, οι πίνακες με τις κεραιές μπορούν να βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις σε κάθε σταθμό βάσης [28]. Καταλήγοντας, επιτρέπει τη βέλτιστη εκτέλεση των μεταδόσεων των σημάτων από διαφορετικές θέσεις κεραιάς.



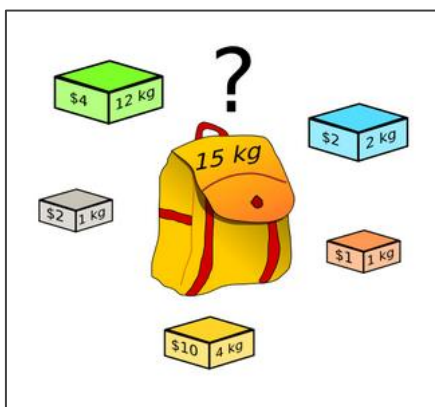
Εικόνα 22. 5G Massive MIMO Κεραία [44]

Πιο συγκεκριμένα, θα δούμε παρακάτω μερικά χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας [45]:

- Χρησιμοποιεί την τεχνολογία SDMA, μια μέθοδο πρόσβασης καναλιού που χρησιμοποιείται στην επικοινωνία [46], για να επιτύχει ένα κέρδος πολυπλεξίας εξυπηρετώντας πολλούς περισσότερους χρήστες, με τους ίδιους πόρους χρονικής συχνότητας.
- Έχει περισσότερες κεραιές σταθμών βάσης από χρήστες ανά κελί, και αυτό για να πετύχει αποτελεσματική καταστολή των παρεμβολών. Αν ο αναμενόμενος αριθμός χρηστών αυξάνεται σε ένα κελί, τότε ο σταθμός βάσης θα πρέπει να αναβαθμιστεί, έτσι ώστε ο αριθμός των κεραιών να αυξάνεται αναλογικά.
- Λειτουργεί σε TDD, μία τεχνική χρήσης φάσματος [47], έτσι ώστε να περιορίσει τα έξοδα απόκτησης CSI, λόγω των πολλαπλών κεραιών, και για να μη βασίζεται σε παραμετροποιήσιμα μοντέλα καναλιών. Το CSI είναι ένας μηχανισμός, στον οποίο ένας χρήστης μετράει την ποιότητα των ραδιοφωνικών καναλιών και αναφέρει το αποτέλεσμα στο Δίκτυο [48].

Τέλος, η τεχνολογία Ma-MIMO συμπεριλαμβάνει κατευθυντήριες γραμμές σχεδίασης, καθιστώντας την έναν αποτελεσματικό τρόπο για την επίτευξη υψηλής φασματικής απόδοσης στο επίπεδο κάλυψης μελλοντικών ασύρματων δικτύων [45].

Κεφάλαιο 5 : Το πρόβλημα του Σακιδίου



5.1 Εισαγωγή

Το πρόβλημα του Knapsack μελετήθηκε για πρώτη φορά από τον Tobias Dantzig το 1897. Επιπλέον, ο πρώτος αλγόριθμος δυναμικού προγραμματισμού μελετήθηκε τη δεκαετία του 1950, από τον R. Bellman. Έπειτα, ο πρώτος αλγόριθμος διακλάδωσης και ορίων (Branch and Bound) μελετήθηκε τη δεκαετία του 1960. Τα πρώτα σχέδια πολυωνυμικών προσεγγίσεων μελετήθηκαν τη δεκαετία του 1970, από τον Sahni. Ακόμα, οι πρώτες υλοποιήσεις γενετικών αλγορίθμων μελετήθηκαν τη δεκαετία του 1990. Τέλος, το 1998, η μελέτη των Chu και Beasley, του Πανεπιστημίου Stony Brook, έδειξε ότι το πρόβλημα του σακιδίου ήταν το δέκατο όγδοο πιο δημοφιλές αλγοριθμικό πρόβλημα [49]!

Το πρόβλημα του σακιδίου (Knapsack Problem) είναι ένα πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης [50]. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο αντικειμένων, το καθένα με βάρος και τιμή, καθορίζει τον αριθμό κάθε στοιχείου που συμπεριλαμβάνεται σε μια συλλογή έτσι ώστε το συνολικό βάρος να είναι μικρότερο ή ίσο με ένα δεδομένο όριο και η συνολική αξία να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη [51].

Εικόνα 23. Knapsack Problem [51]

Το όνομα του, εμπνεύστηκε από τον προβληματισμό που δημιουργείται σε όλους όταν

φτιάχνουμε μια βαλίτσα [52]: «Ποια πολύτιμα - χρήσιμα αντικείμενα πρέπει να επιλέξω όταν ο χώρος που έχω στη διάθεση μου είναι περιορισμένος?»

5.2 Χαρακτηριστικά 0-1 Knapsack Problem

Το 0/1 Knapsack Problem, ήταν ένα πολύ ερευνημένο πρόβλημα στην επιστήμη των υπολογιστών που χρονολογείται από τη δεκαετία του '70, όταν αποδείχθηκε για πρώτη φορά ότι ήταν ένα πλήρες πρόβλημα NP [53]. Για την επίτευξη ικανοποιητικού επιπέδου QoS στην προσέγγισή μας, εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο 0-1 Knapsack. Παρακάτω δίνεται ο ορισμός του προβλήματος για τον 0-1 Knapsack [54].

- Ανάγκη για μοναδικά αντικείμενα (μία χρήση).
- Τιμή για κάθε αντικείμενο.
- Κόστος για κάθε αντικείμενο.

Στόχος του προβλήματος: Υψηλότερη τιμή εντός του ορίου κόστους!

Το Knapsack Problem, είναι μια εφαρμογή συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο αντικειμένων, το καθένα με βάρος και τιμή, καθορίζει τον αριθμό κάθε αντικειμένου σε μια συλλογή, έτσι ώστε το συνολικό βάρος να είναι μικρότερο ή ίσο με ένα δεδομένο όριο (W) και η συνολική τιμή είναι όσο το δυνατόν υψηλότερη. Δεδομένου ενός συνόλου αντικειμένων (ας υποθέσουμε n αντικείμενα) θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε τα κέρδη μας, οπότε προκύπτει [55]:

$$\sum_{i=1}^n U_i X_i$$

Υποθέτουμε ότι έχουμε μια τσάντα που μπορεί να χωρέσει ένα σετ m αντικειμένων και $m < n$. Για κάθε αντικείμενο, ορίζουμε μια μεταβλητή X_i . Έπειτα, ορίζουμε το $X_i = 1$, όταν ένα στοιχείο ανήκει στο σύνολο των επιλεγμένων αντικειμένων, ή $X_i = 0$, όταν ένα στοιχείο δεν επιλέγεται. Προφανώς, σύμφωνα με την προηγούμενη εξίσωση, για το σύνολο των επιλεγμένων αντικειμένων μας προκύπτει:

$$\sum_{i=1}^n U_i X_i \leq W$$

Το U_i αντιπροσωπεύει την τιμή του κάθε αντικειμένου στο σακίδιο και το W αντιπροσωπεύει τη χωρητικότητα του σακιδίου.

Καλύτερος Knapsack: Καταλήγοντας, ο στόχος είναι να μεγιστοποιηθεί το άθροισμα των τιμών των αντικειμένων, έτσι ώστε το άθροισμα των βαρών, να είναι μικρότερο ή ίσο με τον περιορισμένο χώρο του σακιδίου (W) [56].

5.3 Παραδείγματα

Σε αυτή την ενότητα θα δούμε μερικά παραδείγματα διατύπωσης του Προβλήματος του Σακιδίου, για να έχουμε καλύτερη εικόνα για τη λειτουργία του.

5.3.1 Παράδειγμα 1

Στο παρακάτω παράδειγμα, το πρόβλημα ορίζεται ως εξής. Έχουμε 10 αντικείμενα, καθένα με βάρος και μία αξία / τιμή. Η χωρητικότητα του Knapsack είναι 101. Ψάχνουμε να βρούμε τον καλύτερο αλγόριθμο Knapsack, που θα μας δώσει τη βέλτιστη λύση. Για να βρούμε τη λύση στο πρόβλημα αυτό, θα πρέπει να «χωρέσουμε» στο σακίδιο, όλα τα αντικείμενα που έχουν υψηλότερη αξία σε σχέση με τα υπόλοιπα, χωρίς φυσικά να υπερβούμε το συνολικό μέγεθος του σακιδίου.

Εδώ τα χαρακτηριστικά αυτού του προβλήματος ορίζονται ως:

- $N = 10$ αντικείμενα
- $v = \text{Value}$ (αξία κάθε αντικειμένου)
- $w = \text{Size}$ (βάρος κάθε αντικειμένου)
- $W = 101$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Value	79	32	47	18	26	85	33	40	45	59
Size	85	26	48	21	22	95	43	45	55	52

- Knapsack with capacity 101

Πίνακας 3. Πρόβλημα KP [57]

5.3.2 Παράδειγμα 2

Ας δούμε και το παρακάτω παράδειγμα με τη λύση του προβλήματος. Δίνονται τρία προβλήματα. Στο πρώτο πρόβλημα με id 9000, έχουμε 4 αντικείμενα, και η χωρητικότητα του σακιδίου είναι 100. Δίνονται οι αξίες και τα βάρη για κάθε αντικείμενο. Εδώ ψάχνουμε να βρούμε τον καλύτερο αλγόριθμο Knapsack, που θα μας δώσει τη βέλτιστη λύση. Για να βρούμε τη λύση στο πρόβλημα αυτό, θα πρέπει όπως και πριν, να «χωρέσουμε» στο σακίδιο όλα τα αντικείμενα που έχουν υψηλότερη αξία σε σχέση με τα υπόλοιπα, χωρίς φυσικά να υπερβούμε το συνολικό μέγεθος του σακιδίου. Έτσι έχουμε:

- $N = 4$ αντικείμενα
- $v = \text{αξία}$ κάθε αντικειμένου

- $w =$ βάρος κάθε αντικειμένου
- $W = 100$

Λύση του προβλήματος:

Θα ξεκινήσουμε επιλέγοντας πρώτα τα αντικείμενα με τη μεγαλύτερη αξία, προσέχοντας φυσικά να μην υπερβούμε το βάρος του σακιδίου. Εδώ προκύπτουν δύο περιπτώσεις.

1η περίπτωση: Θα επιλέξουμε πρώτα το αντικείμενο 4 με $v = 223$, επειδή έχει τη μεγαλύτερη αξία, που είναι και το ζητούμενο. Εφόσον το βάρος του ισούται με $w = 3$ και δεν ξεπερνά το βάρος $W = 100$ του σακιδίου, μπορούμε να επιλέξουμε και άλλα αντικείμενα να προσθέσουμε στο σακίδιο. Επιλέγουμε λοιπόν το επόμενο αντικείμενο με τη μέγιστη αξία. Αυτό είναι το αντικείμενο 3, που έχει αξία $v = 192$ και βάρος $w = 88$. Το συνολικό μέγεθος που έχει προκύψει από τα 2 αντικείμενα που προσθέσαμε στο σακίδιο, είναι $3 + 88 = 91$. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι δεν μπορούμε να προσθέσουμε κάποιο από τα άλλα δύο αντικείμενα στο σακίδιο, επειδή τα βάρη τους είναι 18 και 42, και θα υπερβούμε το όριο του Knapsack. Επομένως, η συνολική αξία που προκύπτει από αυτόν τον Knapsack είναι: $223 + 192 = 415$.

2η περίπτωση: Το δεύτερο σενάριο που προκύπτει από το πρόβλημα, είναι να επιλέξουμε κάποια άλλα αντικείμενα για την εύρεση του βέλτιστου Knapsack. Ομοίως με πριν, θα επιλέξουμε πρώτα το αντικείμενο 4 με $v = 223$, επειδή έχει τη μεγαλύτερη αξία, που είναι και το ζητούμενο. Εφόσον το βάρος του ισούται με $w = 3$ και δεν ξεπερνά το βάρος $W = 100$ του σακιδίου, μπορούμε να επιλέξουμε και άλλα αντικείμενα να προσθέσουμε στο σακίδιο. Τώρα, θα επιλέξουμε το επόμενο αντικείμενο με τη μέγιστη αξία και όχι το αντικείμενο 3 που επιλέξαμε στην πρώτη περίπτωση. Επομένως, προχωράμε στην επιλογή του αντικειμένου 2 που έχει αξία $v = 136$ και βάρος $w = 42$. Το συνολικό μέγεθος που έχει προκύψει από τα 2 αντικείμενα που προσθέσαμε στο σακίδιο, είναι $3 + 42 = 45$. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι μπορούμε να προσθέσουμε και άλλο αντικείμενο στο σακίδιο, επειδή το συνολικό βάρος είναι 45 και μπορούμε να επιλέξουμε ακόμα το αντικείμενο 1, που έχει βάρος $w = 18$ και αξία $v = 114$. Καταλήγοντας, έχουμε 3 αντικείμενα στο σακίδιο, με συνολικό βάρος $45 + 18 = 63$, και αξία $223 + 136 + 114 = 473$. Παρατηρούμε ότι δεν μπορούμε να προσθέσουμε και το αντικείμενο 3 στο σακίδιο, γιατί θα υπερβούμε το συνολικό όριο του σακιδίου. Επομένως, αυτός ο Knapsack έχει μεγαλύτερη αξία από τον Knapsack της πρώτης περίπτωσης, άρα αποτελεί τη **βέλτιστη λύση** του προβλήματος.

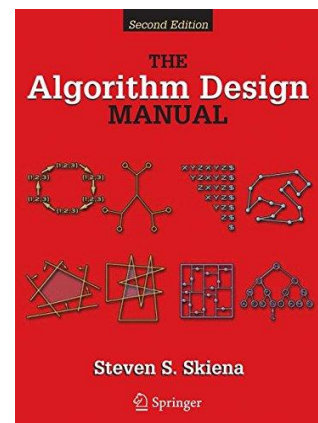
Αντίστοιχα, βρίσκουμε τον καλύτερο Knapsack και στα άλλα δύο προβλήματα του παραδείγματος.

id (size)	limit (W)	best	items weights w items values v
9000 (4 bits)	100	473	$w = \{18,42,88,3\}$ $v = \{114,136,192,223\}$
9050 (10 bits)	100	798	$w = \{27,2,41,1,25,1,34,3,50,12\}$ $v = \{38,86,112,0,66,97,195,85,42,223\}$
9270 (25 bits)	300	3307	$w = \{40,1,10,24,11,26,4,2,34,6,5,9,20,19,42,18,37,21,3,31,43,45,35,30,7\}$ $v = \{124,197,58,228,235,128,252,212,52,156,170,84,69,12,144,222,21,227,225,239,37,103,113,216,179\}$

Πίνακας 4. Παράδειγμα KP [56]

5.4 Επεκτάσεις

Όπως συμβαίνει συχνά με βιομηχανικές εφαρμογές, πρακτικά πρέπει να πληρούνται αρκετοί επιπλέον περιορισμοί, όπως η προτεραιότητα των αιτημάτων, τα χρονικά διαστήματα για κάθε αίτημα, τα πακέτα με χαμηλό βάρος αλλά μεγάλο όγκο. Αυτό οδηγεί σε διάφορες επεκτάσεις και παραλλαγές του βασικού μοντέλου του KP. Επιπλέον, επειδή αυτή η ανάγκη επέκτασης του βασικού μοντέλου του KP, προέκυψε σε πολλά πρακτικά προβλήματα βελτιστοποίησης, μερικές από τις πιο γενικές παραλλαγές του KP, έχουν γίνει στάνταρ προβλήματα από μόνα τους [58]. Σε αυτή την ενότητα, θα παρουσιάσουμε πολλά από αυτά.



Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από την εμφάνιση των προβλημάτων του σακιδίου, πολλές μέθοδοι λύσης πιο περίπλοκων προβλημάτων χρησιμοποιούν την προσέγγιση του KP, και κάποιες φορές επαναληπτικά, ως υποπρόβλημα. Ως εκ τούτου, μια ολοκληρωμένη μελέτη του προβλήματος του σακιδίου, παρέχει πολλά πλεονεκτήματα για ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών προβλημάτων.

Από διαγνωστική και ιστορική άποψη, αξίζει να σημειωθεί ότι οποιαδήποτε τεχνική συνδυαστικής βελτιστοποίησης και της επιστήμης των υπολογιστών, εισήχθη στο πλαίσιο των προβλημάτων του σακιδίου. Συγκεκριμένα, ένα από τα πρώτα προβλήματα βελτιστοποίησης που έπρεπε να ληφθούν υπόψη κατά την ανάπτυξη του NP – hardness, ήταν το πρόβλημα του αθροίσματος. Άλλες έννοιες, όπως σχήματα προσέγγισης, αλγόριθμοι μείωσης και δυναμικός προγραμματισμός, διαμορφώθηκαν στην αρχή τους με βάση το πρόβλημα του σακιδίου [58].

Επιπλέον, η συνδυαστική βελτιστοποίηση και η επιχειρησιακή έρευνα, μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε με από πάνω προς τα κάτω (top-down) είτε από κάτω προς τα πάνω (bottom-up) προσέγγιση. Στην top-down προσέγγιση, οι ερευνητές αναπτύσσουν μεθόδους λύσης για τα πιο δύσκολα προβλήματα βελτιστοποίησης, όπως το πρόβλημα του πωλητή ταξιδιού, το πρόβλημα τετραγωνικής ανάθεσης ή το πρόβλημα χρονοδρομολόγησης.

Δεδομένου ότι οι ανεπτυγμένες μέθοδοι λειτουργούν σε αυτά τα προβλήματα, τότε μπορούμε να υποθέσουμε πως επίσης θα λειτουργήσουν σε μία μεγάλη ποικιλία άλλων προβλημάτων. Αντίθετα, μία άλλη προσέγγιση είναι να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι για το πιο

απλό μοντέλο, όπως το πρόβλημα του σακιδίου, ελπίζοντας ότι οι τεχνικές αυτές θα μπορούν να προσαρμοστούν και σε πιο πολύπλοκα μοντέλα.

Καταλήγοντας, ο ερευνητής Steven Skiena, αναφέρει στο βιβλίο του μια ανάλυση ενός τετάρτου εκατομμυρίου αιτημάτων στο Stony Brook Algorithms Repository, με σκοπό να προσδιοριστεί το σχετικό επίπεδο ενδιαφέροντος ανάμεσα σε 75 αλγοριθμικά προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, στην ανάλυσή του αυτή, αποδεικνύεται ότι ο κώδικας για τον KP, είναι στους πρώτους 20 εξεζητημένους αλγόριθμους. Ακόμα, αναφέρει ότι οι αλγόριθμοι προβλημάτων του σακιδίου, αποτελούν την τρίτη πιο εξεζητημένη υλοποίηση [58]. Από τα παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι και από την εικόνα των απαιτήσεων, αλλά και από αποτελέσματα ερευνών, οι αλγόριθμοι προβλημάτων του σακιδίου παρουσιάζονται σε διάφορες εφαρμογές στον πραγματικό κόσμο.

Εικόνα 24. S. Skiena Book [59]

5.5 Άλλοι Αλγόριθμοι

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι επίλυσης του προβλήματος του σακιδίου, όπως για παράδειγμα: άπληστοι αλγόριθμοι, μέθοδος n-opt, hill climbing, backtracking, branch and bound, EP, χαοτική αναζήτηση και ασαφής βελτιστοποίηση. Επιπλέον, ο αλγόριθμος Ant Colony που προτείνεται από τις αρχές της δεκαετίας του '90, ήταν μόνο ένας νέος αλγόριθμος [60]. Ωστόσο, η υβριδική στρατηγική βελτιστοποίησης λόγω της έλλειψης αυστηρής και εκτεταμένης ανάλυσης θεωρίας και αποτελεσματικότητας, είναι τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη και η εφαρμογή.

Επιπρόσθετα, ο αλγόριθμος αναζήτησης Taboo είναι μια ισχυρή ικανότητα τοπικής αναζήτησης του παγκόσμιου αλγορίθμου επαναληπτικής βελτιστοποίησης. Ακόμα, η φύση του αλγορίθμου Ant Colony, είναι ένας παράλληλος αλγόριθμος, αλλά η σύγκριση του χρόνου αναζήτησης είναι μεγάλη και συχνά παγιδευμένη στην βέλτιστη τοπική λύση, δημιουργώντας μία παύση στην αναζήτηση [60].

Τέλος, δεδομένου ότι αρκετές έρευνες που αφορούν το Knapsack Problem, δυσκολεύονται να παράσχουν συγκεκριμένα παραδείγματα του χρόνου υπολογισμού, αναφέρουν μόνο τον αριθμό της αξιολόγησης της συνάρτησης. Αυτό το γεγονός, καθιστά τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μεθόδων δύσκολη, επειδή οι διαφορετικοί χειριστές έχουν διαφορετική χρονική πολυπλοκότητα.

Κεφάλαιο 6 : Περιγραφή Μηχανισμού

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, θα περιγράψουμε τον αλγόριθμο που υλοποιήσαμε για τις ανάγκες της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Για την ανάπτυξη του προτεινόμενου μηχανισμού, μελετήθηκαν σε βάθος πολλές επιστημονικές έρευνες. Φυσικά, μελετήθηκαν σε βάθος τα 5G Δίκτυα, η τεχνολογία MIMO και πιο συγκεκριμένα η Massive MIMO τεχνολογία. Ακόμα, περεταίρω μελέτη διεξήχθη όσον αφορά τον αλγόριθμο Knapsack Problem, που αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τέλος, αναγκαία ήταν η έρευνα στον τομέα λειτουργίας των 5G δικτύων, ειδικότερα όσον αφορά την επικοινωνία μεταξύ του σταθμού βάσης και των χρηστών. Αυτό, σε συνδυασμό με τη διατύπωση του KP, αποτελούν και τα πιο βασικά στοιχεία, για τη σωστή υλοποίηση του μηχανισμού που προτείνουμε.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, προτείνεται ένας μηχανισμός κατανομής πόρων από το σταθμό βάσης στις διαθέσιμες κεραιές, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο KP.

Αυτός ο αλγόριθμος είναι μια διαφορετική προσέγγιση της τεχνολογίας MIMO, καθώς επιδιώκει να εξυπηρετήσει όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες, με την υποστήριξη ενός υψηλού επιπέδου εξυπηρέτησης. Στόχος μας είναι να αξιολογήσουμε την απόδοση της πρόσβασης των χρηστών στις κεραίες και να μελετήσουμε την περίπτωση όπου ο σταθμός βάσης κατανέμει πόρους, σύμφωνα με το εκτίμησή του καναλιού που λαμβάνει από κάθε κεραία.

Ειδικά, το σενάριο που περιγράφεται αφορά την εξυπηρέτηση του μέγιστου αριθμού χρηστών που συνδέονται με το σταθμό βάσης, ενώ ορισμένοι χρήστες βρίσκονται στα όρια ενός κελιού. Είναι πολύ σημαντικό για τον προτεινόμενο μηχανισμό να καταφέρει να εξυπηρετήσει αυτούς τους χρήστες, επιτυγχάνοντας ένα ικανοποιητικό επίπεδο QoS, όσον αφορά το επιτευχθέν εύρος ζώνης. Ο μηχανισμός κατανομής πόρων προτείνεται σε ένα σύστημα Ma-MIMO. Ωστόσο, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται βασίζονται σε υπολογισμούς, χρησιμοποιώντας μικρότερο αριθμό χρηστών σε κάθε σταθμό βάσης. Αυτό συμβαίνει προκειμένου να παρουσιάσουμε πιο ξεκάθαρα τα πειράματα.

Τέλος, θα προσομοιώσουμε τον προτεινόμενο αλγόριθμο στο υπολογιστικό περιβάλλον της MATLAB, έτσι ώστε να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε εάν τα αιτήματα των χρηστών, ικανοποιούνται με τον βέλτιστο τρόπο. Για να το πετύχουμε αυτό, εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο 0-1 Knapsack στην υλοποίησή μας.

6.2 Προηγούμενες Έρευνες

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση του μηχανισμού που προτείνουμε, θα δούμε πρώτα μερικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί και αφορούν την προσέγγιση KP. Σε προηγούμενες ερευνητικές εργασίες, προτείνεται ένας άπληστος αλγόριθμος σακιδίων για την ανάλυση της απόδοσης του συστήματος. Ας δούμε μερικές από αυτές:

- **N. Ferdosian, M. Othman, B. Mohd Ali, and K. Yeah Lun, “Greedy–knapsack algorithm for optimal downlink resource allocation in LTE networks” [61]:**

Οι συγγραφείς της έρευνας αυτής, παρουσιάζουν έναν άπληστο αλγόριθμο του σακιδίου, για την εκτίμηση των χρηστών που περιμένουν να εξυπηρετηθούν από το σταθμό βάσης. Στη συνέχεια, επιλέγουν από ένα σύνολο UE για να μεγιστοποιήσουν την απόδοση του συστήματος με τον βέλτιστο τρόπο. Προφανώς, αυτό πρέπει να γίνει χωρίς να ξεπεράσουν τη διαθέσιμη χωρητικότητα εύρους ζώνης σε δίκτυα LTE.

- **R. Husbands, Q. Ahmed, and J. Wang, “Transmit antenna selection for massive MIMO: A knapsack problem formulation” [62]:**

Στην έρευνα αυτή, οι R. Husbands, Q. Ahmed, και J. Wang, αναδιαμορφώνουν τον αριθμό των κεραιών μετάδοσης ως ένα πρόβλημα του σακιδίου (KP). Όπως προκύπτει από την έρευνά τους, προκειμένου να παραχθεί μια υπηρεσία με εφικτή ποιότητα, ο αριθμός των κεραιών στην απαιτούμενη πηγή, καθορίζεται τροποποιώντας το σύστημα ως KP. Επιπλέον,

οι ερευνητές διευκρινίζουν πώς ο σταθμός βάσης μεταδίδει ένα δάνυσμα σήματος με beamforming.

▪ **J. Jing and X. Zheng, “A Downlink Max-SINR Precoding for Massive MIMO System” [63]:**

Οι συγγραφείς αυτής της μελέτης, ερευνούν το Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (SINR) για τα συστήματα Ma-MIMO, ενώ ταυτόχρονα προσπαθούν να φέρουν την ποιότητα σε ικανοποιητικό επίπεδο. Οι κεραιές στην πηγή και στον προορισμό ενοποιούνται για τη μείωση των σφαλμάτων και τη βελτιστοποίηση της ταχύτητας δεδομένων. Ακόμα, εκφράζουν το σήμα λήψης του χρήστη k στο κελί j , καθώς και το DL SINR σε ένα Ma-MIMO σύστημα και καταλήγουν ότι το DL SINR του χρήστη k στο κελί j εκφράζεται ως:

$$SINR_{j,k} = \frac{|f_{jk}^j a_{jk}|^2}{1 + \sum_{l=1, l \neq j}^L \sum_{k=1}^K |f_{jk}^l a_{jk}|^2}$$

Σύμφωνα με τους ερευνητές, για την παραπάνω εξίσωση προκύπτουν τα εξής:

- το q_{ik} είναι τα DL σήματα μετάδοσης
- $I = E [q_{ik} q_{ik}^H]$
- a_{jk} είναι ο πίνακας precoding
- f_{jk}^j είναι ο πίνακας καναλιών από το σταθμό βάσης του κελιού j , έως το χρήστη k του κελιού j

Στη συνέχεια θα δούμε παρόμοιες έρευνες όπως τις παραπάνω, οι οποίες έχουν διερευνήσει την τεχνική κατανομής πόρων χρησιμοποιώντας τη διατύπωση KP.

▪ **K. Ishimiya, J. Langbacka, Z. Ying, and J. Takada, “A Compact MIMO DRA Antenna” [42]:**

Όπως αναφέρουν οι K. Ishimiya, J. Langbacka, Z. Ying, και J. Takada, η τεχνολογία MIMO είναι μια τεχνολογία κεραιάς για ασύρματη επικοινωνία, που χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές μετάδοσης και λήψης.

▪ **P. D. Selvam and K. S. Vishvaksean, “Antenna Selection and Power Allocation in Massive MIMO” [43]:**

Η τεχνολογία MIMO αναφέρεται συγκεκριμένα σε μια πρακτική τεχνική, για την αποστολή και λήψη περισσότερων του ενός σημάτων δεδομένων ταυτόχρονα μέσω του ίδιου

ραδιοφωνικού καναλιού, εκμεταλλευόμενη τη διάδοση πολλαπλών διαδρομών. Στην πράξη, σύμφωνα με τους συγγραφείς το κανάλι μεταξύ του πομπού και του δέκτη εκτιμάται από ορθογώνιες πιλοτικές ακολουθίες, οι οποίες περιορίζονται από το χρόνο συνοχής του καναλιού.

- **E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, and T. L. Marzetta, “Massive MIMO for next generation wireless systems” [28]:**

Η τεχνολογία MIMO προσφέρει τεράστια πλεονεκτήματα σε σχέση με την ενεργειακή απόδοση, τη φασματική απόδοση, την ανθεκτικότητα και την αξιοπιστία. Όσον αφορά την τεχνολογία Ma-MIMO, ο όρος έχει δημιουργηθεί για τη χρήση πολύ μεγαλύτερου αριθμού κεραιών ανά τοποθεσία. Όπως αναφέρουν οι αυτοί οι συγγραφείς στην έρευνά τους, η κυρίαρχη ιδέα είναι η χρήση μεγάλων πινάκων κεραιών στο σταθμό βάσης, για ταυτόχρονη εξυπηρέτηση πολλών αυτόνομων τερματικών. Επιπλέον, εξετάζουν πιο συγκεκριμένα την τεχνολογία Ma-MIMO, επισημαίνοντας ότι βασίζεται σε μια απλή επεξεργασία σημάτων από όλες τις κεραιές προς το σταθμό βάσης. Επομένως, γίνεται εύκολα αντιληπτό το γεγονός ότι με περισσότερες θύρες για κεραιές, ο σταθμός βάσης μπορεί να εξυπηρετεί περισσότερους χρήστες ταυτόχρονα και να επιτυγχάνει καλύτερη διαμόρφωση δέσμης. Σημειώνουν επίσης ότι αυτό βελτιώνει σημαντικά τη χωρητικότητα και το εύρος του σταθμού βάσης.

Ωστόσο, οι E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, και T. L. Marzetta στην έρευνά τους, αναφέρουν ότι χρησιμοποιώντας πάνελ κεραιών που καλύπτουν 360 μοίρες, μπορούν να αποφευχθούν τα κλασικά προβλήματα με τα όρια της κάθε κεραιάς. Με αυτόν τον τρόπο, ο σταθμός βάσης (Ma-MIMO) μπορεί να προσαρμοστεί με τον βέλτιστο τρόπο στην κίνηση του χρήστη σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Τέλος, αναφέρουν ότι οι συστοιχίες κεραιών μπορούν να τοποθετηθούν σε διαφορετικές θέσεις σε κάθε σταθμό, πράγμα το οποίο έπειτα επιτρέπει τη βέλτιστη μετάδοση σημάτων, από διαφορετικές θέσεις κεραιών.

- **R. S. Blum, “MIMO capacity with interference” [64],**

J. Ma, Y. J. Zhang, X. Su, and Y. Yao, “On capacity of wireless ad hoc networks with MIMO MMSE receivers” [65],

B. Wang, Y. Chang, and D. Yang, “On the SINR in Massive MIMO Networks with MMSE Receivers” [66]:

Οι συγγραφείς και των τριών αυτών μελετών, μιλούν για ένα Ma-MIMO δίκτυο με k συνδέσμους, που χρησιμοποιούν τις ίδιες πηγές χρόνου και συχνότητας, και καταλήγουν σε παρεμβολές με άλλα κανάλια. Επομένως, ορίζουν τον σύνδεσμο - στόχο k , ο οποίος λαμβάνει δεδομένα που αποτελούν έναν πρόσθετο συνδυασμό απαιτούμενου σήματος, παρεμβολής και θορύβου. Επιπλέον στις μελέτες τους χρησιμοποιούν τις βαθμίδες x_k , για να δηλώσουν τα μεταδιδόμενα σήματα από τον πομπό του k συνδέσμου και απεικονίζουν το ληφθέν σήμα y_k , στο χρήστη k . Από τα παραπάνω ορίζουν την παρακάτω συνάρτηση:

$$y_k = r_k^+ H_{k,k}^+ t_k x_k + \sum_{i=1, i \neq k}^K r_k^+ H_{k,i}^+ t_i x_i + r_k^+ n_k$$

Σύμφωνα με τους ερευνητές, για την παραπάνω εξίσωση προκύπτουν τα εξής:

- το t_k αντιπροσωπεύει το $M \times I$ precoding vector
- το r_k είναι ένα $N \times I$ beamforming vector
- το n_k αντιπροσωπεύει το διάνυσμα θορύβου Gauss στον δέκτη
- το H_k, i είναι ο πίνακας κατάστασης καναλιού $M \times N$ από τον δέκτη k έως τον πομπό i

- **M. Nasser and B. Hamidrezav, “Iterative Channel Estimation Algorithm in Multiple Input Multiple Output Orthogonal Frequency Division Multiplexing Systems” [67]:**

Στα συστήματα MIMO η έννοια του «πολλαπλού», αναφέρεται στις ροές που στέλνει η πηγή από πολλαπλές κεραιές μετάδοσης. Αυτές οι ροές περνούν από έναν πίνακα καναλιών, ο οποίος αποτελείται από όλες τις διαδρομές N_t, N_r μεταξύ των N_t και N_r .

Σύμφωνα με τους ερευνητές:

- το N_t αντιπροσωπεύει όλες τις κεραιές στον πομπό
- το N_r αντιπροσωπεύει όλες τις κεραιές στον δέκτη

Στη συνέχεια, τα λαμβανόμενα διανύσματα σήματος φτάνουν στον προορισμό. Παρομοίως, αυτό συμβαίνει μέσω των κεραιών πολλαπλών λήψεων και αποκωδικοποιεί τα λαμβανόμενα διανύσματα σήματος στις πρωτότυπες πληροφορίες. Ένα σύστημα MIMO στενής ζώνης εξασθένισης (narrowband flat fading) μοντελοποιείται από τους συγγραφείς, ως:

$$y = Hx + n$$

Σύμφωνα με τους ερευνητές, για την παραπάνω εξίσωση προκύπτουν τα εξής:

- το y είναι το διάνυσμα λήψης
- το x είναι το διάνυσμα μετάδοσης
- το H είναι ο πίνακας των καναλιών
- το n είναι το διάνυσμα θορύβου

6.3 Προτεινόμενος Αλγόριθμος

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τον αλγόριθμο που προτείνουμε.

6.3.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών στην προηγούμενη ενότητα, σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε έναν βέλτιστο αλγόριθμο Knapsack, για κατανομή πόρων από το BS σε UE και θα αξιολογήσουμε την απόδοση πρόσβασης των χρηστών.

Στην περίπτωση μας, ο χρήστης συνδέεται σε ένα Macro Cell BS για DL, ζητώντας ένα Data Rate (DR) που μπορεί να παρέχεται από ένα BS, με βάση το DL SINR. Πρέπει να σημειώσουμε ότι στην έρευνά μας, για δύο UE που βρίσκονται εντός του ίδιου κελιού, υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει καμία παρεμβολή μεταξύ τους, καθώς μπορούν να ανατεθούν εξίσου σε σύνολα που δεν έχουν παρεμβολές, ή στο Resource Block (RB). Το RB είναι μια ευέλικτη δομή πόρων, όπου το φάσμα χρόνου-συχνότητας χωρίζεται σε ορθογώνια RB [68]. Αρχικά, το DR υπολογίζεται ως εξής:

$$DR = B_{RB} * \log_2(1 + SINR_{j,i})$$

Στην παραπάνω εξίσωση ισχύουν τα εξής:

- το B_{RB} αντιστοιχεί στο εύρος ζώνης ενός συγκεκριμένου RB
- $SINR_{j,i}$ είναι ο λόγος σήματος προς παρεμβολή-θορύβου μεταξύ των UE j και BS i

Το DR είναι το Data Rate για ολόκληρο το σύστημα και ισούται με το Macro Cell Data Rate. Αυτό βοηθά στην επίτευξη υψηλότερης φασματικής απόδοσης. Ο αριθμός των RB που απαιτεί ένας χρήστης, υποθέτουμε ο UE j από ένα συγκεκριμένο BS με στόχο την επιθυμητή ταχύτητα, υπολογίζεται παρακάτω:

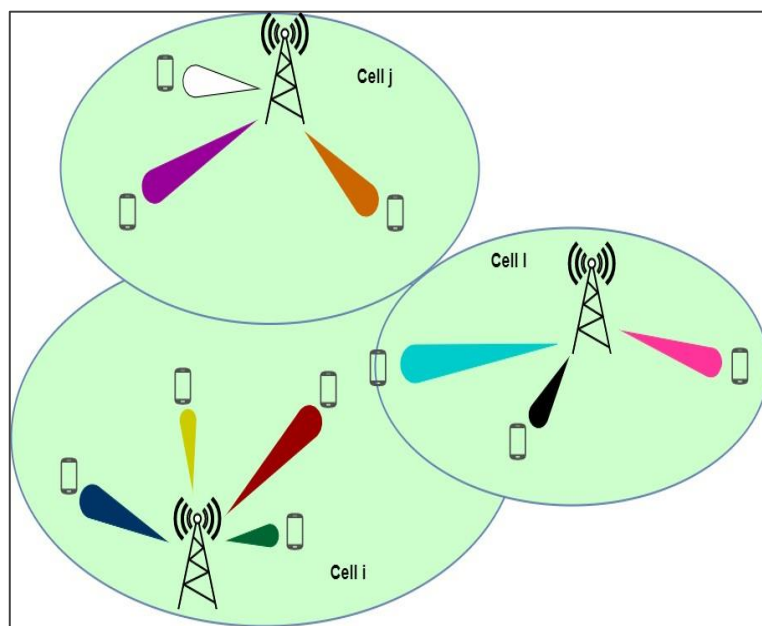
$$R_{j,i} = \left\lceil \frac{g_i}{B_{RB} * \log_2(1 + SINR_{j,i})} \right\rceil$$

Στην παραπάνω εξίσωση ισχύουν τα εξής:

- το g_j αντιστοιχεί στις απαιτήσεις για throughput του χρήστη
- το DR_j αναφέρεται στο επιθυμητό Data Rate για το χρήστη j

6.3.2 Σενάριο

Το παρακάτω σχήμα, αντιπροσωπεύει την τοπολογία του δικτύου 5G που θα εκτελέσουμε.



Εικόνα 25. Τοπολογία του 5G Δικτύου

Για να λάβουμε μια καλύτερη εκτίμηση των αποτελεσμάτων, το σενάριο που προτείνουμε απεικονίζεται παρακάτω:

Μελετάμε την περίπτωση όπου ο μέγιστος αριθμός UE που συνδέεται με το BS εξυπηρετείται βέλτιστα. Το σενάριο απεικονίζεται στο κελί i και στο κελί j , όπου κάθε BS εξυπηρετεί περισσότερους UE ταυτόχρονα και εξασφαλίζει καλύτερη διαμόρφωση δέσμης (beamforming). Αργότερα στις προσομοιώσεις μας θα εξηγήσουμε την QoS που παρέχεται στο UE. Αυτό το σενάριο αφορά την περίπτωση ενός αριθμού UE που πρέπει να εξυπηρετηθούν, ενώ κάποιοι άλλοι UE βρίσκονται στο όριο ενός κελιού. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο UE στο κελί l , ο οποίος μπορεί να εξυπηρετηθεί από το BS είτε του κελιού i , του κελιού j , ή του κελιού l . Προφανώς, η απόφαση για το BS που θα εξυπηρετήσει τον UE που βρίσκεται στα όρια, θα ληφθεί χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του Knapsack Problem. Με αυτόν τον τρόπο, προσπαθούμε να βελτιώσουμε τις υπάρχουσες λύσεις από προηγούμενες έρευνες που χρησιμοποιούν τη διαμόρφωση KP, με στόχο την επίτευξη υψηλού επιπέδου QoS για όλους τους UE.

Για την επίτευξη αυτού του ικανοποιητικού επιπέδου QoS στην προσέγγισή μας, εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο 0-1 Knapsack. Όπως αναφέραμε και στην *Ενότητα 5.2*, λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο αντικειμένων, το καθένα με βάρος και τιμή, καθορίζει τον αριθμό κάθε αντικειμένου σε μια συλλογή, έτσι ώστε το συνολικό βάρος να είναι μικρότερο ή ίσο με ένα δεδομένο όριο (W) και η συνολική τιμή είναι όσο το δυνατόν υψηλότερη. Δεδομένου ενός συνόλου n αντικειμένων, θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε τα κέρδη μας, οπότε προκύπτει [51], [55]:

$$\sum_{i=1}^n U_i X_i$$

Επιπλέον, για το σύνολο των επιλεγμένων αντικειμένων μας προκύπτει:

$$\sum_{i=1}^n U_i X_i \leq W$$

Το U_i αντιπροσωπεύει την τιμή του κάθε αντικειμένου στο σακίδιο και το W αντιπροσωπεύει τη χωρητικότητα του σακιδίου.

Προσαρμόζοντας τις παραπάνω ιδιότητες στο μηχανισμό που προτείνουμε, μελετάμε την περίπτωση μιας τεχνικής κατανομής πόρων χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο KP, από το BS έως τις διαθέσιμες κεραιές. Ο κύριος στόχος είναι η αξιολόγηση της απόδοσης πρόσβασης των χρηστών στις κεραιές. Κάθε BS έχει το ίδιο όριο (W) και είναι έτοιμο να εξυπηρετήσει το UE. Επιπλέον, εξετάζονται τρεις μεταβλητές:

1. ο αριθμός των BS στην τοπολογία
2. ο αριθμός των UE
3. ένας μετρητής για το συνολικό βάρος

Καθώς οι BS διαθέτουν ίσα RB (W) και ενώ ο μετρητής για το συνολικό βάρος είναι χαμηλότερος ή ίσος με το δοσμένο κατώτατο όριο (W), ελέγχουμε το βάρος και την τιμή για κάθε UE. Δύο είναι τα επόμενα βήματα που πρέπει να πραγματοποιηθούν. Αρχικά πρέπει να ελέγξουμε ότι το βάρος του UE (w_i) είναι μικρότερο από το δεδομένο όριο. Αν ισχύει αυτό, προσθέτουμε την τιμή αυτού του UE (v_i) σε μια λίστα. Προφανώς, εάν το βάρος του UE (w_i) είναι μεγαλύτερο από το δεδομένο όριο, απορρίπτουμε αμέσως αυτό το UE και συνεχίζουμε στο επόμενο UE. Στη συνέχεια, κάθε BS ελέγχει τη λίστα και εκχωρεί RB σε όλα τα UE που έχουν το μικρότερο v_i . Αυτό συνεχίζει να γίνεται, έως ότου ο μετρητής να είναι μικρότερος ή ίσος από W .

Πιο συγκεκριμένα για την προσέγγιση KP, το w_i ορίζεται ως το εύρος ζώνης που χρειάζεται ο UE και v_i ορίζεται η απόσταση του UE από το BS. Επιπλέον, στο KP, ορίζουμε μία μεταβλητή X_i , και έχουμε:

- $X_i = 1$, όταν ένας UE ανήκει στη λίστα ή
- $X_i = 0$, όταν ένας UE δεν έχει επιλεγεί

Επομένως, ο μηχανισμός που προτείνουμε προσπαθεί να εξυπηρετήσει τον μεγαλύτερο αριθμό UE με την ελάχιστη απόσταση από το BS, σε βέλτιστη απόδοση. Αν και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται απεικονίζουν υπολογισμούς, στους οποίους

χρησιμοποιήθηκε μικρότερος αριθμός χρηστών σε κάθε σταθμό βάσης, ο μηχανισμός κατανομής πόρων προτείνεται σε ένα σύστημα Ma-MIMO.

Ακολούθως, παραθέτουμε τον προτεινόμενο αλγόριθμο:

Μηχανισμός Κατανομής Πόρων - Διατύπωση Knapsack Problem

Μεταβλητές: UE_i , BS_j , RB , W , w_i , v_i , counter.

1: Αρχή

2: Αριθμός UE_i

- 3: Αριθμός BSj
- 4: **Για** κάθε BSj
- 5: Μοίρασε ίσο RB (W)
- 6: **Για** κάθε UEi
- 7: Βρες την απόστασή του από το BSj
- 8: Όρισε $ν_i = \text{Απόσταση}$
- 9: Έλεγχξε τα w_i και $ν_i$
- 10: **Αν** $w_i < W$, **Τότε**
- 11: Δημιούργησε μία λίστα με τα w_i και $ν_i$
- 12: **Τέλος Αν**
- 13: **Αλλιώς** απέρριψε τον UEi και έλεγξε τον επόμενο
- 14: **Ενώ** $\text{counter} \leq W$
- 15: Έλεγχξε τη λίστα και μοίρασε RB στον UEi με το ελάχιστο $ν_i$
- 16: **Τέλος Ενώ**
- 17: **Τέλος Για**
- 18: **Τέλος Για**
- 19: **Τέλος**

Algorithm 1 Resource Allocation Mechanism for UE – A
KP Formulation

```
1: Number of  $BS_j$ 
2: Number of  $UE_i$ 
3: for each  $BS_j$  do
4:   allocate same RB ( $W$ )
5:   for each  $UE_i$  do
6:     find distance from  $BS_j$ 
7:      $v_i =$  distance
8:     check  $w_i, v_i$ 
9:     if  $w_i < W$  then
10:      create list with  $w_i, v_i$ 
11:     end if
12:     else reject  $UE_i$  and check next
13:     while counter  $\leq W$  do
14:       check list and allocate RB to  $UE_i$  with the
15:       minimum  $v_i$ 
16:     end while
17:   end for
18: end for
```

Εικόνα 26. Προτεινόμενος Αλγόριθμος

***Κεφάλαιο 7 : Περιβάλλον Προσομοίωσης
και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων***

7.1 Περιβάλλον Προσομοίωσης

Εν συνεχεία των παραπάνω, σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε την κάθε παράμετρο που χρειάστηκε για τις προσομοιώσεις που εκτελέστηκαν στο υπολογιστικό περιβάλλον της MATLAB.



Εικόνα 27. Περιβάλλον Προσομοίωσης MATLAB [69]

Όπως αναφέραμε παραπάνω στο Κεφάλαιο 3.3, οι ζώνες συχνοτήτων για 5G NR χωρίζονται σε δύο διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων. Το εύρος συχνοτήτων 1 (FR1) με συχνότητες κάτω από 6GHz και το εύρος συχνοτήτων 2 (FR2), με εύρος ζώνης καναλιού να είναι 50MHz έως 400MHz, με υποστήριξη συσσώρευσης δύο καναλιών στην Έκδοση 15 (Release 15) του 3GPP [15]. Σε συστήματα 5G, χρησιμοποιούνται συχνότητες έως και 300GHz. Φυσικά, όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα υποστήριξης υψηλών ταχυτήτων μεταφοράς δεδομένων, χωρίς να παρεμβαίνει σε άλλα ασύρματα σήματα και χωρίς να υπάρχει συνωστισμός στο δίκτυο.

7.2 Παράμετροι

Ακολούθως, θα περιγράψουμε στον Πίνακα 5 όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται για τον μηχανισμό μας.

Parameter	Setting
COST Hata Model	Macro Cells
Network Deployment	19 Macro Cells
Transmission	MIMO
UE Distribution	Uniform Distribution
Number of UE (K)	100/200/500/1000
DL Bandwidth in BS	400 MHz
UL Bandwidth in UE	(50-400 MHz) – randomly generated

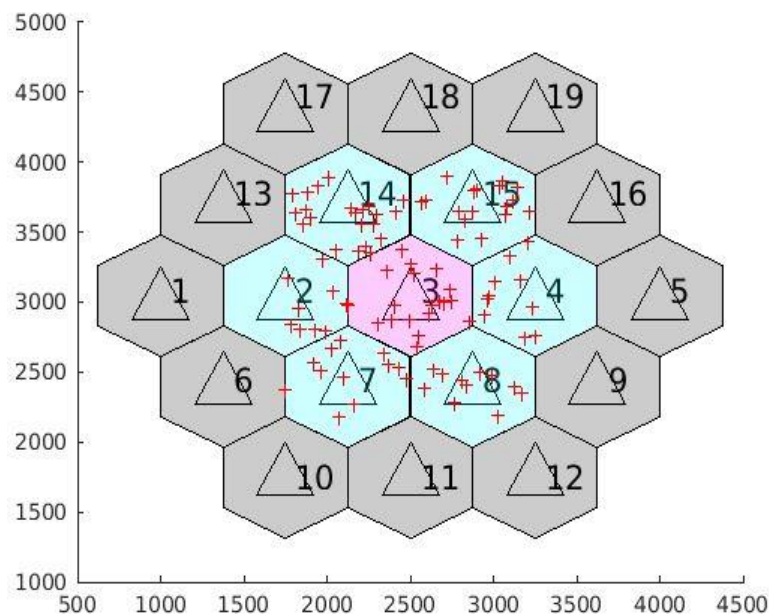
Πίνακας 5. Παράμετροι Αλγορίθμου

Στις προσομοιώσεις μας θεωρούμε μια περιοχή που αποτελείται από 19 Macro Cells (omni directional με απόσταση μεταξύ τους 375m), όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Στην ανάπτυξη του μηχανισμού, χρησιμοποιήσαμε Macro Cells, καθώς αυτά χρησιμοποιούνται σε προαστιακές, αστικές και αγροτικές περιοχές. Όσον αφορά το σενάριο ανάπτυξης προσομοίωσης, το δίκτυο περιέχει διαφορετικό αριθμό UE (K). Έτσι, στα πειράματά μας θα μοντελοποιήσουμε την απόδοσή του για K UE.

Αρχικά θεωρούμε ένα BS που έχει συνολικό εύρος ζώνης 400MHz (W). Συνολικά υπάρχουν 100 UE που πρέπει να εξυπηρετηθούν. Στη συνέχεια, θεωρούμε ένα BS που έχει συνολικό εύρος ζώνης 400MHz (W) και υπάρχουν 200 UE που πρέπει να εξυπηρετηθούν. Έπειτα, θεωρούμε ένα BS που έχει και πάλι συνολικό εύρος ζώνης 400MHz (W) και υπάρχουν 500 UE που πρέπει να εξυπηρετηθούν. Τέλος, θεωρούμε ένα BS που έχει συνολικό εύρος ζώνης 400MHz (W) και υπάρχουν 1000 UE που πρέπει να εξυπηρετηθούν. Σε κάθε ένα από τα παραπάνω πειράματα, εκτιμάται η απόσταση του UE από το BS (v_i). Αντίθετα, οι απαιτήσεις για εύρος ζώνης από κάθε UE σε κάθε πείραμα, διαφέρουν (w_i) και δημιουργούνται τυχαία.

Σημείωση: Ο μηχανισμός κατανομής πόρων προτείνεται σε ένα σύστημα Ma-MIMO. Ωστόσο, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται βασίζονται σε υπολογισμούς, χρησιμοποιώντας μικρότερο αριθμό χρηστών σε κάθε σταθμό βάσης, προκειμένου να γίνουν πιο κατανοητά τα πειράματα. Τα πειράματά μας υλοποιήθηκαν για διαφορετικό αριθμό χρηστών, ξεκινώντας από 100 UE και φτάνοντας τους 1000 UE.

Στην παρακάτω εικόνα, απεικονίζεται το δίκτυο που προσομοιώσαμε για να εξάγουμε τα αποτελέσματα, το οποίο αποτελεί τη γραφική προσομοίωση του δικτύου με 100 UE. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι τα Macro Cells απεικονίζονται στην τοπολογία δικτύου ως μαύρα τρίγωνα, ενώ οι UE απεικονίζονται ως κόκκινοι σταυροί. Ας δούμε πιο αναλυτικά το δίκτυο που προσομοιώσαμε και τα αποτελέσματα που εξάγουμε στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 28. Δίκτυο Προσομοίωσης

7.3 Γραφικές Παραστάσεις και Αποτελέσματα

Σε αυτή την ενότητα, θα αναλύουμε τα πειράματά μας για Multi-Cell συστήματα, με τυχαίες θέσεις UE. Τα Multi-Cell Ma-MIMO συστήματα, είναι συστήματα τα οποία αποτελούνται από πολλά κελιά με πολλούς BS, ο καθένας με μεγάλο αριθμό κεραιών. Κάθε BS εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλούς UE μίας κεραιάς στο κελί του. Ωστόσο, οι διαφορετικοί BS δεν συνεργάζονται. Κάθε UE συνδέεται και καλύπτεται από ένα από τα BS [70]. Στις προσομοιώσεις που εκτελέσαμε στο υπολογιστικό περιβάλλον της MATLAB, χρησιμοποιήσαμε κάθε παράμετρο που περιεγράφηκε παραπάνω και τα αποτελέσματα θα συζητηθούν στην επόμενη ενότητα.

Οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις, προέρχονται από τις προσομοιώσεις μας με 100 UE, ενώ το εύρος ζώνης DL σε κάθε BS είναι 400MHz και το εύρος ζώνης DL σε κάθε UE, δημιουργείται τυχαία στο διάστημα [50-400MHz]. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η ανάπτυξη του δικτύου μας είναι 19 Macro Cells, αλλά όπως δείξαμε και παραπάνω στην Εικόνα 28, οι UE στο δίκτυο προσομοίωσης, διανέμονται σε 7 Macro Cells. Ωστόσο, ο προτεινόμενος μηχανισμός εφαρμόζεται στο COST Hata Model, το οποίο περιλαμβάνει 19 Macro Cells. Αυτές οι τιμές επιλέχθηκαν για τις παραμέτρους μας, προκειμένου να παρουσιαστούν τα πειράματα με καλύτερο τρόπο.

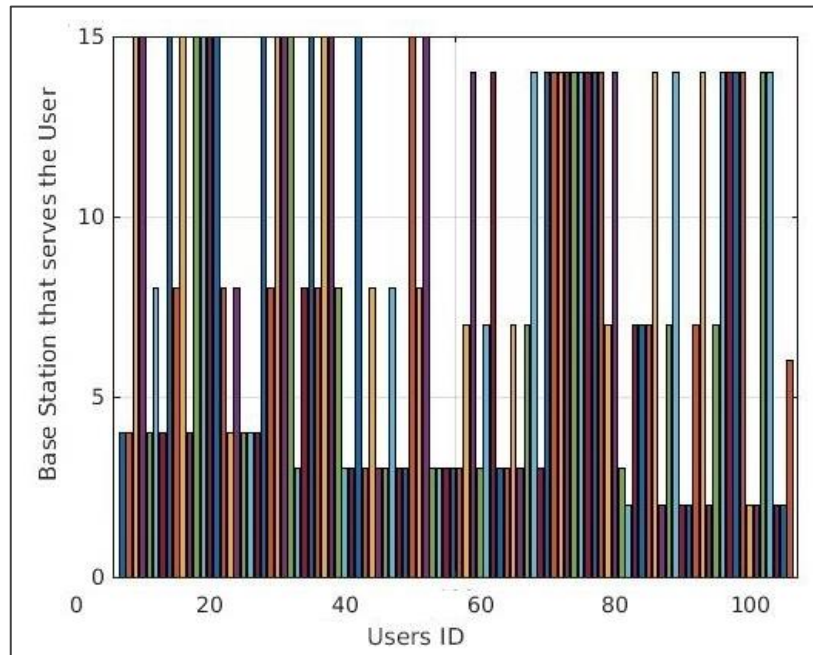
Αρχικά, περιγράφεται το προσομοιωμένο δίκτυο. Θεωρούμε 100 UE που απαιτούν πόρους του δικτύου μας. Όλοι οι UE δημιουργούνται τυχαία, με μια εξατομικευμένη πιθανότητα εμφάνισης εντός της περιοχής που μας ενδιαφέρει και εξυπηρετούνται από ένα Macro Cell. Επιπλέον, στο δίκτυο UpLink (UL), όλοι οι UE έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για εύρος ζώνης, το οποίο κυμαίνεται από 50 - 400MHz. Τέλος, όσο για το δίκτυο DL, το εύρος ζώνης είναι ίσο σε όλα τα BS στα 400MHz.

Σημείωση: Ο μηχανισμός κατανομής πόρων προτείνεται σε ένα σύστημα Ma-MIMO. Τα πειράματά μας υλοποιήθηκαν για διαφορετικό αριθμό χρηστών, ξεκινώντας από 100 UE και φτάνοντας τους 1000 UE. Ωστόσο, οι γραφικές παραστάσεις που θα παρουσιάσουμε, βασίζονται σε υπολογισμούς που έγιναν χρησιμοποιώντας μικρότερο αριθμό χρηστών σε κάθε σταθμό βάσης, προκειμένου να γίνουν πιο κατανοητά τα πειράματα.

7.3.1 Εφαρμογή του Knapsack σε Massive MIMO Δίκτυο

Όσον αφορά την προσομοίωση των πειραμάτων μας, το προσομοιωμένο δίκτυο μας με 100 UE, απεικονίζεται στην Εικόνα 28. Η θέση κάθε UE είναι τυχαία και προσομοιώσαμε τα πειράματά μας για διαφορετικό αριθμό UE. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργούμε την τιμή της απόστασης μεταξύ κάθε UE και όλων των BS. Αναλυτικότερα, είναι σαν ένας πίνακας, ο οποίος περιλαμβάνει όλους τους UE και όλους τους BS, απεικονίζοντας την απόσταση του καθενός από τον κάθε BS. Επιπλέον, η ισχύς σήματος που στέλνει ο BS είναι ανάλογη με την αμοιβαία απόσταση μεταξύ κάθε UE και BS. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο όλοι οι ενεργοί UE λαμβάνουν ισχύ σήματος με την ίδια ένταση. Κάποιοι ερευνητές, αναφέρονται σε αυτήν τη μέθοδο ως έλεγχο ισχύος, υποθέτοντας ότι η ισχύς σήματος που στέλνει ο BS αλλάζει συνεχώς, ανάλογα με την απαίτηση [71]. Ακολουθώντας τις παραπάνω πληροφορίες,

στην παρακάτω γραφική παράσταση, ο αριθμός UE που συνήθως συνδέεται με κάθε BS, παρουσιάζεται με διαφορετικά χρώματα, ανάλογα με την ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους.



Εικόνα 29. Αριθμός UE που συνδέονται στο BS με βάση την ελάχιστη απόσταση

Ειδικότερα, αν ο BS μεταδίδει δεδομένα στο UE με ένα συγκεκριμένο SNR, το μεταδιδόμενο σήμα που σχεδιάζεται, βασίζεται στην απόσταση μεταξύ αυτού του BS και του UE. Για να είμαστε πιο συγκεκριμένοι, εάν η απόσταση μεταξύ του Macro Cell και του UE είναι μικρή, τότε το Macro Cell μπορεί να ικανοποιήσει το συγκεκριμένο SNR. Ακόμα, το εκτελεί με μια μικρή ισχύ μετάδοσης. Με άλλα λόγια, το σήμα που στέλνει το Macro Cell περιλαμβάνει ορισμένες λεπτομέρειες σχετικά με την απόσταση μεταξύ του Macro Cell και του UE [72].

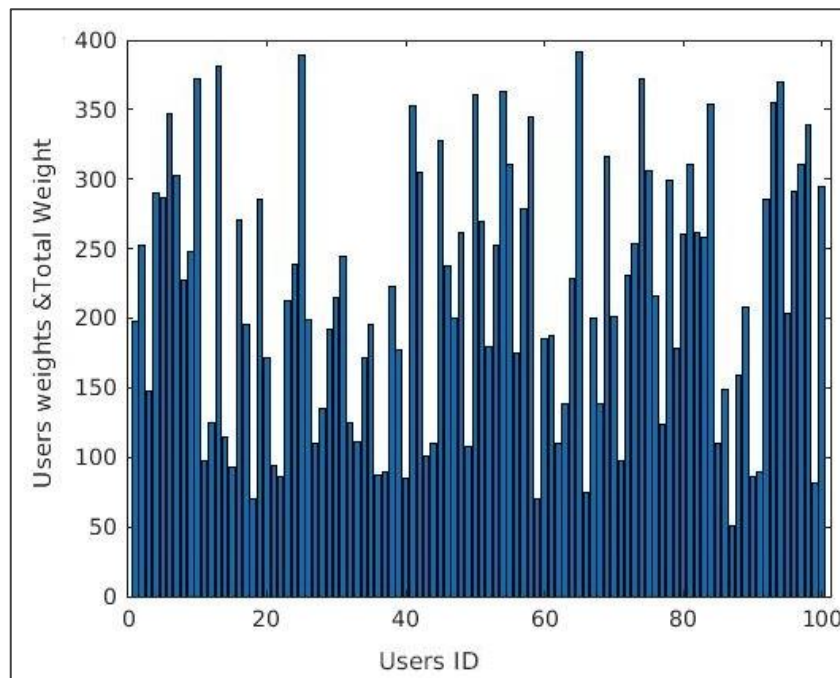
Επομένως, σε αυτή τη γραφική παράσταση μπορούμε ξεκάθαρα να δούμε τι απεικονίζει η τοπολογία του δικτύου μας στην Εικόνα 28. Συγκεκριμένα, η Εικόνα 29 μας δείχνει ακριβώς σε ποιο Macro Cell θα συνδεθεί κάθε UE, υπό κανονικές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι υπολογίζεται η απόσταση κάθε UE από κάθε BS και ακολούθως γνωρίζουμε ποιος BS θα εξυπηρετήσει το UE, σύμφωνα πάντα με την ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους.

7.3.2 Χαρακτηριστικά του Knapsack

Έπειτα, στα πειράματά μας συνεχίσαμε να εφαρμόζουμε τη διατύπωση του KP στον μηχανισμό που προτείνουμε και καθορίσαμε και τις τρεις παραμέτρους που απαιτούνται για τον KP. Θέτοντας έναν αριθμό UE ως σύνολο αντικειμένων μας, καθένα από αυτά έχει τις απαιτήσεις του για εύρος ζώνης. Αυτό απεικονίζεται παρακάτω ως βάρος του κάθε UE.

Επιπρόσθετα, ορίστηκε η ελάχιστη απόσταση για κάθε UE, η οποία καθορίζει την τιμή. Τέλος, το συνολικό εύρος ζώνης σε κάθε BS είναι 400MHz και αποτελεί το δεδομένο όριο.

Στόχος μας είναι να βρούμε τον καλύτερο KP. Δεδομένου ενός συνόλου UE, θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε το κέρδος μας, το οποίο στην περίπτωση μας σημαίνει ότι η καλύτερη συνολική τιμή, αποτελεί ένα άθροισμα όλων των τιμών που περιλαμβάνονται στο KP. Ως εκ τούτου, αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως μια μικρή τροποποίηση του KP, επειδή σε αυτήν την περίπτωση, η παράμετρος της τιμής (v_i), ορίζεται ως η ελάχιστη απόσταση μεταξύ κάθε UE και BS. Το εύρος ζώνης κάθε UE (w_i) και το συνολικό εύρος ζώνης κάθε BS (W), φαίνονται παρακάτω στην Εικόνα 30.



Εικόνα 30. Αριθμός βάρους κάθε UE που συνδέεται στο BS με συνολικό βάρος 400MHz

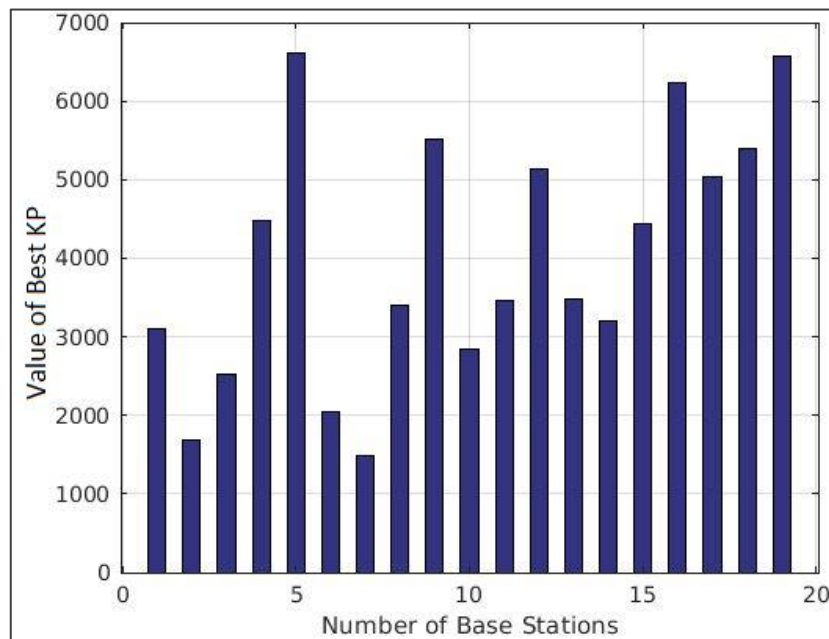
7.3.3 Καλύτερος Knapsack Αλγόριθμος

Τέλος, μετά τη διατύπωση του KP και την κατανομή πόρων, η παρακάτω γραφική παράσταση, παρουσιάζει τις τιμές του καλύτερου δυνατού KP σε κάθε BS, που είναι και το ζητούμενο. Η τιμή του καλύτερου δυνατού Knapsack υπολογίζεται ως το άθροισμα όλων των ελάχιστων αποστάσεων του UE που μπορούν να εξυπηρετηθούν από το BS, λαμβάνοντας υπόψιν τα βάρη τους, που είναι η ποσότητα του κάθε UE, για το εύρος ζώνης που απαιτεί.

Επιπλέον σε κάθε πείραμα, υπολογίστηκε η «ποσότητα χρήσης» κάθε UE που εξυπηρετείται από το BS. Αυτό αποδίδεται στη μεταβλητή X_i , η οποία έχει αναφερθεί σε προηγούμενο Κεφάλαιο στα χαρακτηριστικά του KP [55]. Στο σενάριο που υλοποιήσαμε, λαμβάνει τις παρακάτω τιμές:

- $X_i = 1$, όταν επιλέγεται ένας UE για εξυπηρέτηση από το BS
- $X_i = 0$, όταν δεν έχει επιλεγεί ένας UE

Ειδικότερα, αυτή η ποσότητα υπολογίστηκε για κάθε UE σε κάθε BS. Η «ποσότητα χρήσης» κάθε UE, αντιπροσωπεύει ποιοι UE εξυπηρετήθηκαν από κάθε BS. Επομένως, το καλύτερο δυνατό KP σε κάθε BS, προσπαθεί να εξυπηρετήσει το μεγαλύτερο αριθμό UE με την ελάχιστη απόσταση από κάθε BS, με βέλτιστη απόδοση, όπως φαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 31.



Εικόνα 31. Αριθμός BS και η τιμή του καλύτερου KP για κάθε BS

Κεφάλαιο 9 : Συμπεράσματα

Τα δίκτυα πέμπτης γενιάς αναμένεται να αποτελέσουν το κυρίαρχο περιβάλλον δικτύωσης, όπου οι υπάρχουσες επικοινωνίες αλλά και οι επικοινωνίες του διαδικτύου των αντικειμένων θα αξιοποιηθούν. Χρησιμοποιεί την ήδη υπάρχουσα υποδομή, αλλά ενσωματώνει νέες καινοτόμες τεχνολογίες. Με αυτές και άλλες τεχνολογίες 5G, οι μηχανικοί ελπίζουν να δημιουργήσουν το ασύρματο δίκτυο στο οποίο θα βασίζονται καθημερινά οι μελλοντικοί χρήστες smartphone, οι gamers VR και τα αυτόνομα αυτοκίνητα. Ήδη, οι ερευνητές και οι εταιρείες έχουν θέσει υψηλές προσδοκίες για το δίκτυο 5G, και υπόσχονται αρκετά χαμηλή καθυστέρηση και ταχύτητες ρεκόρ δεδομένων για τους καταναλωτές. Εάν μπορούν να λύσουν τις υπόλοιπες προκλήσεις και να καταλάβουν πώς να λειτουργούν όλα αυτά τα συστήματα μαζί, η εξαιρετικά γρήγορη υπηρεσία 5G θα μπορούσε να προσεγγίσει τους καταναλωτές τα επόμενα πέντε χρόνια.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, αναπτύξαμε ένα μηχανισμό για την κατανομή των πόρων σε Massive MIMO δίκτυα, από το BS στους UE, χρησιμοποιώντας τη διατύπωση του KP. Στόχος αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, ήταν να αξιολογήσουμε την πρόσβαση των χρηστών στις κεραιές και να μελετήσουμε την περίπτωση όπου ο σταθμός βάσης μοιράζει πόρους στις κεραιές με τις οποίες επικοινωνεί, σύμφωνα με την εκτίμηση του καναλιού που λαμβάνει από κάθε κεραιά.

Έτσι λοιπόν, χρειάστηκε να μελετήσουμε εις βάθος τα δίκτυα 5G και κυρίως την τεχνολογία Massive MIMO, όπως επίσης και τον αλγόριθμο KP. Επιπλέον μελέτες διεξάχθηκαν, για την αφομοίωση του τρόπου επικοινωνίας του BS με έναν UE, ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για την ανάπτυξη του αλγορίθμου. Όλα τα παραπάνω, μας οδήγησαν στην ιδέα για την ανάπτυξη αυτού του μηχανισμού, που συνδυάζει τα Massive MIMO δίκτυα πέμπτης γενιάς, με το Πρόβλημα του Σακιδίου (KP). Όπως φάνηκε και από προηγούμενες έρευνες που χρειάστηκαν για τη διεκπεραίωση αυτού του μηχανισμού, η διατύπωση αλγόριθμων τύπου KP στα 5G δίκτυα, μπορούν να επιφέρουν βέλτιστα αποτελέσματα όσον αφορά τους πόρους που κατανέμονται στους χρήστες.

Πραγματοποιήθηκε εξομοίωση ενός 5G δικτύου, που περιλαμβάνει Massive MIMO τεχνολογία στο υπολογιστικό περιβάλλον της MATLAB. Ακολούθως, τα πειράματα που εκτελέστηκαν, έδειξαν ότι τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά σε κάθε BS. Ωστόσο, συγκριτικά οι τιμές του καλύτερου δυνατού Knapsack είναι βέλτιστες, καθώς η απόσταση στα περισσότερα από αυτά παραμένει μικρή. Επιπλέον από τα παραγόμενες γραφικές παραστάσεις και τα αποτελέσματά τους, το συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι η διατύπωση του KP, είναι μια καλή τεχνική για χρήση όταν υπάρχει μεγάλη ανάγκη εξυπηρέτησης ενός μέγιστου αριθμού UE, με ένα βέλτιστο QoS, σε σχέση με το επιτευχθέν εύρος ζώνης.

Πολύ σημαντικό για τον προτεινόμενο μηχανισμό, ήταν να καταφέρει να εξυπηρετήσει όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες, επιτυγχάνοντας ένα ικανοποιητικό επίπεδο QoS, όσον αφορά το επιτευχθέν εύρος ζώνης. Ο στόχος αυτός επιτεύχθηκε.

Κεφάλαιο 10 : Μελλοντική Εργασία

Τα αποτελέσματα αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, ενθαρρύνουν διάφορες μελλοντικές έρευνες στον ίδιο τομέα. Αρχικά, θα μπορούσε να γίνει χρήση άλλων αλγορίθμων ΚΡ, για τη βελτίωση της ποιότητας του δικτύου. Ακόμα, ενδιαφέρουσα θα ήταν και η εξερεύνηση άλλων σεναρίων για τους χρήστες, σε ένα Ma-MIMO δίκτυο πέμπτης γενιάς.

Επιπρόσθετα, περαιτέρω έρευνα πρέπει να γίνει χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση ΚΡ σε ανάπτυξη δικτύου με Macro Cells και Pico Cells. Ειδικότερα, τα Macro Cells θα εξυπηρετούν UE με τη μέγιστη απόσταση, ενώ τα Pico Cells θα εξυπηρετούν UE με την ελάχιστη απόσταση. Με αυτόν τον τρόπο, το QoS σε κάθε UE θα βελτιωθεί σημαντικά.

Ακόμα, απαιτείται περισσότερη έρευνα σε δίκτυα Ma-MIMO κατά τη χρήση της διατύπωσης του ΚΡ, καθώς μπορεί να είναι η βέλτιστη λύση όταν πρόκειται για την εξυπηρέτηση του μέγιστου αριθμού UE. Η τεχνολογία Ma-MIMO χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές στον πομπό και στο δέκτη και αυτό μπορεί να είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για περαιτέρω έρευνα χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση ΚΡ. Πιο συγκεκριμένα, αυτό μπορεί να επιτευχθεί εισάγοντας την έννοια του διαχωρισμού των UE σε cluster, ενώ κάθε cluster θα εξυπηρετείται από το κατάλληλο κελί. Επομένως, κάθε UE μπορεί να ικανοποιεί τα αιτήματά του βέλτιστα σε μια υλοποίηση του ΚΡ, αφού κάθε BS θα εξυπηρετεί το αντίστοιχο ποσοστό UE, σύμφωνα με την ελάχιστη απόσταση τους. Και πάλι, αυτό θα προσφέρει σε κάθε UE ένα υψηλό επίπεδο QoS, ενώ μπορεί να μειώσει τις παρεμβολές.

Τέλος, η ταχεία αύξηση του όγκου των δεδομένων στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αναγκάζει τους ερευνητές να μελετήσουν την τεχνολογία Deep Learning. Η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) που χρησιμοποιείται σε συστήματα Ma-MIMO, μπορεί να παράγει διαφορετικά σενάρια κατά τη χρήση του ΚΡ. Παράλληλα, μπορεί να μας παρέχει τα εργαλεία για να τροποποιήσουμε αυτούς τους μηχανισμούς σε πραγματικό χρόνο και να προβλέψουμε τη συμπεριφορά της απόδοσης των UE και BS. Εν κατακλείδι, η τεχνολογία Machine Learning μπορεί να προσφέρει τεράστια πλεονεκτήματα, καθώς η χρήση άλλων μορφών πληροφορίας για την πρόβλεψη της ποιότητας του δικτύου, μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά σενάρια και στην εξαγωγή εναλλακτικών συμπερασμάτων.

Κεφάλαιο 11 : Βιβλιογραφία

- [1]. <https://mse238blog.stanford.edu/2017/07/ssound/1g-2g-5g-the-evolution-of-the-gs/>
- [2]. <https://www.rpc.senate.gov/policy-papers/the-importance-of-5g>
- [3]. <https://www.rpc.senate.gov/policy-papers/the-importance-of-5g>
- [4]. Nikhil Bhandari, Shivinder Devra and Karamdeep Singh, “Evolution of Cellular Network: From 1G to 5G”, International Journal of Engineering and Techniques, vol. 3, no. 5, pp. 98 – 105, Sep - Oct 2017
- [5]. <https://www.facebook.com/R4.IEEE/photos/the-evolution-of-cellular-communications-from-1g-to-5g/499336327140703/>
- [6]. https://www.krishisanskriti.org/vol_image/02Jul201505073215.pdf
- [7]. https://en.wikipedia.org/wiki/Kevin_Ashton
- [8]. <https://telecoms.com/479523/5g-gets-a-rebrand/>
- [9]. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-5g>
- [10]. <https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/papaioan/dchmnt/2018-19/wn-lectures/lec1-stmwn.pdf>
- [11]. <https://www.visualcapitalist.com/the-future-of-5g-comparing-3-generations-of-wireless-technology/>
- [12]. <https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/19680/StefanosPlastrasDiplomaThesisText.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [13]. https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/network-intelligence/service-provider/digital-transformation/knowledge-network-webinars/pdfs/1211_BUSINESS_SERVICES_CKN_PDF.pdf
- [14]. <https://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>
- [15]. Y. Sano, S. Okuyama, N. Lizasa, T. Takada, K. Ando, and N. Fujimura, “5G Radio Performance and Radio Resource Management Specifications”, NTT DOCOMO Technical Journal, vol. 20, no. 3, pp. 79-95, 2019.1.
- [16]. https://en.wikipedia.org/wiki/5G_NR

- [17]. <https://www.rfpage.com/what-are-5g-frequency-bands/>
- [18]. <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
- [19]. A. Gupta and R. K. Jha, "A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies," in IEEE Access, vol. 3, pp. 1206-1232, 2015.
- [20]. <https://www.iotsworldcongress.com/advantatges-of-5g-and-how-will-benefit-iot/>
- [21]. <https://www.exfo.com/en/resources/blog/benefits-5g/>
- [22]. <http://futuremobility.gr/connectivity/why-connected-vehicles-are-important>
- [23]. <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/everything-you-need-to-know-about-5g>
- [24]. https://en.wikipedia.org/wiki/Extremely_high_frequency
- [25]. <https://medium.com/@sarveshmathi/an-intro-to-5g-and-huawei-and-a-case-for-why-the-company-should-not-be-banned-b6e9e9eb5d3f>
- [26]. https://en.wikipedia.org/wiki/Small_cell
- [27]. <https://www.whatech.com/market-research/telecommunications/571206-small-cell-5g-network-market-opportunities-and-analysis-2019>
- [28]. E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, and T. L. Marzetta, "Massive MIMO for next generation wireless systems," in IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, pp. 186-195, 2014.2.
- [29]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Beamforming>
- [30]. <https://www.futurithmic.com/2019/02/26/five-biggest-challenges-facing-5g/>
- [31]. <https://www.livescience.com/65959-5g-network.html>
- [32]. <https://blogs.scientificamerican.com/observations/we-have-no-reason-to-believe-5g-is-safe/>
- [33]. <https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>

- [34]. <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/iso-simo-miso-mimo.php>
- [35]. https://da.wikipedia.org/wiki/Fil:MIMO_SIMO_MISO_SISO_explanation_without_confusion.svg
- [36]. <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/mu-mimo>
- [37]. <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/su-mimo>
- [38]. <https://blog.3g4g.co.uk/2009/02/mimo-schemes-in-lte.html>
- [39]. https://www.ripublication.com/ijwecs17/ijwecsv9n1_01.pdf
- [40]. https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%E2%80%93Hartley_theorem
- [41]. <https://github.com/kirlf/CSP>
- [42]. K. Ishimiya, J. Langbacka, Z. Ying, and J. Takada, "A Compact MIMO DRA Antenna," 2008 International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials, Chiba, 2008, pp. 286-289.
- [43]. P. D. Selvam and K. S. Vishvaksenan, "Antenna Selection and Power Allocation in Massive MIMO", Radioengineering vol. 27, no. 1, pp. 340-346, 2019.4.
- [44]. <https://www.comba-telecom.com/en/video/item/103-5g-massive-mimo-antenna-3d-beamforming>
- [45]. Emil Björnson, Jakob Hoydis and Luca Sanguinetti (2017), "Massive MIMO Networks: Spectral, Energy, and Hardware Efficiency", Foundations and Trends R in Signal Processing: Vol. 11, No. 3-4, pp 154–655. DOI: 10.1561/20000000093.
- [46]. https://en.wikipedia.org/wiki/Space-division_multiple_access
- [47]. <https://blog.aviatnetworks.com/technology/understanding-fdd-vs-tdd-microwave-systems/>
- [48]. https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_CSI_RS.html

- [49]. <https://www.slideshare.net/stelioskr/knapsack-solved-by-genetic-algorithms>
- [50]. <http://www.or.deis.unibo.it/kp/Chapter2.pdf>
- [51]. https://en.wikipedia.org/wiki/Knapsack_problem
- [52]. [https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/11299/1/KNAPSACK K%20PROBLEM.pdf](https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/11299/1/KNAPSACK%20PROBLEM.pdf)
- [53]. Wesley Kerr, “Investigation into Knapsack”, 2008.
- [54]. [http://mercury.webster.edu/aleshunus/Support%20Materials/Presentations /King_Knapsack%20Problem.pdf](http://mercury.webster.edu/aleshunus/Support%20Materials/Presentations/King_Knapsack%20Problem.pdf)
- [55]. C. Lee, Z. Lee, and S. Su, "A New Approach for Solving 0/1 Knapsack Problem," 2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Taipei, 2006, pp. 3138-3143.
- [56]. Petr Pospichal, Josef Schwarz, and Jiri Jaros, “Parallel genetic algorithm solving 0/1 knapsack problem running on the GPU,” 2010.
- [57]. <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/example-knapsack-problem-1-2-3-4-5-67-89-10-value79-32-47-18-26-85-33-40-45-59-size-85-264-q32773377>
- [58]. <https://books.google.gr/books?hl=el&id=wmL2BwAAQBAJ&dq=pleonekthmata+knapsack+problem&q=advantages#v=onepage&q=skiena&f=false>
- [59]. <https://www.springer.com/gp/book/9781848000698>
- [60]. Jing Zhang, “Comparative Study of Several Intelligent Algorithms for Knapsack Problem,” *Procedia Environmental Sciences* 11 (2011), 163 – 168, 2006, pp. 3138-3143.
- [61]. N. Ferdosian, M. Othman, B. Mohd Ali, and K. Yeah Lun, “Greedy–knapsack algorithm for optimal downlink resource allocation in LTE networks”, Springer Science+Business Media New York, vol. 22, no. 22, pp. 1427–1440, 2016.

- [62]. R. Husbands, Q. Ahmed, and J. Wang, "Transmit antenna selection for massive MIMO: A knapsack problem formulation," 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, 2017, pp. 1-6.
- [63]. J. Jing and X. Zheng, "A Downlink Max-SINR Precoding for Massive MIMO System", International Journal of Future Generation and Networking, vol. 7, no. 3, pp. 107-116, 2014.
- [64]. R. S. Blum, "MIMO capacity with interference," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 21, no. 5, pp. 793-801, 2003.6.
- [65]. J. Ma, Y. J. Zhang, X. Su, and Y. Yao, "On capacity of wireless ad hoc networks with MIMO MMSE receivers," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 7, no. 12, pp. 5493-5503, 2008.12.
- [66]. B. Wang, Y. Chang, and D. Yang, "On the SINR in Massive MIMO Networks with MMSE Receivers," in IEEE Communications Letters, vol. 18, no. 11, pp. 1979-1982, 2014.11.
- [67]. M. Nasser and B. Hamidrezav, "Iterative Channel Estimation Algorithm in Multiple Input Multiple Output Orthogonal Frequency Division Multiplexing Systems", Journal of Computer Science, vol. 6, no. 2, pp. 224-228, 2010.
- [68]. H. Boostanimehr and V. K. Bhargava, "Unified and Distributed QoS-Driven Cell Association Algorithms in Heterogeneous Networks," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 14, no. 3, pp. 1650-1662, 2015.3.
- [69]. <https://engineering.usu.edu/students/matlab>
- [70]. <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2018/9796784/>
- [71]. A. Lebl, D. Mitić, T. Branimir, and Z. Markov, "Determination of Base Station Emission Power Change in a Mobile Network Cell with Movable Users", Radioengineering vol. 27, no. 4, pp. 1174-1182, 2018.9.
- [72]. L. Zhang, W. Zhou, W. Tang, G. Wu, and Z. Chen, "Estimating the distance between macro base station and users in heterogeneous networks," 2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, 2017, pp. 928-932.