



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Θέμα Διπλωματικής Εργασίας:

**«Εξυπνοι αλγόριθμοι μείωσης ενέργειας και παρεμβολών σε
υπέρ-πυκνά 5G δίκτυα»**

Χρόνη Βασιλική-Ηλιάννα

Πάτρα, 18/9/2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Θέμα Διπλωματικής Εργασίας:

**«Εξυπνοι αλγόριθμοι μείωσης ενέργειας και παρεμβολών σε
υπέρ-πυκνά 5G δίκτυα»**

Χρόνη Βασιλική-Ηλιάννα (Α.Μ.1043844)

Επιβλέπων καθηγητής: Καθ. Χρήστος Ι. Μπούρας,

Μέλη Επιτροπής : Καθ. Ιωάννης Γαροφαλάκης

Επίκουρη Καθ. Ευαγγελία Παπαϊωάννου

Αφιέρωση

Στην Έφη την τετράποδη αγάπη μου που άφησε αυτόν τον κόσμο λιγότερο όμορφο στις 16/5/2023.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Πατρών, στο τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής.

Η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής θα ήταν αδύνατη χωρίς την υποστήριξη του καθηγητή μου, Καθηγητή του ΤΜΗΥ&Π και Πρύτανη του Πανεπιστημίου Πατρών κ. Χρήστου Ι. Μπούρα. Του εκφράζω ένα βαθύ ευχαριστώ για τη στήριξη που μου προσέφερε.

Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Βασίλειο Κόκκινο (Διπλωματούχος Μηχανικός Η/Υ και Πληροφορικής, Διδάκτωρας - ερευνητής) για την άριστη συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια της εκπόνησης αυτής της εργασίας αλλά και την προθυμία και βοήθεια του.

Ευχαριστώ πολύ τον μέντορα μου Χρυσοβαλάντη Κεφαλληνό (Διπλωματούχος Μηχανικός Η/Υ και Πληροφορικής) για τη συμπαράσταση του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τους γονείς μου, Χρόνη Αθανάσιο (Πτυχιούχος Θετικών Επιστημών Τμήματος Μαθηματικών του Α.Π.Θ.) & Μαρίας Γεωργοπούλου (Πτυχιούχο της Ιατρικής σχολής του Α.Π.Θ. - Msc. Διοίκηση Υπηρεσιών και Μονάδων Υγείας) στους οποίους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου και όχι μόνο.

Περίληψη

Τα πυκνά δίκτυα 5G καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια και προκαλούν περισσότερες παρεμβολές σε σύγκριση με τα λιγότερο πυκνά δίκτυα. Αυτές οι παρεμβολές μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην αποτελεσματική μετάδοση δεδομένων και την ποιότητα των υπηρεσιών. Για αυτόν τον λόγο, έχουν αναπτυχθεί έξυπνοι αλγόριθμοι που σχεδιάστηκαν για να μειώσουν τις παρεμβολές σε αυτά τα πυκνά δίκτυα 5G. Για τη μείωση των παρεμβολών και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, απαιτούνται αλγόριθμοι που μπορούν να συντονίσουν το δίκτυο με πιο αποδοτικό τρόπο, επιτρέποντας καλύτερη απόδοση με την ελάχιστη δυνατή χρήση πόρων. Αυτοί οι αλγόριθμοι σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να αποκτούν γνώση από το δίκτυο και την κίνηση του, χρησιμοποιώντας στοιχεία από τεχνολογίες όπως η μηχανική μάθηση, η τεχνητή νοημοσύνη και άλλες, και για αυτόν τον λόγο αναφέρονται ως έξυπνοι αλγόριθμοι. Στη παρούσα μελέτη παρουσιάζονται μια σειρά από έξυπνους αλγόριθμους οι οποίοι εφαρμόζονται με προσομοίωση με το πρόγραμμα OMNET++ και δίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα μείωσης. Συμπεραίνεται ότι με την εφαρμογή έξυπνων αλγορίθμων είναι δυνατόν να έχουμε μέχρι και μείωση 30% κατανάλωσης στην συνολική ενέργεια ενός δικτύου καθώς και μείωση των παρεμβολών αφού τα μηνύματα που ανταλλάσσονται ελαχιστοποιούνται.

Executive Summary

Dense 5G networks consume more energy and cause more interference than less dense networks. This interference can create problems with efficient data transmission and quality of service. For this reason, smart algorithms designed to reduce interference in these dense 5G networks have been developed. To reduce interference and reduce energy consumption, algorithms are required that can coordinate the network in a more efficient manner, allowing better performance with the least possible resource usage. These algorithms are designed to be able to gain knowledge from the network and its traffic, using elements from technologies such as machine learning, artificial intelligence, and others, and for this reason are referred to as intelligent algorithms. In this study, a series of smart algorithms are presented which are implemented by simulation with the OMNET++ program and the corresponding reduction results are given. It is concluded that with the application of smart algorithms it is possible to have up to a 30% reduction in consumption in the total energy of a network as well as a reduction in interference since the messages exchanged are minimized.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
Executive Summary	5
Πίνακας Περιεχομένων	6
Κατάλογος Σχημάτων	8
Λίστα Πινάκων	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Στόχος Διπλωματικής εργασίας	11
1.2 Διάρθρωση Μελέτης	12
2. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	14
2.1 Γενική Εικόνα και Δομή Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας	14
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας	15
2.3 Ιστορική Εξέλιξη Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας	16
2.3.1 Πρώτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας	18
2.3.2 Δεύτερη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας	20
2.3.3 Τρίτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας	20
2.3.4 Τέταρτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας	21
3. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ 5G	24
3.1 Εισαγωγή στα Δίκτυα Κινητής Επικοινωνίας 5 ^{ης} Γενιάς	24
3.2 Βασικά στοιχεία του 5G	28
3.3 Ιστορική Πορεία και Εξέλιξη των 5G Δικτύων	29
4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ	33
4.1 Αλγόριθμοι μείωσης ενέργειας σε Δίκτυα 5G	33
4.2 Αλγόριθμοι μείωσης παρεμβολών σε Δίκτυα 5G	35
4.3 Έξυπνοι Αλγόριθμοι μείωσης κατανάλωσης σε Δίκτυα 5G	38
5. Προσομοίωση Δικτύων	43
5.1 Η έννοια και ανάγκη της Προσομοίωσης	43
5.2 Μοντελοποίηση Δικτύων	45
5.3 Το λογισμικό OMNET++	46
6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ OPENMP ΣΕ 5G ΔΙΚΤΥΑ	55
6.1 Αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για μείωση παρεμβολών και κατανάλωσης	

ενέργειας.....	55
6.2 Εφαρμογή Προσομοίωσης μελέτης 5G για μείωση παρεμβολών και κατανάλωσης ενέργειας.....	58
6.3 Υλοποίηση	61
6.4 Αποτελέσματα	67
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΜΕΡΗ ΚΩΔΙΚΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	74

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 1. Το φορητό κινητό τηλέφωνο Motorola DynaTAC.....	19
Εικόνα 2. Η εξέλιξη τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών	23
Εικόνα 3. Τεχνολογίες και Διαφοροποιήσεις στο 5G	25
Εικόνα 4. Δημιουργία ενός Project OMNET++.....	47
Εικόνα 5. Δημιουργία νέου Project.....	48
Εικόνα 6. Επιλογή Empty Project	49
Εικόνα 7. Δημιουργία Module	50
Εικόνα 8. Προσθήκη Δικτύου	51
Εικόνα 9. Δίκτυο Δακτυλίου στο OMNET++.....	52
Εικόνα 10. Εκτέλεση Προσομοίωσης Δικτύου	53
Εικόνα 11. Δίκτυο συσκευών με το OMNET++	61
Εικόνα 12. Πρόγραμμα WEKA.....	64
Εικόνα 13. Διαδικασία προσομοίωσης και ανταλλαγή μηνυμάτων	66
Εικόνα 14. Γράφημα κατανάλωσης ενέργειας	68
Εικόνα 15.Γράφημα αριθμού παρεμβολών	57

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 . Αποτελέσματα Κατανάλωσης και Παρεμβολών χωρίς κατανάλωση ενέργειας	67
Πίνακας 2. Αποτελέσματα Κατανάλωσης και παρεμβολών με χρήση αλγορίθμου χρήσης συσκευών	67

Ακρωνύμια

QoS	Quality of Service
IoT	Internet of Things
GSM	Global System for Mobile
IP	Internet Protocol
LTE	Long-Term Evolution
ISP	Internet Service Provider
3GPP	Generation Partnership Project
SDO	Software Development Outsourcing
TTT	Time-To-Trigger
MCS	Modulation and Coding Schemes
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
ITU	International Telecommunication Union
IDE	Integrated Development Environment
GUI	Graphical User Interface
CoMP	Coordinated Multi-Point
CPU	Central Processing Unit
DNN	Deep Neural Network
FDMA	Frequency-Division Multiple Access
GPS	Global Positioning System
AI	Artificial Intelligence
ML	Machine Learning

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Στόχος Διπλωματικής εργασίας

Η νέα γενιά ασύρματων έξυπνων συσκευών και εφαρμογών αυξάνει το φόρτο του δικτύου στα τρέχοντα συστήματα κινητής επικοινωνίας. Για να ικανοποιηθούν οι παρούσες απαιτήσεις κίνησης και να παρέχεται ικανοποιητική Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service - QoS) στους χρήστες, είναι απαραίτητο να βελτιωθούν οι δυνατότητες και η κάλυψη του δικτύου με την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών που παρέχονται σε συστήματα επικοινωνίας πέμπτης γενιάς (5G) [2].

Τα πυκνά δίκτυα 5G αναφέρονται στην αρχιτεκτονική των δικτύων 5G που βασίζονται σε πολλά μικρά κελιά που καλύπτουν μικρότερες περιοχές σε σχέση με τα παραδοσιακά κελιά των δικτύων της 4ης γενιάς. Αυτό σημαίνει ότι οι περιοχές κάλυψης είναι μικρότερες, αλλά ταυτόχρονα οι συχνότητες μετάδοσης είναι πιο υψηλές, κάτι που επιτρέπει ταχύτερη μετάδοση δεδομένων. Η αρχιτεκτονική των πυκνών δικτύων 5G έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει τις απαιτήσεις των νέων υπηρεσιών και εφαρμογών των δικτύων 5G, όπως η επικοινωνία μεταξύ συσκευών (device-to-device communication), η επεξεργασία στον τοπικό υπολογιστή (edge computing), η εικονική πραγματικότητα και η επαυξημένη πραγματικότητα.

Τα πυκνά δίκτυα 5G απαιτούν περισσότερη ενέργεια και προκαλούν περισσότερες παρεμβολές σε σχέση με τα λιγότερο πυκνά δίκτυα. Οι παρεμβολές στα σήματα μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στη μετάδοση δεδομένων και στην ποιότητα των υπηρεσιών. Για αυτό το λόγο, έχουν σχεδιαστεί έξυπνοι αλγόριθμοι για τη μείωση των παρεμβολών στα πυκνά δίκτυα 5G. Για την μείωση των παρεμβολών αλλά και της κατανάλωσης ενέργειας απαιτούνται αλγόριθμοι που να μπορούν να συντονίζουν καλύτερα το δίκτυο ώστε να έχουμε καλύτερη απόδοση με την δυνατή μικρότερη χρήση των πόρων. Οι αλγόριθμοι αυτοί σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μαθαίνουν από το δίκτυο και την κίνηση του λαμβάνοντας στοιχεία από τις τεχνολογίες μηχανικής μάθησης, τεχνητής νοημοσύνης κ.α. και για αυτό τους ονομάζονται "έξυπνοι" αλγόριθμοι [2].

Ένας από τους έξυπνους αλγόριθμους που μελετήσαμε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο αλγόριθμος "Sleeping Cells". Αυτός ο αλγόριθμος μειώνει την κατανάλωση ενέργειας στα κελιά του δικτύου που δεν χρησιμοποιούνται. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση στην κατανάλωση ενέργειας στα συγκεκριμένα κελιά όσο παραμένουν αδρανή έως ότου χρησιμοποιηθούν ξανά [2].

Ένας άλλος "έξυπνος" αλγόριθμος είναι ο αλγόριθμος "Interference Management". Αυτός ο αλγόριθμος εντοπίζει και διορθώνει τις παρεμβολές στα δίκτυα 5G. Η μείωση των παρεμβολών βελτιώνει την απόδοση του δικτύου και μειώνει την κατανάλωση ενέργειας, καθώς το δίκτυο χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια για επανεκπομή σημάτων. Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία στόχος μας ήταν η μελέτη των αλγορίθμων αυτών και η εφαρμογή τους στα σύγχρονα δίκτυα 5G.

Επίσης θα δημιουργηθεί κατάλληλη εφαρμογή όπου με εύκολο τρόπο ο χρήστης θα μπορεί να προσομοιώνει ένα πυκνό δίκτυο 5G και θα υπολογίζεται η κατανάλωση του με την εφαρμογή ή όχι σειρά αλγορίθμων καθώς και οι παρεμβολές στους κόμβους με ή χωρίς την χρήση των έξυπνων αλγορίθμων [2]. Το πρόγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί είναι το Omnet που αποτελεί ένα ελεύθερο περιβάλλον ανάπτυξης και προσομοίωσης δικτύων με χρήση της C++. Στην περίπτωση μας έχει δημιουργηθεί προσομοίωση πυκνού δικτύου που εφαρμόζει τους αλγόριθμους Sleeping Cells και Interference Management ώστε να έχουμε διαχείριση της ενέργειας σε ένα δίκτυο 5G.

1.2 Διάρθρωση Μελέτης

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια . Το 1ο κεφάλαιο αναφέρεται στον σκοπό της εργασίας καθώς και στην διάρθρωσή του κειμένου. Στο 2ο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής αναφορά στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που προσφέρει καθώς και το πως έχουν επηρεάσει την ζωή μας συνολικά. Ταυτόχρονα γίνεται ιστορική αναφορά στην εξέλιξη της τεχνολογίας των

κινητών δικτύων και τις γενεές των πρωτοκόλλων που εφαρμόστηκαν.

Στο 3ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά ειδικά στο πρωτόκολλο 5G τις καινοτομίες και τις δυνατότητες που προσφέρει, τα βασικά του στοιχεία την ιστορική εξέλιξη των δικτύων 5G.

Στο 4ο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές τεχνικές και αλγόριθμοι για την εξοικονόμηση ενέργεια αλλά και τη μείωσης παρεμβολών σε δίκτυα 5G. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται ο αλγόριθμος Interference Management καθώς και οι διαδικασίες έξυπνες τεχνικές για την διαχείριση των εφαρμογών και της επικοινωνίας των κινητών συσκευών.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται αναφορά στην ανάγκη προσομοίωσης δικτύων καθώς και στην μοντελοποίηση δικτύων. Επίσης παρουσιάζεται το πρόγραμμα OMNET++ που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση γενικότερα δικτύων παντός τύπου.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η εφαρμογή που αναπτύξαμε χρησιμοποιώντας το λογισμικό OMNET++ με την οποία μπορεί να γίνει προσομοίωση ενός δικτύου 5G και των συσκευών του και να εφαρμοστούν έξυπνοι αλγόριθμοι για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των παρεμβολών στις συσκευές του δικτύου.

Στο κεφάλαιο 7 παραθέτουμε τα συμπεράσματα της μελέτης μας καθώς και μελλοντικές επεκτάσεις για την βελτίωση των συσκευών και της χρήσης τους.

2. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

2.1 Γενική Εικόνα και Δομή Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας

Η κινητή επικοινωνία αναφέρεται στη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ ατόμων και συσκευών μέσω κινητών τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Από την αρχική εισαγωγή των κινητών τηλεφώνων, η κινητή επικοινωνία έχει εξελιχθεί σημαντικά, επιτρέποντας στους ανθρώπους να επικοινωνούν ανεξάρτητα από την τοποθεσία τους [3].

Η κινητή επικοινωνία βασίζεται στη χρήση ραδιοκυμάτων για τη μετάδοση φωνής, δεδομένων και άλλων μορφών πληροφοριών μεταξύ των συσκευών. Αρχικά, τα κινητά τηλέφωνα προσέφεραν μόνο τη φωνητική επικοινωνία, αλλά με την πάροδο του χρόνου, η τεχνολογία εξελίχθηκε και προστέθηκαν δυνατότητες όπως τα μηνύματα κειμένου, η πλοήγηση στο διαδίκτυο, η ανταλλαγή πολυμέσων και άλλες εφαρμογές. Με την ανάπτυξη των γενιών τηλεπικοινωνιακών δικτύων, όπως τα δίκτυα 2G, 3G, 4G και πλέον τα 5G, η κινητή επικοινωνία έχει γίνει πιο γρήγορη, αξιόπιστη και παρέχει ευρύτερη κάλυψη. Οι παροχείς τηλεπικοινωνιών συνεχώς αναβαθμίζουν τα δίκτυά τους για να παρέχουν βελτιωμένες υπηρεσίες και να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών [3][4].

Η κινητή επικοινωνία έχει έναν τεράστιο αντίκτυπο στην κοινωνία και την οικονομία. Επιτρέπει στους ανθρώπους να επικοινωνούν αποτελεσματικά, να προσπελάσουν πληροφορίες, να διεξάγουν επιχειρήσεις και να συμμετέχουν στον ψηφιακό κόσμο. Επιπλέον, η κινητή επικοινωνία έχει διευκολύνει την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και εφαρμογών, όπως οι έξυπνες συσκευές, η εικονική πραγματικότητα, οι αισθητήρες (Internet of Things – IoT) και άλλες.

Παρά τα οφέλη της κινητής επικοινωνίας, υπάρχουν και προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως η ασφάλεια των δεδομένων, η προστασία της ιδιωτικότητας και η ισότητα πρόσβασης στη σύνδεση. Είναι σημαντικό να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η αξιοπιστία των κινητών δικτύων και να εξασφαλίζεται η ισότητα πρόσβασης σε

όλους τους χρήστες, ανεξάρτητα από την τοποθεσία ή την οικονομική τους κατάσταση. Συνολικά, η κινητή επικοινωνία έχει μετασχηματίσει τον τρόπο που επικοινωνούμε, εργαζόμαστε, διασκεδάζουμε και ζούμε. Εξακολουθεί να εξελίσσεται και να προσφέρει νέες δυνατότητες και ευκαιρίες, διαμορφώνοντας έναν συνδεδεμένο, ψηφιακό κόσμο που είναι όλο και πιο ανεπτυγμένος και προηγμένος.

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Κινητών Δικτύων

Επικοινωνίας

Η χρήση κινητής τηλεφωνίας έχει πολλά πλεονεκτήματα, αλλά υπάρχουν επίσης και μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ας δούμε αναλυτικά [4]:

Πλεονεκτήματα της κινητής τηλεφωνίας:

Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο: Η κινητή τηλεφωνία επιτρέπει στους ανθρώπους να επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους ανεξάρτητα από την απόσταση. Μπορούν να καλέσουν ή να στείλουν μηνύματα κειμένου ανά πάσα στιγμή.

Φορητότητα: Οι κινητές συσκευές είναι φορητές και επιτρέπουν στους χρήστες να επικοινωνούν από οπουδήποτε βρίσκονται, επιτρέποντας τους να είναι συνδεδεμένοι ακόμα και όταν είναι κινητοί.

Πρόσβαση σε πληροφορίες: Με την κινητή τηλεφωνία, οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες και δεδομένα από το διαδίκτυο οποιαδήποτε στιγμή το επιθυμούν. Μπορούν να ψάξουν για πληροφορίες, να διαβάσουν ειδήσεις, να αγοράσουν προϊόντα και υπηρεσίες και να χρησιμοποιήσουν εφαρμογές.

Ευελξία και πολυλειτουργικότητα: Οι κινητές συσκευές προσφέρουν πολλαπλές λειτουργίες εκτός από τις κλήσεις, όπως αναπαραγωγή πολυμέσων, πλοήγηση (Global Positioning System - GPS), κάμερες και πολλά άλλα. Επιτρέπουν στους χρήστες να εκτελούν πολλές εργασίες από μία μόνο συσκευή.

Ένα από τα μειονεκτήματα της κινητής τηλεφωνίας είναι η εξάρτηση. Η συνεχής χρήση κινητών συσκευών μπορεί να οδηγήσει σε εξάρτηση και υπερβολική χρήση, επηρεάζοντας τις καθημερινές δραστηριότητες και τις σχέσεις. Υπάρχουν επίσης επιπτώσεις στην υγεία. Υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τις δυνητικές αρνητικές επιπτώσεις της ακτινοβολίας από τις κινητές συσκευές. Αν και οι μελέτες είναι αντικρουόμενες, η έκθεση σε μακροπρόθεσμη ακτινοβολία εξακολουθεί να είναι αντικείμενο έρευνας. Με την χρήση κινητής τηλεφωνίας παρατηρείται απώλεια ιδιωτικότητας καθώς μπορεί να αποκαλύψει προσωπικές πληροφορίες και να απειλήσει την ιδιωτικότητα του ατόμου, ειδικά με την αύξηση των κοινωνικών δικτύων και της παρακολούθησης δραστηριότητας. Τέλος παρατηρούνται κοινωνικές επιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα η υπερβολική χρήση της κινητής τηλεφωνίας μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στις κοινωνικές σχέσεις, όπως η μείωση της ανθρώπινης επαφής και η απομόνωση.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κινητής τηλεφωνίας μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον τρόπο χρήσης και τις ατομικές προτιμήσεις του κάθε ατόμου. Είναι σημαντικό να βρεθεί ένας ισορροπημένος τρόπος χρήσης και να λαμβάνονται προφυλάξεις για την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα.

2.3 Ιστορική Εξέλιξη Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας

Η συνεχής πορεία της τεχνολογικής προόδου στον τομέα της επικοινωνίας μέσω κινητών δικτύων αναπτύσσεται με μοναδικό ρυθμό, προσφέροντάς μας ένα πλούσιο μωσαϊκό από τεχνολογίες και πληροφορίες. Η επίδραση της εξέλιξης αυτής δεν απλώνεται μόνο στην ταχύτητα ανταπόκρισης, αλλά συνεχώς ορίζει και τον τρόπο που αλληλεπιδρούμε με τον κόσμο και ανακαλύπτουμε νέες πτυχές της γνώσης [6].

Το συνεχόμενο αυτό ταξίδι της τεχνολογίας έχει ανοίξει εντυπωσιακές πύλες γνώσης, όπου οι πληροφορίες συνεχώς αυξάνουν, δίνοντάς τη δυνατότητα ανάπτυξης νέας γνώσης και εφαρμογών. Η άφθονη παροχή πληροφοριών δεν είναι πλέον προνόμιο

λίγων, αλλά μία αναπόφευκτη πραγματικότητα που συνθέτει μια νέα εποχή επικοινωνιακής πλοήγησης. Η προόδος αυτή έχει δώσει σάρκα και οστά στην έννοια του "τώρα", με την άμεση ανταλλαγή πληροφοριών να μετατρέπει τον πλανήτη σε ένα υπερασύνδεσμο νευρωνικών πλοκών. Καθώς ο χρόνος ανταπόκρισης συρρικνώνεται σε κλάσματα του δευτερολέπτου, η αίσθηση της απόκρισης αποκτά νέα διάσταση, αποτελώντας τον πυρήνα ενός συνεχούς διαλόγου με την πληροφορία και την παγκόσμια κοινότητα.

Σε αυτόν τον μετασηματισμένο κόσμο, η πρόσβαση σε πληροφορίες αποτελεί πλέον κομμάτι της καθημερινότητάς μας, ενσωματώνοντας την τεχνολογία στην ίδια τη ροή της ζωής μας. Το τοπίο των τηλεπικοινωνιών έχει αλλάξει για πάντα, άνοιγοντας νέες ορίζοντες ανακάλυψης και αλληλεπίδρασης, και όλα αυτά συνθέτουν μια σημαντική σελίδα στο μεγάλο βιβλίο της ανθρώπινης και τεχνολογικής πρόοδου.

Η κινητή τηλεφωνία έχει αναπτυχθεί με ραγδαίο τρόπο δίνοντας συνεχώς νέα πρωτόκολλα επικοινωνίας προσαρμοζόμενη στις νέες απαιτήσεις.

Το Δεκέμβριο του 2018, η Νότια Κορέα άνοιξε ένα επικαιροποιημένο κεφάλαιο στο χώρο της κινητής τεχνολογίας με την καθιέρωση του 5G, ενός επαναστατικού βήματος που αναμόρφωσε τον τρόπο που αλληλεπιδρούμε με τον κόσμο. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η πορεία της βιομηχανίας της κινητής τηλεπικοινωνίας από την πρώτη κλήση μέσω κινητού το 1973 έχει σημάει μια εξέλιξη χωρίς προηγούμενο [6][7].

Οι προηγούμενες δεκαετίες είχαν προσφέρει σειρά από τεχνολογίες και πρωτόκολλα τα οποία έφεραν ακόμα και κοινωνικές αλλαγές, με τις κινητές συσκευές να είναι το έναυσμα για την μεταμόρφωση του περιβάλλοντός μας. Ο χώρος και ο χρόνος έχουν αρχίσει να συρρικνώνονται μέσω της συνεχούς σύνδεσης, με την πληροφορία να ρέει αφόρητα γρήγορα μεταξύ των άκρων του πλανήτη.

Τα 5G δίκτυα, που πολλές χώρες ενσωμάτωσαν κατά κόρον κατά τη διάρκεια του 2020, αποτελεί το επόμενο κεφάλαιο σε αυτήν την έκρηξη τεχνολογικής πρόοδου. Οι αντικείμενοι του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και τα Μεγάλου όγκου Δεδομένα

(Big Data) βρίσκονται τώρα σε έναν νέο υψηλότερο ρυθμό, χάρη στην εξαιρετική ταχύτητα και την αξιοπιστία του 5G. Αυτή η πρόοδος δεν αφορά μόνο την τεχνολογία, αλλά διαμορφώνει επίσης την τροποποίηση με την οποία αλληλεπιδρούμε και αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο γύρω μας [7].

Κάθε διαδοχική γενιά ασύρματων προτύπων, που χαρακτηρίζεται από τη συντομογραφία "G", εισαγάγει τεράστιες προόδους στη χωρητικότητα μεταφοράς δεδομένων και συμβάλει στη μείωση της καθυστέρησης, και το 5G δεν θα αποτελεί εξαίρεση. Αν και τα επίσημα πρότυπα του 5G δεν έχουν ακόμη καθοριστεί, αναμένεται να είναι τουλάχιστον τρεις φορές ταχύτερο από τα ισχύοντα πρότυπα του 4G [7][8]. Για να γίνει απόλυτα κατανοητή η μετάβαση στην πέμπτη γενιά, θα ήταν χρήσιμη μια ιστορική αναδρομή της ασταμάτητης ανόδου των ασύρματων προτύπων από την πρώτη γενιά και εξής.

2.3.1 Πρώτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας

Τα δίκτυα κινητής επικοινωνίας ξεκίνησαν στις αρχές του 1980 με τα λεγόμενα κινητά τηλέφωνα πρώτης γενιάς. Τα τηλέφωνα αυτά είχαν πλήρως αυτόματες λειτουργίες κατάλληλα μόνο για φωνητικές κλήσεις. Η τεχνολογία ξεκίνησε στο Τόκυο το 1979 από την εταιρία NTT (Nippon Telegraph and Telephone) και εφαρμόστηκε και χρησιμοποιήθηκε σαν το πρώτο εμπορικό κινητό δίκτυο επικοινωνίας [9].

Στην συνέχεια εφαρμόστηκε το λεγόμενο δίκτυο NMT (Nordic Mobile Telephony) το 1981 στη Δανία, τη Φινλανδία, τη Νορβηγία και τη Σουηδία. Στο νέο αυτό δίκτυο υπήρχε και η δυνατότητα περιαγωγής μεταξύ διαφορετικών χωρών.

Το 1983 στις ΗΠΑ εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το δίκτυο και οι λειτουργίες του δικτύου 1G. Παράλληλα κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε το πρώτο εμπορικό τηλέφωνο DynaTAC της Motorola (Εικόνα 1). Την εποχή εκείνη ουσιαστικά είχαμε τα πρώτα κινητά τηλέφωνα σε ευρεία χρήση. Μετά την εφαρμογή του δικτύου 1G μέσα στη δεκαετία του 1980, πολλές χώρες ακολούθησαν εφαρμόζοντας σειρά από νέες τεχνολογίες. Ουσιαστικά τότε περάσαμε στην νέα εποχή της κινητής τηλεφωνίας [9].

Τα κινητά τηλέφωνα της εποχής του 1980-1990 ήταν μεγάλα και ιδιαίτερα βαριά. Το βάρος κάθε τηλεφώνου ήταν 3 με 4 κιλά και έτσι ήταν δύσκολο για ευρεία προσωπική χρήση. Τα κινητά της εποχής εκείνης χρησιμοποιούνταν κυρίως για εταιρική χρήση. Ταυτόχρονα το κόστος τους ήταν αρκετά μεγάλο και ουσιαστικά το χρησιμοποιούσαν μόνο όσοι μπορούσαν να έχουν μεγάλα εισοδήματα.

Σημαντικά μειονεκτήματα της τεχνολογία 1G ήταν [9] ότι η κάλυψη του δικτύου δεν ήταν πάντα εφικτή αλλά και ποιοτική οπότε υπήρχαν σοβαρά προβλήματα στην ένταση και στην ροή μετάδοσης του ήχου. Επίσης, επειδή κάθε χώρα εφαρμόζε διαφορετικά πρωτόκολλα οπότε υπήρχε σοβαρό πρόβλημα περιαγωγής. Επιπρόσθετα δεν εφαρμοζόταν καμία μορφή κρυπτογράφησης με συνέπεια ευκολία στην υποκλοπή. Καθώς, ο τρόπος μετάδοσης ήταν πλήρως αναλογικός οπότε είχαμε μη δυνατότητα χρήσης πλήρους φάσματος. Τέλος επειδή είχαμε χρήση Frequency-division multiple access (FDMA) υπήρχε χαμηλή χωρητικότητα



Εικόνα 1. Το φορητό κινητό τηλέφωνο Motorola DynaTAC

2.3.2 Δεύτερη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας

Η δημιουργία της δεύτερης γενιάς κινητής τηλεφωνίας προήλθε από την ανάγκη να αντιμετωπιστούν οι αδυναμίες και να επιλυθούν τα προβλήματα που προέκυψαν από τη χρήση της πρώτης γενιάς κινητής τηλεφωνίας. Το 1991, η δεύτερη γενιά εισήγαγε νέα πρότυπα με βάση το Global System for Mobile Communications (GSM) στη Φινλανδία. Αυτό το νέο πρότυπο περιελάμβανε σημαντικές καινοτομίες, όπως τη δυνατότητα κρυπτογράφησης και την αύξηση της ταχύτητας στις ψηφιακές φωνητικές κλήσεις έως 64 kbps, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας. Η δεύτερη γενιά κινητής τηλεφωνίας διαφοροποιήθηκε από την πρώτη ως πολύ περισσότερα από απλά μέσα επικοινωνίας, θεμελιώνοντας μια πολιτιστική επανάσταση. Οι χρήστες των κινητών είχαν τη δυνατότητα αποστολής SMS και MMS, ενώ η αναλογική παρελθοντική 1G υποκαταστάθηκε από το ψηφιακό μέλλον της 2G. Αυτή η μετάβαση οδήγησε σε ευρεία υιοθέτηση από καταναλωτές και επιχειρήσεις [9].

Τα δίκτυα 2G αποδείχθηκαν επωφελή για χρήστες και χειριστές δικτύου. Οι βελτιωμένοι ψηφιακοί μηχανισμοί επέτρεψαν την ψηφιοποίηση και συμπίεση των φωνητικών σημάτων, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του φάσματος. Επίσης εισήχθησαν υπηρεσίες δεδομένων, όπως μηνύματα κειμένου, εικόνας και πολυμέσων.

Επέτρεψαν την ψηφιακή κρυπτογράφηση δεδομένων και φωνής, αυξάνοντας σημαντικά την ασφάλεια και μειώνοντας τον κίνδυνο υποκλοπής και απάτης. Τέλος επετεύχθει η χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος από τα κινητά, προσφέροντας ενεργειακή αποδοτικότητα σε σχέση με την 1G.

2.3.3 Τρίτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας

Καθώς η χρήση των κινητών τηλεφώνων με τεχνολογία 2G αυξήθηκε, δημιουργήθηκε μια αυξημένη ζήτηση για περισσότερες υπηρεσίες δεδομένων. Παρά την επιτυχία του

πρότυπου δικτύου 2G, αντιμετώπιζε περιορισμούς στην πρόσβαση στο διαδίκτυο. Επομένως, υπήρξε η ανάγκη για μια νέα τεχνολογία με βελτιωμένη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων. Αυτή η ανάγκη, συνδυαζόμενη με βελτιώσεις στις αποδόσεις της φωνητικής μετάδοσης, οδήγησε στην ανάπτυξη του δικτύου 3G [9].

Η τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας εισήγαγε τη μετάδοση δεδομένων με εναλλαγή πακέτων, προσφέροντας υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης σε επίπεδο εμφάνισης. Ένα από τα πλέον πολυσυζητημένα χαρακτηριστικά του ήταν οι βιντεοκλήσεις, που επέτρεπαν στους χρήστες να συνομιλούν μέσω κάμερας, εφόσον οι συσκευές τους ήταν συμβατές. Επιπλέον, παρείχε πρόσβαση σε ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, αποστολή εικόνων και βίντεο με ταχύτητα έως 384 kbps. Η εφαρμογή μεγαλύτερου εύρους ζώνης μετάδοσης επέτρεψε την πραγματικού χρόνου μετάδοση υψηλής ανάλυσης βίντεο και ήχου, ακόμη και παρακολούθηση τηλεοπτικών προγραμμάτων σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογική πρόοδος επέτρεψε επίσης την ανάπτυξη εφαρμογών εντοπισμού θέσης (GPS) και υψηλής ποιότητας παιχνιδιών που μπορούσαν να παίζονται σε πραγματικό χρόνο και συνεργατικά με άλλους παίκτες.

Ωστόσο, τα δίκτυα 3G είχαν ένα βασικό μειονέκτημα στο κόστος. Η ανάγκη διαμόρφωσης κάθε σταθμού βάσης από τους παρόχους υπηρεσιών, σε συνδυασμό με το κόστος εγκατάστασης, μπορούσε να αποτελέσει δαπανηρή διαδικασία. Επίσης, οι καταναλωτές αναγκάστηκαν να αγοράσουν συσκευές 3G, προσθέτοντας επιπλέον κόστος. Σε συνολική αξιολόγηση, το 3G προσέφερε περισσότερα πλεονεκτήματα από μειονεκτήματα. Συμπεριλαμβανομένων ευκολιών σύνδεσης και επικοινωνίας, η προσθήκη αυτού του επιπλέον κόστους θεωρήθηκε από τους περισσότερους καταναλωτές δικαιολογημένη για τα πλεονεκτήματα που προσέφερε.

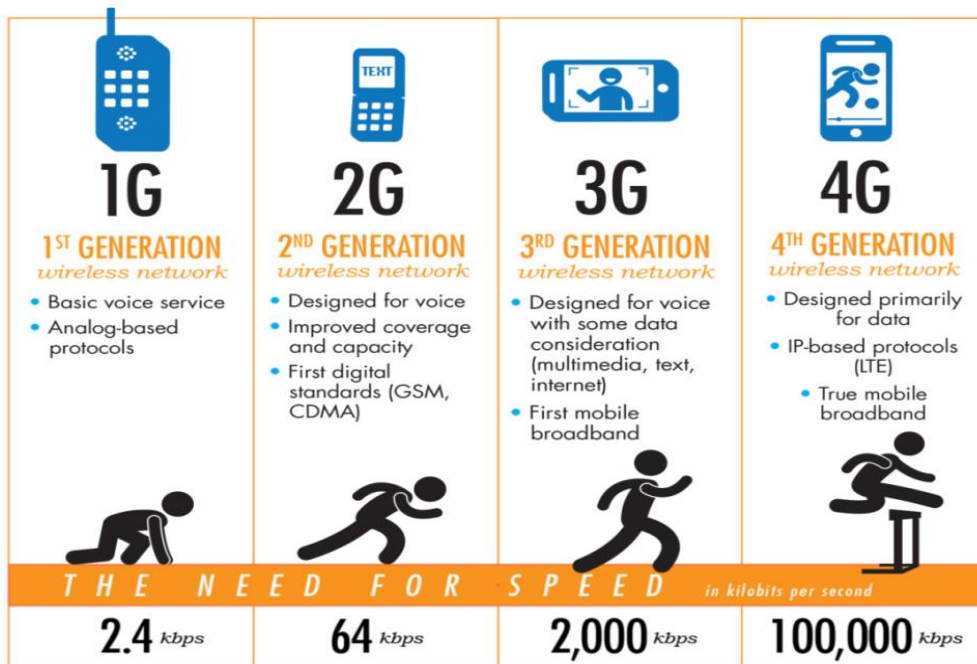
2.3.4 Τέταρτη Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας

Τα δίκτυα 4G αντιπροσωπεύουν μια επαναστατική νέα γενιά ασύρματης τεχνολογίας, σχεδιασμένη για να ανταποκρίνεται σε αυξημένες απαιτήσεις σε φορητά πολυμέσα, προσφέροντας παγκόσμια υποστήριξη και ολοκληρωμένες εξατομικευμένες

υπηρεσίες. Η 4G κινητή επικοινωνία, με την υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και την αυξημένη χωρητικότητα φάσματος, δημιουργεί τις προϋποθέσεις για υψηλής ποιότητας υπηρεσίες με ξεκάθαρη ευκρίνεια. Οι ποικίλες εφαρμογές περιλαμβάνουν τροποποιημένη πρόσβαση στον ιστό μέσω κινητών, τηλεφωνία IP (διαδικτυακού πρωτοκόλλου), υπηρεσίες τυχερών παιχνιδιών, γρήγορη αποστολή και λήψη μεγάλων αρχείων, τηλεδιασκέψεις και τηλεόραση 3D. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές, το σύστημα 4G βασίζεται στο IP και δεν υποστηρίζει μεταγωγή κυκλώματος [9].

Η 4η γενιά κινητής τηλεφωνίας αποτελεί μια εξέλιξη περισσότερο παρά μια επανάσταση, αντίθετα με τα προηγούμενα κυψελοειδή δίκτυα. Ουσιαστικά, το 4G αντιπροσωπεύει μια επέκταση του 3G, με βελτιώσεις που προέρχονται κυρίως από την εφαρμογή του πρωτοκόλλου Long Term Evolution (LTE). Το LTE εισήχθη το 1998 στις πόλεις Όσλο, Νορβηγία, Στοκχόλμη και Σουηδία, και στη συνέχεια διαδόθηκε παγκοσμίως. Οι τεχνολογίες 4G και LTE είναι στενά συγγενικές, παρέχοντας ταχύτητες που ξεπερνούν αυτές των συμβατικών ενσύρματων συνδέσεων ευρυζωνικού δικτύου, με μικρές διαφορές μεταξύ τους. Η χρήση της 4ης γενιάς κινητής τηλεφωνίας προσφέρει ανείπωτα πλεονεκτήματα. Εξαιρετική ταχύτητα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα, καθώς το δίκτυο 4G LTE προσφέρει ασυναγώνιστη ταχύτητα, φτάνοντας ακόμη και το δεκαπλάσιο της ταχύτητας του 3G, με αυξημένο εύρος ζώνης. Οι χρήστες κινητών συσκευών με 4G απολαμβάνουν πιο σταθερή και αξιόπιστη συνδεσιμότητα, με δυνατότητες ροής μουσικής, βίντεο και άλλων πολυμέσων σε ανώτερους ρυθμούς από ποτέ. Επιπλέον, η πρόσβαση στο διαδίκτυο γίνεται ευκολότερη και πιο αξιόπιστη. Η 4η γενιά κινητής τηλεφωνίας παρέχει επίσης ευρύτερη εμβέλεια σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, όπως το Wi-Fi, καλύπτοντας αποστάσεις έως και 30 μίλια και περισσότερο. Τέλος, προσφέρει ευελιξία και είναι προσητή στους χρήστες, δίνοντας τους την δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε ποικίλες προσφορές και υπηρεσίες που καλύπτουν διάφορες ποιοτικές και φασματικές απαιτήσεις [9].

Στην εικόνα 2 φαίνεται η ιστορική εξέλιξη των γενεών της κινητής τηλεφωνίας και συνοπτικά οι αλλαγές μεταξύ τους.



Εικόνα 2. Η εξέλιξη τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών

3. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ 5G

3.1 Εισαγωγή στα Δίκτυα Κινητής Επικοινωνίας 5^{ης} Γενιάς

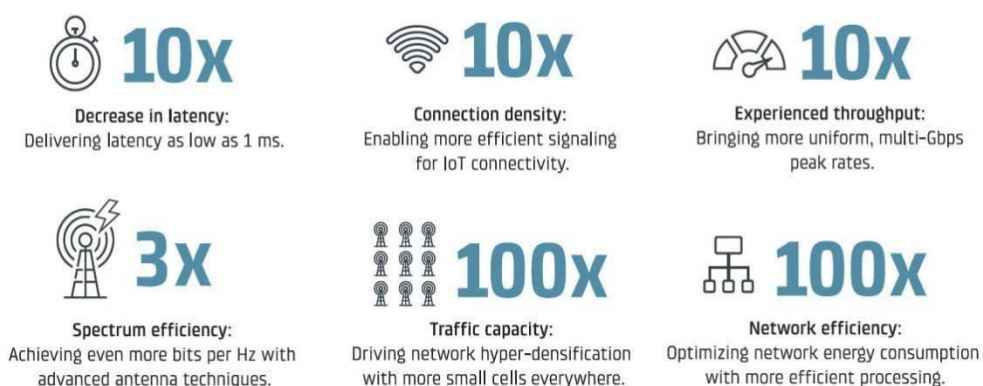
Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, το 5G αντιπροσωπεύει το πρότυπο της πέμπτης γενιάς τεχνολογίας για ευρυζωνικά κυψελωτά δίκτυα. Η ανάπτυξη του ξεκίνησε παγκοσμίως το 2019 από εταιρείες κινητής τηλεφωνίας και αντιπροσωπεύει την επόμενη εξέλιξη μετά τα δίκτυα 4G που προσφέρουν συνδεσιμότητα στις περισσότερες σύγχρονες κινητές συσκευές [10][11].

Όπως και οι προκάτοχοί του, τα δίκτυα 5G λειτουργούν ως δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, με την περιοχή εξυπηρέτησης να διακρίνεται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές, γνωστές ως κυψέλες. Όλες οι ασύρματες συσκευές που λειτουργούν με το πρότυπο 5G σε μια κυψέλη συνδέονται με το διαδίκτυο και το τηλεφωνικό δίκτυο μέσω ραδιοκυμάτων, με τη βοήθεια μιας τοπικής κεραίας. Τα νέα δίκτυα προσφέρουν αυξημένες ταχύτητες λήψης, φτάνοντας τελικά έως και τα 10 gigabit ανά δευτερόλεπτο (Gbit/s). Εκτός από την αυξημένη ταχύτητα σε σχέση με τα υπάρχοντα δίκτυα, τα 5G δίκτυα προσφέρουν επίσης ευρύτερο εύρος ζώνης, επιτρέποντας τη σύνδεση μεγαλύτερου αριθμού διαφορετικών συσκευών. Αυτό βελτιώνει την ποιότητα των υπηρεσιών Διαδικτύου, ιδίως σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα κίνησης.

Λόγω του ευρύτερου εύρους ζώνης, αναμένεται ότι τα δίκτυα 5G θα χρησιμοποιηθούν εκτενώς και ως γενικοί παροχείς υπηρεσιών Διαδικτύου (ISP) για φορητούς και επιτραπέζιους υπολογιστές. Με αυτόν τον τρόπο, θα ανταγωνιστούν τους υπάρχοντες ISP, όπως το καλωδιακό Διαδίκτυο, και θα ανοίξουν το δρόμο για νέες εφαρμογές στον κόσμο του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και της επικοινωνίας μηχανής προς μηχανή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα κινητά τηλέφωνα που υποστηρίζουν μόνο την τεχνολογία 4G δεν είναι συμβατά με τα δίκτυα 5G. Στην εικόνα 3 φαίνονται οι αλλαγές, προσθήκες και βελτιώσεις στο δίκτυο 5G [10][11].

The Landscape of 5G

5G will differentiate itself by delivering various improvements:



Εικόνα 3. Τεχνολογίες και Διαφοροποιήσεις στο 5G

Τα δίκτυα 5G αναφέρονται σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς, όπου η περιοχή κάλυψης χωρίζεται σε μικρότερες γεωγραφικές περιοχές που ονομάζονται "κυψέλες". Κάθε κυψέλη λειτουργεί ως ξεχωριστό σημείο επικοινωνίας, όπου οι ασύρματες συσκευές 5G επικοινωνούν με το δίκτυο μέσω ραδιοκυμάτων. Αυτή η επικοινωνία γίνεται με τη βοήθεια ενός κυψελοειδούς σταθμού βάσης, ο οποίος στελεχώνεται με σταθερές κεραιές και χρησιμοποιεί κανάλια συχνότητας που εκχωρούνται από τον ίδιο τον σταθμό βάσης. Τα σημεία αυτά, γνωστά και ως "κόμβοι", είναι συνδεδεμένα με κέντρα μετάδοσης στο τηλεφωνικό δίκτυο και δρομολογητές, προσφέροντας άμεση πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω οπτικών ινών υψηλής ταχύτητας ή ασύρματων συνδέσεων backhaul [10][11].

Όπως συμβαίνει και σε άλλα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, η μετακίνηση μιας κινητής συσκευής από μία κυψέλη σε μία άλλη πραγματοποιείται αυτόματα και χωρίς προβλήματα. Η τεχνολογία 5G σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό συσκευών, με τη δυνατότητα να εξυπηρετεί έως και ένα εκατομμύριο συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Η κοινοπραξία του κλάδου που ορίζει πρότυπα για το 5G, το 3rd Generation Partnership Project (3GPP), ορίζει το "5G" ως οποιοδήποτε σύστημα που χρησιμοποιεί λογισμικό 5G NR (5G New Radio) - ένας ορισμός που τέθηκε σε γενική χρήση από τα τέλη του 2018.

Αρκετοί φορείς εκμετάλλευσης δικτύου χρησιμοποιούν κύματα χιλιοστών που ονομάζονται FR2 στην ορολογία 5G, για πρόσθετη χωρητικότητα και υψηλότερες αποδόσεις. Τα κύματα χιλιοστών έχουν μικρότερο εύρος από τα μικροκύματα χαμηλότερης συχνότητας, επομένως τα κύτταρα είναι μικρότερου μεγέθους. Τα κύματα χιλιοστών έχουν επίσης μεγαλύτερο πρόβλημα να περάσουν μέσα από τοίχους κτιρίων. Οι κεραιές κυμάτων χιλιοστού είναι μικρότερες από τις μεγάλες κεραιές που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενα κυψελωτά δίκτυα. Μερικά έχουν μήκος μόνο μερικά εκατοστά.

Ο αυξημένος ρυθμός δεδομένων επιτυγχάνεται εν μέρει με τη χρήση πρόσθετων ραδιοκυμάτων υψηλότερης συχνότητας επιπλέον των συχνοτήτων χαμηλής και μεσαίας ζώνης που χρησιμοποιούνται σε προηγούμενα κυψελωτά δίκτυα. Για την παροχή ενός ευρέος φάσματος υπηρεσιών, τα δίκτυα 5G μπορούν να λειτουργούν σε τρεις ζώνες συχνοτήτων – χαμηλή, μεσαία και υψηλή.

Το 5G μπορεί να εφαρμοστεί σε κύμα χιλιοστών χαμηλής ζώνης, μεσαίας ζώνης ή υψηλής ζώνης 24 GHz έως 54 GHz. Το 5G χαμηλής ζώνης χρησιμοποιεί παρόμοιο εύρος συχνοτήτων με τα κινητά τηλέφωνα 4G, 600–900 MHz, δίνοντας ταχύτητες λήψης λίγο υψηλότερες από το 4G: 30–250 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbit/s).[3] Οι πύργοι κυψέλης χαμηλής ζώνης έχουν εμβέλεια και περιοχή κάλυψης παρόμοια με τους πύργους 4G. Το 5G μεσαίας ζώνης χρησιμοποιεί μικροκύματα 1,7–4,7 GHz, επιτρέποντας ταχύτητες 100–900 Mbit/s, με κάθε πύργο κινητής τηλεφωνίας να παρέχει υπηρεσίες σε ακτίνα πολλών χιλιομέτρων. Αυτό το επίπεδο υπηρεσίας είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο και αναπτύχθηκε σε πολλές μητροπολιτικές περιοχές το 2020. Ορισμένες περιοχές δεν εφαρμόζουν τη χαμηλή ζώνη, καθιστώντας το Mid-band το ελάχιστο επίπεδο υπηρεσιών. Το 5G υψηλής ζώνης χρησιμοποιεί συχνότητες 24–47 GHz, κοντά στο κάτω μέρος της ζώνης κυμάτων χιλιοστών, αν και ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν υψηλότερες συχνότητες στο μέλλον. Συχνά επιτυγχάνει ταχύτητες λήψης στο εύρος gigabit-per-second (Gbit/s), συγκρίσιμες με το ενσύρματο internet. Ωστόσο, τα κύματα χιλιοστών (mmWave ή mmW) έχουν πιο περιορισμένο εύρος, που απαιτούν πολλά μικρά κελιά. Μπορούν να παρεμποδιστούν ή να μπλοκαριστούν από υλικά σε τοίχους ή παράθυρα.

Λόγω του υψηλότερου κόστους τους, τα σχέδια είναι να αναπτυχθούν αυτά τα κύτταρα μόνο σε πυκνά αστικά περιβάλλοντα και περιοχές όπου συγκεντρώνονται πλήθη ανθρώπων, όπως αθλητικά στάδια και συνεδριακά κέντρα. Οι παραπάνω ταχύτητες είναι αυτές που επιτυγχάνονται σε πραγματικές δοκιμές το 2020 και οι ταχύτητες αναμένεται να αυξηθούν κατά την κυκλοφορία. Το φάσμα που κυμαίνεται από 24,25–29,5 GHz είναι η πιο αδειοδοτημένη και αναπτυγμένη περιοχή φάσματος 5G mmWave στον κόσμο.

Αρχικά, ο όρος συνδέθηκε με το πρότυπο IMT-2020 της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών, το οποίο απαιτούσε μια θεωρητική μέγιστη ταχύτητα λήψης 20 gigabit ανά δευτερόλεπτο και 10 gigabit ανά δευτερόλεπτο ταχύτητα μεταφόρτωσης, μαζί με άλλες απαιτήσεις. Στη συνέχεια, η ομάδα βιομηχανικών προτύπων 3GPP επέλεξε το πρότυπο 5G NR (Νέο Ραδιόφωνο) μαζί με το LTE ως πρότασή τους για υποβολή στο πρότυπο IMT-2020.

Το 5G NR μπορεί να περιλαμβάνει χαμηλότερες συχνότητες (FR1), κάτω από 6 GHz και υψηλότερες συχνότητες (FR2), πάνω από 24 GHz. Ωστόσο, η ταχύτητα και η καθυστέρηση στις πρώτες αναπτύξεις FR1, χρησιμοποιώντας λογισμικό 5G NR σε υλικό 4G (μη αυτόνομο), είναι μόνο ελαφρώς καλύτερες από τα νέα συστήματα 4G, εκτιμώμενα από 15 έως 50% καλύτερα. Τα τυπικά έγγραφα για το 5G οργανώνονται από το 3GPP. Το 3GPP είναι ένα έργο συνεργασίας που συγκεντρώνει εθνικούς Οργανισμούς Ανάπτυξης Προτύπων (SDO) από όλο τον κόσμο για την ανάπτυξη τεχνικών προδιαγραφών για την 3η γενιά κινητών [10][11].

Η αρχιτεκτονική του συστήματος 5G ορίζεται στο TS 23.501. Το πρωτόκολλο πακέτων για διαχείριση κινητικότητας (δημιουργία σύνδεσης και μετακίνηση μεταξύ σταθμών βάσης) και διαχείριση συνεδριών (σύνδεση σε δίκτυα και τμήματα δικτύου) περιγράφεται στο TS 24.501. Οι προδιαγραφές των βασικών δομών δεδομένων βρίσκονται στο TS 23.003.

Η διάδοση της τεχνολογίας 5G έχει οδηγήσει σε συζητήσεις σχετικά με την ασφάλεια και τη σχέση της με Κινέζους προμηθευτές. Έχει επίσης αποτελέσει αντικείμενο ανησυχιών για την υγεία και παραπληροφόρηση, συμπεριλαμβανομένων απαξιωμένων θεωριών συνωμοσίας που το συνδέουν με την πανδημία COVID-19.

3.2 Βασικά στοιχεία του 5G

Ταχύτητα

Το 5G είναι ικανό να παρέχει σημαντικά ταχύτερους ρυθμούς δεδομένων από το 4G, με μέγιστες ταχύτητες δεδομένων έως και 20 gigabit ανά δευτερόλεπτο (Gbps) και μέσους ρυθμούς δεδομένων που υπερβαίνουν τα 100 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps). Επιπλέον, τα δίκτυα 5G έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν σημαντικά μεγαλύτερη χωρητικότητα από τα δίκτυα 4G, με προβλεπόμενη 100πλάσια αύξηση της χωρητικότητας και της αποτελεσματικότητας του δικτύου.

Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή 5G, Sub-6 GHz 5G (μεσαία ζώνη), είναι ικανή να παρέχει ταχύτητες δεδομένων που κυμαίνονται από 10 έως 1.000 Mbps, με πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια από τις ζώνες mmWave. Το C-Band (n77/n78) αναπτύχθηκε από διάφορους αερομεταφορείς των ΗΠΑ το 2022 στις υποζώνες των 6, αν και η ανάπτυξη του από τη Verizon και την AT&T καθυστέρησε μέχρι τις αρχές Ιανουαρίου 2022 λόγω ανησυχιών για την ασφάλεια που έθεσε η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αεροπορίας [10][11]. Οι συχνότητες χαμηλής ζώνης (όπως το n5) προσφέρουν μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης για μια δεδομένη κυψέλη, αλλά οι ρυθμοί δεδομένων τους είναι χαμηλότεροι από εκείνους των μεσαίων και υψηλών ζωνών.

Αφάνεια

Στο 5G δίκτυο, η ιδανική "καθυστέρηση αέρα" είναι της τάξης των 8 έως 12 χιλιοστών του δευτερολέπτου, δηλαδή, εξαιρουμένων των καθυστερήσεων λόγω αναμετάδοσης HARQ, παράδοσης κ.λπ. Η καθυστέρηση αναμετάδοσης και η καθυστέρηση αναμετάδοσης στον διακομιστή πρέπει να προστεθούν στην "καθυστέρηση αέρα" για σωστές συγκρίσεις. Η Verizon ανέφερε ότι η καθυστέρηση στην πρώιμη ανάπτυξη του 5G είναι 30 ms. Οι διακομιστές Edge κοντά στους πύργους μπορούν πιθανώς να μειώσουν την καθυστέρηση μεταξύ 10 και 15 χιλιοστών του δευτερολέπτου.

Η καθυστέρηση είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την παράδοση. κυμαίνονται από 50 έως 500 χιλιοστά του δευτερολέπτου ανάλογα με τον τύπο της παράδοσης. Η μείωση του χρόνου διακοπής παράδοσης είναι ένας συνεχής τομέας έρευνας και ανάπτυξης. Οι επιλογές περιλαμβάνουν την τροποποίηση του περιθωρίου παράδοσης (offset) και του time-to-trigger (TTT).

Ποσοστό σφάλματος

Το 5G χρησιμοποιεί προσαρμοστική διαμόρφωση και σχήμα κωδικοποίησης (MCS) για να διατηρεί το ποσοστό σφάλματος bit (BLER) εξαιρετικά χαμηλό. Κάθε φορά που το ποσοστό σφάλματος ξεπερνά ένα (πολύ χαμηλό) όριο, ο πομπός θα αλλάξει σε χαμηλότερο MCS, το οποίο θα είναι λιγότερο επιρρεπές σε σφάλματα. Με αυτόν τον τρόπο η ταχύτητα θυσιάζεται για να εξασφαλιστεί σχεδόν μηδενικό ποσοστό σφάλματος.

Εύρος

Το εύρος του 5G δικτύου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: ισχύ μετάδοσης, συχνότητα και παρεμβολές. Για παράδειγμα, το mmWave (π.χ.: ζώνη n258) θα έχει χαμηλότερο εύρος από το μεσαίο εύρος (π.χ.: ζώνη n78) το οποίο θα έχει χαμηλότερο εύρος από το χαμηλό εύρος (π.χ.: ζώνη n5). Δεδομένης της διαφημιστικής εκστρατείας σχετικά με το τι μπορεί να προσφέρει το 5G, προσομοιωτές και δοκιμές οδήγησης χρησιμοποιούνται από παρόχους υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας για την ακριβή μέτρηση της απόδοσης 5G.

3.3 Ιστορική Πορεία και Εξέλιξη των 5G Δικτύων

Το 5G δίκτυο είναι η πέμπτη γενιά της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας. Η ανάπτυξή του ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 2000, με τον στόχο να προσφέρει ακόμη μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων, μικρότερο χρόνο απόκρισης (latency) και μεγαλύτερη χωρητικότητα συστημάτων επικοινωνίας.

Η ανάπτυξη του 5G δίκτυο βασίζεται σε μια σειρά τεχνολογικών και αρχιτεκτονικών βελτιώσεων σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές. Αυτές περιλαμβάνουν τη χρήση υψηλότερων συχνοτήτων, την αύξηση της αποδοτικότητας του φάσματος, την εισαγωγή νέων τεχνολογιών όπως οι MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) κεραιές και η τεχνολογία beamforming, καθώς και την ανάγκη για μεγαλύτερη αποθήκευση και επεξεργαστική ισχύ στις συσκευές. Οι ταχύτητες του 5G είναι πολύ υψηλές, φτάνοντας έως και 10 Gbps για κατεβατά δεδομένα. Η χαμηλή απόκριση (latency) του 5G επιτρέπει την άμεση ανταπόκριση σε πραγματικό χρόνο, κάτι που είναι κρίσιμο για δικτυακές εφαρμογές.

Η ιστορία του 5G ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 2000, όταν η τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία άρχισε να αναζητά την επόμενη γενιά κινητής τηλεφωνίας. Οι πρώτες συζητήσεις και αναπτυξιακές προσπάθειες επικεντρώθηκαν στον καθορισμό των απαιτήσεων και των στόχων για τη νέα τεχνολογία [9]. Το 2010, η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιακών Ενώσεων (International Telecommunication Union - ITU) ξεκίνησε τη διαδικασία καθορισμού του προτύπου του 5G, γνωστού ως IMT-2020. Σημαντικές εταιρείες και φορείς τηλεπικοινωνιών, όπως η Ericsson, η Nokia, η Huawei, η Qualcomm και άλλες, συμμετείχαν στην ανάπτυξη του προτύπου. Το 2016, η πρώτη έκδοση του προτύπου 5G αποδόθηκε από την ITU, καθορίζοντας τις βασικές απαιτήσεις για την ταχύτητα, την απόκριση, τη χωρητικότητα και άλλα χαρακτηριστικά του 5G. Από τότε, η ανάπτυξη της τεχνολογίας επεκτάθηκε και προχώρησε σε πειραματικές φάσεις και δοκιμές.

Οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές του 5G ξεκίνησαν σε περιορισμένες περιοχές του κόσμου το 2019. Η Κίνα ήταν μία από τις πρώτες χώρες που κατέθεσε στην αγορά εμπορικά δίκτυα 5G, με τους παρόχους τηλεπικοινωνιών να προσφέρουν υπηρεσίες 5G σε πόλεις όπως η Σαγκάη και η Πεκίνο. Στη συνέχεια, άλλες χώρες και περιοχές ακολούθησαν, συμπεριλαμβανομένων των Ηνωμένων Πολιτειών, της Νότιας Κορέας, της Ιαπωνίας, του Ηνωμένου Βασιλείου και πολλών ακόμη. Οι παροχείς

τηλεπικοινωνιών συνεχίζουν να αναπτύσσουν και να επεκτείνουν τα δίκτυα 5G σε περισσότερες περιοχές και χώρες. Ταυτόχρονα, οι κατασκευαστές κινητών τηλεφώνων προσφέρουν συσκευές που υποστηρίζουν την τεχνολογία 5G, επιτρέποντας στους χρήστες να απολαμβάνουν τα οφέλη της υψηλής ταχύτητας και της απόκρισης του 5G.

Οι προοπτικές του 5G είναι ευρύτατες και αναμένεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις σε πολλούς τομείς της κοινωνίας και της οικονομίας. Ορισμένες από τις βασικές προοπτικές του 5G περιλαμβάνουν:

Υψηλές ταχύτητες και χαμηλή απόκριση: Το 5G θα προσφέρει εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, επιτρέποντας γρήγορη λήψη και μετάδοση πληροφοριών. Επιπλέον, η χαμηλή απόκριση (latency) του 5G θα επιτρέπει συνδέσεις σε πραγματικό χρόνο, είναι δηλαδή κρίσιμη για εφαρμογές όπως η αυτόνομη οδήγηση, οι εικονικές περιηγήσεις και οι παιχνιδιομηχανές.

Διασύνδεση των πάντων (Internet of Things - IoT): Το 5G θα επιτρέπει τη σύνδεση εκατομμυρίων συσκευών μέσω του Internet of Things. Αυτό θα δημιουργήσει ένα ολοκληρωμένο οικοσύστημα συνδεδεμένων συσκευών, από έξυπνες συσκευές στο σπίτι και την εργασία μέχρι έξυπνες πόλεις και βιομηχανικές εφαρμογές.

Καινοτομία και νέες υπηρεσίες: Η τεχνολογία 5G θα δημιουργήσει το έδαφος για καινοτόμες υπηρεσίες και εφαρμογές. Αυτές περιλαμβάνουν την επαυξημένη πραγματικότητα (AR), την εικονική πραγματικότητα (VR), την αυτόνομη οδήγηση, την απομακρυσμένη χειρουργική, την έξυπνη ενέργεια, την έξυπνη γεωργία και πολλές άλλες.

Βιομηχανικές εφαρμογές: Το 5G αναμένεται να επανασχεδιάσει τον τρόπο λειτουργίας σε βιομηχανικούς τομείς όπως οι μεταφορές, η υγεία, η παραγωγή, η

ενέργεια και άλλοι. Η χρήση του 5G θα επιτρέπει πιο αποτελεσματικές και αυτοματοποιημένες διαδικασίες, αυξημένη ασφάλεια και πιο αποδοτική χρήση των πόρων.

Συνολικά, το 5G αναμένεται να δημιουργήσει μια νέα εποχή στις τηλεπικοινωνίες και την τεχνολογία, επιτρέποντας την ανάπτυξη καινοτόμων υπηρεσιών, τη σύνδεση των πάντων και την επανασχεδίαση των τομέων της κοινωνίας και της οικονομίας.

4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ

4.1 Αλγόριθμοι μείωσης ενέργειας σε Δίκτυα 5G

Η μείωση της ενέργειας σε δίκτυα 5G είναι σημαντική για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας των δικτύων. Παρακάτω δίνεται μια σειρά από αλγόριθμους και τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της ενέργειας σε δίκτυα 5G [12][13]:

Διαχείριση Ισχύος Σταθμών Βάσης

Προσαρμογή της ισχύος με βάση την απόσταση και το φορτίο του δικτύου. Χρήση δυναμικής ισχύος για την αποφυγή υπερβολικής μετάδοσης σε περιοχές με καλή λήψη.

Βελτιστοποίηση Κεραιών

Προσαρμογή της κατεύθυνσης κεραιών για να εξυπηρετούν μόνο τις περιοχές που απαιτούν κάλυψη. Χρήση προηγμένων κεραιών που υποστηρίζουν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

Προγραμματισμός Κοινής Χρήσης Καναλιών (Channel Sharing)

Κοινή χρήση καναλιών μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών για την αποφυγή υπερβολικής διαμόρφωσης της συχνότητας.

Κοινή Υποδομή Πρόσβασης (Infrastructure Sharing)

Κοινή χρήση στοιχείων του δικτύου μεταξύ παρόχων για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση του κόστους.

Διαχείριση Φορτίου (Load Management)

Προσαρμογή της λειτουργίας του δικτύου βάσει του φορτίου και της ζήτησης για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Δυναμική Ανακατανομή Πόρων

Χρήση δυναμικής ανακατανομής των πόρων, όπως συχνότητας και ισχύος, για την αποφυγή υπερβολικής χρήσης.

Βελτιστοποίηση Κινητής Συσκευής

Χρήση μηχανισμών ύπνου (sleep modes) για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά την αναμονή. Προώθηση ενεργειακών βέλτιστων πρακτικών σε κινητές συσκευές.

Βελτιστοποίηση Δρομολογητών

Χρήση προηγμένων αλγορίθμων δρομολόγησης για τη μείωση της ενέργειας που απαιτείται για τη μεταφορά δεδομένων.

Οι παραπάνω τεχνικές χρησιμοποιούνται για τη μείωση της ενέργειας σε δίκτυα 5G. Κάθε τεχνική έχει τα πλεονεκτήματά της και είναι σημαντικό να επιλεγούν και να προσαρμοστούν σύμφωνα με τις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου δικτύου. Μεγαλύτερη βάση δίνεται στην δυνατότητα ανάπτυξης αλγορίθμων και τεχνικών για την βελτιστοποίηση των συσκευών των χρηστών.

Η βελτιστοποίηση της κινητής συσκευής είναι κρίσιμη για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την επίτευξη μεγαλύτερης διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Οι παρακάτω τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της ενέργειας στην κινητή συσκευή [14]:

Υπνοδιακοπές (Sleep Modes)

Κατά την αναμονή, η συσκευή μπορεί να εισέρχεται σε υπνοδιακοπές για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας. Οι περίοδοι υπνοδιακοπών μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με την κίνηση και την απαίτηση των δεδομένων του δικτύου.

Προσαρμογή Ισχύος Ραδιοκυμάτων

Ανάλογα με την απόσταση από τον σταθμό βάσης και την ποιότητα του σήματος, η συσκευή μπορεί να προσαρμόζει την ισχύ των ραδιοκυμάτων για να εξοικονομήσει

ενέργεια.

Διαχείριση Εφαρμογών και Δεδομένων

Κλείσιμο ή περιορισμός εφαρμογών που εκτελούνται στο παρασκήνιο και καταναλώνουν ενέργεια. Χρήση προχειροθήκης (caching) για τη μείωση της ανάγκης για συνεχή λήψη δεδομένων.

Βελτιστοποίηση Συνδεσιμότητας

Επιλογή της βέλτιστης σύνδεσης (2G, 3G, 4G, 5G) ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και την ποιότητα του σήματος.

Τοπική Επεξεργασία Δεδομένων (Edge Computing)

Μεταφορά επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων σε σταθμούς βάσης και edge servers για τη μείωση του φόρτου της συσκευής.

Επιλογή Χρονοθυρίδας (Time Scheduling)

Συγχρονισμός των περιόδων ενεργότητας και αδράνειας της συσκευής με το δίκτυο.

Χρήση Αισθητήρων για Προσδιορισμό Κατάστασης

Οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της κατάστασης του περιβάλλοντος και της χρήσης της συσκευής, επιτρέποντας την προσαρμογή της κατανάλωσης ενέργειας.

Οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται για τη βελτιστοποίηση των κινητών συσκευών σε δίκτυα 5G, επιτρέποντας τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να θυσιάζεται η επίδοση και η εμπειρία των χρηστών.

4.2 Αλγόριθμοι μείωσης παρεμβολών σε Δίκτυα 5G

Οι παρεμβολές είναι ένα σημαντικό ζήτημα σε δίκτυα 5G, καθώς μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των συνδέσεων και την απόδοση του δικτύου. Παρακάτω

δίνονται μια σειρά από αλγόριθμους και τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των παρεμβολών σε δίκτυα 5G [14]:

Συχνотική Διαχείριση Πόρων

Χρήση δυναμικής διαχείρισης των συχνοτήτων για την αποφυγή παρεμβολών μεταξύ διαφορετικών κυψελών.

Προηγμένος Σχεδιασμός Κεραιών

Βελτιστοποίηση της τοποθεσίας και της κατεύθυνσης των κεραιών για τη μείωση των παρεμβολών.

Χρήση Διαχείρισης Ισχύος

Προσαρμογή της ισχύος με βάση την απόσταση από τον σταθμό βάσης για τη μείωση των παρεμβολών.

Διαχείριση Επαναχρησιμοποιήσεις Συχνοτήτων (Frequency Reuse)

Εφαρμογή επαναχρησιμοποιήσεις συχνοτήτων για να μειωθούν οι παρεμβολές μεταξύ διαφορετικών κυψελών.

Διαχείριση Διαμόρφωσης Σήματος

Χρήση προηγμένων τεχνικών διαμόρφωσης σήματος για την αποφυγή παρεμβολών.

Προηγμένος Έλεγχος Ισχύος

Εφαρμογή διαδοχικών μετρήσεων ισχύος για την αναγνώριση περιοχών με περίοδο υψηλής παρεμβολής.

Χρήση Έξυπνων Αλγορίθμων Ροής Δεδομένων

Αναγνώριση των προτιμώμενων μονοπατιών ροής δεδομένων για τη μείωση των παρεμβολών.

Παρακολούθηση και Διαγνωστικά Εργαλεία

Χρήση εργαλείων παρακολούθησης για την ανίχνευση και αντιμετώπιση παρεμβολών κατά τη λειτουργία του δικτύου.

Αυτοί οι αλγόριθμοι και τεχνικές μπορούν να συνδυαστούν για τη μείωση των παρεμβολών σε δίκτυα 5G, βελτιώνοντας την απόδοση και την εμπειρία των χρηστών. Παρόλα αυτά σε κάθε συσκευή χρησιμοποιείται η χρήση έξυπνων αλγορίθμων ροής δεδομένων. Η χρήση έξυπνων αλγορίθμων ροής δεδομένων αποτελεί μια προηγμένη τεχνική για τη μείωση των παρεμβολών σε δίκτυα 5G. Αυτοί οι αλγόριθμοι αξιοποιούν πληροφορίες για τη δομή του δικτύου και τον τρόπο μετάδοσης των δεδομένων για να βελτιστοποιήσουν τη ροή των δεδομένων και να μειώσουν τις παρεμβολές. Οι έξυπνοι αλγόριθμοι ροής δεδομένων αναλύουν την πορεία των δεδομένων μέσα στο δίκτυο, προσπαθώντας να εντοπίσουν τα βέλτιστα μονοπάτια και τις χρονικές στιγμές μετάδοσης για να μειώσουν τις παρεμβολές.

Ανίχνευση Σημείων Παρεμβολής

Οι αλγόριθμοι αναλύουν την παραμόρφωση του σήματος λόγω παρεμβολών και προσπαθούν να ανιχνεύσουν τα σημεία με υψηλή πιθανότητα παρεμβολών.

Αναγνώριση Βέλτιστων Μονοπατιών

Βάσει της τοπολογίας του δικτύου και των χαρακτηριστικών μετάδοσης, οι αλγόριθμοι επιλέγουν τα βέλτιστα μονοπάτια για τη ροή των δεδομένων με ελάχιστες παρεμβολές.

Δυναμική Προσαρμογή Ροής Δεδομένων

Οι αλγόριθμοι προσαρμόζουν δυναμικά τη ροή των δεδομένων βάσει της κατάστασης του δικτύου, των φορτίων και των παρεμβολών, προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσουν τις παρεμβολές.

Συνεργασία Κυψελών και Συσκευών

Οι αλγόριθμοι μπορούν να συνεργαστούν μεταξύ διαφορετικών κυψελών και συσκευών για τη βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης του δικτύου.

Προσομοίωση και Μηχανική Μάθηση

Οι έξυπνοι αλγόριθμοι ροής δεδομένων μπορούν να βασίζονται σε προσομοιώσεις και αναλύσεις δεδομένων για την εύρεση βέλτιστων παραμέτρων. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μηχανική μάθηση για να εκπαιδεύσει μοντέλα πρόβλεψης παρεμβολών.

Οι έξυπνοι αλγόριθμοι ροής δεδομένων αποτελούν ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο έρευνας για τη μείωση των παρεμβολών και τη βελτίωση της απόδοσης των δικτύων 5G. Επιτρέπουν την προηγμένη διαχείριση των πορών με βάση την κατάσταση του δικτύου και την παρούσα κίνηση των δεδομένων.

Διαπιστώνουμε και στις δύο περιπτώσεις και της μείωσης ενέργειας και της μείωσης των παρεμβολών η δυνατότητα διαχείρισης με έξυπνο τρόπο των εφαρμογών καθώς και συνδέσεων της συσκευής με τον πιο αποδοτικό τρόπο.

4.3 Έξυπνοι Αλγόριθμοι μείωσης κατανάλωσης σε Δίκτυα 5G

Οι έξυπνοι αλγόριθμοι μείωσης κατανάλωσης ενέργειας σε δίκτυα και συσκευές 5G αποτελούν σημαντικό τμήμα της ανάπτυξης των νέων γενιών ασύρματων επικοινωνιών, καθώς βοηθούν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, της ρύπανσης και του κόστους λειτουργίας. Οι αλγόριθμοι αυτοί εφαρμόζονται σε διάφορα επίπεδα του συστήματος επικοινωνιών 5G, συμπεριλαμβανομένων των βάσεων σταθμών, των συσκευών των χρηστών (όπως smartphones και IoT συσκευές), καθώς και στο διαχειριστικό επίπεδο του δικτύου [16][17].

Ορισμένες από τις βασικές αρχές και τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους αλγόριθμους περιλαμβάνουν [17][18]:

Διαχείριση Ενέργειας σε Συσκευές Χρηστών: Οι συσκευές των χρηστών συχνά πρέπει να προσαρμόζουν την κατανάλωσή τους ανάλογα με τις απαιτήσεις επικοινωνίας και το περιβάλλον. Οι έξυπνοι αλγόριθμοι επιτρέπουν τη δυναμική ρύθμιση της ισχύος μετάδοσης, των συχνοτήτων και άλλων παραμέτρων για να εξοικονομούν ενέργεια

όταν δεν χρειάζεται πολύ μεγάλη ευαισθησία ή ταχύτητα.

Εξομάλυνση Φορτίου στο Δίκτυο: Ένας αλγόριθμος μπορεί να διαχειρίζεται την κατανάλωση ενέργειας στους βάσεις σταθμούς και τις πυρήνες του δικτύου 5G. Με τον τρόπο αυτό, το φορτίο μπορεί να κατανέμεται ομαλά μεταξύ των σταθμών, εξοικονομώντας ενέργεια και βελτιώνοντας την απόδοση του δικτύου.

Συγχρονισμός και Προγραμματισμός Εργασιών: Οι αλγόριθμοι μπορούν να ελέγχουν τον χρονισμό εργασιών όπως η ενημέρωση των δεδομένων, η εκπομπή και η λήψη πακέτων δεδομένων, ώστε να εξοικονομούν ενέργεια και να αποφεύγουν την υπερκατανάλωση ενέργειας.

Εξοικονόμηση Ενέργειας στον Υπολογισμό: Στο επίπεδο των συσκευών, οι αλγόριθμοι μπορούν να βελτιστοποιούν τη χρήση των επεξεργαστικών μονάδων και των αισθητήρων για να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της προσαρμογής των συχνοτήτων λειτουργίας, της αποσυνδεσμοποίησης ανενεργών εξαρτημάτων, και της ενσωμάτωσης ύπνου ή χαμηλής κατανάλωσης κατά τη διάρκεια της αδράνειας.

Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι έξυπνοι αλγόριθμοι μπορούν να συνεργαστούν με την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή ή η αιολική ενέργεια, για να μειώσουν την εξάρτηση από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας.

Οι έξυπνοι αλγόριθμοι μείωσης κατανάλωσης ενέργειας σε δίκτυα και συσκευές 5G αποτελούν κρίσιμο εργαλείο για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας και απόδοσης στις νέες ασύρματες επικοινωνίες. Αυτοί οι αλγόριθμοι συνδυάζουν την τεχνολογία με την ανάγκη για βελτιωμένη απόδοση και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, βοηθώντας έτσι στην εξέλιξη της τεχνολογίας 5G και τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των δικτύων και των συσκευών. Η εφαρμογή έξυπνων αλγορίθμων απαιτεί την χρήση μηχανικής μάθησης μέσα από τα ιστορικά δεδομένα που λαμβάνονται από τις αντίστοιχες συσκευές. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης ακολουθούν την αρχή της "μάθησης από τα δεδομένα". Ο βασικός στόχος κάθε μοντέλου μηχανικής μάθησης είναι να δημιουργήσει ένα σύστημα που θα προβλέπει

τιμές με μέγιστη ακρίβεια σε σχέση με αυτές που εκτιμούν οι ειδικοί. Για τον σκοπό αυτό, κάθε μοντέλο χρησιμοποιεί ένα σύνολο εκπαίδευσης και ένα ή περισσότερα σύνολα ελέγχου για να αξιολογήσει την απόδοσή του.

Τα μοντέλα αυτά λαμβάνουν ως είσοδο τα δεδομένα και τις εκτιμήσεις, και στη συνέχεια ακολουθούν μια διαδικασία με σκοπό να επιτύχουν το υψηλότερο δυνατό ποσοστό πρόβλεψης, που αποτελεί το κριτήριο τερματισμού για κάθε μοντέλο.

Αντίθετα με τη στατιστική, η μηχανική μάθηση δεν απαιτεί προαπαιτούμενες υποθέσεις σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Στη μηχανική μάθηση, απλά πρέπει να παρασχεθούν όλα τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί, και ο αλγόριθμος αναλαμβάνει την επεξεργασία τους και την ανακάλυψη των προτύπων για την πρόβλεψη σε νέα σύνολα δεδομένων (σετ ελέγχου). Οι μοντέλα μηχανικής μάθησης αντιμετωπίζονται σαν "μαύρα κουτιά," καθώς δεν απαιτείται αναλυτική κατανόηση του αλγορίθμου κατά τη λειτουργία του.

Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε σύνολα δεδομένων με πολλές διαστάσεις (πολλές μεταβλητές) ή πολλές καταγραφές (παρατηρήσεις). Με την αύξηση των δεδομένων, η πρόβλεψη των μοντέλων γίνεται πιο ακριβής. Συνεπώς, η μηχανική μάθηση λειτουργεί διαφορετικά από τη στατιστική, καθώς δεν απαιτεί την κατανόηση των στατιστικών ιδιοτήτων των δεδομένων. Εν τέλει, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης προσπαθούν να ανακαλύψουν τη σύνθεση των παραγόντων με τέτοιο τρόπο που να ικανοποιεί τα δεδομένα και τα αποτελέσματα χωρίς απαραίτητα να εξηγεί τη φυσική αιτία. Σε πολυπαραγοντικά συστήματα, αυτά τα μοντέλα διαμορφώνουν πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ των παραγόντων, πολλές φορές χωρίς απόλυτη κατανόηση του "γιατί" πίσω από αυτές. Κατά κάποιον τρόπο, λειτουργούν όπως ένα φυσικό σύστημα που απλά "μαθαίνει", όπως ένα παιδί που αναπτύσσεται και μαθαίνει να εκτελεί πράξεις. Ο τρόπος που τα νευρωνικά δίκτυα λειτουργούν ανάμεσα σε νευρώνες, προκειμένου να παράγεται ένα αποτέλεσμα, είναι συχνά δυσνόητος. Σε πολλές περιπτώσεις η εφαρμογή των έξυπνων αλγορίθμων

απαιτεί μοντέλα μάθησης όπως τα νευρωνικά δίκτυα [18].

Ένα νευρωνικό δίκτυο, γνωστό και ως τεχνητό νευρωνικό δίκτυο, αποτελείται από τεχνητούς νευρώνες ή κόμβους και αποτελεί ένα σύνθετο κύκλωμα που χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων τεχνητής νοημοσύνης (AI). Τα νευρωνικά δίκτυα μπορεί να είναι είτε βιολογικά, αποτελούμενα από πραγματικούς βιολογικούς νευρώνες, είτε τεχνητά, κατασκευασμένα για τον σκοπό της επίλυσης προβλημάτων. Στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, οι συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων ορίζονται από βάρη. Θετικά βάρη αντιπροσωπεύουν διεγερτικές συνδέσεις, ενώ αρνητικές τιμές αντιπροσωπεύουν ανασταλτικές συνδέσεις. Όλες οι εισόδοι λαμβάνονται υπόψη και αθροίζονται, μια διαδικασία που αναφέρεται ως γραμμικός συνδυασμός. Τέλος, μια λειτουργία ενεργοποίησης ελέγχει το πλάτος της εξόδου, συνήθως περιορίζοντάς το σε ένα αποδεκτό εύρος, όπως μεταξύ 0 και 1, ή μεταξύ -1 και 1.

Αυτά τα τεχνητά νευρικά δίκτυα χρησιμοποιούνται ευρέως για προβλεπτική μοντελοποίηση, προσαρμοστικό έλεγχο και εφαρμογές όπου μπορούν να εκπαιδευτούν με χρήση συνόλων δεδομένων. Η αυτόματη μάθηση μέσω εμπειρίας μπορεί να επιτευχθεί με αυτά τα δίκτυα, τα οποία μπορούν να ανακαλύψουν μοτίβα από πολύπλοκες και φαινομενικά ανεξάρτητες συλλογές πληροφοριών. Τα νευρωνικά δίκτυα είναι αποτελεσματικά σε πολλές εφαρμογές, όπου οι σχέσεις μεταξύ των δεδομένων είναι πολύπλοκες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ εισόδων και εξόδων, καθώς και για την ανίχνευση μοτίβων στα δεδομένα [19].

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μπορούν να προσαρμοστούν σε νέες πληροφορίες, και αλλάζουν τη δομή τους ανάλογα με το περιβάλλον ή την εργασία που διεκπεραιώνουν. Είναι χρήσιμα σε εφαρμογές όπου η πολυπλοκότητα των δεδομένων ή των εργασιών καθιστά δύσκολο τον χειροκίνητο σχεδιασμό αντίστοιχων λειτουργιών. Οι περιοχές όπου χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν την προσέγγιση

συναρτήσεων, την ταξινόμηση, την επεξεργασία δεδομένων, την αναγνώριση προτύπων, την αναγνώριση ακολουθιών και πολλά άλλα πεδία εφαρμογών, όπως η ιατρική διάγνωση, η ανίχνευση αντικειμένων, και η εξόρυξη δεδομένων [19].

5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ

5.1 Η έννοια και ανάγκη της Προσομοίωσης

Στόχος κάθε εταιρείας, κρατικής υπηρεσίας, εκπαιδευτικού ιδρύματος, επιστημονικής μελέτης είναι η ανάπτυξη ενός ισχυρού και ανταγωνιστικού πλαισίου στον τρόπο που θα παρέχει τις υπηρεσίες του ή τις πωλήσεις των αγαθών που παρέχει. Μόνο η μείωση κόστους και βελτίωση ποιότητας δεν επαρκούν για την επίτευξη ενός σημαντικού μεριδίου αγοράς. Οι οργανισμοί πρέπει επίσης να είναι σε θέση να αναπτύσσουν γρήγορα και να παρέχουν καινοτόμα νέα προϊόντα και υπηρεσίες. Η καινοτομία, η ποιότητα, η παραγωγικότητα και η ταχύτητα είναι τα κλειδιά για να είναι οι εταιρείες ανταγωνιστικές [20].

Ένας τρόπος για τη μεγιστοποίηση της ανταγωνιστικότητας είναι η βελτίωση των λειτουργικών συστημάτων και διαδικασιών με [20] την εξάλειψη μη ουσιωδών βημάτων και λειτουργιών που δεν προσθέτουν αξία, την εφαρμογή και εισαγωγή τεχνολογίας όπου χρειάζεται, την διαχείριση της ανάπτυξης και της χρήσης κρίσιμων πόρων και τον προσδιορισμό βασικών παραγόντων κόστους για μείωση ή εξάλειψη.

Παρά τις πρόσφατες και ραγδαίες εξελίξεις στην τεχνολογία, πολλές εταιρείες και ιδρύματα εξακολουθούν να διαθέτουν ξεπερασμένο εξοπλισμό και να ακολουθούν αναποτελεσματικές πρακτικές εργασίας. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο κόστος και το χρόνο που απαιτείται για την εξερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων λειτουργίας και τη δοκιμή νέων τεχνολογιών σε πραγματικά συστήματα και διαδικασίες. Η προσομοίωση ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας παρέχει μια γρήγορη και οικονομικά αποδοτική μέθοδο για τον προσδιορισμό του αντίκτυπου, της αξίας και του κόστους των αλλαγών, επικυρώνοντας έτσι τις προτεινόμενες βελτιώσεις και μειώνοντας την αντίσταση στην αλλαγή. Η λύση στα παραπάνω είναι η προσομοίωση.

Το Merriam-Webster OnLine Dictionary ορίζει την προσομοίωση ως «τη μιμητική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας». Έτσι για να

καθοριστεί πώς λειτουργεί ένα πραγματικό σύστημα, θα δημιουργήσουμε ένα μοντέλο του συστήματος και θα δούμε πώς το μοντέλο λειτουργεί. Οι προσομοιώσεις εκτελούνται σε χρόνο προσομοίωσης, μια αφαίρεση πραγματικού χρόνου. Καθώς το ρολόι προσομοίωσης προχωρά, το μοντέλο καθορίζει εάν υπήρξαν αλλαγές, υπολογίζει εκ νέου τις τιμές του και τα αποτελέσματα. Εάν το μοντέλο είναι έγκυρο, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα αντανακλούν την απόδοση ή συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος.

Τα μοντέλα προσομοίωσης επιτρέπουν τη συμπίεση του χρόνου, δεν διαταράσσουν το υπάρχον σύστημα και είναι πιο ευέλικτα από τα πραγματικά συστήματα. Παρέχουν επίσης μετρήσεις για ουσιαστική ανάλυση και στρατηγικό σχεδιασμό. Η προσομοίωση μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς να απαντήσουν σε ερωτήσεις σχετικά με το πώς λειτουργούν: τι κάνουν, γιατί το κάνουν, πως το κάνουν, πόσο κοστίζει, πώς μπορεί να αλλάξει και ποιες θα είναι οι επιπτώσεις των αλλαγών. Η προσομοίωση επιτρέπει να εξετάσει κάποιος πώς θα αποδώσει μια δραστηριότητα στον πραγματικό κόσμο υπό διαφορετικές συνθήκες και να δοκιμαστούν διάφορες υποθέσεις ή εναλλακτικές λύσεις με ένα κλάσμα του κόστους εκτέλεσης της πραγματικής δραστηριότητας. Επιτρέπει επίσης την αναζήτηση την επίδραση της πραγματοποίησης τροποποιήσεων σε συστήματα που δεν είναι προσβάσιμα, σε συστήματα και διεργασίες που δεν υπάρχουν ακόμη ή όπου η πραγματοποίηση αλλαγών θα ήταν επικίνδυνη ή απαγορευμένη.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι ότι μπορούμε να ξεκινήσουμε με μια απλή προσέγγιση μιας διαδικασίας και σταδιακά να βελτιώσουμε το μοντέλο καθώς βελτιώνεται η κατανόησή για τη διαδικασία. Αυτή η "σταδιακή βελτίωση" δίνει τη δυνατότητα να επιτύχουμε καλές προσεγγίσεις πολύ περίπλοκων προβλημάτων εκπληκτικά γρήγορα. Καθώς προσθέτουμε βελτιώσεις, το μοντέλο μιμείται περισσότερο την πραγματική διαδικασία.

Μια σημαντική πτυχή της ανάπτυξης στρατηγικής, η προσομοίωση βοηθά να κατανοήσουμε πολύπλοκα συστήματα και να παράγουμε καλύτερα αποτελέσματα

γρηγορότερα, επειδή προβλέπουμε την πορεία και τα αποτελέσματα ορισμένων ενεργειών. Αποκτούμε διορατικότητα και διεγείρουμε τη δημιουργική σκέψη. Οπτικοποιούμε τις διαδικασίες λογικά ή σε εικονικό περιβάλλον. Προσδιορίζουμε προβληματικές περιοχές πριν από την εφαρμογή. Εξερευνούμε τις πιθανές επιπτώσεις των τροποποιήσεων. Τέλος, επιβεβαιώνουμε ότι όλες οι μεταβλητές που είναι γνωστές.

5.2 Μοντελοποίηση Δικτύων

Όπως αναφέραμε η προσομοίωση αφορά τον τρόπο που διαδικασίες δυνητικά θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να ολοκληρωθεί ένας στόχος. Σημαντικό λοιπόν είναι ο ορισμός ενός μοντέλου διαδικασιών δηλαδή τις σχέσεις που έχει η κάθε διαδικασία με άλλες ώστε να ξεκινήσει ή να ολοκληρωθεί καθώς και το τι απαιτεί η κάθε μια ώστε να λειτουργήσει [20].

Η Μοντελοποίηση Δικτύων αποτελεί μια διαδικασία που στόχο έχει τη βελτίωση της απόδοσης μίας επιχείρησης ώστε μέσω δημιουργίας μοντέλων διαδικασιών να μπορεί να ελέγξει το κάθε βήμα για την ολοκλήρωση ενός στόχου. Η προσομοίωση δικτύου είναι ένα είδος μεθόδου στην έρευνα ενός δικτύου υπολογιστών όπου ένα πρόγραμμα λογισμικού διαμορφώνει την απόδοση ενός δικτύου αναλύοντας τις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων οντοτήτων δικτύου όπως συνδέσεις, Nswitched, δρομολογητές, κόμβους, σημεία πρόσβασης. Η απόδοση του δικτύου, οι διάφορες εφαρμογές, οι υπηρεσίες και οι υποστηρίξεις μπορούν να παρακολουθούνται σε ένα εργαστήριο ανάλυσης. Διαφορετικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος χώρου μπορούν επίσης να αλλάξουν με ελεγχόμενο τρόπο για να αξιολογηθεί η απόδοση του δικτύου ή των πρωτοκόλλων κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Για την Μοντελοποίηση και προσομοίωση Δικτύων έχουν εμφανιστεί εργαλεία που βοηθούν στην εφαρμογή όπως Matlab, Omnet, Opnet, Packet Tracer, GSM Simulator, NS Simulator, κ.α.

5.3 Το λογισμικό OMNET++

Το OMNeT++ είναι μια επεκτάσιμη, αρθρωτή, βασισμένη σε στοιχεία βιβλιοθήκη με πλαίσιο προσομοίωσης C++, κυρίως για την κατασκευή προσομοιωτών δικτύων. Το "δίκτυο" εννοείται με μια ευρύτερη έννοια που περιλαμβάνει ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας, δίκτυα σε τσιπ, δίκτυα ουράς κ.λπ. Λειτουργικότητα ειδικού τομέα, όπως υποστήριξη για δίκτυα αισθητήρων, ασύρματα ad-hoc δίκτυα, πρωτόκολλα διαδικτύου, μοντελοποίηση απόδοσης, φωτονικά δίκτυα κ.λπ., παρέχονται από πλαίσια μοντέλων, που αναπτύχθηκαν ως ανεξάρτητα έργα [21].

Το OMNeT++ προσφέρει ένα IDE που βασίζεται στο Eclipse, ένα γραφικό περιβάλλον χρόνου εκτέλεσης και μια σειρά από άλλα εργαλεία. Υπάρχουν επεκτάσεις για προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο, εξομοίωση δικτύου, ενοποίηση βάσεων δεδομένων, ενοποίηση SystemC και πολλές άλλες λειτουργίες. Το OMNeT++ διανέμεται υπό την Ακαδημαϊκή Δημόσια Άδεια.

Αν και το OMNeT++ δεν είναι ο ίδιος προσομοιωτής δικτύου, έχει αποκτήσει ευρεία δημοτικότητα ως πλατφόρμα προσομοίωσης δικτύου στην επιστημονική κοινότητα καθώς και σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, και έχει δημιουργήσει μια μεγάλη κοινότητα χρηστών.

Το OMNeT++ παρέχει μια αρχιτεκτονική στοιχείων για μοντέλα. Τα εξαρτήματα (modules) προγραμματίζονται σε C++ και στη συνέχεια συναρμολογούνται σε μεγαλύτερα στοιχεία και μοντέλα χρησιμοποιώντας μια γλώσσα υψηλού επιπέδου (NED). Η επαναχρησιμοποίηση των μοντέλων παρέχεται δωρεάν. Το OMNeT++ διαθέτει εκτεταμένη υποστήριξη GUI και λόγω της αρθρωτής αρχιτεκτονικής του, ο πυρήνας προσομοίωσης (και τα μοντέλα) μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στις εφαρμογές σας.

Συστατικά

Τα κύρια συστατικά του OMNeT++ είναι [21][22] η βιβλιοθήκη πυρήνα προσομοίωσης (C++), η γλώσσα περιγραφής τοπολογίας NED, το IDE προσομοίωσης

που είναι βασισμένο στην πλατφόρμα Eclipse. Επιτρέπει την διαδραστική προσομοίωση χρόνου εκτέλεσης GUI (Qtens), την διεπαφή γραμμής εντολών για εκτέλεση προσομοίωσης (Cmdenv). Παρέχει βοηθητικά προγράμματα (εργαλείο δημιουργίας αρχείων makefile, κ.λπ.). Τέλος προσφέρει την τεκμηρίωση, προσομοιώσεις δειγμάτων κ.λπ.

Για γίνει κατανοητό η λειτουργία της εφαρμογής του OMNET++ δίνεται το παρακάτω παράδειγμα για την κατασκευή και προσομοίωση ενός απλού δικτύου.

Ενα απλό δίκτυο στο OMNeT++ για να δημιουργηθεί πρέπει να γίνουν τα παρακάτω βήματα:

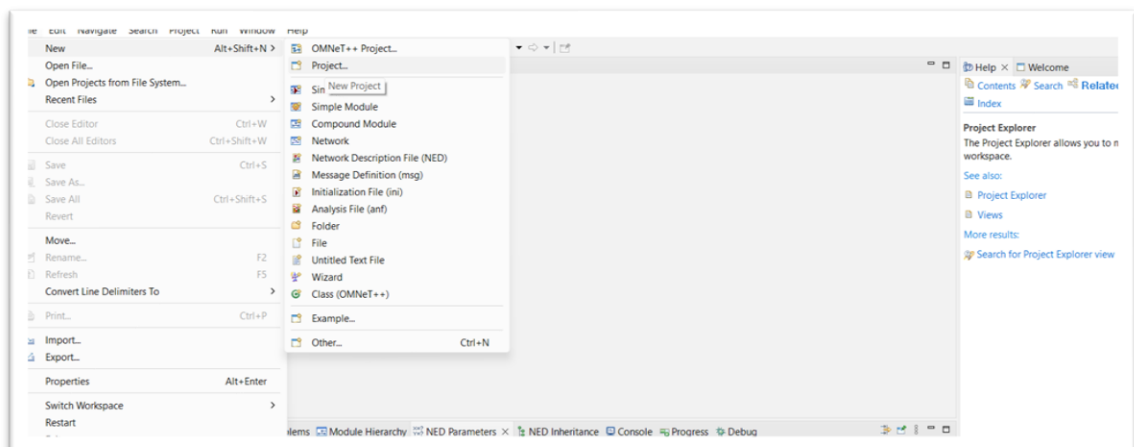
Εγκατάσταση του OMNeT++:

Αρχικά γίνεται download της τελευταίας έκδοσης του OMNeT++ από την επίσημη ιστοσελίδα: <https://omnetpp.org/download/>

Δημιουργία Έργου (Project):

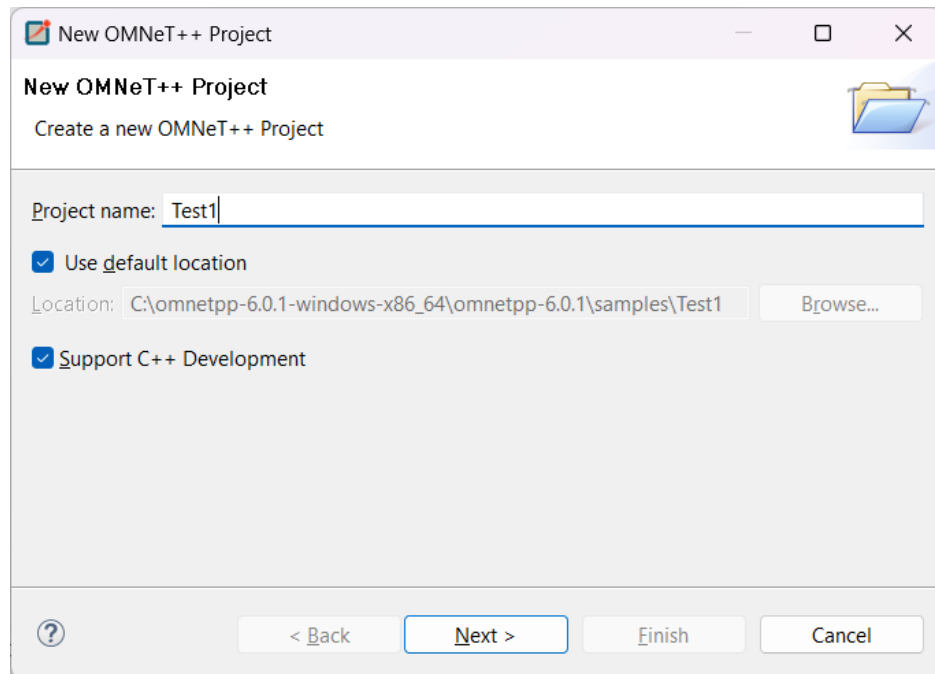
Ανοίγουμε το OMNeT++ IDE και δημιουργούμε ένα νέο έργο:

Δίνοντας "File" > "New" > "OMNeT++ Project". (Εικόνα 4)

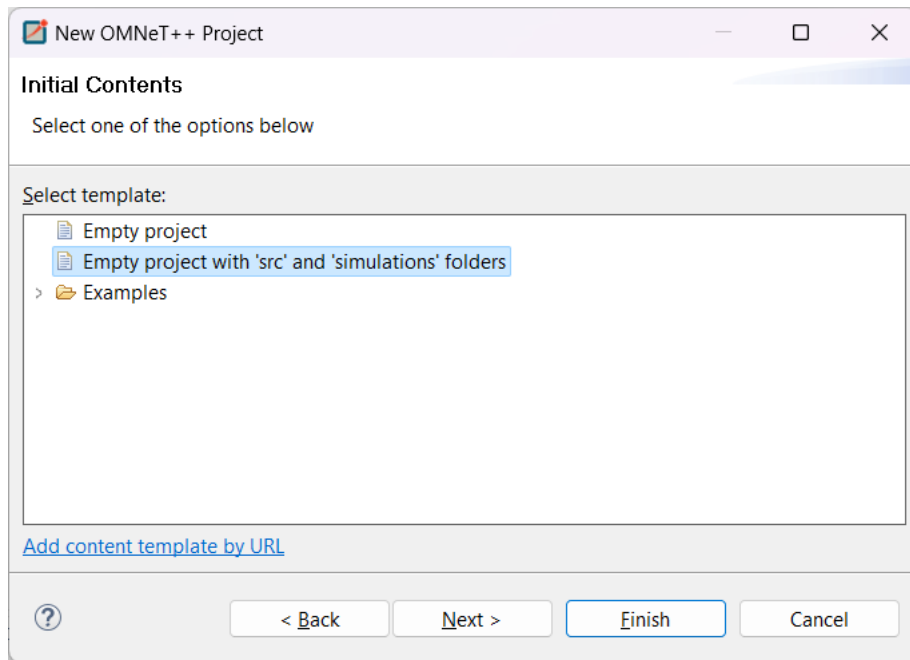


Εικόνα 4. Δημιουργία ενός Project OMNET++

Δίνουμε ένα όνομα στο έργο και επιλέγουμε τον τύπο "Empty Project". (εικόνα 5, 6)



Εικόνα 5. Δημιουργία νέου Project

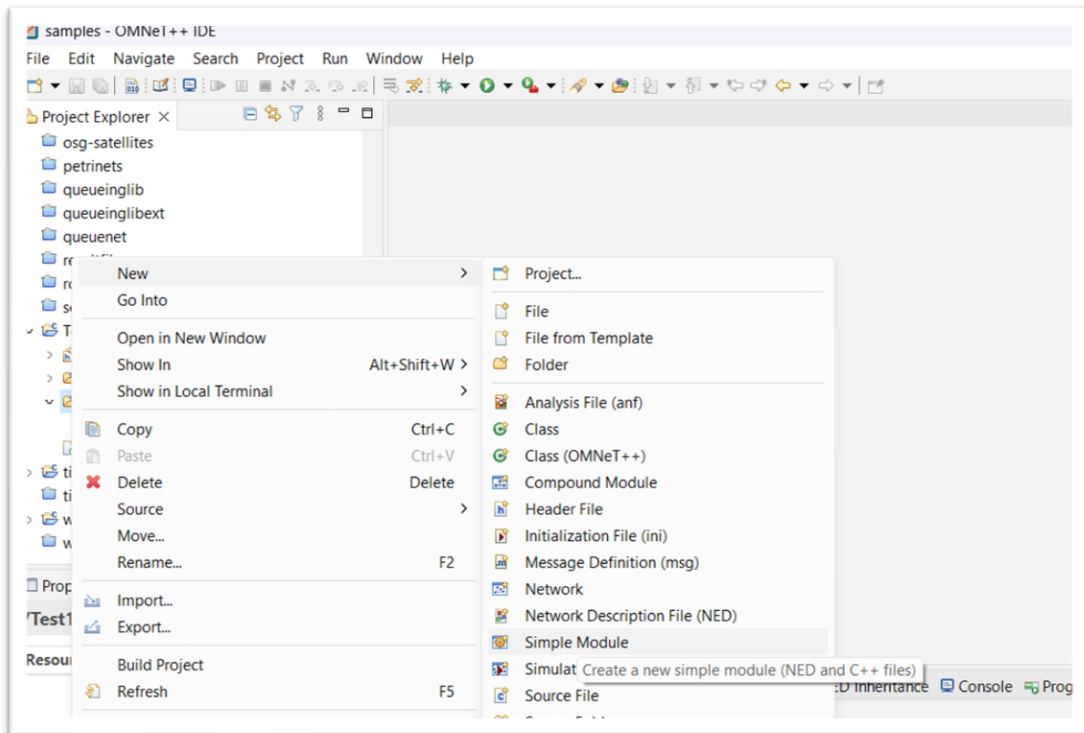


Εικόνα 6. Επιλογή Empty Project

Δημιουργία Συνιστώσας (Module):

Δεξί κλικ στον φάκελο "src" του έργου και επιλέγουμε "New" > "Simple Module"
(εικόνα 7)

Δίνουμε ένα όνομα στη συνιστώσα (π.χ. "Node").



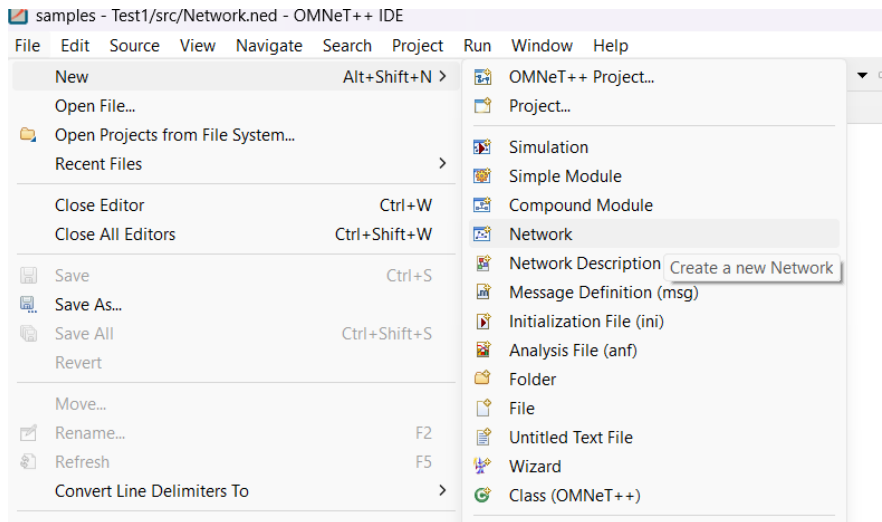
Εικόνα 7. Δημιουργία Module

Σχεδίαση του Δικτύου:

Ανοίγουμε τον φάκελο της συνιστώσας στον οποίο θέλουμε να προσθέσουμε τη συνιστώσα.

Δεξί κλικ στον φάκελο και επιλέγουμε "New" > "Network". (εικόνα 8)

Δίνουμε ένα όνομα στο δίκτυο (π.χ. "Network").



Εικόνα 8. Προσθήκη Δικτύου

Προσθήκη Κόμβων:

Ανοίγουμε το node.ned στον Editor και προσθέτουμε στο source τον παρακάτω κώδικα:

```
simple Node
{
  gates:
    input in;
    output out;
}
```

Στην συνέχεια δίνουμε τους κόμβους που θέλουμε δίνοντας τον παρακάτω κώδικα στο Network.ned

```
package test1;

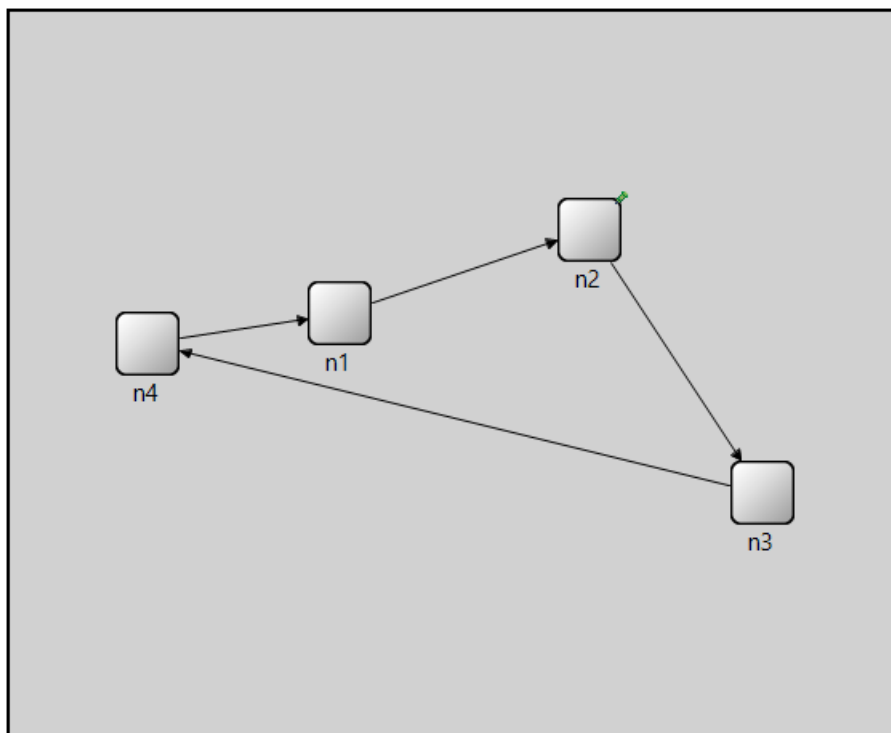
network Network
{
  submodules:
    n1: Node;
    n2: Node {
      @display("p=362,136");
    }
}
```

```
}
n3: Node;
n4: Node;
connections:
n1.out --> { delay = 100ms; } --> n2.in;

n2.out --> { delay = 100ms; } --> n3.in;

n3.out --> { delay = 100ms; } --> n4.in;
n4.out --> { delay = 100ms; } --> n1.in;
}
```

Ουσιαστικά ορίσαμε ένα δίκτυο δακτύλιο όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 9)



Εικόνα 9. Δίκτυο Δακτυλίου στο OMNET++

Προγραμματισμός των Κόμβων:

Ανοίγουμε τον φάκελο του κάθε κόμβου και το αρχείο ".cc" για να προγραμματίσουμε τη συμπεριφορά του.

Ορίζουμε την παρακάτω διαδικασία όπου ο πρώτος κόμβος στέλνει ένα μήνυμα που θα γυρίζει γύρω γύρω στο δίκτυο.

Προσομοίωση:

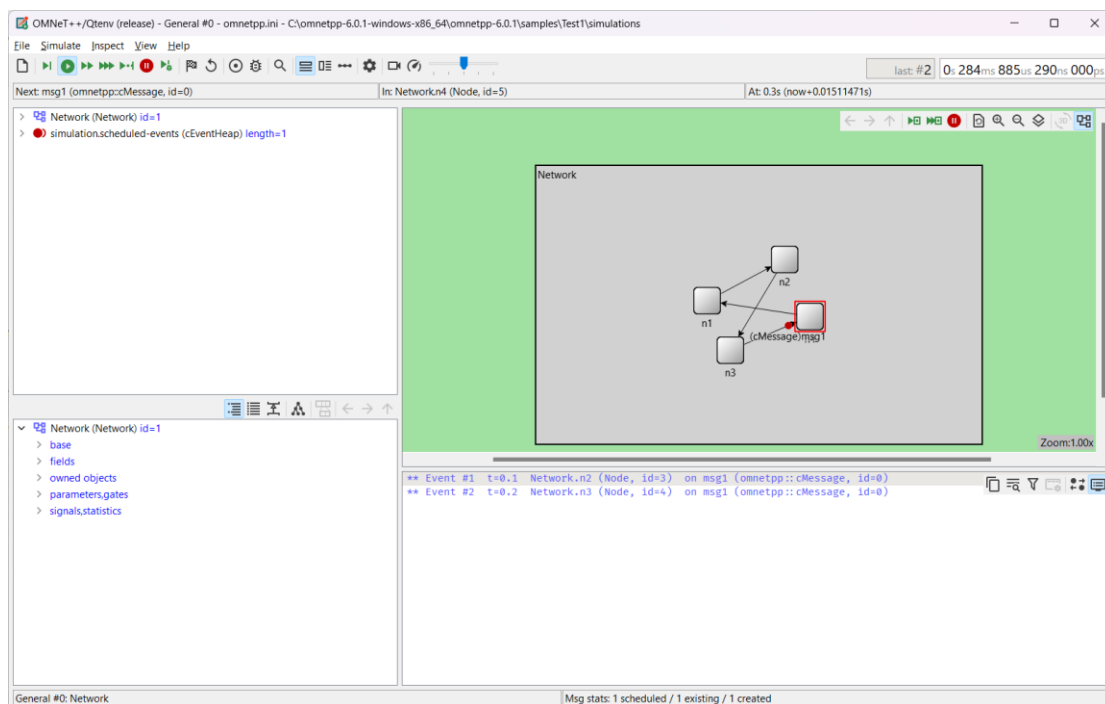
Στην συνέχεια στο αρχείο omnetpp.ini ορίζουμε τις ρυθμίσεις της προσομοίωσης.

Στο omnetpp.ini απλά ορίζουμε το δίκτυο μας με τον παρακάτω κώδικα:

```
[General]
network=test1.Network
```

Εκτέλεση της Προσομοίωσης:

Πατώντας Run ξεκινούμε την προσομοίωση του δικτύου



Εικόνα 10. Εκτέλεση Προσομοίωσης Δικτύου

Τα παραπάνω βασικά βήματα αφορούν την δημιουργία ενός απλού δικτύου στο OMNeT++. Φυσικά στο Omnet++ μπορούμε να ορίσουμε πίνακες με κόμβους, ειδικές συμπεριφορές , πρωτόκολλα κ.α. καθώς και χρόνους προσομοίωσης σε γραφήματα κ.α. Το παραπάνω παράδειγμα είναι μια μικρή εισαγωγή για την κατανόηση του OMNET++.

6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ORENMP ΣΕ 5G ΔΙΚΤΥΑ

6.1 Αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για μείωση παρεμβολών και κατανάλωσης ενέργειας

Στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας, έχουν μελετηθεί δύο αλγόριθμοι μείωσης παρεμβολών και κατανάλωσης ενέργειας σε 5G δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα ο αλγόριθμος Sleeping Cells και ο Interference Management.

Οι αλγόριθμοι Sleeping Cells, γνωστοί και ως Τεχνικές Εξοικονόμησης Ενέργειας, είναι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται σε ασύρματα δίκτυα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των στοιχείων του δικτύου, όπως οι συσκευές, οι σταθμοί βάσης ή τα σημεία πρόσβασης, τοποθετώντας τα σε καταστάσεις αδράνειας χαμηλής κατανάλωσης κατά τη διάρκεια περιόδων αδράνειας. Οι αλγόριθμοι Sleeping Cells λειτουργούν με τη δυναμική διαχείριση των καταστάσεων ύπνου και αφύπνισης των στοιχείων δικτύου με βάση τα μοτίβα κυκλοφορίας και τις απαιτήσεις επικοινωνίας των συσκευών. Όταν μια συσκευή δεν εκπέμπει ή δεν λαμβάνει ενεργά δεδομένα, ο αλγόριθμος δίνει εντολή στη συσκευή να εισέλθει σε κατάσταση ύπνου χαμηλής κατανάλωσης, όπου καταναλώνει σημαντικά λιγότερη ενέργεια. Οι συσκευές ξυπνούν περιοδικά για να ελέγξουν για εισερχόμενα δεδομένα ή για να μεταδώσουν δεδομένα εάν χρειάζεται. Η συχνότητα και η διάρκεια αφύπνισης μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον αλγόριθμο και τις συνθήκες δικτύου.

Οι αλγόριθμοι Sleeping Cells έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Κάποια βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης τους είναι τα παρακάτω:

Ενεργειακή απόδοση: Τα κελιά ύπνου μειώνουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας τα ιδανικά για συσκευές που τροφοδοτούνται με μπαταρία, όπως αισθητήρες IoT ή κινητά τηλέφωνα. Αυτό επεκτείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και μειώνει το λειτουργικό κόστος.

Μειωμένες παρεμβολές: Θέτοντας τις συσκευές σε κατάσταση αδράνειας όταν δεν χρησιμοποιούνται, τα Sleeping Cells μπορούν να μειώσουν τις παρεμβολές στο δίκτυο, οδηγώντας σε βελτιωμένη συνολική απόδοση του δικτύου.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας είναι φιλική προς το περιβάλλον, καθώς μειώνει το αποτύπωμα άνθρακα που σχετίζεται με τα ασύρματα δίκτυα.

Επεκτασιμότητα: Τα Sleeping Cells μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε δίκτυα μικρής

όσο και σε μεγάλης κλίμακας, καθιστώντας τα ευέλικτα για διάφορες εφαρμογές.

Στα μειονεκτήματα εντάσσονται:

Latency: Ο κύκλος ύπνου-αφύπνισης μπορεί να εισάγει λανθάνουσα κατάσταση όταν οι συσκευές πρέπει να ξυπνήσουν πριν από τη μετάδοση ή τη λήψη δεδομένων. Αυτή η καθυστέρηση ενδέχεται να μην είναι κατάλληλη για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο ή σε εφαρμογές χαμηλής καθυστέρησης.

Πολυπλοκότητα: Η εφαρμογή αλγορίθμων Sleeping Cells μπορεί να είναι περίπλοκη, απαιτώντας προσεκτικό συγχρονισμό και συντονισμό μεταξύ των συσκευών δικτύου. Ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση των προγραμμάτων ύπνου μπορεί επίσης να είναι πρόκληση.

Trade Offs: Συχνά υπάρχει αντιστάθμιση μεταξύ της εξοικονόμησης ενέργειας και της ανταπόκρισης του δικτύου. Οι επιθετικές ρυθμίσεις εξοικονόμησης ενέργειας ενδέχεται να οδηγήσουν σε μεγαλύτερες καθυστερήσεις κατά την αφύπνιση των συσκευών, επηρεάζοντας την εμπειρία του χρήστη.

Επιβάρυνση δικτύου: Η διαδικασία μετάβασης μεταξύ των καταστάσεων ύπνου και εγρήγορσης μπορεί να εισάγει επιβάρυνση στο δίκτυο, ειδικά όταν εμπλέκονται πολλές συσκευές.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές των αλγορίθμων Sleeping Cells, συμπεριλαμβανομένων στατικών και δυναμικών προσεγγίσεων. Οι δυναμικοί αλγόριθμοι προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες δικτύου και τα φορτία κυκλοφορίας, ενώ οι στατικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν προκαθορισμένα χρονοδιαγράμματα ύπνου. Οι κοινοί δυναμικοί αλγόριθμοι περιλαμβάνουν Listen-While-Talk (LWT) και διάφορες τεχνικές duty cycling. Οι στατικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούν συχνά σταθερούς κύκλους λειτουργίας όπου οι συσκευές κοιμούνται για ένα προκαθορισμένο ποσοστό του χρόνου. Οι αλγόριθμοι Sleeping Cells χρησιμοποιούνται ευρέως. Στις εφαρμογές IoT (Internet of Things), υπάρχουν αισθητήρες που τροφοδοτούνται από μπαταρία και συχνά αναπτύσσονται για τη συλλογή δεδομένων σε διάφορα περιβάλλοντα. Οι αλγόριθμοι Sleeping Cells χρησιμοποιούνται για τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας αυτών των αισθητήρων. Για παράδειγμα σε ένα δίκτυο περιβαλλοντικών αισθητήρων στον τομέα της γεωργίας βρίσκεται σε αδράνεια το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου και ενεργοποιείται περιοδικά για να μετρήσει την υγρασία του εδάφους. Αυτό επεκτείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των αισθητήρων, ενώ εξακολουθεί να παρέχει πολύτιμα δεδομένα.

Οι αλγόριθμοι διαχείρισης παρεμβολών (Interference Management Algorithms) είναι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε ασύρματα δίκτυα για τη μείωση ή τον μετριασμό των παρεμβολών μεταξύ συσκευών, κυψελών ή χρηστών για τη βελτίωση της απόδοσης και της αποδοτικότητας του δικτύου. Οι αλγόριθμοι διαχείρισης παρεμβολών λειτουργούν με τη δυναμική κατανομή πόρων (όπως χρονοθυρίδες, συχνότητες ή χωρικούς πόρους) σε ασύρματες συσκευές για την ελαχιστοποίηση των

παρεμβολών. Αυτοί οι αλγόριθμοι στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της χρήσης των διαθέσιμων πόρων για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης, της χωρητικότητας και της ποιότητας των υπηρεσιών σε ασύρματα δίκτυα.

Διάφορες προσεγγίσεις, όπως ο συντονισμός παρεμβολών, η διαμόρφωση δέσμης και η κατανομή πόρων, χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική διαχείριση των παρεμβολών.

Οι αλγόριθμοι Interference Management έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Κάποια βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης τους είναι τα παρακάτω:

Βελτιωμένη χωρητικότητα: Με την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών, αυτοί οι αλγόριθμοι αυξάνουν τη χωρητικότητα των ασύρματων δικτύων, επιτρέποντας σε περισσότερες συσκευές να επικοινωνούν ταυτόχρονα.

Βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσίας: Οι μειωμένες παρεμβολές οδηγούν σε βελτιωμένη ποιότητα και αξιοπιστία σήματος, με αποτέλεσμα καλύτερη εμπειρία χρήστη, ειδικά σε εφαρμογές πολυμέσων ή σε πραγματικό χρόνο.

Φασματική απόδοση: Οι αλγόριθμοι διαχείρισης παρεμβολών μπορεί να οδηγήσουν σε πιο αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου φάσματος, καθιστώντας δυνατή την υποδοχή περισσότερων χρηστών ή υπηρεσιών στις ίδιες ζώνες συχνοτήτων.

Επέκταση κάλυψης: Η αποτελεσματική διαχείριση παρεμβολών μπορεί να επεκτείνει την περιοχή κάλυψης των σταθμών βάσης ή των σημείων πρόσβασης, παρέχοντας συνδεσιμότητα σε μια μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή.

Στα μειονεκτήματα εντάσσονται:

Πολυπλοκότητα: Η εφαρμογή αλγορίθμων διαχείρισης παρεμβολών μπορεί να είναι πολύπλοκη, ειδικά σε σενάρια πολλών χρηστών και πολλών κυψελών. Απαιτεί εξελιγμένες στρατηγικές συντονισμού και κατανομής πόρων.

Overhead: Η διαδικασία διαχείρισης παρεμβολών, συμπεριλαμβανομένων των αποφάσεων κατανομής πόρων και των μηνυμάτων συντονισμού, μπορεί να εισαγάγει πρόσθετη επιβάρυνση στο δίκτυο.

Απαιτήσεις υλικού: Ορισμένες τεχνικές διαχείρισης παρεμβολών, όπως η διαμόρφωση δέσμης, ενδέχεται να απαιτούν εξειδικευμένο υλικό και υποδομή, η ανάπτυξη των οποίων μπορεί να είναι δαπανηρή.

Διαλειτουργικότητα: Η διασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών συσκευών και εξοπλισμού δικτύου κατά τη χρήση αλγορίθμων διαχείρισης παρεμβολών μπορεί να είναι μια πρόκληση.

Οι αλγόριθμοι διαχείρισης παρεμβολών περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα τεχνικών και στρατηγικών. Μερικές κοινές παραλλαγές περιλαμβάνουν:

Coordinated Multi-Point (CoMP): Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει τον συντονισμό μετάδοσης και λήψης σε πολλούς σταθμούς βάσης για τη βελτίωση της ποιότητας του σήματος και τη μείωση των παρεμβολών.

Beamforming: Οι τεχνικές Beamforming εστιάζουν το ασύρματο σήμα σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση για να ελαχιστοποιήσουν τις παρεμβολές σε άλλες κατευθύνσεις

Παραδείγματα αλγορίθμων διαχείρισης παρεμβολών:

Coordinated Multi-Point (CoMP) σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 4G και 5G: Το CoMP είναι μια τεχνική διαχείρισης παρεμβολών που χρησιμοποιείται σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας για τη βελτίωση της ποιότητας και της χωρητικότητας του σήματος. Περιλαμβάνει τον συντονισμό μεταδόσεων μεταξύ πολλών σταθμών βάσης. Για παράδειγμα σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, όπου πολλαπλοί πύργοι κινητής τηλεφωνίας εξυπηρετούν επικαλυπτόμενες περιοχές κάλυψης, το CoMP συμβάλλει στη μείωση των παρεμβολών και διασφαλίζει απρόσκοπτη παράδοση μεταξύ κυψελών, οδηγώντας σε καλύτερη ποιότητα κλήσεων και ταχύτητες δεδομένων για χρήστες κινητών.

Η διαμόρφωση δέσμης (Beamforming) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται σε δρομολογητές Wi-Fi για τη βελτίωση της ισχύος του σήματος και της κάλυψης για τις συνδεδεμένες συσκευές με ταυτόχρονη μείωση των παρεμβολών. Για παράδειγμα οι σύγχρονοι δρομολογητές Wi-Fi χρησιμοποιούν συχνά διαμόρφωση δέσμης για να εστιάσουν το σήμα Wi-Fi σε ενεργές συσκευές. Αυτό επιτρέπει ισχυρότερες και πιο σταθερές συνδέσεις, ακόμη και σε πολυσύχναστα περιβάλλοντα Wi-Fi με πολλές συσκευές.

6.2 Εφαρμογή Προσομοίωσης μελέτης 5G για μείωση παρεμβολών και κατανάλωσης ενέργειας

Στην περίπτωση μας εξετάζουμε ένα αλγόριθμο για τη μείωση της ενέργειας και των παρεμβολών σε πυκνά δίκτυα 5G με χρήση μηχανικής μάθησης [22].

Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

Συλλογή Δεδομένων: Αρχικά, συλλέγονται δεδομένα από το πυκνό δίκτυο 5G, όπως τα επίπεδα σήματος, οι παρεμβολές, η κίνηση των χρηστών και άλλες σχετικές

πληροφορίες.

Εκπαίδευση Μοντέλου: Αναπτύσσεται ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης, όπως ένα νευρωνικό δίκτυο, που μπορεί να προβλέπει τις παρεμβολές και την κατανάλωση ενέργειας βάσει των δεδομένων εκπαίδευσης. Το μοντέλο μαθαίνει να αντιστοιχεί τις συνθήκες του δικτύου με την καλύτερη δυνατή διαχείριση της ενέργειας και των παρεμβολών.

Προσαρμογή Δικτύου: Το μοντέλο μηχανικής μάθησης ενσωματώνεται στο πυκνό δίκτυο 5G, και αναλαμβάνει τον έλεγχο των εφαρμογών και των μηνυμάτων που στέλνονται από τις κινητές συσκευές. Το μοντέλο λαμβάνει αποφάσεις που βασίζονται στην πρόβλεψη των παρεμβολών και της κατανάλωσης ενέργειας.

Δυναμική Προσαρμογή: Καθώς το δίκτυο λειτουργεί, το μοντέλο μηχανικής μάθησης συνεχώς επαναλαμβάνει τις προβλέψεις του και προσαρμόζει δυναμικά τις ρυθμίσεις του δικτύου. Αυτό μπορεί να συμπεριλαμβάνει την ανάθεση διαφορετικών συχνοτήτων, την ρύθμιση των επιπέδων ισχύος και τη διαχείριση της ροής δεδομένων.

Συνεχής Μάθηση: Το μοντέλο μηχανικής μάθησης συνεχίζει να μαθαίνει και να προσαρμόζει τις προβλέψεις του καθώς το δίκτυο αλλάζει με την πάροδο του χρόνου.

Με αυτόν τον τρόπο, ο αλγόριθμος μπορεί να επιτρέπει τη δυναμική προσαρμογή του δικτύου 5G για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και τις παρεμβολές, εξασφαλίζοντας παράλληλα υψηλή ποιότητα υπηρεσιών για τους χρήστες.

Στην περίπτωση μας η συλλογή δεδομένων γίνεται στην συσκευή του χρήστη σε σχέση με την χρήση των εφαρμογών, δηλαδή την συχνότητα που χρησιμοποιούνται,

τον αριθμό συνδέσεων που κάνουν με το διαδίκτυο, τον αριθμό μηνυμάτων που μεταφέρουν την απασχόληση της CPU της αντίστοιχης συσκευής. Με βάση αυτά δημιουργείται, με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται κατάλληλο νευρωνικό δίκτυο που τοποθετεί σε κλάση την εφαρμογή βάση τη χρήση της και δίνει προτεραιότητα σε ένα slot χρόνου στις εφαρμογές που έχουν πιο έντονη χρήση. Τις εφαρμογές που έχουν μικρότερη συχνότητα τις περιορίζει με μεγαλύτερο χρόνο αδράνειας δηλαδή μη σύνδεσης και μεταφοράς μηνυμάτων.

Το νευρωνικό δίκτυο μαθαίνει από τα δεδομένα ώστε να κατατάξει στη αντίστοιχη κλάση τις εφαρμογές κάθε συσκευής. Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν κρίσιμο στοιχείο στην επίλυση προβλημάτων που αφορούν την ενέργεια και τις παρεμβολές στα πυκνά δίκτυα 5G. Αυτά τα εξελιγμένα δίκτυα μοντελοποιούν τις δύσκολες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων του δικτύου και εξάγουν αυτόματα στρατηγικές για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

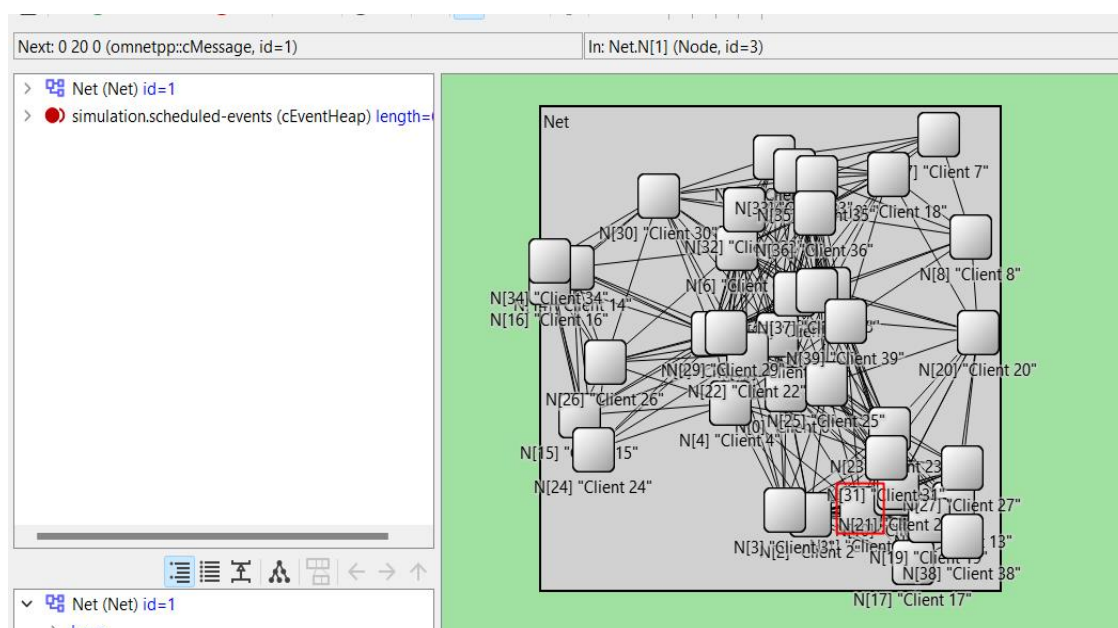
Ένα νευρωνικό δίκτυο, μπορεί να εκπαιδευτεί να αναγνωρίζει τα μοντέλα σημάτων και τις παρεμβολές σε πραγματικό χρόνο. Το DNN λαμβάνει ως είσοδο τα δεδομένα που συλλέγονται από το δίκτυο 5G και μετά την εκπαίδευση, μπορεί να προβλέπει τότε θα προκύψουν παρεμβολές και ποιες ρυθμίσεις είναι οι καλύτερες για τη μείωση των παρεμβολών και την εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον, τα αναδραστικά νευρωνικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της κίνησης των χρηστών, βασιζόμενα στα πρότυπα συμπεριφοράς τους. Αυτή η πρόβλεψη επιτρέπει στο δίκτυο να προσαρμόζει τις ρυθμίσεις εκ των προτέρων, μειώνοντας την απόδοση ενέργειας και παρεμβολών.

Με βάση τα παραπάνω τα νευρωνικά δίκτυα αντιπροσωπεύουν μια ισχυρή τεχνολογική προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση των πυκνών δικτύων 5G, βοηθώντας στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των παρεμβολών και προσφέροντας ταυτόχρονα καλύτερη απόδοση των υπηρεσιών για τους χρήστες.

6.3 Υλοποίηση

Με το OMNET++ δημιουργήσαμε ένα δίκτυο συσκευών που ουσιαστικά επικοινωνούν μεταξύ τους στέλνοντας μηνύματα σε ένα κεντρικό κόμβο που δημιουργεί άμεσες συνδέσεις μεταξύ των συσκευών. Κάθε κόμβος θεωρούμε ότι ακολουθεί 5G δίκτυο.

Το σχήμα στο OMNET είναι το παρακάτω:



Εικόνα 11. Δίκτυο συσκευών με το OMNET++

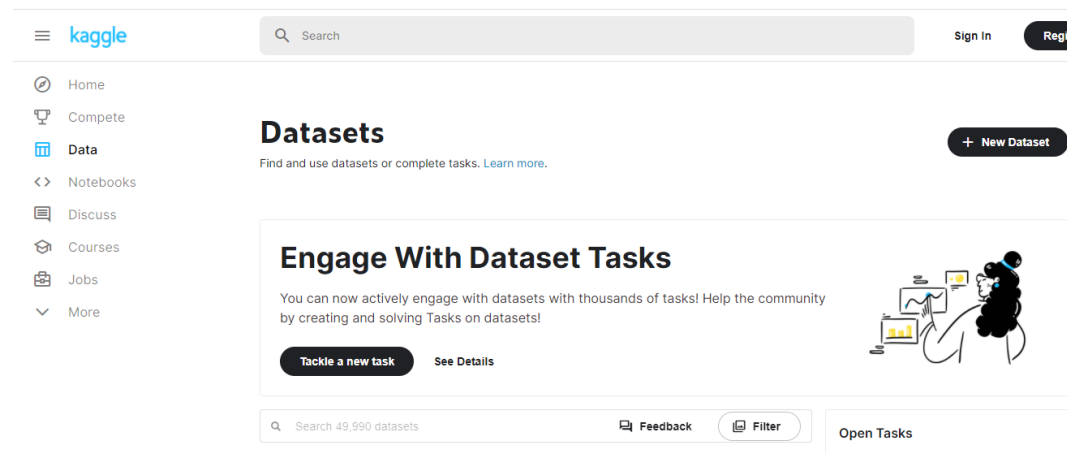
Κάθε συσκευή χρησιμοποιεί σειρά εφαρμογών όπου η κατανάλωση ενέργειας είναι ανάλογη του M (ποσό ενέργειας ανά μήνυμα) και K (ποσό ενέργειας που καταναλώνει ο επεξεργαστής).

Για την αξιολόγηση των συσκευών θεωρούμε ένα DATASET από χρήση εφαρμογών που είναι το παρακάτω:

Το σύνολο δεδομένων για την ανάλυση και μάθηση του νευρωνικού δικτύου για classification που χρησιμοποιήθηκε είναι από την σελίδα:

<https://www.kaggle.com/datasets>

Η παραπάνω σελίδα παρέχει σειρά από σύνολα που μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει προκειμένου να μελετήσεις διάφορες περιπτώσεις όπως και το σύνολο που αφορά την χρήση κινητών συσκευών.



Πιο συγκεκριμένα το DataSet είναι μορφής csv όπου έχει τις παρακάτω στήλες: FB, Instagram, News, TikTok, GamesA, GamesB, Banks, Sex, Age.

Κάθε στήλη χαρακτηρίζει τον αριθμό που κάποιος χρήστης άνοιξε καινούριο session σε μία εφαρμογή σε μια μέρα.

Το FB αφορά την εφαρμογή Facebook

Το Instagram την εφαρμογή Instagram

Το News εφαρμογές ειδήσεων

Το TikTok την εφαρμογή TikTok

Το GamesA εφαρμογή παιχνιδιών δράσης , πολέμου , αθλητισμού

Το GamesB εφαρμογή παιχνιδιών απλής διασκέδασης

Το Banks συστήματα ebanking

Το Sex αφορά το φύλο (1 άντρας, 2 γυναίκα)

Το Age την ηλικία του χρήστη (από 24 και πάνω)

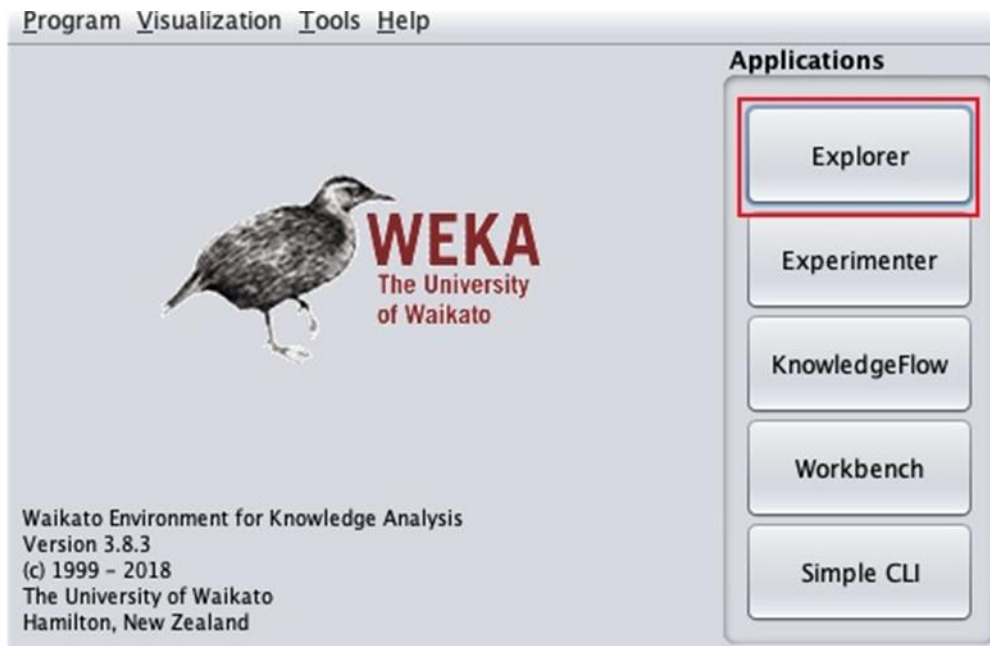
Ένα μέρος των δεδομένων είναι το παρακάτω:

FB	Instagram	News	TikTok	GamesA	GamesB	Banks	Sex	Age
1	5	1	4	5	2	3	1	35
2	9	2	2	7	2	3	1	29
9	4	7	2	1	1	3	1	36
5	13	3	4	5	4	3	1	24
4	9	1	3	5	4	4	2	26
10	6	6	1	0	5	2	2	60
9	5	5	1	3	9	2	2	50
8	6	6	2	3	10	5	2	36
7	1	9	1	1	2	5	1	55

Το σύνολο αποτελείται από 600 τέτοιες εγγραφές από διαφορετικά άτομα. Το οποίο κάθε συσκευή χαρακτηρίζεται σε ποιόν ανήκει και έχουμε ένα αποτέλεσμα για κάθε εφαρμογή ανάλογα το φύλλο και την ηλικία αν είναι 1,2,3 δηλαδή την συχνότητα χρήσης. Για την εφαρμογή του νευρωνικού δικτύου που ουσιαστικά κατατάσσει την κάθε εφαρμογή σε $C=1,2,3$ και ορίζει ένα πίνακα τιμών για κάθε εφαρμογή σε κάθε συσκευή.

Στην συνέχεια με slot χρόνου το 1 sec κάθε εφαρμογή ενεργοποιείται κάθε $X*N$ sec, όπου $N=a*C$, όπου a ένας συντελεστής ανά εφαρμογή που ορίζει το slot ενεργοποίησης της κάθε εφαρμογής, εφόσον η εφαρμογή είναι ενεργή στο κινητό.

Για την παραγωγή του νευρωνικού χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα WEKA που παράγει άμεσα τα στοιχεία του νευρωνικού δικτύου όπου τα περνάμε άμεσα στο OMNET++ και ορίζουμε την λειτουργία κάθε κόμβου [23].



Εικόνα 12. Πρόγραμμα WEKA

Το πρόγραμμα WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) είναι ένα δημοφιλές και ανοιχτού κώδικα λογισμικό για την ανάλυση και την εξόρυξη γνώσης από δεδομένα. Υποστηρίζει μια ευρεία γκάμα αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, ανάλυσης δεδομένων και οπτικοποίησης, και χρησιμοποιείται ευρέως στην ερευνητική κοινότητα και στη βιομηχανία για την ανάπτυξη και τον πειραματισμό με μοντέλα μηχανικής μάθησης.

Τα βασικά χαρακτηριστικά και λειτουργίες του προγράμματος WEKA περιλαμβάνουν:

Επιλογή Αλγορίθμων: Το WEKA προσφέρει πληθώρα αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, συμπεριλαμβανομένων των αλγορίθμων ταξινόμησης, συσταδοποίησης, ανάλυσης συσχετίσεων, κανόνων επαγωγής και πολλών άλλων.

Προεπεξεργασία Δεδομένων: Το WEKA παρέχει εργαλεία για την προεπεξεργασία και τον καθαρισμό των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων της απομάκρυνσης ελλειπών τιμών, της κωδικοποίησης κατηγορικών μεταβλητών και της εξαγωγής χαρακτηριστικών.

Εκπαίδευση Μοντέλων: Οι χρήστες μπορούν να εκπαιδεύσουν μοντέλα μηχανικής μάθησης με τα διαθέσιμα δεδομένα, εκτελώντας αλγορίθμους σε ένα ευέλικτο περιβάλλον.

Αξιολόγηση Μοντέλων: Το WEKA παρέχει εργαλεία για την αξιολόγηση της απόδοσης μοντέλων μηχανικής μάθησης μέσω διαφορετικών μετρικών, όπως η ακρίβεια, η ανάκληση και η F1-μέτρηση.

Οπτικοποίηση Δεδομένων: Το WEKA διαθέτει γραφικές δυνατότητες οπτικοποίησης δεδομένων και αποτελεσμάτων, που βοηθούν τους χρήστες να κατανοήσουν και να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματα της ανάλυσής τους.

Επεκτασιμότητα: Το WEKA είναι επεκτάσιμο και επιτρέπει την προσθήκη νέων αλγορίθμων και εργαλείων μέσω της χρήσης επεκτάσεων και προσαρμογής.

Το WEKA είναι ένα ισχυρό εργαλείο για ερευνητές, αναλυτές δεδομένων και μηχανικούς μηχανικής μάθησης που αναζητούν ένα περιβάλλον για την ανάπτυξη, τον πειραματισμό και την αξιολόγηση μοντέλων μηχανικής μάθησης. Εφαρμόζοντας τα δεδομένα στο WEKA λαμβάνουμε ένα έτοιμο μοντέλο που εφαρμόζουμε σε κάθε κόμβο του δικτύου (συσκευές) με κώδικα C που απαιτεί το OMENT++. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης κάθε συσκευή ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιεί στέλνει τα μηνύματα με μια πιθανότητα που ορίζεται σαν lamda.

Στο αρχείο Omnetpp.ini καθορίζουμε τις βασικές ρυθμίσεις της εφαρμογής

[Config RandomTopology]
network = Net

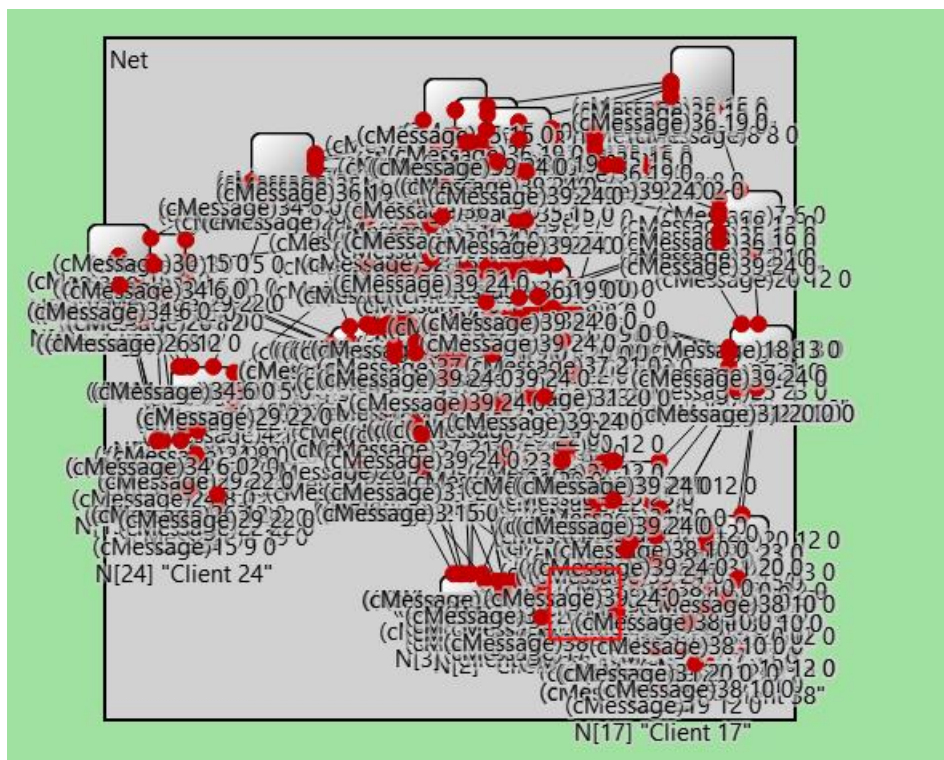
**** .n=40**

```

*.rc = 0.4
**.lamda=0.7
**.NodeID=1000+index
**.xpos=uniform(0, 1)
**.ypos=uniform(0, 1)
sim-time-limit=1000s

```

Το rc είναι η ακτίνα που μπορούν να απέχουν οι συσκευές ώστε να έχουν σύνδεση με τον κεντρικό κόμβο, το lamda η πιθανότητα σύνδεσης, το NodeId=1000+index ο κωδικός αριθμός κάθε συσκευής και xpos, ypos η θέση που είναι η συσκευή σε ορισμένη χρονική στιγμή.



Εικόνα 13. Διαδικασία προσομοίωσης και ανταλλαγής μηνυμάτων

Η μοντελοποίηση εφαρμόστηκε με ή χωρίς νευρωνικό δίκτυο και λάβαμε τα αποτελέσματα σε σχέση με τον αριθμό μηνυμάτων, την ενέργεια και τις παρεμβολές. Η παρεμβολές προέκυψαν από τον τύπο $C \cdot \text{Αριθμός κοντινών συσκευών σε κάθε συσκευή} \cdot \text{Αριθμός μηνυμάτων ανά sec}$. Όπου C ένα συντελεστής σταθερός σε κάθε συσκευή.

6.4 Αποτελέσματα

Με βάση την παραπάνω διαδικασία εκτελέστηκε με τη χρήση του OMNET++ κατάλληλη προσομοίωση τόσο με χρήση του μοντέλου χρήσης των εφαρμογών όσο και χωρίς το αντίστοιχο μοντέλο. Δοκιμάστηκε για διαφορετικά δίκτυα όσο αφορά το πλήθος συσκευών σε μια περιοχή ώστε να εξεταστεί η συνολική κατανάλωση του δικτύου σε κάθε περίπτωση.

Μετά την εκτέλεση των προσομοιώσεων για 10 φορές ανά περίπτωση πήραμε τους παρακάτω μέσους όρους ανά κατανάλωση και αριθμό παρεμβολών:

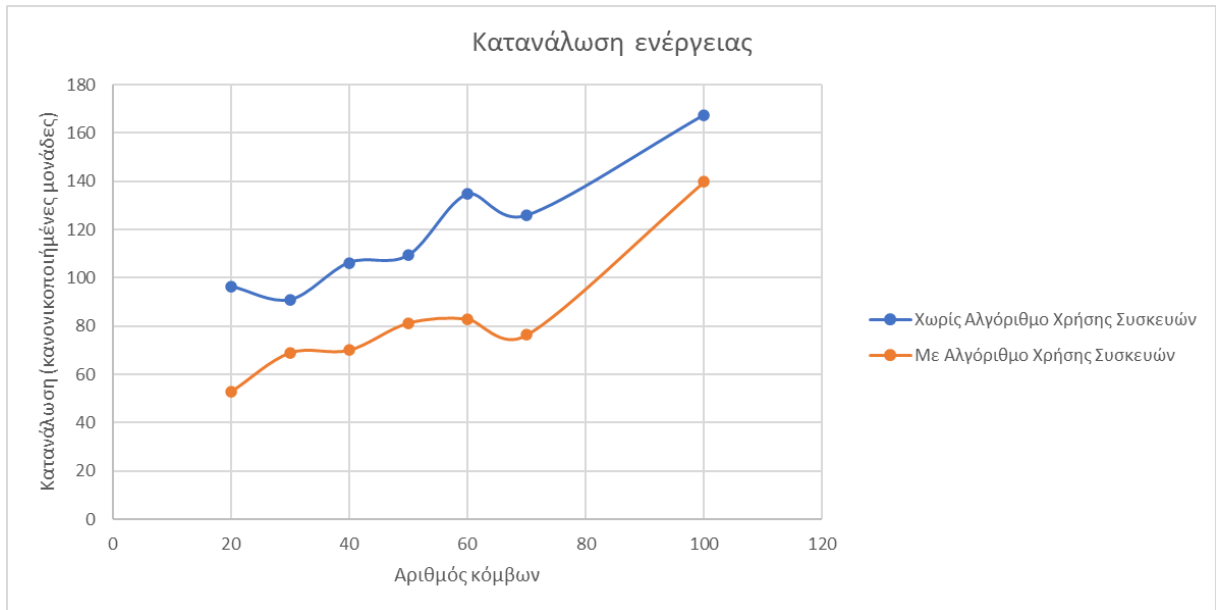
Χωρίς Αλγόριθμο Χρήσης Συσκευών		
Κόμβοι	Κατανάλωση (κανονικοποιημένες μονάδες)	Αριθμός Παρεμβολών (κανονικοποιημένες μονάδες)
20	96,46777081	124,2960638
30	90,85163378	135,3369611
40	106,2633135	121,5884632
50	109,3056937	146,3491684
60	134,6680468	149,396734
70	125,8314093	167,2959361
100	167,5768146	204,3021498

Πίνακας 1 . Αποτελέσματα Κατανάλωσης και Παρεμβολών χωρίς κατανάλωση ενέργειας

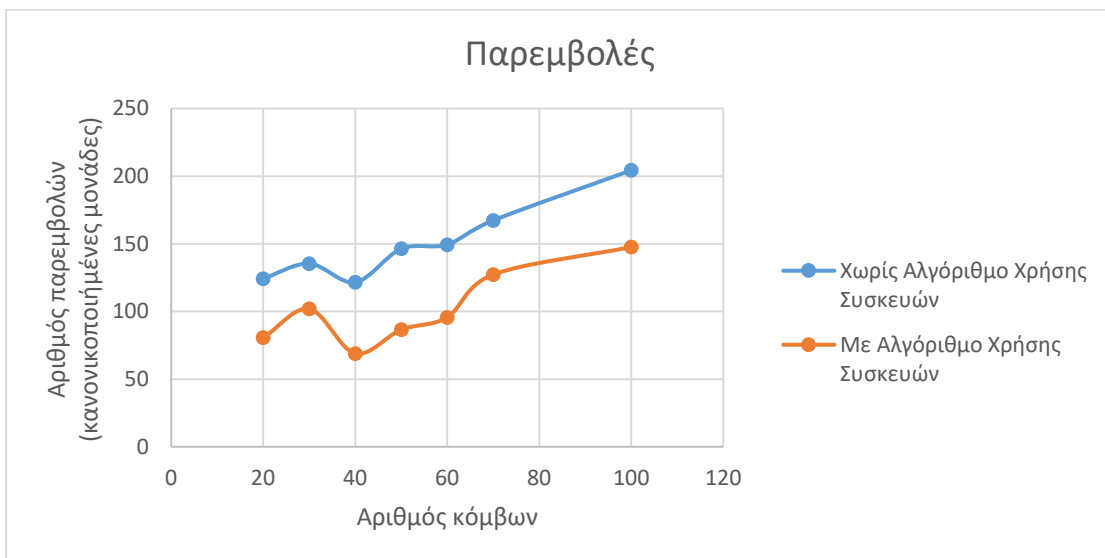
Με Αλγόριθμο Χρήσης Συσκευών		
Κόμβοι	Κατανάλωση (κανονικοποιημένες μονάδες)	Αριθμός Παρεμβολών (κανονικοποιημένες μονάδες)
20	85,46127748	88,99469064
30	70,96986006	97,76443117
40	79,04025172	85,61945871
50	79,42255126	119,8400017
60	112,334586	132,0651987
70	101,7164398	122,537688
100	132,0823248	143,5816824

Πίνακας 2. Αποτελέσματα Κατανάλωσης και παρεμβολών με χρήση αλγορίθμου χρήσης συσκευών

Όπως διαπιστώνουμε έχουμε αισθητή μείωση της κατανάλωσης αλλά και των παρεμβολών όπως φαίνεται και στα παρακάτω γραφήματα :



Εικόνα 14. Γράφημα κατανάλωσης ενέργειας



Εικόνα 15. Γράφημα αριθμού παρεμβολών

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στην περίπτωση αυτή, εξετάσαμε έναν αλγόριθμο που χρησιμοποιεί μηχανική μάθηση για τη μείωση της ενέργειας και των παρεμβολών σε πυκνά δίκτυα 5G. Τα στάδια που αποτελούν τον αλγόριθμο προσφέρουν μια ολοκληρωμένη διαδικασία για τη διαχείριση του δικτύου με τρόπο που εξασφαλίζει τη βέλτιστη απόδοση και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Καταρχάς, το σύστημα συλλέγει δεδομένα από το πυκνό δίκτυο 5G, περιλαμβάνοντας στοιχεία όπως τα επίπεδα σήματος, οι παρεμβολές και η κίνηση των χρηστών. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης, όπως ένα νευρωνικό δίκτυο, το οποίο μαθαίνει να προβλέπει παρεμβολές και κατανάλωση ενέργειας. Στη συνέχεια, το μοντέλο μηχανικής μάθησης ενσωματώνεται στο πυκνό δίκτυο 5G και αναλαμβάνει τον έλεγχο των εφαρμογών και των μηνυμάτων που στέλνονται από τις κινητές συσκευές. Το μοντέλο λαμβάνει αποφάσεις που βασίζονται στην πρόβλεψη των παρεμβολών και της κατανάλωσης ενέργειας, προσαρμόζοντας δυναμικά τις ρυθμίσεις του δικτύου. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία OMNET++ και WEKA για την αξιολόγηση και τον έλεγχο του αλγορίθμου. Η χρήση αυτών των εργαλείων επέτρεψε την παρακολούθηση της παραγωγής μηνυμάτων και της κατανάλωσης ενέργειας κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου. Οι μετρήσεις κατέδειξαν ότι υπήρξε σημαντική μείωση στην παραγωγή μηνυμάτων και στην τελική κατανάλωση ενέργειας, καθώς και στις παρεμβολές.

Συνολικά, ο αλγόριθμος με τη χρήση νευρωνικών δικτύων και την υποστήριξη των εργαλείων OMNET++ και WEKA αποτελεί μια ισχυρή τεχνολογική προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση των πυκνών δικτύων 5G. Επιτρέπει τη δυναμική προσαρμογή του δικτύου, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των παρεμβολών, ενώ παράλληλα προσφέρει βελτιωμένη απόδοση υπηρεσιών για τους χρήστες.

Μελλοντικές Επεκτάσεις

Με βάση την παρούσα μελέτη αλλά και την βιβλιογραφία μπορούν να γίνουν αρκετά ακόμα για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των παρεμβολών σε πυκνά δίκτυα 5G και αναμένεται μέσα από πολλές καινοτόμες προσεγγίσεις.

Οι προσεγγίσεις αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν τη χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και της Μηχανικής Μάθησης (ML). Οι επεκτάσεις θα εστιάζονται στην ακόμα ευρύτερη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης για τη δημιουργία αλγορίθμων που μπορούν να μάθουν και να προσαρμόζονται στις συνθήκες του δικτύου σε πραγματικό χρόνο όχι μόνο από τις συσκευές αλλά και από το σύνολο του δικτύου καθώς και των δομικών στοιχείων του όπως κεραιές, Routers, αναμεταδότες κ.α. Επίσης μπορούν να περιλαμβάνουν την αυτόματη διαχείριση ραδιοπόρων. Επεκτάσεις στους αλγορίθμους που θα επικεντρώνονται στην αυτόματη διαχείριση των ραδιοπόρων με βάση τις συνθήκες κίνησης και χρήσης του δικτύου, προσαρμόζοντας τις συχνότητες και τα επίπεδα ισχύος κατάλληλα. Μία άλλη διαχείριση που θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν είναι η αυτόματη διαχείριση της κίνησης των χρηστών. Επεκτάσεις που μπορεί να εστιάζουν στον έλεγχο της κίνησης των χρηστών και στην πρόβλεψη των συνδέσεων, προκειμένου να μειωθεί η παρεμβολή. Σημαντική πάντα να περιληφθεί η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα. Επεκτάσεις που θα εστιάζουν στην ανάπτυξη αλγορίθμων που διασφαλίζουν την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα των δεδομένων σε 5G δίκτυα, δεδομένης της αυξημένης συνδεσιμότητας.

Οι παραπάνω προσεγγίσεις είναι τομείς στους οποίους εφαρμόζεται αλλά γίνεται και προσπάθεια να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα. Ταυτόχρονα η επέκταση σε δίκτυα 6G φέρνουν νέες τεχνολογίες και μεγαλύτερες ταχύτητες και τελικά ακόμα μεγαλύτερο όγκο μεταφοράς δεδομένων, αυξάνοντας έντονα την κατανάλωση και έτσι την ανάγκη για έξυπνους αλγόριθμους σε όλα τα μέρη του δικτύου, που να συντονίζουν και τελικά να δίνουν την βέλτιστη λύση στην διαχείριση της ενέργειας και των παρεμβολών. Οπότε κρίνεται απαραίτητη η εκτενέστερη μελέτη και δοκιμή των αλγορίθμων αυτών αλλά και παρόμοιων προς χρήση για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Rappaport, T. S. (2017). *Wireless communications: principles and practice*. Pearson Education.
2. Zhang, H., Li, C., Wei, W., Zhao, N., & Zhang, Q. (2019). "A Survey on Deep Learning for 5G Networks: Solutions, Challenges, and Opportunities." *IEEE Access*, 7, 133282-133297.
3. Andrews, J. G., Ghosh, A., & Muhamed, R. (2017). *Fundamentals of 5G wireless communication*. Cambridge University Press.
4. Sauter, M. (2016). *From GSM to LTE-Advanced: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*. John Wiley & Sons.
5. Rangan, S., Rappaport, T. S., & Erkip, E. (2014). Millimeter-wave cellular wireless networks: Potentials and challenges. *Proceedings of the IEEE*, 102(3), 366-385.
6. Liu, Z., Zhang, S., Wang, Y., & Niu, Z. (2016). A survey of millimeter wave communications (mmWave) for 5G: Opportunities and challenges. *Wireless Networks*, 22(3), 1541-1559.
7. Bhushan, N., Li, J., Malladi, D., Gilmore, R., Brenner, D., Damnjanovic, A., ... & Tse, D. (2014). Network densification: the dominant theme for wireless evolution into 5G. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 82-89.
8. Boccardi, F., Heath, R. W., Lozano, A., Marzetta, T. L., & Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 74-80.
9. Agar, J. (2004). *Constant Touch: A Global History of the Mobile Phone*. Icon Books.
10. Niu, Y., Yu, F. R., Ning, B., & Yan, X. (2015). Resource management for device-

- to-device communication overlaying 5G mobile networks. *IEEE Network*, 29(2), 64-71.
11. Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2018). *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*.
 12. Ulema, M., & Oktug, S. (Eds.). (2013). *Green Networking*.
 13. Hossain, E., Niyato, D., & Han, Z. (2013). *Energy Efficient Mobile Communications*.
 14. Burl, J. B., Parameswaran, S., & Yoon, N. C. N. (2010). *Energy-Efficient Communication Processors: Design and Implementation for Emerging Wireless Systems*.
 15. Clint, R., Gursoy, M. C., & Adve, R. S. (2017). *Interference Management in 5G Heterogeneous Networks*.
 16. Osseiran, A., Boccardi, F., Braun, V., Kusume, K., Marsch, P., Maternia, M., ... & Tullberg, H. (2014). "Scenarios for 5G mobile and wireless communications: The vision of the METIS project." *IEEE Communications Magazine*, 52(5), 26-35.
 17. Soltani, P., Lashgari, R., Naeem, A., & Gidlund, M. (2019). "A survey on machine learning for green radio communications in 5G and beyond." *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 3(4), 1060-1082.
 18. Wang, J., Li, X., Wang, P., & Wu, D. (2017). "Machine learning for wireless communications with artificial noise: Application to secrecy communications and beyond." *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(8), 7035-7047.
 19. Liu, L., Li, G. Y., & Li, B. (Eds.). (2018). *Machine Learning for Wireless Communications*.
 20. Varga, A. (2001). "The OMNeT++ discrete event simulation system." In *Proceedings of the European simulation multiconference (ESM'2001) (Vol. 1)*,

pp. 35-40).

21. Varga, A., & Hornig, R. (2008). "An overview of the OMNeT++ simulation environment." In Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops (pp. 60-69).
22. Frank, E., & Witten, I. H. (1998). "Generating accurate rule sets without global optimization." In Fifteenth International Conference on Machine Learning (ICML 1998) (pp. 144-151).
23. Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., & Witten, I. H. (2009). "The WEKA data mining software: an update." ACM SIGKDD explorations newsletter, 11(1), 10-18.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΜΕΡΗ ΚΩΔΙΚΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

OMNETPP.INI

```
[General]
cmdenv-performance-display = true
num-rngs=1
seed-set=0
*.N[*].NodeID=500+index
**.NetworkAnalyzer = NetworkAnalyzer
[Config RandomTopology]
network = Net

**.n=40
*.rc = 0.4
**.lamda=0.7
**.NodeID=1000+index
**.xpos=uniform(0, 1)
**.ypos=uniform(0, 1)
**.tphase0=2
sim-time-limit=1000s
```

NETWORK.NED

```
network Net
{
    parameters:
        int n;
        double rc;

    submodules:

        N[n]: Node{
            @display("p=${xpos}, ${ypos}");

        };

    connections:
        for i=0..n-1, for j=i+1..n-1
        {
            N[i].port++ <--> {delay=100ms;} <--> N[j].port++
            if( (N[i].xpos-N[j].xpos)*(N[i].xpos-N[j].xpos)+
                (N[i].ypos-N[j].ypos)*(N[i].ypos-N[j].ypos)<
rc*rc);
```

```

    }
}

```

NODE.NED

```

simple Node
{
    parameters:
        double xpos;
        double ypos;
        int NodeID;
        double lamda;
        int n;
        int tphase0;

    gates:
        inout port[];
        input controllerInput @directIn;
}

```

NODE.CC - ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΚΟΜΒΟΥΣ

```

#include "node.h"

Define_Module(Node);

void Node::initialize()
{
    int n=par("n");
    nds.resize(n);
    gts.resize(n);
    char msg[10], clnt[20];
    sprintf(clnt, "Client %d", getIndex());
    setDisplayName(clnt);
    for (int i=0; i<n; i++)
    {
        nds[i]=-2;
    }
    if(this->phase==0) {
        sprintf(msg, "%d %d 0", getIndex(), gateSize("port"));
        cMessage *m= new cMessage(msg);
        for (int i=0; i<gateSize("port"); i++) {
            send(m-
>dup(), gate("port$o", i));
        }
    }
}

```

```

simtime_t tphase0 = par("tphase0");
    cMessage *mend= new cMessage("endph0");

    if(gateSize("port")>0) {
        scheduleAt(tphase0,mend);
        // send(mend->dup(),gate("port$o",0));
    }

}

void Node::handleMessage(cMessage *msg)
{
    int nd,g,hopes;

    double l;
    char msgs[10];
    int n=par("n");
    simtime_t currentTime = simTime();
    simtime_t comparisonTime = par("tphase0");

    if(this->phase==0)
    {
        if(currentTime>=comparisonTime)
            {
                this->phase=1;
            }
        else
            {
                if(msg->getSenderModule() != this)
                    {
                        sscanf(msg->getName(),"%d %d
%d", &nd, &g, &hopes);
                        if(nd!=getIndex())
                            {
                                if (nds[nd]==-2)
                                    {
                                        nds[nd]=g;
                                        gts[nd]=msg->getArrivalGate()-
>getIndex();
                                    }

                                for (int i=0;i<gateSize("port");i++){

                                    if(i!=msg->getArrivalGate()-
>getIndex())
                                        {
                                            if(hopes<n/3)
                                                {
                                                    sprintf(msgs,"%d %d
%d",nd,g, hopes+1);

```



```

        this->getDisplayString().setTagArg("i",1,"red");
    }
    sink=maxi;
    this->phase=2;
}
}

if(this->phase==2)
{
    double p=par("lamda");
    if(getIndex()!=sink){
        if(msg->getSenderModule() != this)
        {
            send(msg-
>dup(),gate("port$o",gts[sink]));
        }
        else
        {
            cMessage *msg22= new cMessage("message");
            if((double) (rand()%10000)/10000.0<p){
                send(msg22-
>dup(),gate("port$o",gts[sink]));
            }
            else
            {
                cMessage *msg23= new cMessage("next");

                scheduleAt(simTime()+0.1,msg23);
            }
        }
    }
}

}

}

```

MESSEGES

```

message Mymsg
{
    int source;
    int destination;
}

```

```

#ifdef __MYMSG_M_H

```

```

#define __MYMSG_M_H

#if defined(__clang__)
# pragma clang diagnostic ignored "-Wreserved-id-macro"
#endif
#include <omnetpp.h>

// opp_msgtool version check
#define MSGC_VERSION 0x0600
#if (MSGC_VERSION!=OMNETPP_VERSION)
# error Version mismatch! Probably this file was generated
by an earlier version of opp_msgtool: 'make clean' should
help.
#endif

class Mymsg;
/**
 * Class generated from <tt>mymsg.msg:16</tt> by opp_msgtool.
 * <pre>
 * //
 * // This program is free software: you can redistribute it
and/or modify
 * // it under the terms of the GNU Lesser General Public
License as published by
 * // the Free Software Foundation, either version 3 of the
License, or
 * // (at your option) any later version.
 * //
 * // This program is distributed in the hope that it will be
useful,
 * // but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied
warranty of
 * // MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.
See the
 * // GNU Lesser General Public License for more details.
 * //
 * // You should have received a copy of the GNU Lesser
General Public License
 * // along with this program. If not, see
http://www.gnu.org/licenses/.
 * //
 * message Mymsg
 * {
 *     int source;
 *     int destination;
 * }
 * </pre>
 */
class Mymsg : public ::omnetpp::cMessage
{
    protected:
        int source = 0;
        int destination = 0;

    private:

```



```

    void copy(const Mymsg& other);

protected:
    bool operator==(const Mymsg&) = delete;

public:
    Mymsg(const char *name=nullptr, short kind=0);
    Mymsg(const Mymsg& other);
    virtual ~Mymsg();
    Mymsg& operator=(const Mymsg& other);
    virtual Mymsg *dup() const override {return new
Mymsg(*this);}
    virtual void parsimPack(omnetpp::cCommBuffer *b) const
override;
    virtual void parsimUnpack(omnetpp::cCommBuffer *b)
override;

    virtual int getSource() const;
    virtual void setSource(int source);

    virtual int getDestination() const;
    virtual void setDestination(int destination);
};

inline void doParsimPacking(omnetpp::cCommBuffer *b, const
Mymsg& obj) {obj.parsimPack(b);}
inline void doParsimUnpacking(omnetpp::cCommBuffer *b, Mymsg&
obj) {obj.parsimUnpack(b);}

namespace omnetpp {

template<> inline Mymsg *fromAnyPtr(any_ptr ptr) { return
check_and_cast<Mymsg*>(ptr.get<cObject>()); }

} // namespace omnetpp

#endif // ifndef __MYMSG_M_H

```

NETWORK ANALYSIS

```

#include "NetworkAnal.h"

Define Module(NetworkAnal);

void NetworkAnal::initialize()
{
    setFlag(1,0);
    int i;
    int numNodes = par("n");
    EV<<"Network";
    int maxcon=-1;

```

```

    int maxi=-1;
    for (i=0;i<numNodes;i++)
    {
        cModule *node = getParentModule()->getSubmodule("N",
i);
        int con=node->gateCount();
        if(maxcon<con)
        {
            maxcon=con;
            maxi=i;
        }

    }
    cModule *node = getParentModule()->getSubmodule("N", maxi);
    node->setDisplayName("Sink");

    node->getDisplayString().setTagArg("i",1,"red");
    for (i=0;i<numNodes;i++)
    {
        cModule *node = getParentModule()->getSubmodule("N",
i);
        setFlag(1,1);
    }
}

void NetworkAnal::handleMessage(cMessage *msg)
{
    // TODO - Generated method body
}

```