



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αποδοτική ανάθεση πόρων σε δίκτυα 5G με τεχνικές
machine learning**

Νικόλαος Ν.Κουρουγιώτης

Επιβλέπων: Δρ.Πασσάς Νικόλαος, Μέλος Ε.Δι.Π.

**ΑΘΗΝΑ
Ιούλιος 2022**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αποδοτική ανάθεση πόρων σε δίκτυα 5G με τεχνικές machine learning

Νικόλαος Ν.Κουρουγιώτης

A.M.: 1115201600076

Επιβλέπων: Δρ.Πασσάς Νικόλαος, Μέλος Ε.Δι.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στα δίκτυα 5G και συγκεκριμένα στην αποδοτική ανάθεση πόρων με μεθόδους μηχανικής μάθησης στα δίκτυα πέμπτης γενιάς. Σε πρώτο στάδιο έχουν αναπτυχθεί κάποιες εισαγωγικές έννοιες γενικότερα για τα δίκτυα. Στην συνέχεια, γίνεται μια εκτενής αναδρομή στις προηγούμενες γενιές δικτύων 1G, 2G, 3G και 4G και στην υλοποίηση των δικτύων της σημερινής γενιάς 5G. Επιπρόσθετα, γίνεται μία εισαγωγή στα δίκτυα πέμπτης γενιάς, στη σημασία των δικτύων αυτών, στις διαφορές που υπάρχουν με τα δίκτυα της προηγούμενης γενιάς 4G και στην ανάπτυξη των 5G μέσα από το πέρασμα των χρόνων. Επιπλέον, παρουσιάζονται λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής 5G, τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα των δικτύων 5G. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται οι βασικές τεχνολογίες που συναντάμε στα δίκτυα πέμπτης γενιάς, οι οποίες έχουν κάνει τόσο ξεχωριστά αυτά τα δίκτυα, ώστε να θεωρούνται από τις μεγαλύτερες τεχνολογικές αναπτύξεις που έχουμε ζήσει μέχρι την επόμενη. Επίσης, παρουσιάζονται οι εφαρμογές του 5G στην καθημερινότητά μας, αλλά και στον κόσμο γενικότερα, που έχουν ως αποτέλεσμα να συναντήσουμε μεγάλες αλλαγές και διευκολύνσεις τα επόμενα χρόνια. Στο έκτο κεφάλαιο υπάρχει η εισαγωγή στην μηχανική μάθηση και μία μικρή αναφορά στην τεχνητή νοημοσύνη. Παρουσιάζονται οι γενικές κατηγορίες των μεθόδων μηχανικής μάθησης και η επιρροή αυτών των μεθόδων σε βασικές τεχνολογίες του 5G, όπως βέβαια και στην κατανομή των πόρων σε αυτά τα δίκτυα. Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζουμε λεπτομερώς έναν αλγόριθμο reinforcement learning που λύνει το σημαντικό πρόβλημα της κατανομής πόρων και αναγράφονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα αυτής της μεθόδου.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Ανάθεση πόρων στα δίκτυα 5G με Machine Learning

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κατανομή πόρων, 5G, Machine Learning, SDN, NFV, Internet Of Things, Τεμαχισμός Δικτύου, Διαμόρφωση Δέσμης

ABSTRACT

The present dissertation deals with the application of machine learning in 5G networks and in particular in the efficient allocation of resources with machine learning methods in the fifth generation networks. In the first stage, some introductory concepts have been developed for networks in general. Then, there is an extensive review of the previous generation of 1G, 2G, 3G and 4G networks and the implementation of the current generation 5G networks. In addition, an introduction is made to the fifth generation networks, to the importance of these networks, to the differences that exist with the previous generation 4G networks and to the development of 5G over the years. In addition, the features of the 5G architecture, the advantages and the disadvantages of the 5G networks are presented in detail. The fourth chapter lists the basic technologies found in fifth generation networks, which have made these networks so special that they are considered one of the greatest technological developments we have experienced until the next one. Also, the application of the 5G are presented in our daily life, but also in the world in general, which have as a result to meet great changes and facilities in the coming years. In the sixth chapter there is an introduction to machine learning and a brief reference to artificial intelligence. The general categories of machine learning methods and the influence of these methods on basic 5G technologies are presented, as of course on the distribution of resources in these networks. Finally, in the seventh chapter we present in detail a reinforcement learning algorithm that solves the important problem of resource allocation and state the results and conclusion of this method.

SUBJECT AREA: Resource allocation in 5G networks with Machine Learning

KEYWORDS: Resource Allocation, 5G, Machine Learning, SDN, NFV, Internet Of Things, Network Slicing, Beamforming

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Νίκο Πασσά για τη πολύτιμη βοήθειά του καθώς και για την άψογη συνεργασία που είχαμε. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για όλη την στήριξη που μου παρείχαν όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	11
2	ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	13
2.1	Ενσύρματα Δίκτυα	13
2.2	Ασύρματα Δίκτυα	13
2.3	Κυψελωτά Δίκτυα	14
3	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΧΡΙ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΟΥ 5G	17
3.1	Η γενιά δικτύων 1G	17
3.2	Η γενιά δικτύων 2G	17
3.3	Η γενιά δικτύων 3G	18
3.4	Η γενιά δικτύων 4G	20
4	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5G	23
4.1	Γιατί χρειαζόμαστε το 5G	24
4.2	Η ανάπτυξη του 5G	26
4.3	Αρχιτεκτονική του 5G	26
4.4	Πλεονεκτήματα Δικτύων 5G	28
4.5	Μειονεκτήματα Δικτύων 5G	29
5	ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5G	31
5.1	Δίκτυα καθορισμένα από το λογισμικό (SDN)	31
5.2	Εικονικοποίηση λειτουργίας δικτύου (NFV)	35
5.3	Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)	38
5.4	Τεμαχισμός Δικτύου (Network Slicing)	41
5.5	Massive MIMO	44
5.6	New Radio	45
5.7	Radio Resource Management	47
5.8	Διαμόρφωση Δέσμης (Beamforming)	49
5.9	Ultra-dense cellular networks	50
6	ΚΥΡΙΑΡΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ 5G	53
6.1	SMART HOME (Έξυπνο Σπίτι)	53
6.2	SMART CITIES (Έξυπνες πόλεις)	54
6.3	Αυτόνομη οδήγηση	55
6.4	Βιομηχανικό IoT	56
6.5	Υγειονομική περίθαλψη	57
6.6	Drone Operation (Λειτουργία drone)	57
6.7	Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα στο νέφος (Cloud VR & AR)	58

7	ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 5ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ	59
7.1	Εισαγωγή στην Μηχανική Μάθηση	59
7.2	Machine Learning Methods	61
7.3	Machine Learning for Beamforming	63
7.4	Machine Learning for Ultra Dense Heterogeneous Networks	64
7.5	Machine Learning for Massive MIMO	65
7.6	Machine Learning for Network Slicing	66
8	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΜΕ ΜΗΧΑ- ΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ	75
8.1	Components of Multi-stack RL Method	75
8.2	Multi-stack RL for Optimization of Resource Allocation	80
8.3	Προσομοίωση	84
9	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ	91
9.1	Σύνοψη	91
9.2	Για το μέλλον	91

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

2.1	Ενσύρματα Δίκτυα	13
2.2	Ασύρματα Δίκτυα	14
2.3	Κυψελωτά Δίκτυα	15
3.1	Πρώτη γενιά δικτύων	17
3.2	Δεύτερη γενιά δικτύων	18
3.3	Τρίτη γενιά δικτύων	19
3.4	Τέταρτη γενιά δικτύων	21
4.1	Διαφορές τέταρτης με πέμπτης γενιάς δικτύων	24
4.2	Αρχιτεκτονική δικτύων πέμπτης γενιάς	28
5.1	Αρχιτεκτονική SDN	32
5.2	Αρχιτεκτονική NFV	36
5.3	Αρχιτεκτονική Internet of Things	40
5.4	Network Slicing	42
5.5	5G Network Slicing	43
5.6	Αναπαράσταση ενός συστήματος massive MIMO πολλαπλών χρηστών	44
5.7	Χαρακτηριστικά New Radio	46
5.8	Radio Resource Management	49
5.9	Ultra-dense Network	52
6.1	Smart Home	53
6.2	Smart Cities	54
6.3	Autonomous driving	55
7.1	Machine Learning	63
7.2	Network Slicing Architecture	68
7.3	5G Use Cases and Requirements	69
7.4	Decision Tree	71
7.5	Slice Allocation Accuracy	71
7.6	Performance Measure	72
7.7	Average Result	72
8.1	Summarization of the Time Consumption	76
8.2	Multi-stack RL Method	83
8.3	Simulation Parameters	84
8.4	Number of iterations required to converge as the learning rate α varies.	85
8.5	Number of iterations required to converge as the discount factor γ varies.	86
8.6	Maximal delay changes as the total number of subcarriers l and J varies.	87
8.7	Maximal delay changes as the data size of tasks varies.	88

8.8 Maximal delay changes as v varies. 89
8.9 Maximal delay changes as the number of users varies. 90

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Από την αρχή της ανθρώπινης ύπαρξης αναπτύχθηκαν διάφορες μορφές τηλεπικοινωνιών καθώς ήταν απαραίτητη από τότε η ανάγκη για επικοινωνία από πολύ μακριά και στο λιγότερο δυνατό χρόνο. Κάθε εποχή χαρακτηρίστηκε από τους τρόπους που συντελούνταν οι τηλεπικοινωνίες. Οι μορφές επικοινωνίας αυτών των εποχών διατηρήθηκαν μέχρι και την εμφάνιση του ηλεκτρισμού. Τότε έγιναν τα πρώτα σοβαρά βήματα με το τηλέφωνο και τον τηλεγράφο, για να φτάσουμε στην σημερινή μορφή της ψηφιακής τεχνολογίας, οπότε και η καθημερινή εξέλιξη στις τεχνικές των τηλεπικοινωνιών είναι αλματώδης και απρόβλεπτη.

Σήμερα γνωστές εφαρμογές των τηλεπικοινωνιών είναι η Τηλεφωνία, το Διαδίκτυο, η Ραδιοφωνία και η Τηλεόραση, εφαρμογές που η μαζικότητά τους από πλευράς χρήσης τις καθιστά ευρύτερα γνωστές. Αυτό έχει βοηθήσει στην ανάπτυξη νέων μορφών τηλεπικοινωνιών.

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα έχουν δομή ιεραρχική. Αποτελούνται από κέντρα που ονομάζονται αστικά ή τοπικά τερματικά κέντρα, συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν το αστικό δίκτυο (συνδρομητικό δίκτυο). Όλα τα αστικά κέντρα πόλης ή περιοχής συνδέονται στο λεγόμενο κομβικό κέντρο. Για να είναι δυνατή η επικοινωνία με μια απομακρυσμένη περιοχή υπάρχει το υπεραστικό δίκτυο που συνδέει όλα τα κομβικά κέντρα. Αυτά συνδέονται μέσω των Κύριων Κέντρων, που αποτελούν μέρος του κορμού ενός εθνικού υπεραστικού δικτύου. Ουσιαστικά, τα κύρια και τα κομβικά κέντρα αποτελούν το υπεραστικό δίκτυο και λέγονται διαβιβαστικά κέντρα, διότι δεν συνδέονται με συνδρομητές, αλλά διεκπεραιώνουν την κίνηση στο δίκτυο.

Σήμερα, τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα εκπληρώνουν ανάγκες μετάδοσης φωνής, data, εικόνας κλπ. Και ολοκληρώνονται μέσω ψηφιακών δικτύων υψηλών ταχυτήτων, που χρησιμοποιούν τεχνολογίες bandwidth on demand, για βέλτιστη εκμετάλλευση της χωρητικότητας των καναλιών και των επικοινωνιακών κόμβων με την χρήση τεχνικών όπως, ATM (Asynchronous Transfer Mode). Η ανάπτυξη της τεχνολογίας στα μέσα μετάδοσης (οπτικές ίνες), σε τεχνικές μεταγωγής και κόμβους υψηλών ταχυτήτων, συμβάλλουν στην δημιουργία νέων δικτύων και υπηρεσιών όπως, video on demand, βιντεοτηλεφωνία, επικοινωνίες πολυμέσων κλπ. Τέλος, η επανάσταση στα δίκτυα είναι η επέκταση των ψηφιακών ασύρματων πολυμέσων, που αλλάζει την μορφή των δικτύων, καθώς τα σύγχρονα τερματικά σημεία του δικτύου θα έχουν ελευθερία κίνησης λόγω ασύρματης επικοινωνίας.

Αποδοτική ανάθεση πόρων σε δίκτυα 5G με τεχνικές machine learning

2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

2.1 Ενσύρματα Δίκτυα

Τα ενσύρματα δίκτυα[1] είναι δίκτυα υπολογιστών και περιφερειακών συσκευών με αντίστοιχες συνδέσεις που συνδέονται μέσω ενός καλωδίου δικτύου. Το δίκτυο επιτρέπει την ανταλλαγή αρχείων, αλλά και την αποστολή δεδομένων σε συσκευές. Τα ενσύρματα δίκτυα συσχετίζονται πολλές φορές με τα Local Area Networks, LAN. Τα δύο σημαντικότερα είδη ενσύρματων δικτύων είναι το 100BASE-T(X) (με μέγιστο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων 125Mbps) και το 1.000BASE-T(X) (με μέγιστο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων 1Gbps). Η απλούστερη δομή των ενσύρματων δικτύων αποτελείται από ένα καλώδιο δικτύου και από δύο υπολογιστές. Λόγω αυτού, το καλώδιο θα πρέπει να είναι καλώδιο δικτύου Crossover. Σημαντική συσκευή σε ένα πραγματικό ενσύρματο δίκτυο, που αποτελείται από τουλάχιστον δύο υπολογιστές και περιφερειακές συσκευές με σύνδεση στο δίκτυο, είναι ο μεταγωγέας, όπου αυτές οι συσκευές συνδέονται με εκείνον. Ο μεταγωγέας είναι ένας σταθμός διανομής δικτύου, ο οποίος διευθύνει την κυκλοφορία μεταξύ όλων των συνδεδεμένων συσκευών του δικτύου.

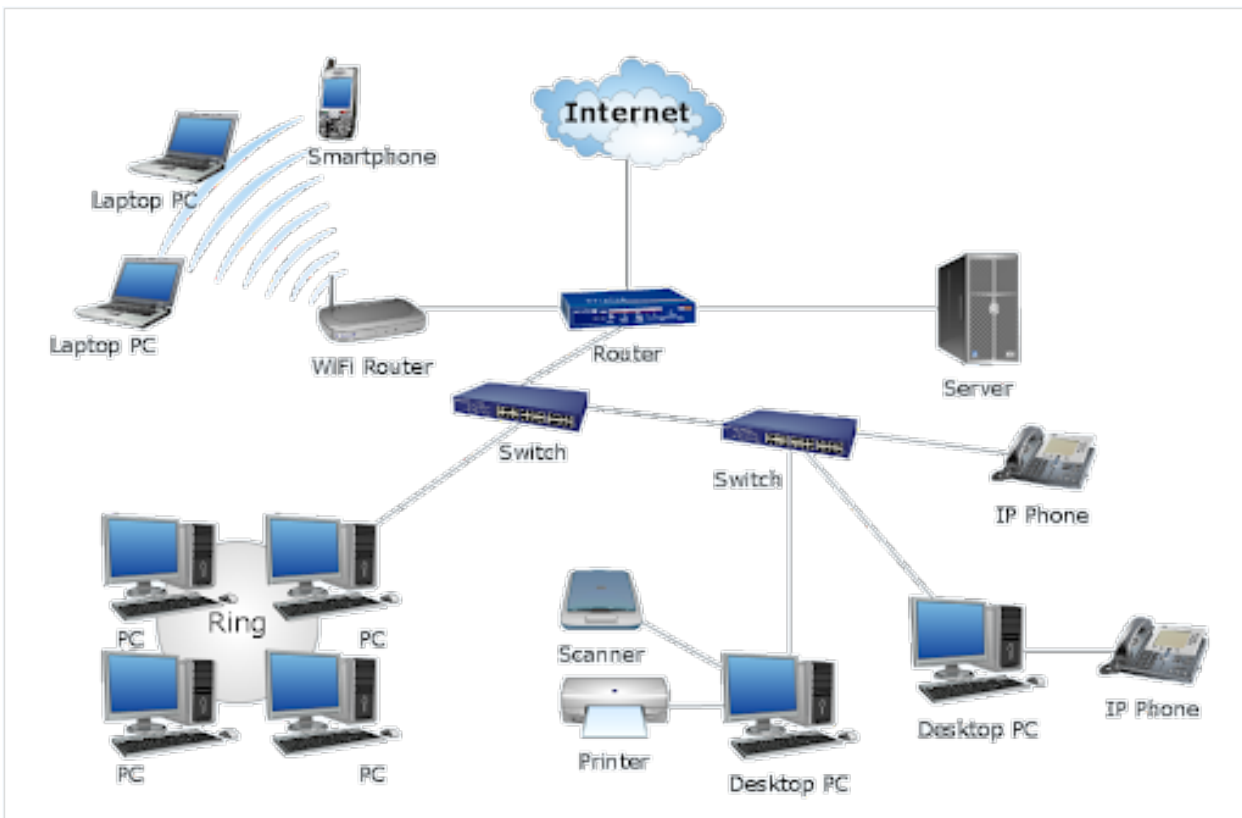


Σχήμα 2.1: Ενσύρματα Δίκτυα

2.2 Ασύρματα Δίκτυα

Ως ασύρματα δίκτυα[29] χαρακτηρίζονται τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούν ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό

μετάδοσης δεδομένων. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου. Σε παλαιότερες εποχές, τα τηλεφωνικά δίκτυα ήταν αναλογικά, αλλά στην σημερινή εποχή τα ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε ψηφιακή τεχνολογία. Στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WLAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN).



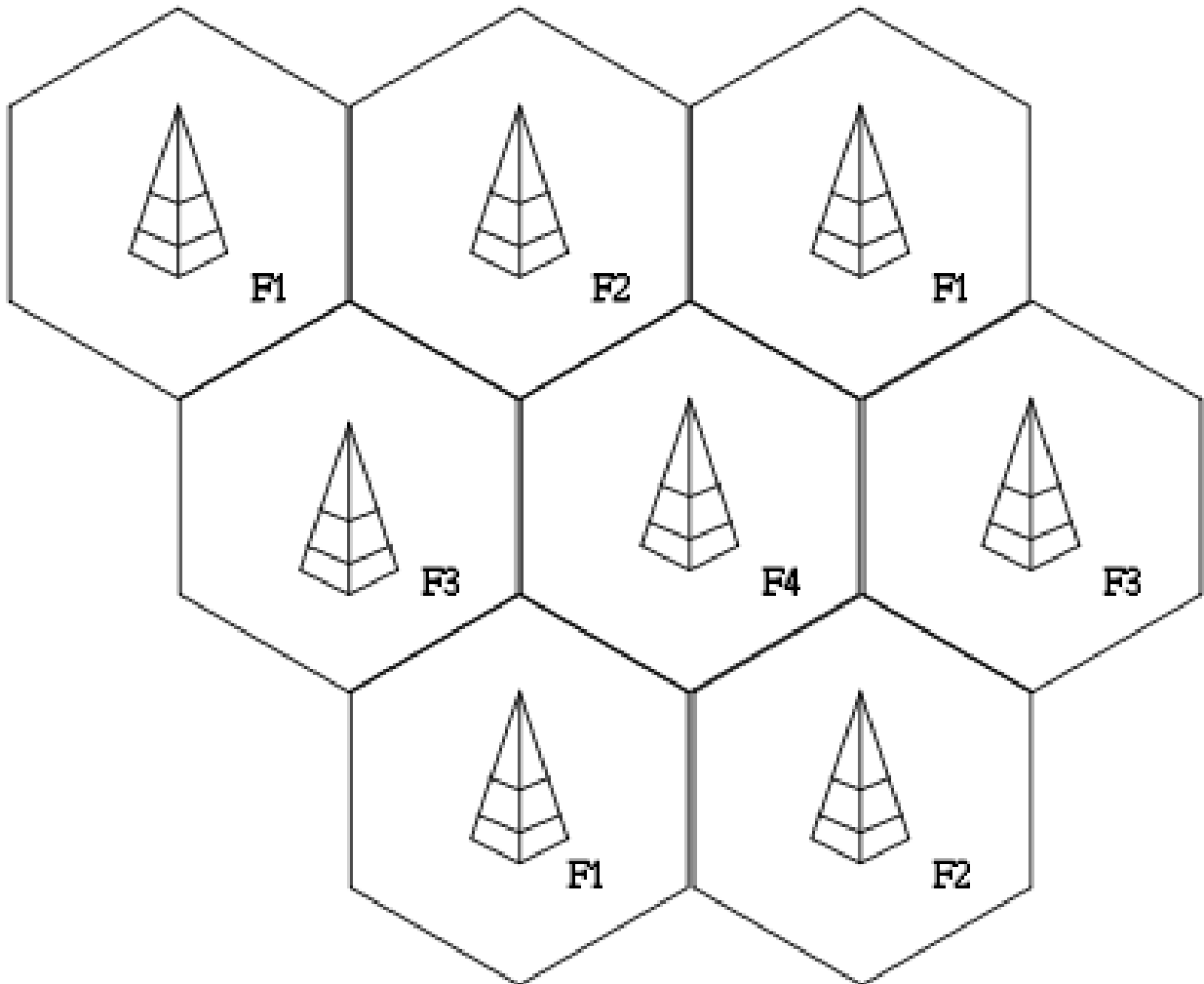
Σχήμα 2.2: Ασύρματα Δίκτυα

2.3 Κυψελωτά Δίκτυα

Ένα Κυψελωτό Δίκτυο κατατάσσεται στις κατηγορίες των ασύρματων δικτύων, το οποίο κατανέμεται σε ορισμένες γεωγραφικές περιοχές που ονομάζονται κυψέλες (cells). Κάθε κυψέλη εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης (Base Station), που διαθέτει έναν πομποδέκτη (transceiver), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την μεταφορά φωνής και δεδομένων ανάμεσα στον σταθμό βάσης και τον χρήστη.

Τα κυψελωτά δίκτυα έχουν ως στόχο την παροχή υπηρεσιών σε κινητά τερματικά. Σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα κινητής τηλεφωνίας καλύπτει μεγαλύτερες γεωγραφικές

περιοχές, έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου και καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας με αρκετά χαμηλότερο κόστος.[17]



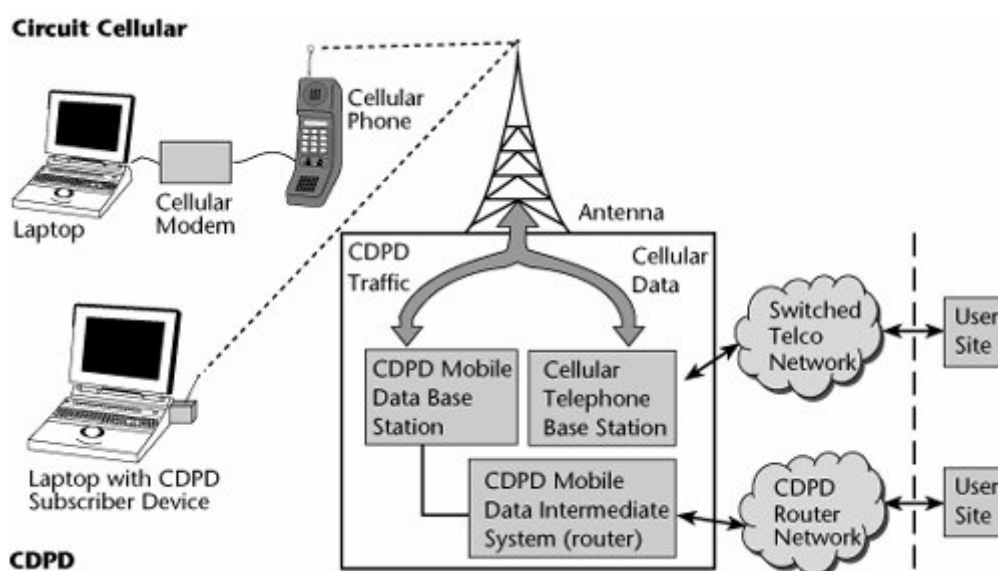
Σχήμα 2.3: Κυψελωτά Δίκτυα

Αποδοτική ανάθεση πόρων σε δίκτυα 5G με τεχνικές machine learning

3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΧΡΙ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΟΥ 5G

3.1 Η γενιά δικτύων 1G

Το 1G αναφέρεται ως η πρώτη γενιά ασύρματης κυψελοειδούς τεχνολογίας (κινητές τηλεπικοινωνίες). Αυτά είναι τα αναλογικά πρότυπα τηλεπικοινωνιών που εισήχθησαν τη δεκαετία του 1980 και συνεχίστηκαν μέχρι να αντικατασταθούν από τις ψηφιακές τηλεπικοινωνίες 2G. Η γενιά αυτή ήταν η πρώτη όπου οι τεχνολογίες των ασύρματων τηλεπικοινωνιών παίρνουν την μορφή κινητού τηλεφώνου. Σε αυτή την γενιά τέθηκαν ορισμένα πρότυπα όπως: Mobile Telephone System(MTS), Advanced Mobile Telephone System(AMTS) και Improved Mobile Telephone Service(IMTS). Σε αυτή την γενιά των δικτύων τα αναλογικά σήματα που μεταδίδονταν, διαμορφωνόντουσαν σε μεγάλες συχνότητες, μεγαλύτερες ακόμα και των 150MHz, επειδή μεταδίδονταν μεταξύ κεραιών. Στην διαμόρφωση των σημάτων εισήχθει και η τεχνική Frequency Division Multiple Access(FDMA)[14].

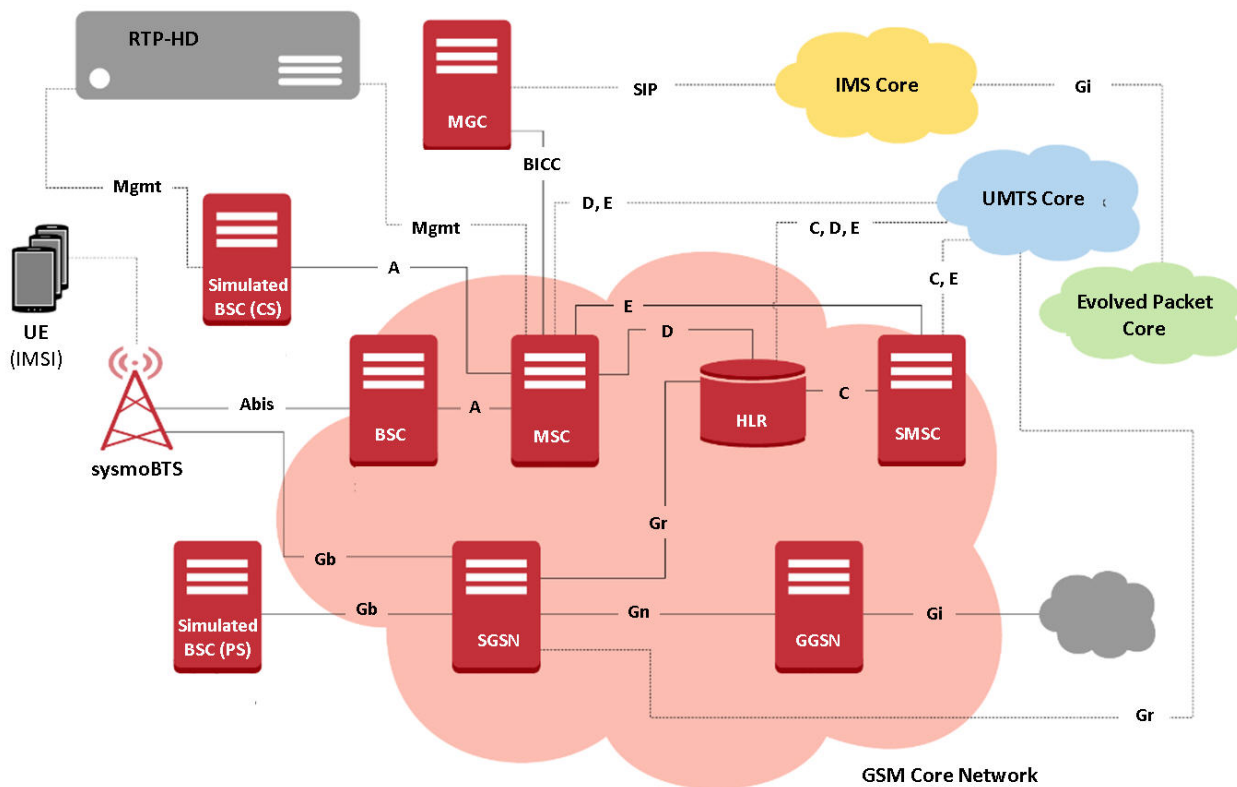


Σχήμα 3.1: Πρώτη γενιά δικτύων

3.2 Η γενιά δικτύων 2G

Το 2G αντιπροσωπεύει τη δεύτερη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, τα οποία αντικατέστησαν τα προηγούμενα δίκτυα 1G. Αυτά τα δίκτυα επέτρεψαν εξαιρετικά ασφαλείς φωνητικές κλήσεις, μηνύματα κειμένου (SMS) και περιορισμένες υπηρεσίες δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Τα δίκτυα 2G ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1990 και αναπτύχθηκαν σε διάφορα μέρη του κόσμου μέσω διαφόρων ψηφιακών τεχνολογιών. Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο τεχνολογίας για τη δεύτερη γενιά κινητών δικτύων είναι το παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών (GSM). Το ψηφιακό προηγμένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας

(D-AMPS) και το προσωρινό πρότυπο 95 (IS-95) είναι οι άλλες τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την έναρξη δικτύων κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G). Η δεύτερη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποίησε δύο νέες τεχνολογίες πρόσβασης, το TDMA (Time Division Multiple Access) και το CDMA (Code Division Multiple Access). Οι τεχνολογίες πρόσβασης αποτελούν μέρος του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, που επιτρέπει σε ένα κινητό τηλέφωνο να συνδέεται ασύρματα στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας μέσω ραδιοκυμάτων. Τα δίκτυα GSM πρόσθεσαν μια βελτίωση αποκαλούμενη General Packet Radio Service (GPRS), που εισήγαγε τους νέους κόμβους δικτύων στην αρχιτεκτονική GSM για να παρέχει τις αποδοτικές υπηρεσίες στοιχείων κινητής τηλεφωνίας. Το GPRS είναι μία βελτίωση της δεύτερης γενιάς και συχνά αναφέρεται ως 2.5G, καθώς άνοιξε το δρόμο για τις υπηρεσίες δεδομένων 3G, που αργότερα χρησιμοποίησαν τους ίδιους κόμβους δικτύου.[14]

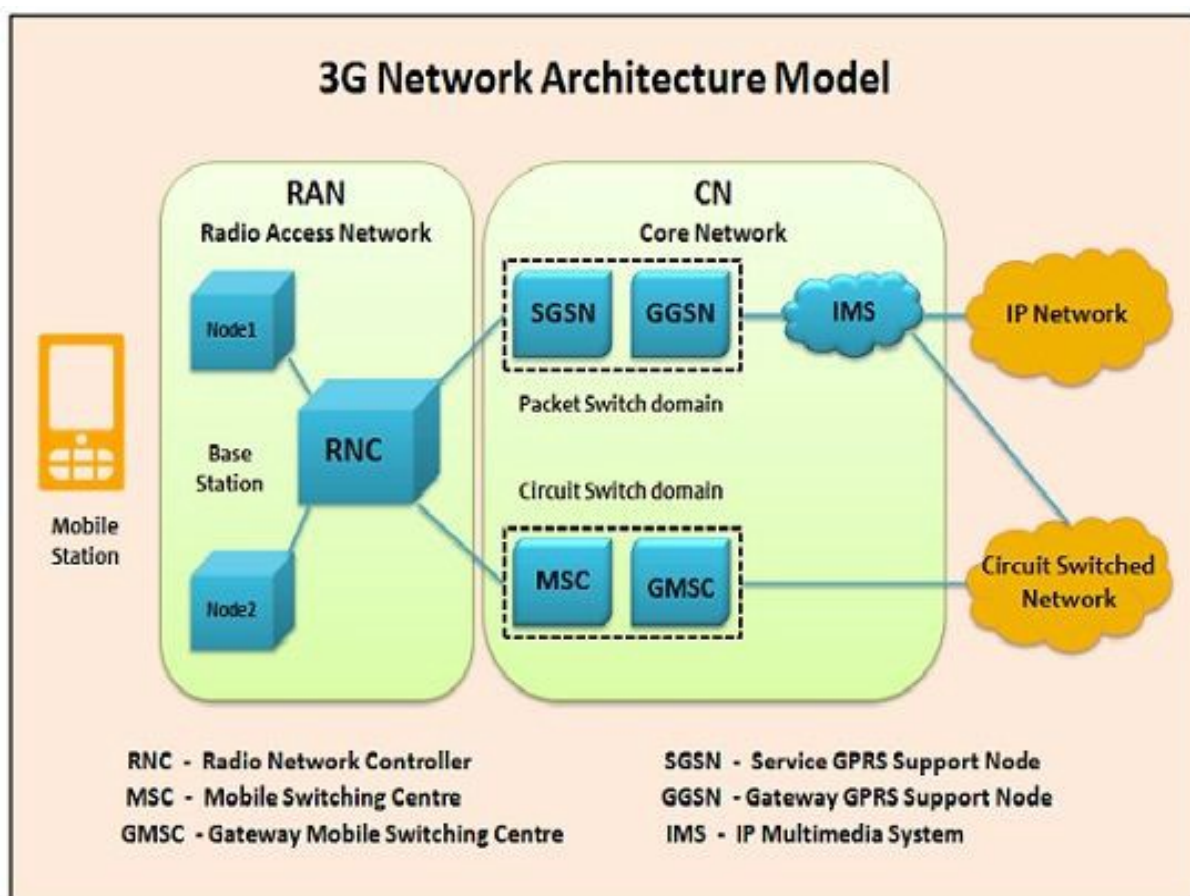


Σχήμα 3.2: Δεύτερη γενιά δικτύων

3.3 Η γενιά δικτύων 3G

Το 3G στις κινητές επικοινωνίες αντιπροσωπεύει την τρίτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Έχουν υπάρξει δύο διαδρομές μετεγκατάστασης 3G, που βασίστηκαν και οι δύο στην τεχνολογία CDMA (Code Division Multiple Access). Η πρώτη διαδρομή ήταν UMTS για τη μετεγκατάσταση δικτύων GSM σε 3G και το άλλο κομμάτι ήταν CDMA2000 για IS-95

και D-AMPS. UMTS, το οποίο αντιπροσωπεύει την πρώτη διαδρομή, το καθολικό κινητό σύστημα τηλεπικοινωνιών. Χρησιμοποιεί το Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) για τη διεπαφή αέρα για να προσφέρει μέγιστα ποσοστά δεδομένων λήψης έως και 2Mbps. Ο μέσος ρυθμός δεδομένων με UMTS είναι περίπου 384kbps. Τα δίκτυα High-Speed Packet Access (HSPA) βασίζονται σε UMTS. Τα δίκτυα HSPA μπορούν να προσφέρουν μέγιστη downlink και uplink ταχύτητες μέχρι 14.4Mbps και 5.76Mbps, αντίστοιχα. UMTS εισήχθη ως μέρος της έκδοσης 3GPP 1999, η οποία αργότερα είδε βελτιώσεις με τη μορφή HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) και Evolved High-Speed Packet Access (HSPA+) για την παροχή βελτιώσεων ρυθμού δεδομένων. Το άλλο κομμάτι, CDMA2000 ήταν κυρίως για IS-95 και D-AMPS. Το CDMA2000 μπορεί να υποστηρίξει μέγιστα ποσοστά δεδομένων έως και 153kbps στην κάθοδο και στην άνοδο. Οι ρυθμοί δεδομένων στα δίκτυα CDMA2000 ενισχύθηκαν αργότερα μέσω του EVDO (Evolution Data Optimized). Το EVDO μπορεί να προσφέρει μέγιστες ταχύτητες λήψης έως 14.7 Mbps και κορυφαίες ταχύτητες μεταφοράς έως και 5.4Mbps.[4]

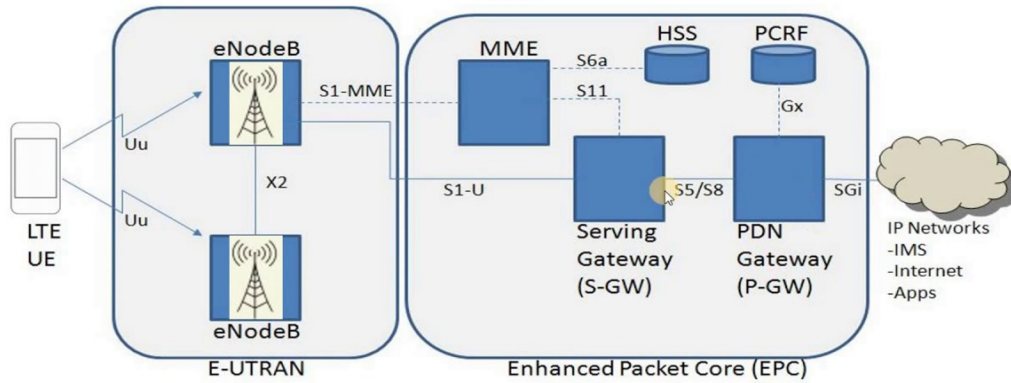


Σχήμα 3.3: Τρίτη γενιά δικτύων

3.4 Η γενιά δικτύων 4G

Το 4G[12] αντιπροσωπεύει την τέταρτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Ενεργοποιείται από μία τεχνολογία που ονομάζεται LTE, η οποία αντιπροσωπεύει τη μακροπρόθεσμη εξέλιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Το LTE είναι η διαδρομή μετεγκατάστασης 4G για βασικές τεχνολογίες 3G, συμπεριλαμβανομένων των UMTS και CDMA2000. Παρόλο που μία άλλη τεχνολογία WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), μπορεί επίσης να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις 4G, το LTE είναι η κύρια τεχνολογία για παγκόσμιες αναπτύξεις 4G. Τα δίκτυα LTE είναι πλήρη για μεταγωγή πακέτων και δεν διαθέτουν τμήμα μεταγωγής κυκλώματος. Μία τεχνολογία που βασίζεται σε πακέτα Voice over LTE (VoLTE) είναι υπεύθυνη για την ενεργοποίηση φωνητικών κλήσεων και μηνυμάτων κειμένου σε δίκτυα LTE 4G. Ωστόσο, τα δίκτυα LTE έχουν μία επαναφορά με διακοπτή κυκλώματος 2G/3G, η οποία τους επιτρέπει να διευκολύνουν τις φωνητικές κλήσεις και τα SMS μέσω δικτύων 2G ή 3G, εάν η δυνατότητα VoLTE δεν υποστηρίζεται από το τηλέφωνο ή τον πάροχο κινητής τηλεφωνίας. Το LTE μπορεί να προσφέρει μέγιστα ποσοστά δεδομένων downlink έως και 300Mbps και χαμηλότερες καθυστερήσεις από τα δίκτυα 3G. Τα δίκτυα 4G LTE μπορούν να προσφέρουν αξιόπιστες υπηρεσίες κινητού Internet ευρείας ζώνης λόγω των μέσων ταχυτήτων που μπορούν να ενεργοποιήσουν. Το LTE στο κινητό τηλέφωνο μπορεί να λειτουργήσει ως hotspot κινητής τηλεφωνίας για να παρέχει ένα αντίγραφο ασφαλείας για την ευρυζωνική σύνδεση. Μετά την κυκλοφορία του LTE, ορισμένες βελτιώσεις εισήχθησαν με τη μορφή LTE Advanced και LTE Advanced Pro. Εμφανίζονται στην οθόνη του κινητού τηλεφώνου ως LTE+ και μπορούν να υποστηρίξουν μέγιστες θεωρητικές ταχύτητες έως 1Gbps και 3Gbps, αντίστοιχα. Το LTE χρησιμοποιεί το OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) για πρόσβαση στο ραδιόφωνο, το οποίο είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό από προηγούμενες τεχνολογίες ραδιοεπικοινωνίας. Υποστηρίζει μία εξαιρετικά αποτελεσματική τεχνική διαμόρφωσης, QAM (Quadrature Amplitude Modulation), η οποία παράγει υψηλότερα ποσοστά δεδομένων για να χρησιμοποιήσει τη διαθέσιμη συχνότητα καλύτερα.[3]

4G | LTE ARCHITECTURE



Σχήμα 3.4: Τέταρτη γενιά δικτύων

Αποδοτική ανάθεση πόρων σε δίκτυα 5G με τεχνικές machine learning

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5G

Η πέμπτη γενιά (5G)[22] δικτύων κινητής τηλεφωνίας έφτασε και υπόσχεται να προσφέρει ένα ενοποιητικό έναυσμα συνδεσιμότητας, που θα αναλάβει πολύ μεγαλύτερο ρόλο από τις προηγούμενες γενιές. Για περισσότερες από τρεις δεκαετίες, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν εξελιχθεί να διασυνδέουν τους ανθρώπους με νέους και καλύτερους τρόπους. Αν και αυτή η εξέλιξη των νέων χαρακτηριστικών και τεχνολογιών είναι συνεχείς, περίπου κάθε 10 χρόνια μια νέα γενιά κινητών εισάγεται στις τεχνολογίες, που προσφέρουν ένα μεγάλο άλμα στην απόδοση, την αποδοτικότητα και την ικανότητα. Πλέον, ο κόσμος βρίσκεται στην αρχή της πέμπτης γενιάς κινητών δικτύων, ενοποιώντας τον ιστό συνδεσιμότητας για ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών, που θα φέρει σημαντικά και κοινωνικά οφέλη.

Τα δίκτυα 5G είναι η 5η γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Είναι μία σημαντική εξέλιξη των δικτύων 4G LTE. Η δημιουργία των 5G δικτύων έχει σχεδιαστεί για να ανταποκρίνεται στην πολύ μεγάλη ανάπτυξη δεδομένων και συνδεσιμότητας της σύγχρονης κοινωνίας και στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), με δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές. Είναι ένα ολοκαίνουριο δίκτυο που όχι μόνο θα διασυνδέει ανθρώπους, αλλά και θα διασυνδέει και τον έλεγχο μηχανών, αντικειμένων και συσκευών, μια πλατφόρμα για καινοτομίες που μπορούν να ενεργοποιήσουν νέες υπηρεσίες, ενδυνάμωση νέων εμπειριών χρηστών και σύνδεση νέων βιομηχανιών. Το 5G θα βελτιώσει σημαντικά και θα μειώσει το κόστος για τις κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες σήμερα στο 4G, ενώ παράλληλα δίνει ζωή σε νέα είδη υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα, επιτρέποντας τον κρίσιμο έλεγχο της αποστολής μέσω εξαιρετικά αξιόπιστων συνδέσεων χαμηλής καθυστέρησης.

Ενώ, οι πρώτες τέσσερις γενιές δικτύων κινητής τηλεφωνίας συνέδεσαν τους ανθρώπους με την παράδοση, καλύτερες υπηρεσίες φωνής και ταχύτερες υπηρεσίες δεδομένων αναμένονται από το 5G. Το 5G είναι μία πλατφόρμα για καινοτομίες που επαναπροσδιορίζουν ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών συνδέοντας ουσιαστικά τους πάντες και τα πάντα, υποστηρίζοντας τις ανάγκες συνδεσιμότητας σε μια σειρά χρήσεων, που αλλάζουν τον κόσμο.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων κινητής τηλεφωνίας, η τεχνολογία πέμπτης γενιάς (5G) αναμένεται να μεταμορφώσει ριζικά τον ρόλο που διαδραματίζει η τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών. Το 5G αναμένεται να επιτρέψει περαιτέρω οικονομική ανάπτυξη και ευρεία διάδοση ψηφιοποίησης μιας υπερ-συνδεδεμένης κοινωνίας, όπου όχι μόνο συνδέονται όλοι οι άνθρωποι στο δίκτυο όποτε χρειάζεται, αλλά πολλές άλλες συσκευές/πράγματα, δημιουργώντας έτσι μία κοινωνία με τα πάντα συνδεδεμένα.

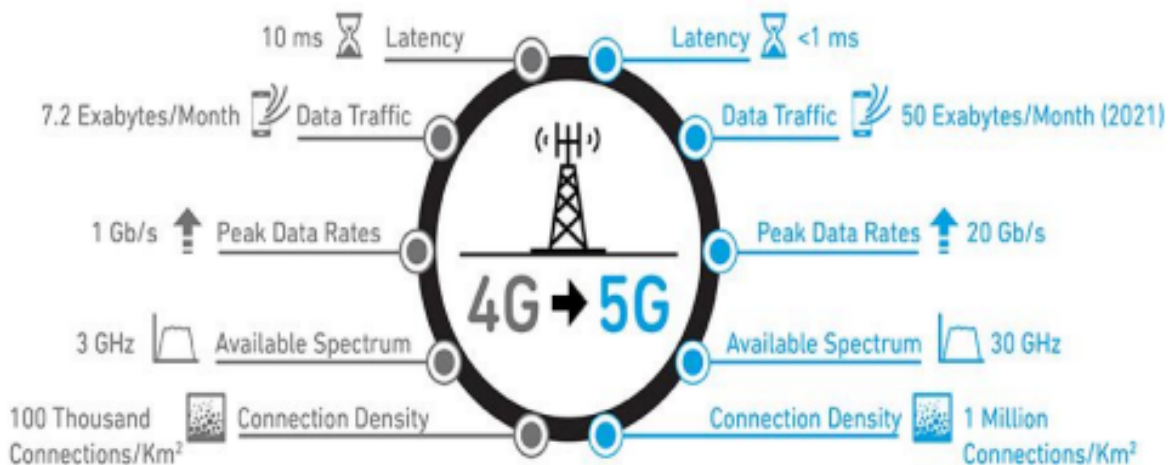
Το 5G λειτούργησε αρχικά σε συνδυασμό με τα υπάρχοντα δίκτυα 4G, πριν εξελιχθεί σε πλήρως αυτόνομο δίκτυο. Με την είσοδο του 5G στην καθημερινότητά μας, μας παρέχεται μεγαλύτερη ταχύτητα, χαμηλότερη καθυστέρηση και καλύτερη συνδεσιμότητα σε μία νέα γενιά εφαρμογών και υπηρεσιών, που δεν υπήρχαν στο παρελθόν. Υπάρχουν 3 μεγάλες

κατηγορίες, όπου το 5G είναι σίγουρα χρήσιμο:

- **Internet of Things** : Περιλαμβάνει τη σύνδεση δισεκατομμυρίων συσκευών χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτό θα επιφέρει σημαντικές αλλαγές σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας, όπως της γεωργίας, της μεταποίησης και των επιχειρησιακών επικοινωνιών.
- **Low latency communications** : Μία πολύ σημαντική κατηγορία, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου σε πραγματικό χρόνο των συσκευών, της βιομηχανικής ρομποτικής, των επικοινωνιών, των συστημάτων ασφαλείας οχημάτων και των δικτύων μεταφοράς.
- **Enhanced mobile broadband** : Λόγω των πολύ υψηλών ταχυτήτων των δεδομένων και της μεγάλης χωρητικότητας, οι νέες εφαρμογές θα περιλαμβάνουν σταθερή ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο και μεγαλύτερη συνδεσιμότητα για άτομα σε κίνηση.

4.1 Γιατί χρειαζόμαστε το 5G

Comparing 4G and 5G



Σχήμα 4.1: Διαφορές τέταρτης με πέμπτης γενιάς δικτύων

Καθώς το σύστημα 4G LTE έφτασε στην ολοκλήρωσή του, όπου μόνο μπορούν να αναμένονται σταδιακές βελτιώσεις και μικρές ποσότητες νέου φάσματος, οι ερευνητές άρχισαν να προβληματίζονται για την επόμενη γενιά των δικτύων. Ωστόσο, αυτό δεν ήταν μία απλή διαδικασία. Σύμφωνα με την ετήσια αναφορά του ευρετηρίου δικτύου (VNI), που δημοσίευσε η Cisco, τα ποσοτικά στοιχεία δείχνουν ότι η έκρηξη ασύρματων δεδομένων είναι πραγματική και θα συνεχιστεί. Σύμφωνα με μία έκθεση Ericsson Mobility Report 2019, η κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας αυξήθηκε κατά 82% ετησίως. Η έκθεση προβλέπει ότι η επισκεψιμότητα από κινητά θα αυξηθεί κατά ένα σύνθετο ρυθμό 30% μεταξύ 2018 και 2024. Προβλέπει συνολικό 8.8 δισεκατομμύρια συνδρομές κινητής τηλεφωνίας έως το 2024, συμπεριλαμβανομένων 1.9 δισεκατομμυρίων για βελτιωμένα κινητά 5G ευρυζωνική

σύνδεση.

Επίσης, με την εισαγωγή πολλών έξυπνων συσκευών χειρός, ο χρήστης απαιτεί για τις ευρυζωνικές συνδέσεις να υφίστανται μια άνευ προηγουμένου άνοδος. Η δραστική ανάπτυξη των εφαρμογών που απαιτούν εύρος ζώνης, όπως η ροή βίντεο και η κοινή χρήση αρχείων πολυμέσων πιέζει ήδη τα όρια των σημερινών κυψελωτών συστημάτων. Ως εκ τούτου ερευνητές και μηχανικοί έχουν εργαστεί για να ικανοποιήσουν αυτές τις μεγάλες απαιτήσεις μέσω νέων καινοτόμων τεχνολογιών. Πλέον επικρατεί ότι το 5G είναι ένας κινητήρας καινοτομίας φέρνοντας αλλαγή στους κλάδους, την κοινωνία και δημιουργεί νέες περιπτώσεις χρήσης και νέα επιχειρηματικά μοντέλα για βιομηχανίες και καταναλωτές.

Εκτός από την μεγάλη ζήτηση για περισσότερη χωρητικότητα δικτύου, υπάρχουν και πολλοί παράγοντες που κάνουν το 5G ενδιαφέρον, συμπεριλαμβανομένης της δυναμικά ανατρεπτικής μετάβασης στο mmWave φάσματος, νέοι τρόποι κατανομής και ανακατανομής εύρους ζώνης με γνώμονα την αγορά, εικονικοποίηση του βασικού δικτύου που θα εξαπλωθεί σταδιακά στις άκρες, η δυνατότητα ενός “Διαδικτύου των Πραγμάτων”, που αποτελείται από δισεκατομμύρια συσκευές και η αυξανόμενη ενσωμάτωση προηγούμενων και σημερινών προτύπων κινητής τηλεφωνίας και WiFi για την παροχή μιας διάχυτης εμπειρίας υψηλού ρυθμού και χαμηλής καθυστέρησης για τους χρήστες του δικτύου. Παρόλο που πολλές συνομιλίες 5G επικεντρώνονται σε υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, το 5G θα προσφέρει άλλα σημαντικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της υψηλότερης αξιοπιστίας για κρίσιμες για την αποστολή επικοινωνίες, χαμηλότερες καθυστερήσεις που επιτρέπουν νέες εφαρμογές τυχερών παιχνιδιών και επιχειρήσεων, καθώς και τεράστιο IoT συνδεσιμότητα, που μπορεί να υποστηρίξει δεκάδες χιλιάδες αισθητήρες ανά κυψέλη. Το πρότυπο 5G έχει σχεδιαστεί σκόπιμα για να παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία επιτρέποντας στους παρόχους υπηρεσιών να πραγματοποιήσουν μία ποικιλία αντισταθμίσεων μεταξύ ταχύτητας, χωρητικότητας, κατανάλωσης ενέργειας και κόστους.

Το 5G με το πέρασμα των χρόνων θα γίνει αναπόσπαστο κομμάτι του κόσμου στον οποίο ζούμε και του τρόπου λειτουργίας σε σημαντικούς παράγοντες. Κάποια συγκεκριμένα παραδείγματα που θα έχουμε με την παρουσία του 5G στην ζωή μας είναι τα παρακάτω:

- Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας θα διαχειρίζονται την κυκλοφορία πιο αποτελεσματικά από ότι με το 4G. Αυτό σημαίνει ότι η χωρητικότητα του δικτύου θα αυξηθεί, έτσι ώστε οι χρήστες να απολαμβάνουν όλο και περισσότερο σταθερές μέσες ταχύτητες, ακόμη και σε πολυσύχναστα μέρη ή σε περιοχές με κακή κάλυψη.
- Οι μέγιστες ταχύτητες θα φτάσουν και θα ξεπεράσουν το 1 Gbps.
- Η καθυστέρηση θα μειωθεί καθώς εξελίσσονται οι συσκευές 5G.
- Περισσότερες συσκευές θα μπορούν να συνδεθούν σε μία τοποθεσία 5G κυψελών, υποστηρίζοντας τον αυξημένο αριθμό των συσκευών ως μέρος του Internet of Things (IoT).

4.2 Η ανάπτυξη του 5G

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) εκχωρεί παγκόσμιο ραδιοφάσμα και δορυφορικές τροχιές, αναπτύσσοντας τα τεχνικά πρότυπα, που διασφαλίζουν ότι τα δίκτυα και οι τεχνολογίες μπορούν να διασυνδεθούν απρόσκοπτα και να προσπαθήσουν να βελτιώσουν την πρόσβαση στις πληροφορίες και τεχνολογιών επικοινωνιών σε υποεξυπηρετούμενες κοινότητες σε όλο τον κόσμο.

Από το έτος 2000, η ασύρματη πρόσβαση 3G αντιστοιχούσε στο IMT-2000, το παγκόσμιο πρότυπο για 3G που άνοιξε το δρόμο για την ενεργοποίηση καινοτόμων εφαρμογών και υπηρεσιών, ενώ η ασύρματη πρόσβαση 4G αντιστοιχεί στο IMT-Advanced. Η τρέχουσα οικογένεια προτύπων της ITU για συστήματα διεθνών κινητών τηλεπικοινωνιών, χρησιμεύουν ως παγκόσμιο πλαίσιο και ως αναφορά για τα κινητά συστήματα 3G και 4G. Ως εξέλιξη αυτού, η ITU έθεσε τις βάσεις για την 5η δημιουργία ασύρματων ευρυζωνικών τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας, γνωστές ως “IMT-2020”.

Τα πρότυπα για το 5G έχουν εγκριθεί από την ITU-R. Η ομάδα εργασίας του 5D (WP 5D) ετοίμασε κριτήρια αξιολόγησης ακολουθούμενα από υποβολή προτάσεων και αξιολόγηση των υποψήφιων τεχνολογιών. Αυτή η διαδικασία ολοκληρώθηκε στα τέλη του 2019, οδηγώντας στην πρώτη πιστοποιημένα πρότυπα 5G. Τομέας πιστοποίησης Τηλεπικοινωνιών ITU ολοκλήρωσε μία μελέτη σχετικά με τις καινοτομίες δικτύωσης που απαιτούνται για την υποστήριξη της ανάπτυξης συστημάτων 5G μέσω μιας ομάδας εστίασης στο IMT-2020. Η ITU συνεργάστηκε με χειριστές, κατασκευαστές εξοπλισμού δικτύου και πρότυπα οργανισμών για να ορίσουν τις Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες 2020 (IMT-2020).

Το όραμα 5G ορίζει ένα προηγμένο σύστημα κινητής ευρυζωνικής επικοινωνίας που μπορεί να υποστηρίξει μια εξαιρετικά συνδεδεμένη κοινωνία. Οι υψηλές ταχύτητες και η χαμηλή καθυστέρηση, που υποσχέθηκαν ότι το 5G θα ωθήσει κοινωνίες σε μία νέα εποχή έξυπνων πόλεων και του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Το 3rd Generation Partnership Project (3GPP), το οποίο ενώνει επτά τηλεπικοινωνίες τυποποιημένων οργανισμών, αναπτύσσει τα πρωτόκολλα για τις κινητές τηλεπικοινωνίες. Τα 2G, 3G και 4G βασίζονται στο έργο που γίνεται από το 3GPP και το 5G παρομοίως. Το 3GPP χρησιμοποιεί ένα σύστημα παράλληλων “εκδόσεων”, που παρέχουν στους προγραμματιστές μια σταθερή πλατφόρμα για την υλοποίηση χαρακτηριστικών σε ένα δεδομένο σημείο και στη συνέχεια επιτρέπεται η προσθήκη νέας λειτουργικότητας σε επόμενες εκδόσεις.

4.3 Αρχιτεκτονική του 5G

Resource & Functional Level[9][10]

Σε αυτό το επίπεδο της αρχιτεκτονικής των δικτύων πέμπτης γενιάς έχουμε τα παρακάτω:

- **Wireless and Fixed Access:** Τεχνολογία που παρέχει πρόσβαση στο Internet στα σπίτια, χρησιμοποιώντας τεχνολογία ασύρματου δικτύου. Το μόνο μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η απόδοσή της σε σχέση με τις ενσύρματες τεχνολογίες των παλαιότερων χρόνων.
- **Edge Cloud:** Μία αρχιτεκτονική edge cloud χρησιμοποιείται για την αποκέντρωση (επεξεργασίας) ισχύος στα άκρα (πελάτες/συσκευές) των δικτύων 5G. (Το edge computing αναφέρεται γενικά σε συσκευές IoT, αλλά και σε υλικό παιχνιδιών που επεξεργάζεται την τηλεμετρία στην ίδια συσκευή, αντί να στέλνει αυτά τα ακατέργαστα δεδομένα στο cloud). Αυτό δημιουργεί πολλές ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις, ειδικά όταν θέλουν να παρέχουν υπηρεσίες χαμηλής καθυστέρησης σε εφαρμογές ή χρήση πλατφόρμας υψηλής πυκνότητας. Το πλεονέκτημα του edge computing είναι ότι είναι ένα μοντέλο όπου οι πελάτες συνδέονται απλώς με διακομιστές (servers), χιλιάδες πελάτες συνδέονται όλοι μεταξύ τους για να εκτελούν μικρότερες εργασίες επεξεργασίας. Συνδυάζοντας το edge και το cloud, χρησιμοποιείται η δύναμη των κατανεμημένων συστημάτων επεξεργάζοντας δεδομένα στις ίδιες τις συσκευές, οι οποίες στη συνέχεια στέλνουν στο cloud. Τα οφέλη του edge cloud ποικίλλουν από την οικονομικά αποδοτική ανάπτυξη νέων υπηρεσιών έως την παροχή εμπειριών χαμηλής καθυστέρησης σε συνδεδεμένους οδηγούς αυτοκινήτων.
- **Wide Area Network:** Ως WAN ορίζεται ένα δίκτυο υπολογιστών που συνδέει μικρότερα δίκτυα. Δεδομένου ότι τα WAN δεν συνδέονται με μία συγκεκριμένη τοποθεσία, επιτρέπουν στα τοπικά δίκτυα να επικοινωνούν μεταξύ τους σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, διευκολύνουν την επικοινωνία και την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ συσκευών από οπουδήποτε στον κόσμο. Οι συνδέσεις των WAN είναι είτε ενσύρματες, είτε ασύρματες.
- **Core Cloud:** Διαθεσιμότητα πόρων συστήματος υπολογιστών. Κυρίως αποθήκευση δεδομένων και υπολογιστική ισχύς, χωρίς όμως άμεση ενεργή διαχείριση από τον χρήστη.

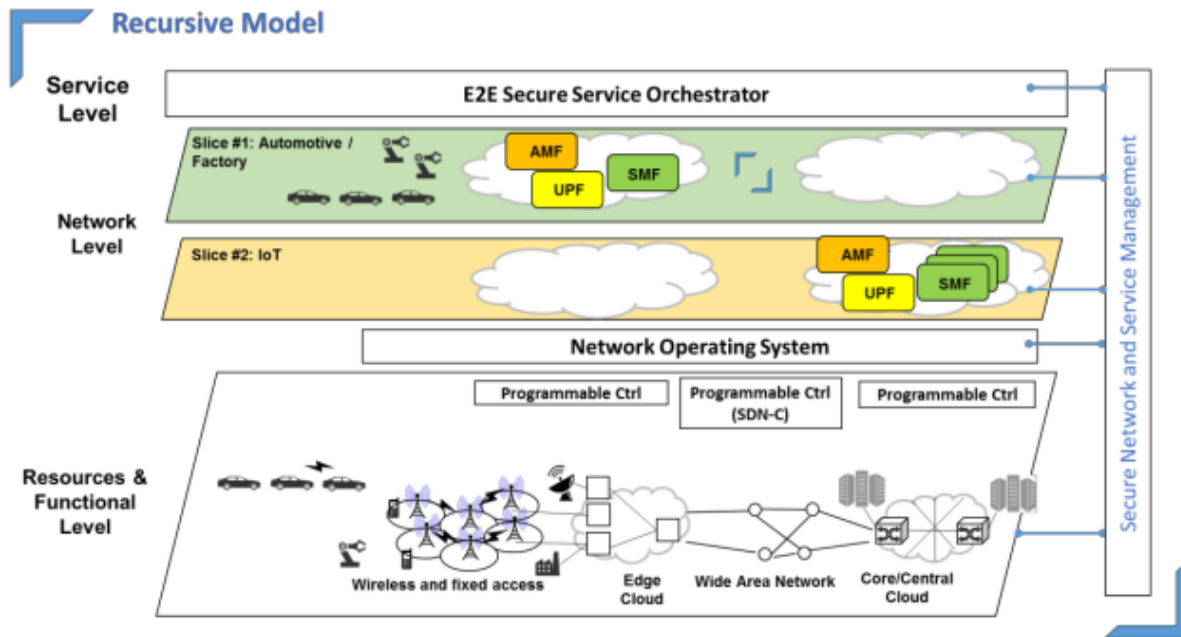
Network Operating System & Network Level

Το Network Operating System (NOS) πρόκειται για ένα λειτουργικό σύστημα υπολογιστή, που έχει σχεδιαστεί κυρίως για να υποστηρίξει workstations (σταθμούς εργασίας), προσωπικούς υπολογιστές και σε ορισμένες περιπτώσεις παλαιότερα τερματικά που είναι συνδεδεμένα σε τοπικό δίκτυο (LAN). Το λογισμικό πίσω από ένα network operating system επιτρέπει σε πολλές συσκευές μέσα σε ένα δίκτυο να επικοινωνούν και να μοιράζονται πόρους μεταξύ τους. Η σύνθεση του υλικού που χρησιμοποιεί ένα network operating system περιλαμβάνει έναν αριθμό προσωπικών υπολογιστών, έναν διακομιστή (server) και έναν διακομιστή αρχείων (file server) με ένα τοπικό δίκτυο που τους συνδέει μεταξύ τους. Ο ρόλος του NOS είναι να παρέχει βασικές υπηρεσίες δικτύου και δυνατότητες που υποστηρίζουν πολλαπλές αιτήσεις εισόδου ταυτόχρονα σε ένα περιβάλλον πολλών χρηστών. Μερικά παραδείγματα Network Operating System είναι τα Artisoft's LANtastic, Banyan's VINES, Novell's NetWare, Microsoft LAN Manager.

Service Level

Είναι ένα από τα πιο σημαντικά επίπεδα στην αρχιτεκτονική του 5G. Μία από τις πιο ση-

μαντικές δυνατότητες που μας παρέχει είναι η υποστήριξη μεγάλου ποσοστού υπηρεσιών ταυτόχρονα με δυναμικό τρόπο και είναι αυτό το στοιχείο που διαφοροποιεί το δίκτυο 5ης γενιάς από τα προηγούμενα ασύρματα δίκτυα. Τα slices στο επίπεδο αυτό είναι οργανωμένα και ακολουθούν έναν προκαθορισμένο μοτίβο συντονισμού μέσω της λειτουργίας διαχείρισης υπηρεσιών (service management function).



Σχήμα 4.2: Αρχιτεκτονική δικτύων πέμπτης γενιάς

4.4 Πλεονεκτήματα Δικτύων 5G

Τα δίκτυα 5G[16] υποστηρίζουν υπηρεσίες με δυνατότητες συνδεσιμότητας σε όλο τον κόσμο, οι οποίες εξυπηρετούν πολλαπλές ανθρώπινες ανάγκες σε προσωπικό και επαγγελματικό επίπεδο.

Αυξημένο εύρος ζώνης για όλους τους χρήστες

Με τον όρο εύρος ζώνης εννοούμε την ποσότητα του «χώρου», που είναι διαθέσιμη για άτομα που χρησιμοποιούν δεδομένα για λήψη αρχείων, προβολή σελίδων στο Διαδίκτυο και παρακολούθηση βίντεο κλπ. Όσο λιγότερο εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο, τόσο πιο αργά θα τρέχουν οι συσκευές όλων. Ένα από τα πλεονεκτήματα της πέμπτης γενιάς δικτύων είναι ότι θα υπάρχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης στα δίκτυα. Αυτό σημαίνει, ότι με το 5G οι άνθρωποι δεν θα αισθάνονται ότι παλεύουν για δεδομένα με όλους τους άλλους χρήστες, όταν εισέρχονται σε πολυσύχναστους χώρους. Με περισσότερο εύρος ζώνης, οι άνθρωποι θα μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν αυτό το εύρος ζώνης για να κάνουν

περισσότερα με τις συσκευές τους, καθιστώντας τις πιο ευέλικτες από ποτέ.

Περισσότερο εύρος ζώνης σημαίνει μεγαλύτερη ταχύτητα

Με περισσότερα άτομα να μπορούν να χρησιμοποιούν αυτό το αυξημένο εύρος ζώνης, μερικοί άνθρωποι μπορεί να ανησυχούν για τις ταχύτητες τους σε ένα δίκτυο 5G. Αυτό είναι ένα πρόβλημα τους παρελθόντος, καθώς τα άτομα που χρησιμοποιούν ένα δίκτυο 5G μπορούν να περιηγούνται στον ιστό, να κατεβάζουν αρχεία και ακόμη να κάνουν ροή βίντεο με εξαιρετικές ταχύτητες. Λόγω του αυξημένου εύρους ζώνης, οι άνθρωποι θα μπορούν να χρησιμοποιούν περισσότερο από αυτό χωρίς να παραγκωνίζουν άλλους χρήστες. Με μεγαλύτερο μέρος του δικτύου αφιερωμένο σε κάθε μεμονωμένη έξυπνη συσκευή, οι έξυπνες συσκευές θα μπορούν να λειτουργούν πιο γρήγορα από ποτέ.

4.5 Μειονεκτήματα Δικτύων 5G

Limited Global Coverage (Περιορισμένη Παγκόσμια Κάλυψη)[16]

Ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα του 5G είναι ότι αυτή την στιγμή προσφέρει περιορισμένη/άνιση κάλυψη και είναι διαθέσιμο μόνο σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Με τις πυκνοκατοικημένες περιοχές να είναι το βασικό επίκεντρο για την ανάπτυξη, είναι πιθανό οι μεγάλες πόλεις να είναι οι πρώτες που θα επωφεληθούν από το 5G.

Decreased Broadcast Distance (Μειωμένη απόσταση μετάδοσης)

Δεν είναι μόνο η συχνότητα του 5G, που κάνει το δίκτυο τόσο γρήγορο, είναι ένας συνδυασμός συχνότητας και της νέας τεχνολογίας στους ιστούς. Ωστόσο, το 5G δεν θα ταξιδέψει τόσο μακριά από τους ιστούς όσο το 4G και αντικείμενα όπως ψηλά κτίρια και δέντρα θα μπλοκάρουν την υψηλή συχνότητά του. Επομένως, για να παραδοθεί η ταχύτητα και η αναμενόμενη υπηρεσία, πρέπει να εγκατασταθούν πολυάριθμοι πύργοι 5G για ομοιόμορφη κάλυψη. Αυτό είναι και δαπανηρό και χρονοβόρο.

Upload Speeds (Ταχύτητες μεταφόρτωσης)

Οι ταχύτητες λήψης της τεχνολογίας 5G είναι απίστευτα υψηλές, όπως γνωρίζουμε από παραπάνω με τα πλεονεκτήματα. Ωστόσο, οι ταχύτητες μεταφόρτωσης δεν υπερβαίνουν συχνά τα 100Mbps. Σε σχέση με την υπάρχουσα συνδεσιμότητα κινητής τηλεφωνίας, οι ταχύτητες μεταφόρτωσης είναι υψηλότερες από την υπάρχουσα τεχνολογία, όπως το LTE.

Weakened Device Batteries (Εξασθενημένες μπαταρίες συσκευής)

Όσον αφορά τις έξυπνες συσκευές μας, πάντα θέλουμε περισσότερα. Θέλουμε να λειτουργούν γρήγορα και η μπαταρία να διαρκεί περισσότερο. Ως εκ τούτου, οι κατασκευαστές πρέπει να επενδύσουν σε νέα τεχνολογία μπαταριών διασφαλίζοντας ότι οι φορητές συσκευές μπορούν να λειτουργούν για σημαντικό χρονικό διάστημα με μία μόνο φόρτιση.

Με την εμφάνιση του 5G, ορισμένοι χρήστες έχουν αναφέρει ότι το 5G όχι μόνο εξαντλεί τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, αλλά κάνει και τις συσκευές ζεστές.

Cyber Security (Κυβερνασφάλεια)

Η ταχεία επέκταση του 5G θα απαιτήσει μια νέα προσέγγιση στην ασφάλεια στον κυβερνοχώρο. Όπως συμβαίνει με κάθε πρωτοποριακή τεχνολογία, οι χάκερς θα βρουν τρόπους να εκμεταλλευτούν τα τρωτά σημεία. Πολλοί ανησυχούν ότι με αυξημένη συνδεσιμότητα και ταχύτητα διευκολύνουμε τους εγκληματίες του κυβερνοχώρου να αποκτήσουν πρόσβαση στα δεδομένα και τα συστήματά μας.

5. ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5G

5.1 Δίκτυα καθορισμένα από το λογισμικό (SDN)

Η πλήρης ονομασία του είναι Software Defined Networking[26]. Πρόκειται για μία τεχνολογία που αφαιρεί διαφορετικά, διακριτά επίπεδα ενός δικτύου για να κάνει το δίκτυο πιο ευέλικτο και για να διευκολύνει την διαχείριση του. Το Software-Defined Networking (SDN) είναι μία προσέγγιση δικτύωσης που χρησιμοποιεί ελεγκτές που βασίζονται σε λογισμικό ή διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (API) για την επικοινωνία με την υποκείμενη υποδομή υλικού και την άμεση κίνηση σε ένα δίκτυο. Αυτό το μοντέλο διαφέρει από αυτό των παραδοσιακών δικτύων, τα οποία χρησιμοποιούν αποκλειστικές συσκευές υλικού (όπως δρομολογητές και μεταγωγείς) για τον έλεγχο της κυκλοφορίας του δικτύου. Το SDN μπορεί να δημιουργήσει και να ελέγξει ένα εικονικό δίκτυο - ή να ελέγξει ένα παραδοσιακό υλικό – μέσω λογισμικού. Ο στόχος του SDN είναι να βελτιώσει τον έλεγχο του δικτύου επιτρέποντας στις επιχειρήσεις και τους παρόχους υπηρεσιών να ανταποκρίνονται γρήγορα στις μεταβαλλόμενες επιχειρηματικές απαιτήσεις. Με το SDN, ένας μηχανικός δικτύου ή ένας διαχειριστής μπορεί να διαμορφώσει την κυκλοφορία από μία κεντρική κονσόλα ελέγχου χωρίς να χρειάζεται να αγγίξει μεμονωμένους διακόπτες στο δίκτυο. Ένας κεντρικός ελεγκτής SDN κατευθύνει τους διακόπτες για να παρέχουν υπηρεσίες δικτύου οπουδήποτε χρειάζονται, ανεξάρτητα από τις συγκεκριμένες συνδέσεις μεταξύ διακομιστή και συσκευών. Αυτή η διαδικασία μας απομακρύνει από την παραδοσιακή αρχιτεκτονική δικτύου, στην οποία μεμονωμένες συσκευές δικτύου λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με την κυκλοφορία με βάση τους διαμορφωμένους πίνακες δρομολόγησής τους.

Αρχιτεκτονική SDN

Η αρχιτεκτονική SDN περιλαμβάνει τρία επίπεδα: το επίπεδο εφαρμογής (application layer), το επίπεδο ελέγχου (control layer) και το επίπεδο υποδομής (infrastructure layer). Αυτά τα επίπεδα επικοινωνούν χρησιμοποιώντας διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών βόρειας και νότιας κατεύθυνσης (APIs).

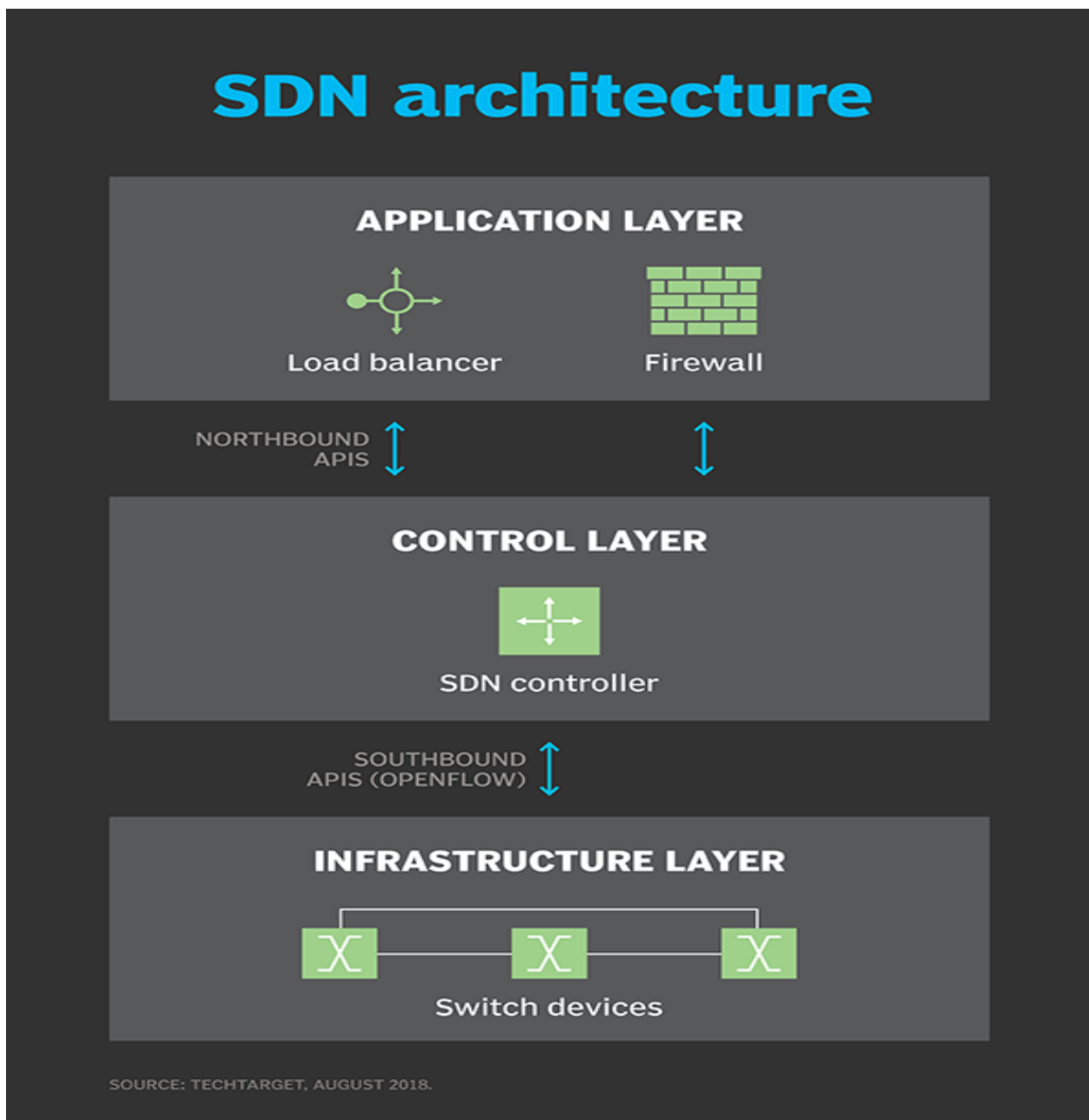
- **Application Layer:** Το επίπεδο εφαρμογής περιέχει τις τυπικές εφαρμογές δικτύου ή λειτουργίες που χρησιμοποιούν οι οργανισμοί. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συστήματα ανίχνευσης εισβολής, εξισορρόπηση φορτίου (load balancing) ή τείχη προστασίας (firewalls). Όταν τα παραδοσιακά δίκτυα χρησιμοποιούσαν μία εξειδικευμένη συσκευή, όπως μία συσκευή εξισορρόπησης φορτίου, ένα δίκτυο που καθορίζεται από λογισμικό αντικαθιστά τη συσκευή με μία εφαρμογή που χρησιμοποιεί έναν ελεγκτή για τη διαχείριση της συμπεριφοράς του επιπέδου δεδομένων.

- **Control Layer:** Το επίπεδο ελέγχου αντιπροσωπεύει το κεντρικό λογισμικό ελεγκτή SDN, που λειτουργεί ως ο εγκέφαλος του δικτύου που ορίζεται από το λογισμικό. Αυτός ο ελεγκτής βρίσκεται σε έναν διακομιστή και διαχειρίζεται τις πολιτικές και τις ροές κυκλοφορίας σε όλο το δίκτυο.

- **Infrastructure Layer:** Το επίπεδο υποδομής αποτελείται από τους φυσικούς μεταγωγείς

στο δίκτυο. Αυτοί οι διακόπτες προωθούν την κίνηση του δικτύου στους προορισμούς τους.

Αυτά τα τρία επίπεδα επικοινωνούν χρησιμοποιώντας αντίστοιχα APIs, βόρεια και νότια. Οι εφαρμογές επικοινωνούν με τον ελεγκτή μέσω της διεπαφής βορρά. Ο ελεγκτής και οι διακόπτες επικοινωνούν χρησιμοποιώντας διασυνδέσεις νότιας κατεύθυνσης, όπως το OpenFlow.



Σχήμα 5.1: Αρχιτεκτονική SDN

Λειτουργία SDN

Όπως κάθε εικονικό στοιχείο, έτσι και στο SDN το λογισμικό αποσυνδέεται από το υλικό. Το SDN μετακινεί το επίπεδο ελέγχου που καθορίζει την κυκλοφορία στο λογισμικό και αφήνει το επίπεδο δεδομένων, που πραγματικά προωθεί την κίνηση στο υλικό. Αυτό επιτρέπει στους διαχειριστές δικτύου που χρησιμοποιούν δικτύωση που καθορίζεται από το λογισμικό να προγραμματίζουν και να ελέγχουν ολόκληρο το δίκτυο μέσω ενός μόνο υαλοπίνακα αντί για συσκευή ανά συσκευή.

Υπάρχουν τρία μέρη σε μια τυπική αρχιτεκτονική SDN, τα οποία μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικές φυσικές τοποθεσίες:

- **Applications:** Συμβάλλουν στην επικοινωνία με αιτήματα πόρων ή με πληροφορίες για το δίκτυο στο σύνολό του.
- **Controllers:** Χρησιμοποιούν τις πληροφορίες από τις εφαρμογές για να αποφασίσουν πώς να δρομολογήσουν ένα πακέτο δεδομένων.
- **Networking devices:** Λαμβάνουν πληροφορίες από τους controllers για το μέρος που θα μετακινήσουν τα δεδομένα.

Οι φυσικές ή εικονικές συσκευές δικτύωσης μεταφέρουν πραγματικά τα δεδομένα μέσω του δικτύου. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι εικονικοί διακόπτες, οι οποίοι μπορεί να είναι ενσωματωμένοι είτε στο λογισμικό είτε στο υλικό, αναλαμβάνουν τις ευθύνες των φυσικών διακοπών και ενοποιούν τις λειτουργίες τους σε ένα ενιαίο, έξυπνο διακόπτη. Ο διακόπτης ελέγχει την ακεραιότητα τόσο των πακέτων δεδομένων όσο και των προορισμών της εικονικής τους μηχανής και μετακινεί τα πακέτα κατά μήκος.

Γιατί το SDN είναι τόσο σημαντικό;

Το SDN αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός από την παραδοσιακή δικτύωση, καθώς επιτρέπει τα ακόλουθα:

- **Increased control with greater speed and flexibility:** Αντί να προγραμματίζουν μη αυτόματα πολλαπλές συσκευές υλικού για συγκεκριμένους προμηθευτές, οι προγραμματιστές μπορούν να ελέγχουν τη ροή της κυκλοφορίας σε ένα δίκτυο απλώς προγραμματίζοντας έναν ανοιχτό πρότυπο ελεγκτή που βασίζεται σε λογισμικό. Οι διαχειριστές δικτύων έχουν επίσης μεγαλύτερη ευελιξία στην επιλογή εξοπλισμού δικτύου, καθώς μπορούν να επιλέξουν ένα μόνο πρωτόκολλο για επικοινωνία με οποιονδήποτε αριθμό συσκευών υλικού μέσω ενός κεντρικού ελεγκτή.
- **Customizable network infrastructure:** Με ένα δίκτυο που καθορίζεται από λογισμικό, οι διαχειριστές μπορούν να διαμορφώσουν τις υπηρεσίες δικτύου και να εκχωρήσουν ειδικούς πόρους για να αλλάξουν την υποδομή δικτύου σε πραγματικό χρόνο μέσω μιας κεντρικής τοποθεσίας. Αυτό επιτρέπει στους διαχειριστές δικτύου να βελτιστοποιήσουν τη ροή δεδομένων μέσω του δικτύου και να δίνουν προτεραιότητα σε εφαρμογές που απαι-

τούν περισσότερη διαθεσιμότητα.

- **Robust security (ισχυρή ασφάλεια):** Ένα δίκτυο που καθορίζεται από λογισμικό παρέχει ορατότητα σε ολόκληρο το δίκτυο παρέχοντας μια πιο ολιστική εικόνα των απειλών ασφαλείας. Με τον πολλαπλασιασμό των έξυπνων συσκευών, που συνδέονται στο δίκτυο, το SDN προσφέρει σαφή πλεονεκτήματα έναντι της παραδοσιακής δικτύωσης. Οι χειριστές μπορούν να δημιουργήσουν ξεχωριστές ζώνες για συσκευές που απαιτούν διαφορετικά επίπεδα ασφαλείας ή να θέσουν αμέσως σε καραντίνα συσκευές που έχουν παραβιαστεί, ώστε να μην μπορούν να μολύνουν το υπόλοιπο δίκτυο.

Η βασική διαφορά μεταξύ του SDN και της παραδοσιακής δικτύωσης είναι η υποδομή: το SDN βασίζεται σε λογισμικό, ενώ η παραδοσιακή δικτύωση βασίζεται σε υλικό. Επειδή, το επίπεδο ελέγχου βασίζεται σε λογισμικό, το SDN είναι πολύ ευέλικτο από την παραδοσιακή δικτύωση. Επιτρέπει στους διαχειριστές να ελέγχουν το δίκτυο, να αλλάζουν τις ρυθμίσεις παραμέτρων, να παρέχουν πόρους και να αυξάνουν τη χωρητικότητα του δικτύου, χωρίς να απαιτείται περισσότερο υλικό.

Υπάρχουν επίσης διαφορές ασφαλείας μεταξύ του SDN και της παραδοσιακής δικτύωσης. Χάρη στη μεγαλύτερη ορατότητα και τη δυνατότητα καθορισμού ασφαλών διαδρομών, το SDN προσφέρει καλύτερη ασφάλεια με πολλούς τρόπους. Ωστόσο, επειδή τα δίκτυα που καθορίζονται από το λογισμικό χρησιμοποιούν έναν κεντρικό ελεγκτή, η ασφάλιση του ελεγκτή είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση ενός ασφαλούς δικτύου.

Πλεονεκτήματα χρήσης SDN

Πολλές από τις σημερινές υπηρεσίες και εφαρμογές, ειδικά όταν περιλαμβάνουν το cloud, δεν θα μπορούσαν να λειτουργήσουν χωρίς SDN. Το SDN παρέχει εξαιρετικό έλεγχο σε όλο το δίκτυο λόγω της προγραμματίσιμης φύσης του, κάνοντάς το πολύ προσιτό στις επιχειρήσεις. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που μας παρέχει η τεχνολογία SDN είναι:

- **Μειωμένο κόστος της δικτυακής υποδομής:** Στις συσκευές έχουμε software, αντί για εγκατάσταση μηχανημάτων, το οποίο εκτελεί τις απαιτούμενες διεργασίες.
- **Χρήση OpenFlow:** Το OpenFlow χαρίζει μεγάλη προσαρμοστικότητα μαζί με τον διαχωρισμό του control plane από το data plane.
- **Ευκολότερη υποστήριξη και εκτέλεση λειτουργιών:** Το SDN αξιοποιεί κατάλληλα τα APIs, για να μπορούν οι εφαρμογές να τα εκμεταλλευτούν.
- **Ευκολότερη μετακίνηση δεδομένων:** Το SDN επιτρέπει στα δεδομένα να μετακινούνται εύκολα μεταξύ κατανομημένων τοποθεσιών, το οποίο είναι κρίσιμο για εφαρμογές cloud.
- **Γρηγορότερη μετακίνηση φόρτου εργασίας:** Το SDN υποστηρίζει τη γρήγορη μετακίνηση φόρτου εργασίας σε ένα δίκτυο. Για παράδειγμα, η διαίρεση ενός εικονικού δικτύου

σε τμήματα χρησιμοποιώντας μια τεχνική που ονομάζεται εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV), επιτρέπει στους παρόχους τηλεπικοινωνιών να μεταφέρουν τις υπηρεσίες πελατών σε λιγότερο ακριβούς διακομιστές ή ακόμα και στους διακομιστές του ίδιου του πελάτη. Οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια υποδομή εικονικού δικτύου για να μετατοπίσουν τους φόρτους εργασίας από ιδιωτικές σε δημόσιες υποδομές cloud, όπως απαιτείται, και να διαθέσουν άμεσα νέες υπηρεσίες πελατών.

• **Υποστήριξη νέων τεχνολογιών:** Λόγω της ταχύτητας και της ευελιξίας που προσφέρει το SDN, είναι σε θέση να υποστηρίξει τις αναδυόμενες τάσεις και τεχνολογίες, όπως το edge computing και το Internet of Things (IoT), που απαιτούν γρήγορη και εύκολη μεταφορά δεδομένων μεταξύ απομακρυσμένων τοποθεσιών.

5.2 Εικονικοποίηση λειτουργίας δικτύου (NFV)

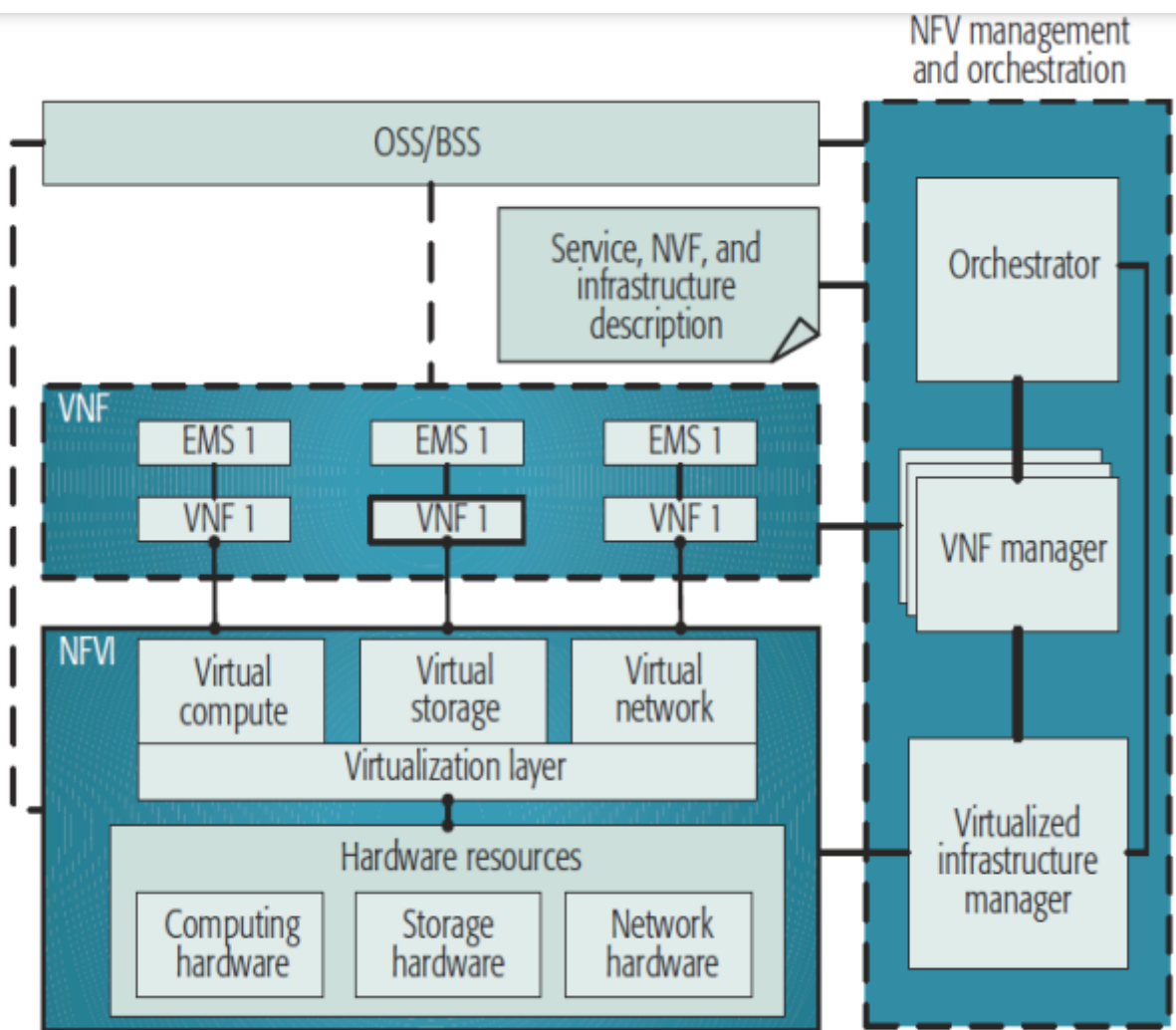
Η πλήρης ονομασία του είναι Network Functions Virtualization[6] (εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου) και είναι ένας τρόπος εικονικοποίησης υπηρεσιών δικτύου, όπως δρομολογητές, τείχη προστασίας και εξισορροπητές φορτίου, που παραδοσιακά εκτελούνταν σε ιδιόκτητο υλικό. Αυτές οι υπηρεσίες συσκευάζονται ως εικονικές μηχανές (VM) σε υλικό εμπορευμάτων, το οποίο επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να εκτελούν το δίκτυό τους σε τυπικούς διακομιστές αντί για ιδιόκτητους. Οι εικονικές μηχανές χρησιμοποιούν έναν hypervisor για την εκτέλεση λογισμικού δικτύωσης και διεργασιών. Με το NFV, δεν χρειάζεται να έχετε αποκλειστικό υλικό για κάθε λειτουργία δικτύου. Το NFV βελτιώνει την επεκτασιμότητα και την ευελιξία, επιτρέποντας στους παρόχους υπηρεσιών να δίνουν νέες υπηρεσίες δικτύου και εφαρμογές κατ' απαίτηση χωρίς να απαιτούν πρόσθετους πόρους υλικού. Τέλος, υπάρχουν κάποιοι επιπλέον λόγοι για τη χρήση της εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου:

- **Pay-as-you-go:** Τα μοντέλα NFV pay-as-you-go μπορούν να μειώσουν το κόστος, επειδή οι επιχειρήσεις πληρώνουν μόνο για αυτό που χρειάζονται.
- **Fewer appliances:** Αφού το NFV εκτελείται σε εικονικές μηχανές αντί για φυσικές μηχανές, απαιτούνται λιγότερες συσκευές και το λειτουργικό κόστος είναι χαμηλότερο.
- **Scalability:** Η κλιμάκωση της αρχιτεκτονικής δικτύου με εικονικές μηχανές είναι ταχύτερη και ευκολότερη και δεν απαιτεί την αγορά πρόσθετου υλικού.

Αρχιτεκτονική NFV

Σε μία παραδοσιακή αρχιτεκτονική δικτύου, μεμονωμένες ιδιόκτητες συσκευές υλικού, όπως δρομολογητές, μεταγωγείς, πύλες, τείχη προστασίας, εξισορροπητές φορτίου και συστήματα ανίχνευσης εισβολής εκτελούν όλες διαφορετικές εργασίες δικτύωσης. Ένα εικονικοποιημένο δίκτυο αντικαθιστά αυτά τα κομμάτια του εξοπλισμού με εφαρμογές λογισμικού που εκτελούνται σε εικονικές μηχανές για την εκτέλεση εργασιών δικτύωσης. Η αρχιτεκτονική NFV αποτελείται από τρία μέρη:

- **Centralized virtual network infrastructure:** Μία υποδομή NFV μπορεί να βασίζεται είτε σε μία πλατφόρμα διαχείρισης, είτε σε έναν υπερεπόμενη που αφαιρεί τους πόρους υπολογισμού, αποθήκευσης και δικτύου.
- **Software applications:** Το λογισμικό αντικαθιστά τα στοιχεία υλικού μιας παραδοσιακής αρχιτεκτονικής δικτύου για να προσφέρει τους διαφορετικούς τύπους λειτουργιών δικτύου (virtualized network functions).
- **Framework:** Απαιτείται ένα πλαίσιο (γνωστό ως MANO – management, automation, network, orchestration), για τη διαχείριση της υποδομής και της λειτουργικότητας του δικτύου παροχής.



Σχήμα 5.2: Αρχιτεκτονική NFV

Η ιστορία του NFV

Το European Telecommunications Standards Institute (ETSI), μια κοινοπραξία παρόχων

υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένων των AT&T, China Mobile, BT Group, Deutsche Telekom και πολλών άλλων, παρουσίασε για πρώτη φορά την ιδέα ενός προτύπου εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου στο Παγκόσμιο Συνέδριο OpenFlow το 2012. Αυτοί οι πάροχοι υπηρεσιών αναζητούσαν έναν τρόπο για να επιταχύνουν την ανάπτυξη των υπηρεσιών δικτύου. Η εκκίνηση νέων υπηρεσιών δικτύου ήταν μια απαιτητική διαδικασία που απαιτούσε χώρο και ισχύ για πρόσθετα κουτιά υλικού. Καθώς, το κόστος ενέργειας και χώρου αυξανόταν και ο αριθμός των ειδικευμένων μηχανικών υλικού δικτύωσης μειώθηκε, η επιτροπή ETSI στράφηκε στην εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου για να λύσει και τα δύο αυτά προβλήματα. Το NFV εξαλείφει την ανάγκη φυσικού χώρου για συσκευές υλικού και δεν απαιτεί εντατική εμπειρία δικτύωσης για τη διαμόρφωση και τη διαχείριση. Στις μέρες μας, πολλά έργα ανοιχτού κώδικα εργάζονται για την ανάπτυξη προτύπων NFV, συμπεριλαμβανομένων των ETSI, Open Platform for NFV, Open Network Automation Platform, Open Source MANO και MEF. Τόσοι πολλοί διαφορετικοί οργανισμοί με ανταγωνιστικές προτάσεις για πρότυπα έχουν καταστήσει δύσκολο για τους παρόχους υπηρεσιών να βουλευτούν με την εικονοποίηση λειτουργιών δικτύου. Ωστόσο, αυξάνεται σε δημοτικότητα λόγω της ταχέως διευρυνόμενης πολυπλοκότητας και απαιτήσεων των εταιρικών δικτύων.

Πλεονεκτήματα χρήσης NFV

Πολλοί πάροχοι υπηρεσιών πιστεύουν ότι τα οφέλη της εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου υπερτερούν των κινδύνων. Με τα παραδοσιακά δίκτυα που βασίζονται σε υλικό, οι διαχειριστές δικτύων πρέπει να αγοράσουν αποκλειστικές συσκευές υλικού και να τις διαμορφώσουν και να τις συνδέσουν χειροκίνητα για να δημιουργήσουν ένα δίκτυο. Αυτό είναι χρονοβόρο και απαιτεί εξειδικευμένη εμπειρία δικτύωσης. Με το NFV, οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να εκτελούν λειτουργίες δικτύου σε τυπικό υλικό, αντί για αποκλειστικό υλικό. Οι λειτουργίες δικτύου είναι εικονικοποιημένες, δηλαδή πολλές λειτουργίες μπορούν να εκτελεστούν σε έναν μόνο διακομιστή. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται λιγότερο φυσικό υλικό, το οποίο επιτρέπει την ενοποίηση πόρων, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του φυσικού χώρου, της ισχύος και του συνολικού κόστους. Το NFV δίνει στους παρόχους την ευελιξία να εκτελούν VNF (Virtual Network Functions) σε διαφορετικούς διακομιστές ή να τα μετακινούν, όπως απαιτείται, όταν αλλάζει η ζήτηση. Τα VNFs βοηθούν την αύξηση της επεκτασιμότητας και της ευελιξίας του δικτύου, ενώ παράλληλα επιτρέπουν την καλύτερη χρήση των πόρων υποδομής δικτύου. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να παρέχουν υπηρεσίες και εφαρμογές πιο γρήγορα. Για παράδειγμα, αν ένας πελάτης ζητήσει μια νέα λειτουργία δικτύου, μπορεί να δημιουργήσει ένα νέο VM για να διαχειριστεί αυτό το αίτημα. Εάν, η λειτουργία δεν χρειάζεται πλέον, το VM μπορεί να παροπλιστεί. Αυτός μπορεί επίσης να είναι ένας τρόπος χαμηλού κινδύνου για να ελεγχουμε την αξία μιας πιθανής νέας υπηρεσίας. Η διαμόρφωση και η διαχείριση του δικτύου είναι πολύ πιο απλή με ένα εικονικό δίκτυο. Το καλύτερο από όλα είναι ότι η λειτουργικότητα του δικτύου μπορεί να αλλάξει ή να προστεθεί κατά παραγγελία, επειδή το δίκτυο εκτελείται σε εικονικές μηχανές που παρέχονται και διαχειρίζονται εύκολα.

Κίνδυνοι χρήσης του NFV

Το NFV κάνει ένα δίκτυο πολύ ευέλικτο και εύκολα επεκτάσιμο. Μπορεί να επιταχύνει το

χρόνο διάθεσης στην αγορά και να μειώσει σημαντικά το κόστος εξοπλισμού. Ωστόσο, υπάρχουν κίνδυνοι ασφαλείας και οι ανησυχίες για την ασφάλεια και οι ανησυχίες για την ασφάλεια της εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου έχουν αποδειχθεί εμπόδιο για ευρεία υιοθέτηση μεταξύ των παρόχων τηλεπικοινωνιών. Ορισμένοι από τους κινδύνους της εφαρμογής εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου που πρέπει να λάβουν υπόψη οι πάροχοι υπηρεσιών:

- **Physical security controls are not effective:** Η εικονικοποίηση στοιχείων δικτύου αυξάνει την ευπάθειά τους σε νέα είδη επιθέσεων σε σύγκριση με τον φυσικό εξοπλισμό που είναι κλειδωμένος σε ένα κέντρο δεδομένων.
- **Malware is difficult to isolate and contain:** Είναι ευκολότερο για το κακόβουλο λογισμικό να ταξιδεύει μεταξύ εικονικών στοιχείων που όλα εκτελούνται από μία εικονική μηχανή παρά μεταξύ στοιχείων υλικού που να μπορούν να απομονωθούν ή να διαχωριστούν φυσικά.

Σύγκριση SDN και NFV

Το SDN και το NFV δεν εξαρτώνται το ένα από το άλλο, αλλά έχουν ομοιότητες. Και τα δύο βασίζονται στην εικονικοποίηση και χρησιμοποιούν αφαίρεση δικτύου, αλλά ο τρόπος με τον οποίο διαχωρίζουν τις συναρτήσεις και τους αφηρημένους πόρους είναι διαφορετικός. Το SDN διαχωρίζει τις λειτουργίες προώθησης δικτύου από τις λειτουργίες ελέγχου δικτύου με στόχο τη δημιουργία ενός δικτύου που να είναι κεντρικά διαχειρίσιμο και προγραμματιζόμενο. Το NFV αφαιρεί λειτουργίες δικτύου από το υλικό. Το NFV υποστηρίζει το SDN παρέχοντας την υποδομή στην οποία μπορεί να εκτελεστεί το λογισμικό SDN. Το NFV και το SDN μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί, ανάλογα με το τι θέλουμε να καταφέρουμε. Και τα δύο χρησιμοποιούν υλικό εμπορευμάτων. Με το NFV και το SDN, μπορούμε να δημιουργήσουμε μια αρχιτεκτονική δικτύου που είναι πιο ευέλικτη, προγραμματιζόμενη και χρησιμοποιεί πόρους αποτελεσματικά.

5.3 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

Η τεχνολογία Internet of Things, IoT[5], είναι ένα σύστημα αλληλένδετης υπολογιστικής συσκευής, μηχανικών και ψηφιακών μηχανών, αντικειμένων, ζώων ή ανθρώπων, που διαθέτουν μοναδικά αναγνωριστικά στοιχεία και τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων μέσω δικτύου χωρίς να απαιτείται αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου με άνθρωπο. Για παράδειγμα ένα «πράγμα» στο διαδίκτυο των πραγμάτων μπορεί να είναι ένα ζώο σε αγρόκτημα με αναμεταδότη βιοσίπ ή οποιοδήποτε άλλο φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο που μπορεί να αντιστοιχιστεί σε μία διεύθυνση πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IP) και είναι σε θέση να μεταφέρει δεδομένα μέσω ενός δικτύου. Σήμερα, όλο και περισσότεροι οργανισμοί σε διάφορους κλάδους χρησιμοποιούν το IoT για να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά (κατανόηση πελατών, καλύτερη εξυπηρέτηση πελατών, κλπ).

Λειτουργία IoT

Συσκευές και αντικείμενα με ενσωματωμένους αισθητήρες συνδέονται με μία πλατφόρμα IoT, η οποία ενσωματώνει δεδομένα από τις διάφορες συσκευές και εφαρμόζει αναλυτικά στοιχεία, ώστε να μοιράζονται τις πιο πολύτιμες πληροφορίες με εφαρμογές, που έχουν δημιουργηθεί για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων αναγκών. Αυτές οι πλατφόρμες IoT έχουν την δυνατότητα να εντοπίζουν ακριβώς ποιες πληροφορίες είναι χρήσιμες καθώς και ποιες μπορούν να αγνοηθούν. Οι χρήσιμες αυτές πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση μοτίβων, τη διατύπωση συστάσεων και την ανίχνευση πιθανών προβλημάτων, που ενδέχεται να συμβούν.

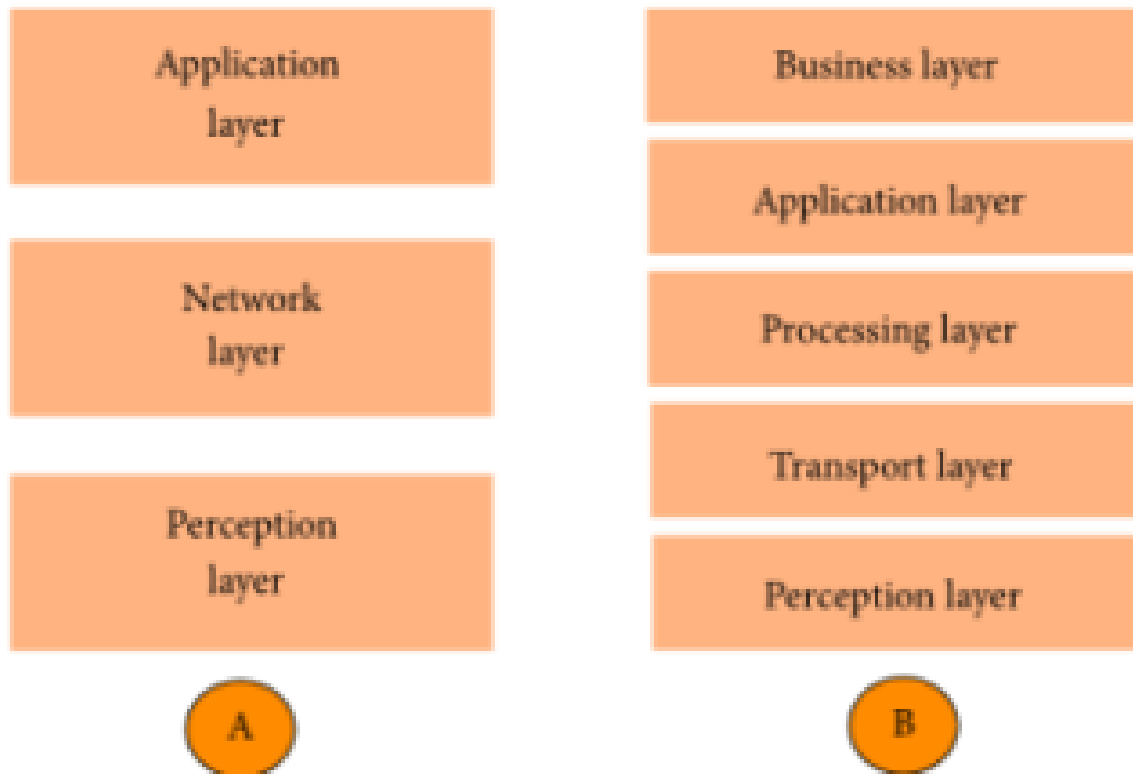
Αρχιτεκτονική του Internet of Things

Δεν υπάρχει μία διαδεδομένη, αποδεκτή από όλους αρχιτεκτονική για το IoT, ωστόσο υπάρχουν διαφορετικές αρχιτεκτονικές από διάφορους ερευνητές. Η βασική αρχιτεκτονική ονομάζεται αρχιτεκτονική τριών επιπέδων και αποτελείται από τα παρακάτω επίπεδα:

- **Application Layer (επίπεδο εφαρμογών).**
- **Network Layer (επίπεδο δικτύου).**
- **Perception Layer (επίπεδο αντίληψης).**

Αρχικά, το επίπεδο εφαρμογών παρέχει στον χρήστη συγκεκριμένες υπηρεσίες εφαρμογής, δηλαδή ορίζει διάφορες εφαρμογές στις οποίες μπορεί να αναπτυχθεί το Internet of Things (πχ έξυπνα σπίτια, έξυπνες πόλεις). Το επόμενο επίπεδο, το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για την σύνδεση των συσκευών με συσκευές δικτύου και διακομιστές. Τα χαρακτηριστικά αυτού του επιπέδου είναι χρήσιμα για την μετάδοση και την επεξεργασία δεδομένων αισθητήρων. Τέλος, το επίπεδο αντίληψης είναι το φυσικό επίπεδο, το οποίο διαθέτει αισθητήρες για την ανίχνευση και τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον.

Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική ορίζει την κύρια ιδέα του Internet of Things, αλλά για να επικεντρωθούμε σε λεπτότερες πτυχές του IoT, προτείνονται και αρχιτεκτονικές με περισσότερες στρώσεις. Μία από αυτές είναι η αρχιτεκτονική πέντε επιπέδων, η οποία αποτελείται επιπλέον από τα επίπεδα επεξεργασίας και επιχειρήσεων. Ο ρόλος των επιπέδων αντίληψης και εφαρμογής είναι ο ίδιος με αυτόν στην αρχιτεκτονική τριών επιπέδων. Το επίπεδο μεταφοράς μεταφέρει δεδομένα αισθητήρων από το επίπεδο αντίληψης στο επίπεδο επεξεργασίας και αντίστροφα μέσω δικτύων (LAN, Bluetooth, NFC κλπ). Το επίπεδο επεξεργασίας αποθηκεύει, αναλύει και επεξεργάζεται μεγάλο όγκο δεδομένων, που προέρχονται από το επίπεδο μεταφοράς. Μπορεί να διαχειρίζεται και να παρέχει ένα ποικίλο σύνολο υπηρεσιών προς τα κάτω επίπεδα και χρησιμοποιεί πολλές τεχνολογίες όπως βάσεις δεδομένων, cloud computing και μεγάλες μονάδες επεξεργασίας δεδομένων. Τέλος, το επίπεδο επιχειρήσεων διαχειρίζεται ολόκληρο το σύστημα Internet of Things, συμπεριλαμβανομένων των εφαρμογών, των μοντέλων επιχειρήσεων και κερδών του ιδιωτικού απορρήτου των χρηστών.



Σχήμα 5.3: Αρχιτεκτονική Internet of Things

Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Internet of Things

Το Internet of Things μας προσφέρει πολλαπλά οφέλη στην καθημερινότητά μας. Μερικά πλεονεκτήματά του είναι τα εξής:

- Δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες από οπουδήποτε ανά πάσα στιγμή σε οποιαδήποτε συσκευή.
- Βελτιωμένη επικοινωνία μεταξύ συνδεδεμένων ηλεκτρονικών συσκευών.
- Μεταφορά πακέτων δεδομένων μέσω συνδεδεμένου δικτύου εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα.
- Αυτοματοποίηση των καθηκόντων που συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών μιας επιχείρησης και στη μείωση της ανάγκης για ανθρώπινη παρέμβαση.

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα του IoT, που περιλαμβάνουν τα εξής:

- Καθώς ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών αυξάνεται και περισσότερες πληροφορίες κοινοποιούνται μεταξύ των συσκευών, αυξάνεται επίσης και η πιθανότητα ένας χάκερ να μπορέσει να κλέψει εμπιστευτικές πληροφορίες.

- Οι επιχειρήσεις ενδέχεται τελικά να πρέπει να αντιμετωπίσουν τεράστιους αριθμούς συσκευών IoT και η συλλογή και διαχείριση των δεδομένων από όλες αυτές τις συσκευές θα είναι δύσκολη.
- Εάν υπάρχει σφάλμα στο σύστημα, είναι πιθανό κάθε συνδεδεμένη συσκευή να καταστραφεί.
- Δεδομένου ότι υπάρχει διεθνές πρότυπο συμβατότητας για το IoT, είναι δύσκολο για συσκευές από διαφορετικούς κατασκευαστές να επικοινωνούν μεταξύ τους.

5.4 Τεμαχισμός Δικτύου (Network Slicing)

Είναι ένας τύπος αρχιτεκτονικής εικονικής δικτύωσης[2] στην ίδια οικογένεια με τη δικτύωση που ορίζεται από λογισμικό (SDN) και την εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV). Δύο στενά συνδεδεμένες τεχνολογίες εικονικοποίησης δικτύου που οδηγούν τα σύγχρονα δίκτυα προς την αυτοματοποίηση που βασίζεται σε λογισμικό. Το SDN και το NFV επιτρέπουν πολύ καλύτερη ευελιξία δικτύου μέσω της κατάτμησης των αρχιτεκτονικών δικτύου σε εικονικά στοιχεία. Ουσιαστικά, ο διαχωρισμός δικτύου επιτρέπει τη δημιουργία πολλαπλών εικονικών δικτύων πάνω από μία κοινή φυσική υποδομή. Το Network Slicing είναι η καλύτερη απάντηση των χειριστών σχετικά με τον τρόπο κατασκευής και διαχείρισης ενός δικτύου, που ικανοποιεί και υπερβαίνει τις αναδυόμενες απαιτήσεις από ένα ευρύ φάσμα χρηστών. Ο τρόπος για να επιτευχθεί ένα τεμαχισμένο δίκτυο είναι να το μετατρέψετε σε ένα σύνολο λογικών δικτύων πάνω από μία κοινή υποδομή.

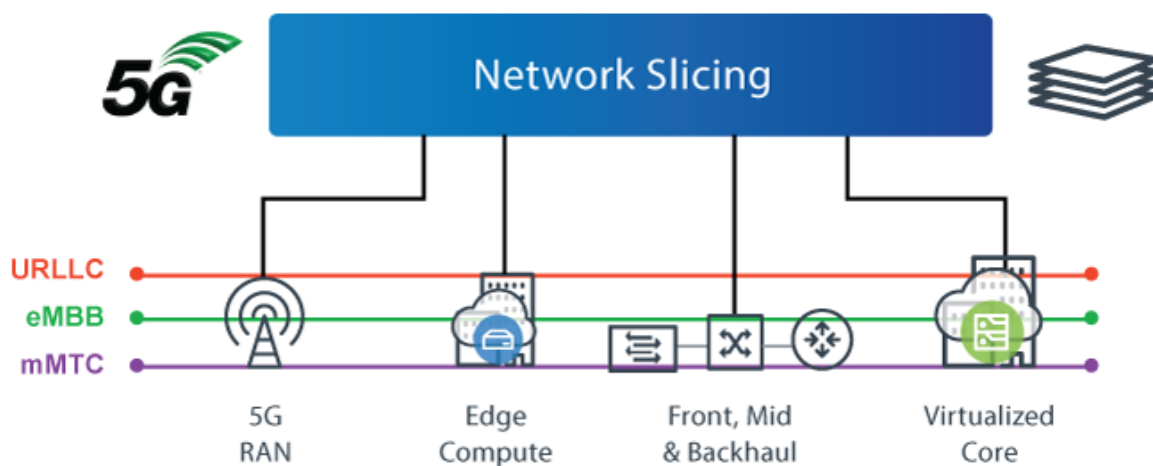
Το Network Slice (ή αλλιώς τμήμα δικτύου) είναι ένα λογικά διαχωρισμένο αυτόνομο και ασφαλές μέρος του δικτύου, που στοχεύει διαφορετικές υπηρεσίες ταχύτητας, καθυστέρησης και αξιοπιστίας. Τα χαρακτηριστικά του network slice είναι η χαμηλή καθυστέρηση, το υψηλό εύρος ζώνης και η εξαιρετική αξιοπιστία για μια κρίσιμη περίπτωση χρήσης IoT ή υψηλότερη καθυστέρηση και χαμηλότερο εύρος ζώνης για μια τεράστια περίπτωση χρήσης IoT.

Το network slicing, με τις πολλές περιπτώσεις χρήσης είναι μία από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες στα δίκτυα 5G. Υποστηρίζει νέες υπηρεσίες με πολύ διαφορετικές απαιτήσεις, από ένα συνδεδεμένο όχημα έως μία φωνητική κλήση, οι οποίες απαιτούν διαφορετική απόδοση, καθυστέρηση και αξιοπιστία.

Οι περιπτώσεις χρήσης που εντοπίστηκαν για το 5G και τον τεμαχισμό δικτύου εμπίπτουν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- **Extreme (or enhanced) Mobile Broadband (Embb).** Αυτές οι εφαρμογές είναι πολύ βιντεοκεντρικές, καταναλώνουν πολύ εύρος ζώνης και δημιουργούν την μεγαλύτερη επισχεψιμότητα στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

- **Massive Machine-Type Communication (mMTC).** Το γνωστό πλέον σε όλους Internet of Things, με δισεκατομμύρια συσκευές να συνδέονται στο δίκτυο. Αυτές οι συσκευές παράγουν πολύ λιγότερη επισκεψιμότητα από τις εφαρμογές Embb, αλλά είναι πολύ περισσότερες από αυτές.
- **Ultra-reliable Low-Latency Communications (urLLC).** Αυτά θα επιτρέψουν πράγματα όπως η απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση ή επικοινωνίες από όχημα σε όχημα που απαιτούν από τα MNO να διαθέτουν υπολογιστική ικανότητα κινητής τηλεφωνίας.



Σχήμα 5.4: Network Slicing

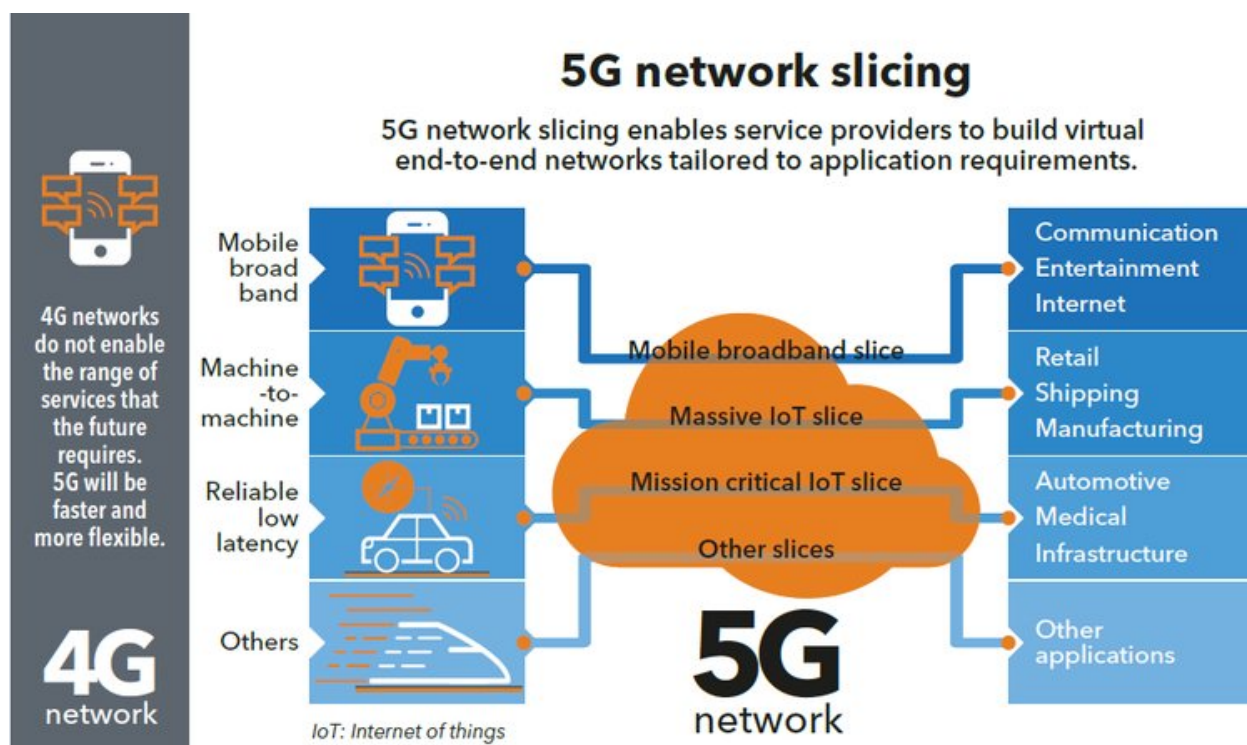
Με τον τεμαχισμό δικτύου, κάθε slice έχει την δική του αρχιτεκτονική, διαχείριση και ασφάλεια για την υποστήριξη μιας συγκεκριμένης περίπτωσης. Λειτουργικά στοιχεία και πόροι μπορούν να μοιράζονται σε τμήματα δικτύου, παρόλα αυτά δυνατότητες όπως ταχύτητα δεδομένων, χωρητικότητα, συνδεσιμότητα, ποιότητα και αξιοπιστία μπορούν να προσαρμοστούν σε κάθε τμήμα, ώστε να συμμορφώνονται με μία συγκεκριμένη συμφωνία επιπέδου υπηρεσίας (SLA).

Ο τεμαχισμός δικτύου είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό του 5G, εφαρμόζοντας τις ίδιες αρχές εικονοποίησης στα δίκτυα ραδιοπρόσβασης (RAN) και στα υποστηρικτικά δίκτυα backhaul και πυρήνων κινητής τηλεφωνίας που αποτελούν τη βάση του 5G. Ο τεμαχισμός επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να παρέχουν ουσιαστικές εγγυήσεις στους πελάτες σχετικά με μία ελάχιστη απόδοση για τις συνδέσεις τους ή την παράδοση πακέτων κατά προτεραιότητα από συγκεκριμένους τύπους συσκευών ή εφαρμογών.

Το network slicing υποστηρίζει περιπτώσεις χρήσης που εστιάζουν στην απόδοση, τη χωρητικότητα και την ασφάλεια. Πολλές περιπτώσεις χρήσης περιλαμβάνουν αναδυόμενα επιχειρηματικά μοντέλα Internet of Things (IoT). Ορισμένες περιπτώσεις χρήσης network

slicing περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- **Performance:** Μία εταιρεία που εξαρτάται από ένα δίκτυο 5G για τη διαχείριση αυτόνομων οχημάτων ενδέχεται να συνάψει σύμβαση για ένα τμήμα δικτύου τηλεφωνίας με λανθάνοντες χρόνους κάτω των 5ms σε μία εγγυημένη ελάχιστη απόδοση ανά όχημα για να διασφαλίσει τον έλεγχο απόκρισης. Ο πάροχος θα παρείχε το κομμάτι στον εξοπλισμό και τις διαδρομές με τη χαμηλότερη καθυστέρηση μεταξύ των οχημάτων και των πόρων του cloud ή των άκρων και θα δεσμεύσει αρκετή χωρητικότητα για την επίτευξη του στόχου διεκπεραίωσης.
- **Capacity:** Για ένα σύστημα παρακολούθησης ασφαλείας σε ένα μεγάλο αμφιθέατρο, η καθυστέρηση μπορεί να μην έχει σημασία. Ωστόσο, η εταιρεία ασφαλείας μπορεί να θέλει να αγοράσει εγγυημένη παράδοση των δεδομένων της κάμερας. Με άλλα λόγια, η εταιρεία θα ήθελε η επισκεψιμότητά της να έχει απόδοση 1.5Mbps/sec ανά κάμερα χωρίς ποτέ να πέφτουν πακέτα. Ο πάροχος ενδέχεται να συγκεντρώσει πολλαπλές επιλογές συνδεσιμότητας και συσκευές επεξεργασίας για να καλύψει τις ανάγκες αυτού του τμήματος.
- **Security:** Για ένα σύστημα παρακολούθησης της ανθρώπινης υγείας σε μια μητροπολιτική περιοχή, ένα νοσοκομείο μπορεί να θέλει να απομονώσει όλη την κίνηση από και προς τους βηματοδότες. Αυτό θα ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο διαρροής δεδομένων πελατών και την απειλή παραβίασης του καναλιού ελέγχου. Επομένως, θα απαιτούσε ένα κομμάτι με συσκευές ενός χρήστη.

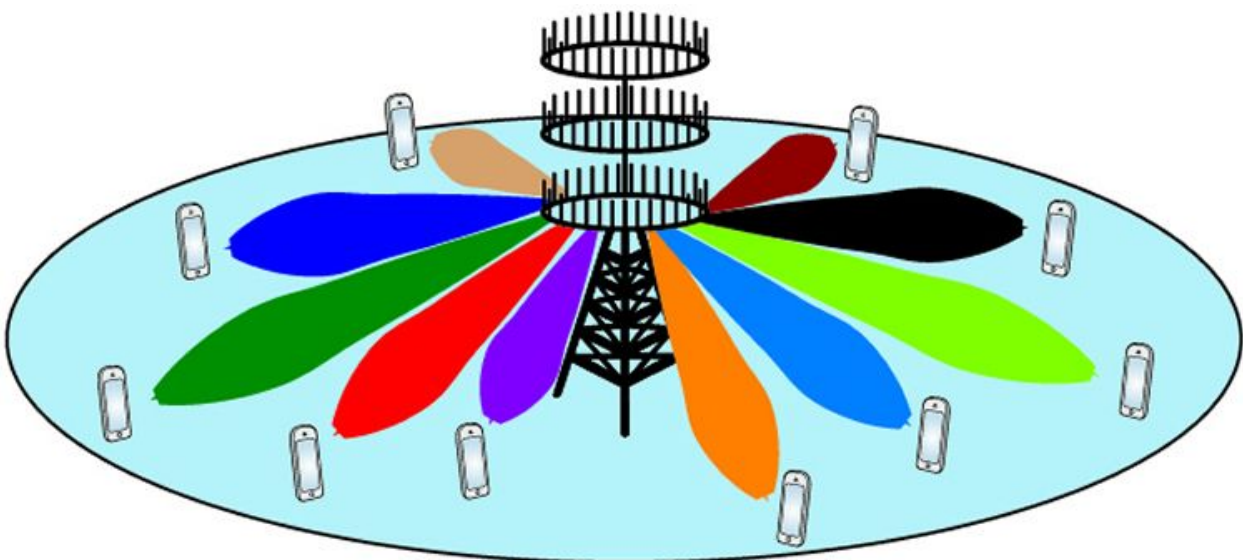


Σχήμα 5.5: 5G Network Slicing

5.5 Massive MIMO

Το MIMO είναι συντομογραφία του Multiple-input-Multiple-output[24]. Ενώ περιλαμβάνει πολλές τεχνολογίες, το MIMO μπορεί ουσιαστικά να συνοψιστεί σε μία ενιαία αρχή. Ουσιαστικά είναι ένα ασύρματο δίκτυο, που επιτρέπει τη μετάδοση και λήψη πολλών σημάτων ταυτόχρονα μέσω του ίδιου ραδιοφωνικού καναλιού.

Τα τυπικά δίκτυα MIMO τείνουν να χρησιμοποιούν δύο ή τέσσερις κεραιές. Από την άλλη πλευρά όμως, το Massive MIMO, είναι ένα σύστημα MIMO με ιδιαίτερα υψηλό αριθμό κεραιών. Δεν υπάρχει καθορισμένος αριθμός για το τί συνιστά μια μαζική εγκατάσταση MIMO, αλλά η περιγραφή τείνει να εφαρμόζεται σε συστήματα με δεκάδες ή εκατοντάδες κεραιές. Για παράδειγμα, η Huawei, η ZTE και το Facebook έχουν επιδείξει μαζικά συστήματα MIMO με 96 έως 128 κεραιές.



Σχήμα 5.6: Αναπαράσταση ενός συστήματος massive MIMO πολλαπλών χρηστών

Το πλεονέκτημα ενός δικτύου MIMO έναντι ενός κανονικού δικτύου είναι ότι μπορεί να πολλαπλασιάσει τη χωρητικότητα μιας ασύρματης σύνδεσης χωρίς να απαιτεί περισσότερο φάσμα. Οι εκθέσεις αναφέρουν σημαντικές βελτιώσεις της παραγωγικής ικανότητας και θα μπορούσαν ενδεχομένως να αποφέρουν έως και 50 φορές αύξηση στο μέλλον. Επίσης, με όσο περισσότερες κεραιές είναι εξοπλισμένος ο πομπός ή ο δέκτης, τόσο περισσότερες είναι οι πιθανές διαδρομές σήματος και τόσο καλύτερη είναι η απόδοση όσον αφορά τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και την αξιοπιστία της ζεύξης. Επιπλέον, ένα τεράστιο δίκτυο MIMO θα ανταποκρίνεται περισσότερο σε συσκευές, που εκπέμπουν σε υψηλότερες ζώνες συχνοτήτων, κάτι που θα βελτιώσει την κάλυψη. Συγκεκριμένα, αυτό θα έχει σημαντικά οφέλη για τη λήψη ισχυρού σήματος σε εσωτερικούς χώρους. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι, ο μεγαλύτερος αριθμός κεραιών σε ένα μαζικό δίκτυο MIMO

θα το κάνει πολύ πιο ανθεκτικό σε παρεμβολές και σκόπιμη εμπλοκή από τα τρέχοντα συστήματα που χρησιμοποιούν μόνο λίγες κεραιές.

Γενικά, γίνεται αντιληπτό ότι η μαζική ικανότητα του Massive MIMO να εξυπηρετεί πολλούς χρήστες και πολλαπλές συσκευές ταυτόχρονα σε μία περιοχή με μεγάλη κίνηση δεδομένων διατηρώντας ταυτόχρονα τα υψηλά ποσοστά δεδομένων και να έχει συνεχή απόδοση, την καθιστά την τέλεια τεχνολογία για την αντιμετώπιση των αναγκών της προσεχούς εποχής 5G.

5.6 New Radio

Το 5G New Radio[28] είναι μία εντελώς καινούρια διεπαφή αέρα, που αναπτύσσεται για το 5G. Αναπτύσσεται από την αρχή για να υποστηρίξει μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών, συσκευών και αναπτύξεων που θα περιλαμβάνει το 5G και σε ποικίλο φάσμα, αλλά θα βασίζεται σε καθιερωμένες τεχνολογίες για να διασφαλίζει συμβατότητα προς τα πίσω και προς τα εμπρός. Μία διεπαφή αέρα είναι το τμήμα ραδιοσυχνοτήτων του κυκλώματος μεταξύ της κινητής συσκευής και του ενεργού σταθμού βάσης. Ο ενεργός σταθμός βάσης μπορεί να αλλάξει καθώς ο χρήστης βρίσκεται εν κινήσει, με κάθε αλλαγή να είναι γνωστή ως handoff.

Ουσιαστικά, το 5G NR σχεδιάζεται για να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση, την ευελιξία, την επεκτασιμότητα και την αποδοτικότητα των τρεχόντων δικτύων κινητής τηλεφωνίας και για να αξιοποιήσει στο έπακρο το διαθέσιμο φάσμα. Το 5G NR είναι σε θέση να παρέχει έναν τεράστιο αριθμό ποικίλων υπηρεσιών, που παρέχονται σε ένα διαφορετικό σύνολο συσκευών με διαφορετικές απαιτήσεις απόδοσης και καθυστέρησης. Επιπλέον, υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα μοντέλων ανάπτυξης από παραδοσιακές μακροεντολές έως ανάπτυξης hotspot, που επιτρέπουν νέους τρόπους διασύνδεσης συσκευών, όπως πλέγμα συσκευής σε συσκευή (device-to-device) και πλέγμα πολλαπλών βημάτων (multi-hop mesh). Αυτά γίνονται σε πρωτοφανή επίπεδα κόστους, ισχύος και απόδοσης ανάπτυξης.

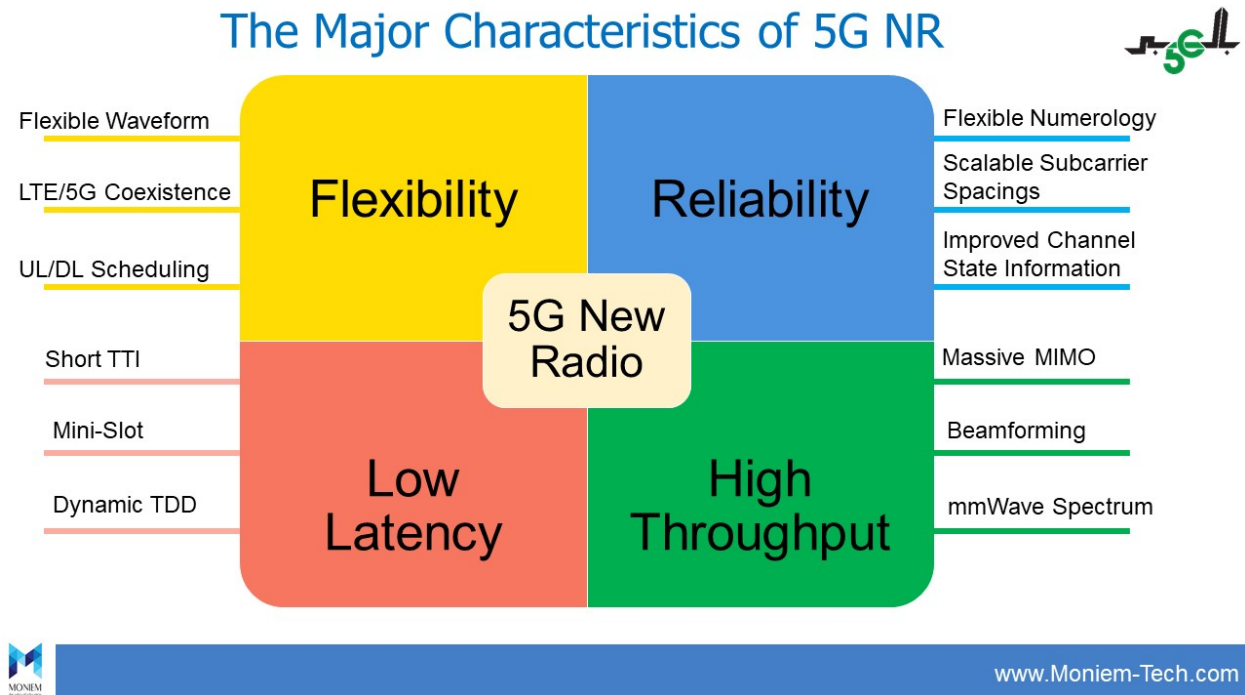
Πώς λειτουργεί το 5G NR

Τρία είναι τα βασικά στοιχεία του σχεδιασμού του 5G NR:

- **Optimised OFDM-based waveforms and multiple access.** Υπάρχει απόφαση για τη χρήση της οικογένειας κυματομορφών OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing) για 5G και πολλαπλές παραλλαγές αυτών θα χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης και ανάπτυξης. Οι κυματομορφές OFDM χρησιμοποιούνται τόσο από το LTE όσο και από το Wifi, γεγονός που κάνει το 5G την πρώτη γενιά κινητής τηλεφωνίας που δεν βασίζεται σε μία εντελώς νέα κυματομορφή και σχεδιασμό πολλαπλής πρόσβασης. Υποστηρίζει διαφορετικές ζώνες φάσματος, τύπους φάσματος και μοντέλα ανάπτυξης.
- **Common flexible framework.** Το συγκεκριμένο βασικό στοιχείο είναι για την αποτελεσματική πολυπλεξία διαφορετικών υπηρεσιών 5G και την παροχή μελλοντικής συμβα-

τότητας για μελλοντικές υπηρεσίες. Επιτρέπει χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο καθώς και επεκτασιμότητα σε πολύ χαμηλότερους χρόνους καθυστέρησης από τα δίκτυα LTE.

• **Advanced wireless technologies.** Οι συγκεκριμένες ασύρματες τεχνολογίες που υπάρχουν ως βασικό στοιχείο του σχεδιασμού του NR παρέχουν νέα επίπεδα απόδοσης, που θα επιτρέψουν το ευρύ φάσμα υπηρεσιών 5G.



Σχήμα 5.7: Χαρακτηριστικά New Radio

New Radio Access Technology

Η τεχνολογία Radio Access (RAT) είναι η υποκείμενη φυσική μέθοδος σύνδεσης για ένα δίκτυο επικοινωνίας που βασίζεται σε ραδιόφωνο. Πολλά σύγχρονα κινητά τηλέφωνα υποστηρίζουν αρκετά RAT σε μία συσκευή όπως Bluetooth, Wifi, GSM, UMTS, LTE ή 5G NR. Περίπου μία φορά κάθε 10 χρόνια, τα πρότυπα ασύρματων επικοινωνιών έχουν προχωρήσει προς τα εμπρός, προχωρώντας μέσω 2G, 3G, 4G και τώρα 5G.

Το 5G NR είναι το παγκόσμιο πρότυπο για μια ενοποιημένη, πιο ικανή ασύρματη 5G air interface. Προσφέρει σημαντικά ταχύτερες και πιο ανταποκρινόμενες εμπειρίες ευρυζωνικότητας για κινητά και επεκτείνει την κινητή τεχνολογία για να συνδέσει και να επαναπροσδιορίσει μια πλειάδα νέων βιομηχανιών. Πιο συγκεκριμένα, καθορίζει νέα χαρακτηριστικά που απαιτούν την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την κάλυψη στόχων με την προσθήκη νέων ζωνών λειτουργίας με προηγμένους τρόπους συσκευασίας και μετάδοσης σημάτων. Οι ζώνες λειτουργίας κυμάτων, η ευρύτερη διαμόρφωση, οι κλιμακούμενες αριθμολογίες και οι νέες διαδικασίες αρχικής πρόσβασης εισάγουν πολλές αλλαγές για κατανόηση και

εφαρμογή σε νέες υποδομές και σχέδια για κινητά. Τα chipset και οι συσκευές θα λειτουργούν σε υψηλότερες συχνότητες. Οι συσκευές και οι σταθμοί βάσης θα χρησιμοποιούν νέες τεχνολογίες για να δημιουργούνται συνδέσεις και τα δίκτυα θα εξελιχθούν, ώστε να χειρίζονται περισσότερα δεδομένα, περισσότερους χρήστες και διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών. Αρχικά, το 5G NR θα λειτουργεί παράλληλα με το 4G LTE για την παροχή βελτιωμένων υπηρεσιών στους χρήστες.

Προδιαγραφές 5G NR

Η ραδιο διεπαφή μεταξύ του εξοπλισμού χρήστη και του δικτύου αποτελείται από τα επίπεδα 1, 2 και 3 της στήβας επικοινωνιών, κοινώς γνωστά ως φυσικό επίπεδο, το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων και το επίπεδο δικτύου. Το φυσικό επίπεδο, ορίζεται στο TS 38.200, που αντιπροσωπεύει την διεπαφή με τον “πραγματικό κόσμο” και περιλαμβάνει το υλικό και το λογισμικό. Το φυσικό επίπεδο παρέχει ένα κανάλι μεταφοράς και καθορίζει τον τρόπο, που οι πληροφορίες μεταφέρονται μέσω της διεπαφής ραδιοφώνου. Τα επίπεδα 2 και 3, που ορίζονται στο TS 38.300, εργάζονται σε συνδυασμό με το φυσικό στρώμα. Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC), επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των διαφορετικών δικτύων. Το επίπεδο MAC παρέχει διαφορετικά λογικά κανάλια στον έλεγχο ραδιοζεύξης (RLC) στο επίπεδο δικτύου. Στο επίπεδο 3 βρίσκεται ο έλεγχος πόρων ραδιοφώνου (RRC), που συνδέεται με τους κόμβους του δικτύου, έτσι ώστε το UE να μπορεί να κινείται απρόσκοπτα σε όλο το δίκτυο.

5.7 Radio Resource Management

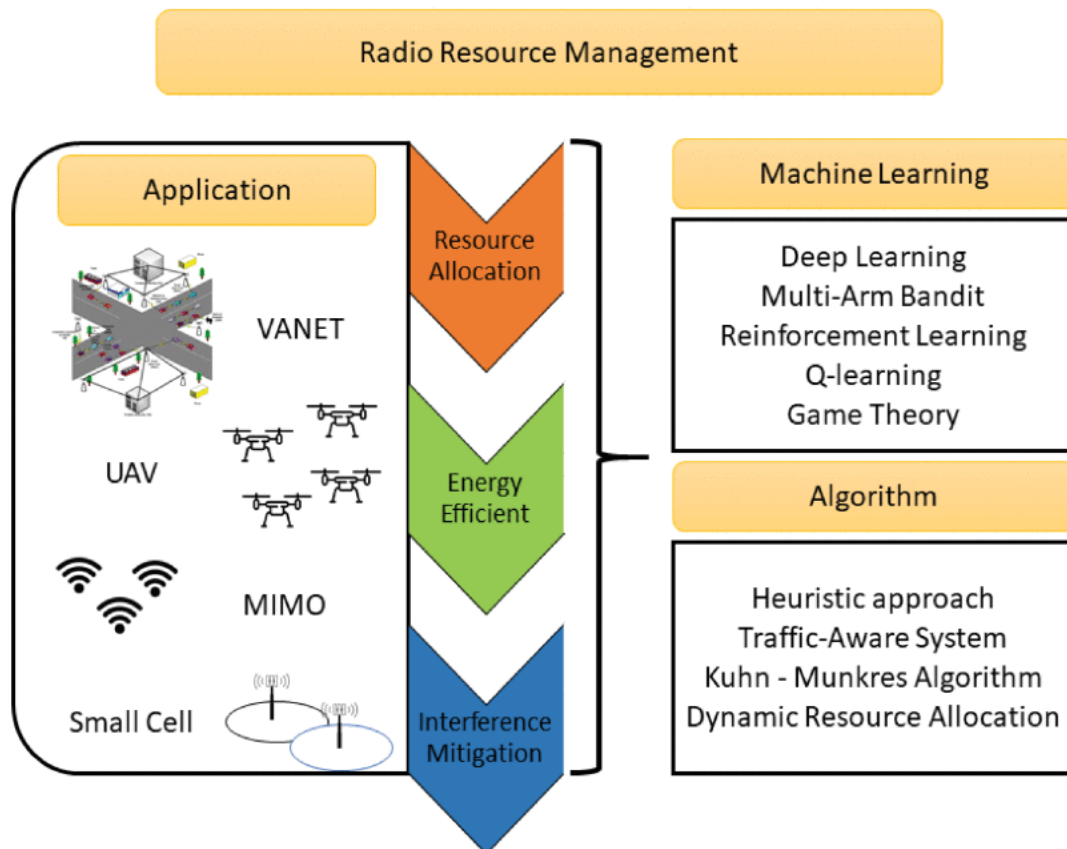
Το Radio Resource Management (RRM)[7] είναι η διαχείριση σε επίπεδο συστήματος παρεμβολών, ομοκαναλιών, ραδιοφωνικών πόρων και άλλων χαρακτηριστικών μετάδοσης ραδιοφώνου σε συστήματα ασύρματων επικοινωνιών, για παράδειγμα κυψελωτά δίκτυα, ασύρματα τοπικά δίκτυα, συστήματα ασύρματων αισθητήρων και δίκτυα ραδιοφωνικής μετάδοσης. Το RRM περιλαμβάνει στρατηγικές και αλγορίθμους για τον έλεγχο παραμέτρων, όπως η ισχύς μετάδοσης, η κατανομή χρήστη, η διαμόρφωση δέσμης, οι ρυθμοί δεδομένων, τα κριτήρια μεταβίβασης, το σχήμα διαμόρφωσης, το σχήμα κωδικοποίησης σφαλμάτων κλπ. Ο στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν οι περιορισμένοι πόροι φάσματος ραδιοσυχνοτήτων και η υποδομή ραδιοδικτύων ως όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά.

Το RRM αφορά ζητήματα χωρητικότητας δικτύου πολλών χρηστών και πολλών κυψελών, αντί για τη χωρητικότητα καναλιού από σημείο σε σημείο (point-to-point). Όταν πολλοί χρήστες και παρακείμενοι σταθμοί βάσης μοιράζονται το ίδιο κανάλι συχνότητας, ενδέχεται να μην είναι δυνατό να επιτευχθεί η μέγιστη χωρητικότητα καναλιού. Τα αποτελεσματικά δυναμικά σχήματα RRM μπορεί να αυξήσουν τη φασματική απόδοση του συστήματος κατά μια τάξη μεγέθους, η οποία συχνά είναι πολύ μεγαλύτερη από ό,τι είναι δυνατόν με την εισαγωγή προηγμένων σχημάτων κωδικοποίησης καναλιών και κωδικοποίησης πηγής. Το RRM είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε συστήματα που περιορίζονται μεταξύ καναλιών και όχι από θόρυβο.

Επίσης, το RRM βοηθά στη διατήρηση της φασματικής απόδοσης του δικτύου εντός ενός προϋπολογισμού. Το κόστος για την ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου, συνήθως αποτελείται από το κόστος της τοποθεσίας του σταθμού βάσης (κόστος ακινήτων, προγραμματισμός, συντήρηση, δίκτυο διανομής, ενέργεια κλπ.) και μερικές φορές από τέλη άδειας χρήσης συχνότητας. Το RRM μεγιστοποιεί τη φασματική απόδοση του συστήματος κάτω από κάποιου είδους περιορισμό δικαιοσύνης χρήστη ή βαθμό ποιότητας δικτύου, έτσι ώστε η ποιότητα του δικτύου να μην πέφτει από ένα ορισμένο επίπεδο για τους χρήστες, που επιδιώκουν την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης.

Το RRM σε δίκτυα πρόσβασης ραδιοφώνου (RAN) είναι ένα πρόβλημα ελέγχου μεγάλης κλίμακας, που περιλαμβάνει πολυάριθμες λειτουργίες δικτύου, που λειτουργούν σε διαφορετικά χρονικές κλίμακες που κυμαίνονται από υπο-χιλιοστά του δευτερολέπτου έως δευτερόλεπτα. Η αρχιτεκτονική που διέπει το RRM στα σημερινά RAN είναι το αποτέλεσμα της σταδιακής μηχανικής, με νέες λειτουργίες RRM να προστίθενται συνεχώς για να παρακολουθεί την εξέλιξη του συστήματος.

Η πρόσφατη τάση σύνδεσης φορητών συσκευών ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε έχει αυξήσει τη ζήτηση για υπηρεσίες ασύρματων επικοινωνιών, με αποτέλεσμα την ταχεία ανάπτυξη ασύρματων δικτύων με διαφορετικές δυνατότητες εξυπηρέτησης. Το μέλλον των συστημάτων 5G αφορά τη μαζική συνδεσιμότητα, μεταξύ ανθρώπων μέσω του κυψελοειδούς δικτύου και μεταξύ εξοπλισμού, μηχανημάτων και οχημάτων που χρησιμοποιούν λειτουργίες IoT, V2V και M2M. Για την αντιμετώπιση αυτών των απαιτήσεων, αποτελεσματικές τεχνικές διαχείρισης πόρων ραδιοφώνου είναι κρίσιμες, ειδικά σε υπερπυκνά HetNets με πολλαπλούς RAT. Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση σε σχήματα διαχείρισης ραδιοφωνικών πόρων είναι η εφαρμογή ευέλικτης κατανομής πόρων που κατανέμει δυναμικά τους διαθέσιμους πόρους με διαφορετικούς περιορισμούς, όπως η διεκπεραίωση του συστήματος, η ευαισθητοποίηση σχετικά με την ενέργεια ή η επίγνωση QoS.



Σχήμα 5.8: Radio Resource Management

5.8 Διαμόρφωση Δέσμης (Beamforming)

Η διαμόρφωση δέσμης (beamforming) [25] είναι μια τεχνική που εστιάζει ένα ασύρματο σήμα προς μια συγκεκριμένη συσκευή λήψης, αντί να εξαπλώνεται το σήμα προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως μία κεραία εκπομπής. Η προκύπτουσα απευθείας σύνδεση είναι ταχύτερη και πιο αξιόπιστη από ότι θα ήταν χωρίς τη διαμόρφωση δέσμης.

Η φύση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι ότι τα σήματα ακτινοβολούν προς όλες τις κατευθύνσεις από μία μόνο κεραία, εκτός εάν μπλοκάρονται από ένα φυσικό αντικείμενο. Προκειμένου να εστιαστεί το σήμα σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, για να σχηματιστεί μια στοχευμένη δέσμη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, πολλαπλές κεραίες σε κοντινή απόσταση εκπέμπουν το ίδιο σήμα σε ελαφρώς διαφορετικούς χρόνους. Τα επικαλυπτόμενα κύματα θα παράγουν παρεμβολές, οι οποίες σε ορισμένες περιοχές είναι εποικοδομητικές και σε άλλες περιοχές καταστροφικές. Όταν η διαδικασία διαμόρφωσης δέσμης, γίνεται σωστά, τότε εστιάζει ένα σήμα σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Η εστίαση ενός σήματος σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση επιτρέπει να παραδίδεται υ-

ψηλότερη ποιότητα σήματος στο δέκτη, πράγμα που σημαίνει ταχύτερη μεταφορά πληροφοριών και λιγότερα σφάλματα, χωρίς να αυξάνεται η ισχύ της εκπομπής. Επιπλέον, επειδή η διαμόρφωση δέσμης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση ή την εξάλειψη της εκπομπής προς άλλες κατευθύνσεις, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των παρεμβολών για χρήστες που προσπαθούν να λάβουν άλλα σήματα.

Με τα δίκτυα 5G να κυκλοφορούν για smartphones και άλλους σκοπούς δικτύωσης ευρείας περιοχής σε όλο τον κόσμο, η διαμόρφωση δέσμης είναι μια βασική τεχνολογία. Επειδή, οι συχνότητες 5G λειτουργούν κατά μήκος του χιλιοστού μήκους κύματος (mmWave), είναι πιο επιρρεπείς σε διαταραχές από αντικείμενα που παρεμβαίνουν, όπως τοίχοι και άλλα εμπόδια. Το beamforming βοηθά στη δημιουργία πιο αξιόπιστης συνδεσιμότητας επιτρέποντας σε έναν πομπό να εστιάζει τη μετάδοση σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση προς μια κινητή συσκευή, όχημα ή συσκευή IoT. Επίσης, το beamforming λειτουργεί με το τεράστιο MIMO, στο οποίο μεγάλος αριθμός κεραιών σε σταθμό βάσης 5G κατευθύνουν δέσμες στις συσκευές των χρηστών τόσο οριζόντια όσο και κάθετα, προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση.

5.9 Ultra-dense cellular networks

Καθώς η κίνηση δεδομένων παγκοσμίως, ολοένα και αυξάνεται, η παραδοσιακή αρχιτεκτονική δικτύου macrocell δεν μπορεί να συμβαδίσει με αυτή την αύξηση. Σε κυψελοειδή δίκτυα 5G, οι μαζικές κεραιές MIMO θα ενσωματωθούν σε σταθμούς βάσης (BS), όπου εκατοντάδες κεραιές θα χρησιμοποιούνται για μετάδοση ασύρματης κίνησης της τάξεως των gigabit. Μία άλλη βασική τεχνολογία για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G, όπως προαναφέρθηκε, είναι η τεχνολογία επικοινωνίας μέσω κύματος χιλιοστών, η οποία αναμένεται να παρέχει εύρος ζώνης εκατοντάδων megahertz για ασύρματες μεταδόσεις. Με κίνητρο τις δύο παραπάνω τεχνολογίες, παρουσιάστηκαν μικρά δίκτυα κυψελών για κυψελωτά δίκτυα 5G. Για την ικανοποίηση της απρόσκοπτης κάλυψης, η πυκνότητα των σταθμών βάσης (BS) των 5G αναμένεται να ανέλθει σε 40-50 BS/km². Επομένως, τα κυψελοειδή δίκτυα 5G είναι εξαιρετικά πυκνά δίκτυα.

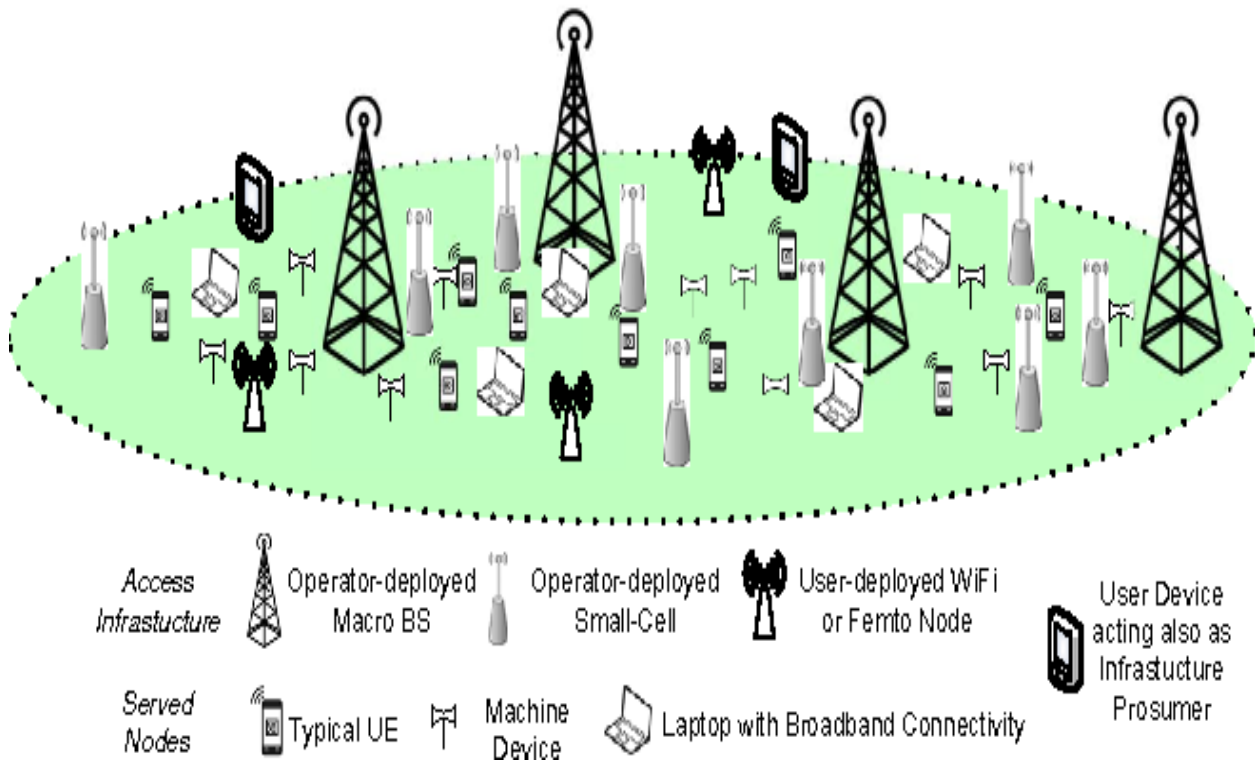
Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, ένα απλοποιημένο δίκτυο UDN περιλαμβάνει τα εξής: πυκνά ανεπτυγμένες μικρές κυψέλες, σταθμούς βάσης (macro Base Station), διακομιστή δικτύου, κινούμενους κόμβους και εξοπλισμούς χρηστών (UEs). Ένας μεγάλος αριθμός μικρών κυψελών μπορεί να υποστηρίξει τον αυξανόμενο αριθμό UEs και οι κινητοί UEs εκτελούν τις λειτουργίες σύνδεσης, αποσύνδεσης, αναζήτησης και επανασύνδεσης. Επίσης οι κινούμενοι κόμβοι μπορούν επίσης να βοηθήσουν στην επικοινωνία μεταξύ οχημάτων ή UEs (V2V). Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός δικτύου UDN είναι:

- Μεγάλος αριθμός μικρών κελιών και σημείων πρόσβασης (μεγαλύτερος ή ίσος με τον αριθμό UE).
- Πυκνή και πλούσια διασυνδεδεμένη ανάπτυξη πολλαπλών επιπέδων.

- Γρήγορη πρόσβαση και ευέλικτη εναλλαγή (π.χ. παραδόσεις).

Μερικά από τα πλεονεκτήματα ανάπτυξης μικρών κυψελών είναι τα εξής:

- **Υψηλός ρυθμός δεδομένων και αποτελεσματική χρήση φάσματος:** Ο μικρός φυσικός διαχωρισμός μεταξύ μικρών σταθμών βάσης και UE's οδηγεί σε υψηλότερο ρυθμό δεδομένων και καλύτερη κάλυψη εσωτερικού χώρου. Επίσης, η απόδοση του φάσματος αυξάνεται λόγω των λιγότερων UE's σε άμεση επικοινωνία με ένα παραδοσιακό σταθμό βάσης (Macro BS).
- **Εξοικονόμηση ενέργειας:** Η χρήση μικρών κυψελών μειώνει την κατανάλωση ενέργειας του δικτύου. Ακόμη μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και στις συσκευές των χρηστών, καθώς τους δίνει τη δυνατότητα να επικοινωνούν σε μικρότερο εύρος με χαμηλή επιβάρυνση σηματοδότησης.
- **Εξοικονόμηση χρημάτων:** Είναι πιο οικονομικό να εγκατασταθεί ένας μικρός σταθμό βάσης χωρίς δυσκίνητο σχεδιασμό σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς σταθμούς βάσης, ενώ παράλληλα το κόστος διαχείρισης-λειτουργίας είναι πολύ χαμηλότερο. Ωστόσο παρά τα πολλά εμφανή οφέλη που φέρνει ένα δίκτυο UDN, συνοδεύεται και από μερικά ρεαλιστικά ζητήματα όπως το κόστος εφαρμογής και η λειτουργική αξιοπιστία. Οι μικρές κυψέλες επιβάλλουν πράγματι ένα αρχικό κόστος στην υποδομή, αλλά λιγότερο από το κόστος που σχετίζεται με ένα παραδοσιακό σταθμό βάσης. Επιπλέον υφίσταται υποχρεωτικός ο συχνός έλεγχος αυθεντικοποίησης λόγω των συχνών handoffs. Τέλος μια ενεργή ή παθητική (ενεργοποίηση / απενεργοποίηση) κατάσταση ενημέρωσης οποιασδήποτε μικρής κυψέλης σίγουρα θα οδηγούσε σε συχνές τοπολογικές ενημερώσεις.



Σχήμα 5.9: Ultra-dense Network

6. ΚΥΡΙΑΡΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ 5G

6.1 SMART HOME (Έξυπνο Σπίτι)

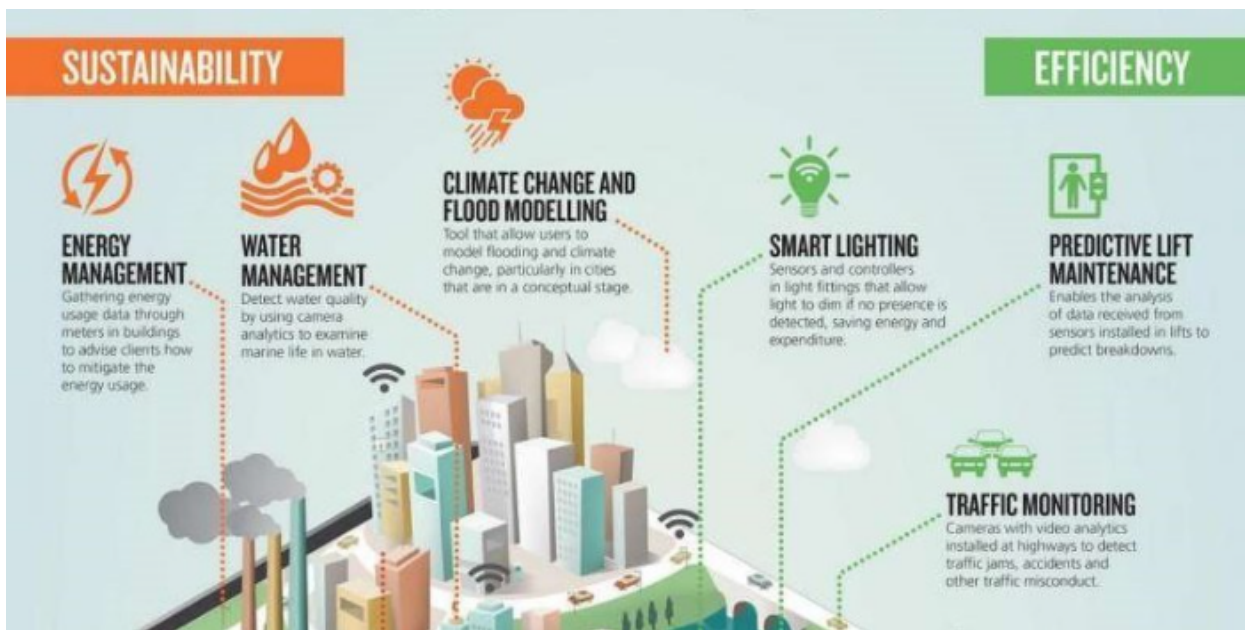


Σχήμα 6.1: Smart Home

Ένα έξυπνο σπίτι[27] αναφέρεται σε μια βολική οικιακή εγκατάσταση, όπου οι συσκευές μπορούν να ελέγχονται αυτόματα εξ αποστάσεως με σύνδεση στο διαδίκτυο χρησιμοποιώντας μία κινητή συσκευή ή άλλη δικτυωμένη συσκευή. Οι έξυπνες συσκευές σε ένα έξυπνο σπίτι συνδέονται μέσω του διαδικτύου, επιτρέποντας στον χρήστη να ελέγχει λειτουργίες όπως η πρόσβαση ασφαλείας στο σπίτι, η θερμοκρασία, ο φωτισμός και η τηλεόραση από απόσταση. Σίγουρα, η εγκατάσταση ενός συστήματος τεχνολογίας έξυπνου σπιτιού παρέχει στους ιδιοκτήτες σπιτιού άνεση. Αντί να ελέγχουν συσκευές, θερμοστάτες, φωτισμό και άλλες λειτουργίες χρησιμοποιώντας διαφορετικές συσκευές, οι ιδιοκτήτες σπιτιού μπορούν να τις ελέγχουν όλες χρησιμοποιώντας μόνο μία συσκευή. Επίσης, για το κόστος εγκατάστασης του έξυπνου συστήματος, οι ιδιοκτήτες σπιτιού μπορούν να επωφεληθούν από σημαντική εξοικονόμηση κόστους. Οι συσκευές και τα ηλεκτρονικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο αποτελεσματικά, μειώνοντας το κόστος ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις και προβλήματα. Οι κίνδυνοι ασφαλείας και τα σφάλματα συνεχίζουν να προβληματίζουν τους κατασκευαστές και τους χρήστες της τεχνολογίας. Για παράδειγμα, οι χάκερς μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στις συσκευές

ενός έξυπνου σπιτιού με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο.

6.2 SMART CITIES (Έξυπνες πόλεις)



Σχήμα 6.2: Smart Cities

Οι έξυπνες πόλεις περιλαμβάνουν πολλούς συνδεδεμένους αισθητήρες και συσκευές που παράγουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Όταν διαχειρίζεται σωστά, αυτή η ροή δεδομένων μπορεί να βελτιώσει τη διαφάνεια και την αποτελεσματικότητα στην υποδομή της πόλης. Πρακτικά, μία έξυπνη πόλη χρησιμοποιεί πολλές συνδεδεμένες συσκευές. Τέτοιες είναι: κάμερες κυκλοφορίας, αισθητήρες στάθμευσης, μετρητές κοινής ωφέλειας, μέσα μαζικής μεταφοράς, φώτα δρόμου και κτίρια.[13]

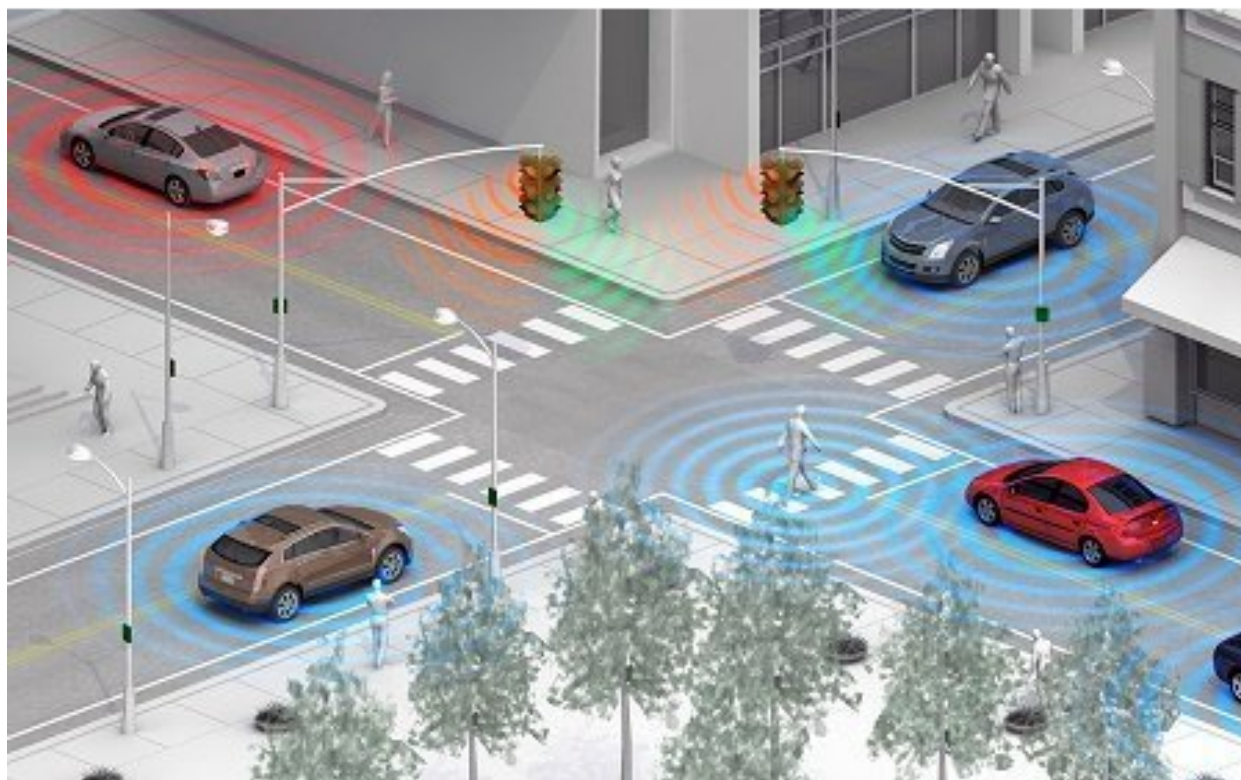
Το 5G παρέχει ευρυζωνικές δυνατότητες που επεκτείνουν την αξία του LTE. Αν και αυτή η λειτουργία είναι πλεονεκτική για ορισμένες εφαρμογές έξυπνων πόλεων, άλλες περιπτώσεις χρήσης έξυπνων πόλεων δεν απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης. Οι αισθητήρες που παρακολουθούν τη ρύπανση των αστικών περιοχών ενδέχεται να στέλνουν μικρά πακέτα δεδομένων σε μια πλατφόρμα, που βασίζεται σε cloud μία ή δύο φορές την ημέρα. Σε μία τέτοια περίπτωση, δεν υπάρχει ανάγκη για συνεχή ευρυζωνική σύνδεση.

Πολλές πόλεις χρησιμοποιούν για ευφυή συστήματα κυκλοφορίας (ITS) σχεδιασμένα να περιορίζουν τη συμφόρηση στους δρόμους. Τέτοια συστήματα παρακολουθούν την κυκλοφορία και χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση για να προσδιορίσουν μοτίβα και να αλλάξουν βασικά στοιχεία (π.χ κύκλους φαναριών σε συγκεκριμένες ώρες

της ημέρας) για να μειώσουν την συμφόρηση. Καθώς το 5G θα είναι διαθέσιμο, θα είναι φυσικό μέρος της υποδομής έξυπνων κτιρίων. Όταν βελτιωθεί η απόδοση του τεράστιου IoT και των αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης και τα σημεία τιμής, τα έξυπνα κτίρια θα επωφεληθούν από την αλλαγή. Τα κτίρια με αισθητήρες θερμοκρασίας για τη μέτρηση της κατανάλωσης θερμότητας βασίζονται στη συνδεσιμότητα Wi-Fi, η οποία μπορεί να είναι ανώμαλη και ευάλωτη σε κυβερνοαπειλή. Σε έναν κόσμο όπου το 5G είναι πανταχού παρόν, η ροή δεδομένων από αυτούς τους αισθητήρες θα γίνει πολύ πιο αξιόπιστη και πιο εύκολη στην ασφάλεια.

Ουσιαστικά, μία έξυπνη πόλη είναι ένα μέρος, όπου τα παραδοσιακά δίκτυα και οι υπηρεσίες γίνονται πιο αποτελεσματικά με τη χρήση ψηφιακών λύσεων προς όφελος των κατοίκων και των επιχειρήσεων. Μία έξυπνη πόλη υπερβαίνει τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών για καλύτερη χρήση των πόρων και λιγότερες εκπομπές. Αυτό σημαίνει εξυπνότερα δίκτυα αστικών μεταφορών, αναβαθμισμένες εγκαταστάσεις ύδρευσης και διάθεσης απορριμμάτων, πιο αποτελεσματικούς τρόπους φωτισμού και θέρμανσης κτιρίων. Δηλαδή, μία πόλη πιο διαδραστική με ασφαλέστερους δημόσιους χώρους και καλύτερη κάλυψη των αναγκών των γηραιότερων πολιτών.

6.3 Αυτόνομη οδήγηση



Σχήμα 6.3: Autonomous driving

Τα αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα δεν απέχουν πολύ από την πραγματικότητα με τη χρήση ασύρματων δικτύων 5G. Η συνδεσιμότητα ασύρματου δικτύου υψηλής απόδοσης με χαμηλή καθυστέρηση είναι σημαντική για την αυτόνομη οδήγηση. Το δίκτυο 5G θα προσφέρει νέες επιλογές εφαρμογών, που προάγουν την ανάπτυξη αυτόνομων αυτοκινήτων. Όχι μόνο θα μπορούν να λαμβάνουν αυτόνομες αποφάσεις στο μέλλον, αλλά θα επικοινωνούν και θα συνεργάζονται μεταξύ τους[20]. Ουσιαστικά, αυτόνομο αυτοκίνητο σημαίνει ότι είναι πλήρως ανεξάρτητο στη λήψη αποφάσεων και στην ανταπόκριση σε καταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων των έκτακτων περιστατικών.

Ο τεμαχισμός δικτύου είναι ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα του 5G, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξασφάλιση χαμηλών καθυστερήσεων, που απαιτούνται για αυτόνομα οχήματα. Όπως έχουμε αναφέρει, το ασύρματο δίκτυο χωρίζεται σε επίπεδα εικονικού δικτύου. Χρησιμοποιείται ένα επίπεδο δικτύου για την αυτοματοποιημένη οδήγηση, διασφαλίζοντας ότι οι ειδοποιήσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια σε αυτοκίνητα συνδεδεμένα με 5G ή 5G αυτοοδήγηση δεν θα οδηγήσουν σε κυκλοφοριακή συμφόρηση στον αυτοκινητόδρομο δεδομένων. Τα πρόσθετα οφέλη περιλαμβάνουν την επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων κοντά στις διαδρομές μεταφοράς σε κέντρα δεδομένων. Τέτοια κέντρα δεδομένων “άκρης” διασφαλίζουν ότι τα δεδομένα μπορούν να διαχειρίζονται ακόμη πιο γρήγορα στο δίκτυο.

6.4 Βιομηχανικό IoT

Οι μελλοντικές βιομηχανίες θα εξαρτώνται από έξυπνες ασύρματες τεχνολογίες, όπως το 5G και το LTE, προηγμένες για αποτελεσματική αυτοματοποίηση του εξοπλισμού, προγνωστική συντήρηση, ασφάλεια, παρακολούθηση διαδικασιών, έξυπνη συσκευασία, ναυτιλία, logistics και διαχείριση ενέργειας. Η τεχνολογία έξυπνων αισθητήρων προσφέρει απεριόριστες λύσεις για βιομηχανικό IoT για πιο έξυπνη, ασφαλή, οικονομικά αποδοτική και ενεργειακά αποδοτική βιομηχανική λειτουργία.

Σε αυτή τη νέα εποχή, τα παραδοσιακά γραμμικά συστήματα ενός εργοστασίου γίνονται δυναμικά και διασυνδεδεμένα. Οι έξυπνες μηχανές συνεργάζονται για να κάνουν πολύ περισσότερα από μία απλή σωματική εργασία. Αντίθετα, συλλέγουν, μοιράζονται και αναλύουν δεδομένα προκειμένου να παρακολουθούνται τα προϊόντα και τα περιουσιακά στοιχεία[8].

Οι διαχειριστές εργοστασίων θα μπορούν να παρακολουθούν τα εξαρτήματα καθώς προχωρούν στη διαδικασία συναρμολόγησης χρησιμοποιώντας έξυπνους αισθητήρες. Αυτό θα τους δώσει μία προβολή της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο και αυτή η ορατότητα θα επεκταθεί σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού. Το βιομηχανικό IoT θα τους δώσει πιθανή πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από τους συνεργάτες μεταφορών και logistics.

Η προσθήκη περιβαλλοντικών αισθητήρων εντός των εργοστασίων θα μπορούσε να βοηθήσει τις εταιρείες να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων τους. Οι αισθητήρες μπορούν να στέλνουν ειδοποιήσεις όταν οι συνθήκες πέφτουν κάτω από το “βέλτιστο”. Επιπλέον, με την έξυπνη χρήση δεδομένων αισθητήρων, είναι δυνατό να εντοπιστεί πότε ένα μηχάνημα παρουσιάζει σημάδια δυσλειτουργίας προτού σταματήσει να λειτουργεί εντελώς.

6.5 Υγειονομική περίθαλψη

Με την εμφάνιση νέων τεχνολογιών 5G, οι υπηρεσίες πληροφορικής και οι εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης πρόκειται να συνδεθούν καλύτερα από ποτέ. Αυτή η εξέλιξη θα έχει σημαντικές επιπτώσεις τόσο στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης όσο και στους ασθενείς. Το 5G ανοίγει νέους ορίζοντες για την Telehealth . Η τεχνολογία Telehealth επιτρέπει στους ασθενείς να συνδέονται εικονικά με γιατρούς και άλλους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης. Τους δίνει τη δυνατότητα να επικοινωνούν μέσω βίντεο σε πραγματικό χρόνο ή ζωντανής συνομιλίας. Καθώς το 5G υπόσχεται να φέρει υψηλές ταχύτητες με χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, οι εφαρμογές Telehealth θα βελτιωθούν δραματικά. Το δίκτυο του κλάδου υγείας αυξάνεται κάθε χρόνο. Περισσότερες υπηρεσίες και εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης εξαρτώνται από γρήγορες ταχύτητες δικτύου και χαμηλή καθυστέρηση. Η τεχνολογία 5G θα μετατρέψει τα απαρχαιωμένα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης στα νοσοκομεία σε έξυπνα νοσοκομεία, που μπορούν να παρέχουν εξ αποστάσεως υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης σε ασθενείς σε όλο τον κόσμο[31].

Επίσης, οι νέες τεχνολογίες 5G θα υποστηρίξουν τους γιατρούς, για να εκτελούν προηγμένες ιατρικές διαδικασίες με αξιόπιστο ασύρματο δίκτυο συνδεδεμένο σε άλλη πλευρά του πλανήτη. Επίσης, τα άτομα με χρόνιες παθήσεις θα επωφεληθούν από τις έξυπνες συσκευές και την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Οι γιατροί μπορούν να συνδεθούν με ασθενείς από οπουδήποτε και ανά πάσα στιγμή και να τους συμβουλέψουν όποτε είναι απαραίτητο. Ο κλάδος της υγείας πρέπει να ενσωματώσει όλη την λειτουργία με τη χρήση ενός ισχυρού δικτύου. Το 5G θα τροφοδοτήσει τη βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης με έξυπνες ιατρικές συσκευές, έξυπνες αναλύσεις και τεχνολογίες ιατρικής απεικόνισης υψηλής ευκρίνειας.

6.6 Drone Operation (Λειτουργία drone)

Τα drone γίνονται δημοφιλή για πολλαπλές λειτουργίες, όπως ψυχαγωγία, λήψη βίντεο, ιατρική και επείγουσα πρόσβαση, έξυπνες λύσεις παράδοσης, ασφάλεια και επιτήρηση κλπ. Κατά τη διάρκεια καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, όπως οι φυσικές καταστροφές, οι άνθρωποι έχουν περιορισμένη πρόσβαση σε πολλές περιοχές, όπου τα drones μπορούν να προσεγγίσουν και να συλλέξουν χρήσιμες πληροφορίες.

Το 5G είναι ο παράγοντας για την μεγάλη αλλαγή στα αυτόνομα drones. Κατά την πτήση, τα drones συνήθως χρησιμοποιούν λιγότερο αξιόπιστους συνδέσμους από σημείο σε σημείο, οι οποίοι θα μπορούσαν να χάσουν το σήμα ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια της πτήσης. Όταν λειτουργεί σε δίκτυο 5G, ένα drone επωφελείται από την εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία και τη συνδεσιμότητα χαμηλής καθυστέρησης[15]. Αυτό σημαίνει ότι ένα drone μπορεί να λάβει και να ενεργήσει σε εντολές που αποστέλλονται από το σύστημα ελέγχου εδάφους ή τον πιλότο γρήγορα. Το 5G συμβάλλει στην μείωση του χρόνου που δαπανάται μεταξύ της αποστολής, της λήψης και της εκτέλεσης εντολών, μειώνοντας επομένως το περιθώριο σφάλματος, που θα μπορούσε να συμβεί κατά τη διάρκεια της πτήσης. Αυτή η καθυστέρηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε σενάρια πλοήγησης, όπου μη επανδρωμένα αεροσκάφη πετούν σε περιβάλλοντα, όπου δεν επιτρέπεται το GPS ή πέρα από την οπτική γραμμή όρασης. Σε αυτή την περίπτωση χρήσης, τα drones δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν GPS και βασίζονται στην οπτική αδρανειακή οδομετρία (VIO) για την πλοήγηση σε περιοχές, όπου η θέα του πιλότου είναι συγκαλυμμένη. Το 5G θα διασφαλίσει ότι η τροφοδοσία της κάμερας του drone ενημερώνεται απρόσκοπτα στο σύστημα ελέγχου εδάφους του πιλότου σε πραγματικό χρόνο, στέλνοντας στον πιλότο μια ακριβή εικόνα για το πού βρίσκεται το drone.

6.7 Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα στο νέφος (Cloud VR & AR)

Η εικονική πραγματικότητα (VR) και η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) είναι τεχνολογίες που θα φέρουν την επανάσταση στην κατανάλωση περιεχομένου, τόσο στον τομέα των καταναλωτών όσο και των επιχειρήσεων. Τα VR/AR απαιτούν σημαντική μεταφορά δεδομένων, αποθήκευση και υπολογιστικές δυνατότητες. Αυτά τα δεδομένα και η υπολογιστική ισχύς θα μεταφερθούν στο cloud, το οποίο παρέχει άφθονο χώρο αποθήκευσης δεδομένων και μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη ικανότητα υπολογιστικής υψηλής ταχύτητας. Αυτό σημαίνει ότι θα μειωθεί σημαντικά το κόστος των συσκευών, κάνοντας τις κονσόλες ή τις συσκευές προσιτές για τους τελικούς χρήστες[18].

Ενώ, η τεχνολογία AR/VR υπάρχει εδώ και μερικά χρόνια, η υιοθέτηση σε κλίμακα χρειάζεται 5G και edge computing. Η εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και το υψηλό εύρος ζώνης που φέρνει το 5G είναι ζωτικής σημασίας για την ενεργοποίηση των περιπτώσεων χρήσης. Για πολλούς βιομηχανικούς και εταιρικούς πελάτες, οι ιδιωτικές λύσεις 5G διασφαλίζουν ότι οι εφαρμογές λαμβάνουν τις δυνατότητες, που απαιτούνται για την εκτέλεση κρίσιμων διαδικασιών, όπου τα δημόσια δίκτυα 5G είτε δεν επεκτείνουν επαρκή κάλυψη είτε δεν παρέχουν συγκεκριμένη ικανότητα στο απαιτούμενο επίπεδο ή δεν θεωρούνται αρκετά ασφαλής. Τα ιδιωτικά δίκτυα 5G είναι δίκτυα, που ανήκουν και είναι αφιερωμένα σε ένα ιδιωτικό μέρος και λειτουργούν πλήρως εντός του ιστοτόπου του συμβαλλόμενου μέρους, αυτό έχει οφέλη για την ασφάλεια, την καθυστέρηση, το εύρος ζώνης και άλλους τομείς. Η μετάβαση στο άκρο σημαίνει ότι οι εικόνες μπορούν να αποδοθούν πολύ πιο κοντά στον τελικό χρήστη ενισχύοντας περαιτέρω τις περιπτώσεις χρήσης.

7. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 5ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

7.1 Εισαγωγή στην Μηχανική Μάθηση

Τα συστήματα 5G έλυσαν τα μεγάλα προβλήματα, που σχετίζονται με τη χωρητικότητα μέσω της χρήσης νέας διεπαφής ραδιοφώνου (New Radio), massive MIMO, διαμόρφωσης δέσμης (Beamforming), υψηλών εντολών διαμόρφωσης κλπ. Το 5G σχεδιάζεται να περιλαμβάνει υψηλό επίπεδο ευελιξίας για τη βελτιστοποίηση της χρήσης του δικτύου ενσωματώνοντας τεχνολογίες δικτύωσης, που ορίζονται από λογισμικό (SDN) και εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου (NFV). Αυτό θα επιτρέψει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων να υποστηρίξουν τις τρέχουσες και νέες πιο απαιτητικές μελλοντικές υπηρεσίες. Το κυριότερο από όλα είναι να είμαστε έτοιμοι να υποστηρίξουμε υπηρεσίες για πελάτες σε εντελώς διαφορετικές αγορές/βιομηχανίες, όπως η ηλεκτρονική υγεία, το Διαδίκτυο των οχημάτων κλπ. Επίσης, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων πρέπει να δημιουργήσουν περισσότερες συνεργασίες σε πολλαπλά επίπεδα για την κοινή χρήση της υποδομής 5G μέσω της σχέσης κοινής χρήσης δικτύου μεταξύ διαφορετικών παρόχων κινητής τηλεφωνίας, της παράδοσης της Υποδομής ως Υπηρεσίας, της Πλατφόρμας ως Υπηρεσίας ή του Δικτύου ως Υπηρεσίας από παρόχους περιουσιακών στοιχείων. Οι χειριστές δικτύων αναγκάζονται επίσης να εξετάσουν υψηλότερο επίπεδο νοημοσύνης στα δίκτυά τους, προκειμένου να μάθουν σε βάθος και με ακρίβεια το λειτουργικό περιβάλλον, τις συμπεριφορές και τις ανάγκες των χρηστών. Η υιοθέτηση των προσεγγίσεων της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence, AI) και της Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning, ML) ως βασικό μέρος της τεχνητής νοημοσύνης είναι ζωτικής σημασίας για την πρόβλεψη της εξέλιξης του περιβάλλοντος και της συμπεριφοράς/απαιτήσης χρηστών/υπηρεσιών για την οικοδόμηση μιας προληπτικής και αποτελεσματικής βελτιστοποίησης και ενημέρωσης δικτύων. Αυτό ισχύει για κάθε επίπεδο του συστήματος και κάθε επίπεδο του δικτύου. Για παράδειγμα, τα AI/ML είναι ζωτικής σημασίας για το massive MIMO για τον εντοπισμό της δυναμικής αλλαγής και την πρόβλεψη της κατανομής των χρηστών αναλύοντας ιστορικά δεδομένα, τη δυναμική βελτιστοποίηση των βαρών των στοιχείων της κεραίας χρησιμοποιώντας τα ιστορικά δεδομένα ή τη βελτίωση της κάλυψης σε ένα σενάριο πολλαπλών κυψελών[21].

Η **τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence)** αναφέρεται στην προσομοίωση της ανθρώπινης νοημοσύνης σε μηχανές που είναι προγραμματισμένες να σκέφτονται και να μιμούνται τις πράξεις τους. Ο όρος μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε μηχανή που παρουσιάζει χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τον ανθρώπινο νου, όπως η μάθηση και η επίλυση προβλημάτων. Το ιδανικό χαρακτηριστικό της τεχνητής νοημοσύνης είναι η ικανότητά της να εκλογικεύει και να αναλαμβάνει ενέργειες, που έχουν τις καλύτερες πιθανότητες να επιτύχουν έναν συγκεκριμένο στόχο. Ένα υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης είναι η μηχανική μάθηση, η οποία αναφέρεται στην έννοια ότι τα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορούν αυτόματα να μάθουν και να προσαρμοστούν σε νέα δεδομένα χωρίς την βοήθεια του ανθρώπου. Οι τεχνικές βαθιάς μάθησης (Deep Learning) επιτρέπουν αυτή την αυτόματη εκμάθηση μέσω της απορρόφησης τεράστιων ποσοτήτων αδόμητων δεδομένων όπως κείμενο, εικόνες ή βίντεο[23].

Η **μηχανική μάθηση (machine learning)** είναι ένας κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και της επιστήμης των υπολογιστών, που εστιάζει στη χρήση δεδομένων και αλγορίθμων για τη μίμηση του τρόπου με τον οποίο μαθαίνουν οι άνθρωποι, βελτιώνοντας σταδιακά την ακρίβεια της. Η μηχανική μάθηση είναι ένα σημαντικό συστατικό του αναπτυσσόμενου τομέα της επιστήμης των δεδομένων (data science). Μέσω της χρήσης στατιστικών μεθόδων στα ιστορικά δεδομένα, οι αλγόριθμοι εκπαιδεύονται να κάνουν ταξινομήσεις ή προβλέψεις, αποκαλύπτοντας βασικές γνώσεις στα έργα εξόρυξης δεδομένων. Αυτές οι πληροφορίες στη συνέχεια οδηγούν στη λήψη αποφάσεων εντός των εφαρμογών και των επιχειρήσεων, επηρεάζοντας ιδανικά τις βασικές μετρήσεις ανάπτυξης. Καθώς τα μεγάλα δεδομένα συνεχίζουν να επεκτείνονται και να αυξάνονται, η ζήτηση της αγοράς για επιστήμονες δεδομένων θα αυξηθεί, απαιτώντας από αυτούς να βοηθήσουν στον εντοπισμό των πιο σχετικών επιχειρηματικών ερωτήσεων και στη συνέχεια στα δεδομένα για απάντηση τους.

Το σύστημα εκμάθησης ενός αλγορίθμου μηχανικής μάθησης αναλύεται σε τρία κύρια μέρη:

- **A Decision Process:** Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για να κάνουν μία πρόβλεψη ή ταξινόμηση. Με βάση ορισμένα δεδομένα εισόδου, τα οποία μπορούν να φέρουν ετικέτα ή χωρίς ετικέτα, ο αλγόριθμος θα παράγει μια εκτίμηση σχετικά με ένα μοτίβο στα δεδομένα.
- **An Error Function:** Μία συνάρτηση σφάλματος χρησιμεύει για την αξιολόγηση της πρόβλεψης του μοντέλου. Εάν υπάρχουν γνωστά παραδείγματα, μια συνάρτηση σφάλματος μπορεί να κάνει σύγκριση για να αξιολογήσει την ακρίβεια του μοντέλου.
- **An Model Optimization Process:** Εάν το μοντέλο μπορεί να ταιριάζει καλύτερα στα σημεία δεδομένων του συνόλου εκπαίδευσης, τότε τα βάρη προσαρμόζονται για να μειωθεί η απόκλιση μεταξύ του γνωστού παραδείγματος και της εκτίμησης του μοντέλου. Ο αλγόριθμος θα επαναλάβει αυτή την διαδικασία αξιολόγησης και βελτιστοποίησης, ενημερώνοντας τα βάρη αυτόνομα έως ότου επιτευχθεί ένα όριο ακρίβειας[11].

Η μηχανική μάθηση είναι ένα από τα πολλά υποσχόμενα εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης, που μπορεί να εκμεταλλευτεί τεράστιους όγκους πληροφοριών και μπορεί να βοηθήσει τις συναρπαστικές εφαρμογές των δικτύων 5G, όπως τα γνωστικά ραδιόφωνα, τα massive MIMO, τα femto/small cells (κύτταρα), τα ετερογενή δίκτυα, το έξυπνο πλέγμα, τη συγκομιδή ενέργειας και τις επικοινωνίες D2D. Με τα δίκτυα 5G θα υπάρξει μια μετάβαση από τον αυτόνομο στον γνωστικό υπολογισμό. Σε αυτή την διαδικασία, η μηχανική μάθηση και η επίγνωση του πλαισίου διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία του δικτύου[32].

Επομένως, απαιτείται εικονικοποίηση για την υλοποίηση των δυναμικών πτυχών και μηχανική εκμάθηση απαιτείται προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι πολυπλοκότητες, που εισάγει η εικονικοποίηση. Ιστορικά δεδομένα και δεδομένα που γίνονται σε πραγματικό

χρόνο θα χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση για συνεχή παρακολούθηση του δικτύου και χρήση μηχανικής μάθησης για πρόβλεψη και προσαρμογή δυναμικά σε νέα πλαίσια και καταστάσεις.

Τα δίκτυα 5G περιέχουν ένα σύνολο διαφορετικών τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων των εξαιρετικά πυκνών δικτύων (ultra-dense networks), δηλαδή χρήση από διάφορες τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης, πολλαπλές τεχνικές backhaul και μία ιεραρχία κυψελών - macro, pico, femto, massive MIMO, δηλαδή μεγάλες συστοιχίες κεραιών στο BS (Base Station) για εξυπηρέτηση πολλών χρηστών ταυτόχρονα, mmWave (λειτουργεί πάνω από 30 - 300 GHz συχνότητα), αρχιτεκτονική cognitive radio, αρχιτεκτονική βασισμένη στο cloud και επικοινωνία D2D. Συνοπτικά, οι τρεις κύριες τεχνολογίες που θα συμβάλλουν σημαντικά στο 5G είναι : ultra-dense, mmWave και massive MIMO. Αυτά τα τρία θεωρούνται οι περισσότερες υποσχόμενες βασικές τεχνολογίες για τη βελτίωση της χρήσης του φάσματος, την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος και τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου 5G. Τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης, όπως η μηχανική μάθηση, οι προηγμένες τεχνικές μηχανικής μάθησης και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων είναι απαραίτητα στα 5G δίκτυα προκειμένου να είναι έξυπνα και προληπτικά.

7.2 Machine Learning Methods

Η κλασική μηχανική μάθηση κατηγοριοποιείται συχνά από το πως ένας αλγόριθμος μαθαίνει να γίνεται πιο ακριβής στις προβλέψεις του. Υπάρχουν τέσσερις βασικές προσεγγίσεις: Supervised learning, Unsupervised learning, Reinforcement learning και Semi-supervised learning. Ο τύπος αλγορίθμου δεδομένων που επιλέγετε να χρησιμοποιηθεί, εξαρτάται από το είδος των δεδομένων που θέλουν να προβλέψουν[23].

Supervised Machine Learning

Supervised learning, γνωστή και ως "εποπτευόμενη μηχανική μάθηση", ορίζεται από τη χρήση επισημασμένων συνόλων δεδομένων για την εκπαίδευση αλγορίθμων που ταξινομούν δεδομένα ή προβλέπουν τα αποτελέσματα με ακρίβεια. Καθώς τα δεδομένα εισόδου τροφοδοτούνται στο μοντέλο, προσαρμόζει τα βάρη του έως ότου το μοντέλο τοποθετηθεί κατάλληλα. Αυτό συμβαίνει ως μέρος της διαδικασίας πολλαπλής επικύρωσης για να διασφαλιστεί ότι το μοντέλο αποφεύγει την υπερπροσαρμογή ή την υποσυναρμολόγηση. Η εποπτευόμενη μάθηση (supervised learning) βοηθά τους οργανισμούς να λύσουν μια ποικιλία πραγματικών προβλημάτων σε κλίμακα, όπως η ταξινόμηση των ανεπιθύμητων μηνυμάτων σε ξεχωριστό φάκελο από τα εισερχόμενα. Ορισμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην εποπτευόμενη μάθηση περιλαμβάνουν τα νευρωνικά δίκτυα, τις απλές bayes, τη γραμμική παλινδρόμηση, την λογιστική παλινδρόμηση, το τυχαίο δάσος, τη μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης και άλλα[33].

Unsupervised Machine Learning

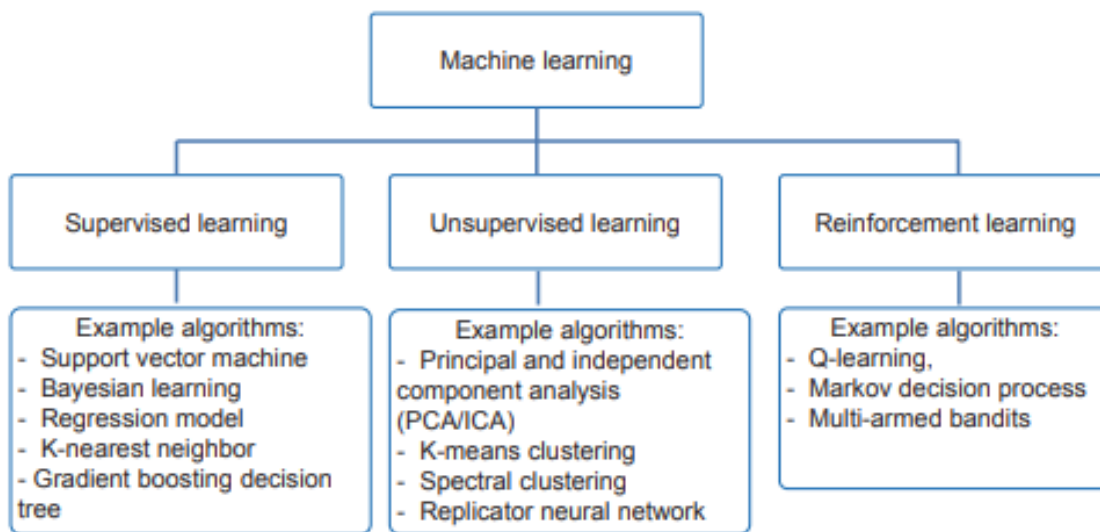
Unsupervised learning, γνωστή και ως "μη εποπτευόμενη μηχανική μάθηση", χρησιμοποιεί αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την ανάλυση και την ομαδοποίηση συνόλων δεδομένων χωρίς ετικέτα. Αυτοί οι αλγόριθμοι ανακαλύπτουν κρυφά μοτίβα ή ομαδοποιήσεις δεδομένων χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Η ικανότητά του να ανακαλύπτει ομοιότητες και διαφορές στις πληροφορίες το καθιστά την ιδανική λύση για διερευνητική ανάλυση δεδομένων, στρατηγικές cross-selling, τμηματοποίηση πελατών, αναγνώριση εικόνας και μοτίβων. Επίσης, χρησιμοποιείται για την μείωση του αριθμού των χαρακτηριστικών σε ένα μοντέλο μέσω της διαδικασίας μείωσης διαστάσεων. Η ανάλυση κύριου συστατικού (PCA) και η αποσύνθεση μονής τιμής (SVD) είναι δύο κοινές προσεγγίσεις για αυτό. Άλλοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στην μάθηση χωρίς επίβλεψη περιλαμβάνουν νευρωνικά δίκτυα, ομαδοποίηση k-means, πιθανοτικές μεθόδους ομαδοποίησης και πολλά άλλα[33].

Reinforcement Learning

Οι επιστήμονες δεδομένων (data scientists) χρησιμοποιούν συνήθως την ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning) για να διδάξουν σε μία μηχανή να ολοκληρώσει μια διαδικασία πολλαπλών βημάτων για την οποία υπάρχουν σαφώς καθορισμένοι κανόνες. Οι επιστήμονες δεδομένων προγραμματίζουν έναν αλγόριθμο για την ολοκλήρωση μιας εργασίας και της δίνουν θετικά ή αρνητικά στοιχεία, καθώς επεξεργάζεται πώς να ολοκληρώσει μια εργασία. Αλλά ως επί το πλείστον, ο αλγόριθμος αποφασίζει μόνος του ποια βήματα θα κάνει στην πορεία[33].

Semi-supervised Learning

Semi-supervised learning, προσφέρει ένα ευχάριστο μέσο μεταξύ εποπτευόμενης μάθησης. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης, χρησιμοποιεί ένα μικρότερο σύνολο δεδομένων με ετικέτα για να καθοδηγήσει την ταξινόμηση και την εξαγωγή χαρακτηριστικών από ένα μεγαλύτερο, χωρίς ετικέτα σύνολο δεδομένων. Η ημι-εποπτευόμενη μάθηση μπορεί να λύσει το πρόβλημα της έλλειψης επαρκών ετικετοποιημένων δεδομένων (ή της έλλειψης οικονομικής δυνατότητας για την επισήμανση επαρκών δεδομένων) για την εκπαίδευση ενός εποπτευόμενου αλγόριθμου μάθησης. Η βαθιά μάθηση (Deep Learning), η οποία βασίζεται σε τεχνικό νευρωνικό δίκτυο, ανήκει σε μια ευρύτερη οικογένεια τεχνικών μηχανικής μάθησης. Η εκμάθησή της μπορεί να είναι supervised, semi-supervised ή unsupervised. Σε αντίθεση με άλλες τεχνικές μηχανικής μάθησης, που απαιτούν πολύ συντονισμένους κανόνες για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων, τεχνικές deep learning μπορούν να αντιμετωπίσουν με επιτυχία τεράστιο όγκο δεδομένων για μάθηση και αναγνώριση αφηρημένων μοτίβων χρησιμοποιώντας ένα τεράστιο εικονικό νευρωνικό δίκτυο[33].



Σχήμα 7.1: Machine Learning

Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Machine Learning

Η μηχανική μάθηση έχει δει περιπτώσεις χρήσης που κυμαίνονται από την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των πελατών έως τη διαμόρφωση του λειτουργικού συστήματος για αυτόκινητα αυτόνομης οδήγησης. Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα, η μηχανική μάθηση μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να κατανοήσουν τους πελάτες τους σε βαθύτερο επίπεδο. Συλλέγοντας δεδομένα πελατών και συσχετίζοντάς τα με συμπεριφορές με την πάροδο του χρόνου, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να μάθουν συσχετίσεις και να βοηθήσουν τις ομάδες να προσαρμόσουν τις πρωτοβουλίες ανάπτυξης προϊόντων και μάρκετινγκ στη ζήτηση των πελατών. Αλλά η μηχανική μάθηση έχει και μειονεκτήματα. Πρώτα από όλα, μπορεί να είναι ακριβό. Τα έργα μηχανικής μάθησης καθοδηγούνται συνήθως από επιστήμονες δεδομένων, οι οποίοι έχουν υψηλούς μισθούς. Επίσης, αυτά τα έργα απαιτούν υποδομή λογισμικού που μπορεί να είναι ακριβή. Τέλος, το πρόβλημα της μεροληψίας μηχανικής μάθησης. Οι αλγόριθμοι που εκπαιδεύονται σε σύνολα δεδομένων, που αποκλείουν ορισμένους πληθυσμούς ή περιέχουν σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν σε ανακριβή μοντέλα του κόσμου που στην καλύτερη περίπτωση αποτυγχάνουν και στην χειρότερη εισάγουν διακρίσεις[23].

7.3 Machine Learning for Beamforming

Το 5G, που αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας κύμα mm, έχει κάλυψη κυψέλης βάσει δέσμης σε αντίθεση με το 4G, που έχει κάλυψη βάσει τομέα. Ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης μπορεί να βοηθήσει την τοποθεσία κυψέλης 5G να υπολογίσει ένα σύνολο υποψηφίων δεσμών, που προέρχονται είτε από την τοποθεσία εξυπηρέτησης, είτε από τη

γειτονική τοποθεσία κυψέλης. Ιδανικό σετ είναι το σετ που περιέχει λιγότερες δέσμες και έχει μεγάλη πιθανότητα να περιέχει την καλύτερη δέσμη. Η καλύτερη δέσμη είναι η δέσμη με την υψηλότερη ισχύ σήματος, γνωστή και ως RSRP. Όσο περισσότερες ενεργοποιημένες δέσμες υπάρχουν, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να βρεθεί η καλύτερη δέσμη. Αν και ο μεγαλύτερος αριθμός ενεργοποιημένων δεσμών αυξάνει την κατανάλωση πόρων του συστήματος.

Ο εξοπλισμός χρήστη (User Equipment, UE) μετρά και αναφέρει όλες τις υποψήφιες δέσμες στην τοποθεσία κυψέλης εξυπηρέτησης, η οποία στη συνέχεια θα αποφασίσει, εάν ο εξοπλισμός χρήστη (UE) πρέπει να παραδοθεί σε μια γειτονική τοποθεσία κυψέλης και σε ποια υποψήφια δέσμη. Το UE αναφέρει τις πληροφορίες κατάστασης δέσμης (Beam State Information, BSI) με βάση τις μετρήσεις του σήματος αναφοράς δέσμης (Beam Reference Signal, BRS), που περιλαμβάνουν παραμέτρους, όπως ο Δείκτης Δέσμης (Beam Index, BI) και η ισχύς λήψης σήματος αναφοράς δέσμης (Beam Reference Signal Received Power, BRSRP). Η εύρεση της καλύτερης δέσμης χρησιμοποιώντας το BRSRP μπορεί να οδηγήσει σε πρόβλημα παλινδρόμησης πολλαπλών στόχων (Multi-Target Regression, MTR), ενώ η εύρεση της καλύτερης δέσμης χρησιμοποιώντας το BI μπορεί να οδηγήσει σε πρόβλημα ταξινόμησης πολλαπλών κλάσεων (Multi-Class Classification, MCC).

Machine Learning και Artificial Intelligence μπορούν να βοηθήσουν στην εύρεση της καλύτερης δέσμης λαμβάνοντας υπόψη τις στιγμιαίες τιμές, που ενημερώνονται σε κάθε μέτρηση UE των παραμέτρων που αναφέρονται παρακάτω: Beam Index (BI), Beam Reference Signal Received Power (BRSRP), Distance (of UE to serving cell site), Position (GPS location of UE), Speed (UE mobility), Channel quality indicator (CQI) και ιστορικές τιμές που βασίζονται σε προηγούμενα γεγονότα και μετρήσεις, συμπεριλαμβανομένων των προηγούμενων πληροφοριών δέσμης προβολής, του χρόνου που αφιερώθηκε σε κάθε δέσμη προβολής και των τάσεων της απόστασης. Μόλις το UE εντοπίσει την καλύτερη δέσμη, μπορεί να ξεκινήσει τη διαδικασία τυχαίας πρόσβασης για να συνδεθεί με τη δέσμη χρησιμοποιώντας πληροφορίες χρονισμού και γωνίας. Μετά τη σύνδεση του UE στη δέσμη, η περίοδος σύνδεσης δεδομένων ξεκινά στην ειδική δέσμη UE.

7.4 Machine Learning for Ultra Dense Heterogeneous Networks

Η μηχανική μάθηση θα μπορούσε να βοηθήσει τα εξαιρετικά πυκνά δίκτυα. Σε ετερογενή δίκτυα, τα οποία αποτελούνται από διάφορες και διαφορετικές κυψέλες, οι μεταβιβάσεις μπορεί να είναι συχνές. Σε αυτή την περίπτωση, η μηχανική μάθηση μπορεί να εφαρμόζεται για την εύρεση των βέλτιστων λύσεων παράδοσης. Συγκεκριμένα, μπορεί να βοηθήσει σε ομαδοποίηση μικρών κυττάρων, σε συσχέτιση WiFi, σε ομαδοποίηση χρηστών από συσκευή σε συσκευή, σε ομαδοποίηση HetNet και σε επιλογή/συσχέτιση HetNet.

Η επέκταση της κάλυψης υπηρεσιών και η αύξηση της διακίνησης του δικτύου επιτυγ-

χάνεται μέσω της ανάπτυξης μικρών κυψελών, όπως τα femtocells. Σε ένα ετερογενές δίκτυο και οι δύο μικρές κυψέλες και τα macrocells αντιμετωπίζουν την παρεμβολή μεταξύ επιπέδων και την παρεμβολή συνεπιπέδων από το δίκτυο. Κατά συνέπεια, η ευφυΐα είναι σημαντική για την βελτίωση της απόδοσης του συστήματος και για την συνύπαρξη μικρών κυψελών και μακρο-κυψελών. Οι τεχνικές ανίχνευσης φάσματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικρά κύτταρα για να προσδιοριστεί, εάν το macrocell εκπέμπει μέσω ενός συγκεκριμένου καναλιού ή όχι.

Επιπλέον, υπάρχει το πρόβλημα του προσδιορισμού του προτύπου RAT (π.χ. LTE, WiFi και WiMAX) και το φάσμα που θα χρησιμοποιηθεί και ποιο BS ή χρήστη να συσχετίσει στο πλαίσιο του 5G HetNets. Οι τερματικοί κόμβοι θα πρέπει να είναι ευέλικτοι για να επιλέγουν τον κατάλληλο RAT σύμφωνα με τους διαθέσιμους και την τοποθεσία. Θα πρέπει να έχουν αυτονομία για να επιλέξουν την καλύτερη διαθέσιμη ασύρματη τεχνολογία.

Η μαζική ανάπτυξη του LTE (Long Term Evolution) ή του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 4G έχει λύσει μία από τις κύριες προκλήσεις των ασύρματων επικοινωνιών, που είναι οι υψηλές χωρητικότητες για τη δημιουργία πραγματικού ευρυζωνικού Διαδικτύου για κινητά. Αυτό κατέστη δυνατό κυρίως μέσω του πολύ ισχυρού φυσικού στρώματος, με βάση την ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) και πολλαπλές εισόδους πολλαπλής εξόδου (Multiple Input Multiple Output, MIMO) μεταξύ άλλων και την ευέλικτη αρχιτεκτονική δικτύου. Ωστόσο, νέες υπηρεσίες που απαιτούν εύρος ζώνης έχουν αναπτυχθεί με πρωτοφανή τρόπο, φθάνοντας σε χωρητικότητες έως και 1Gbps, όπως η εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality, VR) και η επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality, AR). Επιπλέον, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αντιμετωπίζουν άλλες νέες υπηρεσίες με εξαιρετική ζήτηση, υψηλότερη αξιοπιστία και απόδοση σχεδόν μηδενικού λανθάνοντος χρόνου, όπως επικοινωνίες οχημάτων ή Internet-of-Vehicles (IoV).

7.5 Machine Learning for Massive MIMO

Το Massive MIMO είναι μια βασική τεχνολογία 5G. Το Massive MIMO αναφέρεται απλώς στον μεγάλο αριθμό κεραιών (32 ή περισσότερες λογικές θύρες κεραίας) στη συστοιχία κεραιών του σταθμού βάσης. Το Massive MIMO βελτιώνει την εμπειρία του χρήστη αυξάνοντας σημαντικά την απόδοση, τη χωρητικότητα του δικτύου και την κάλυψη, ενώ μειώνει τις παρεμβολές με:

- Εξυπηρέτηση πολλαπλών χωρικά διαχωρισμένων χρηστών με συστοιχία κεραιών στον ίδιο πόρο χρόνου και συχνότητας.
- Εξυπηρέτηση συγκεκριμένων χρηστών με σχηματισμό δέσμης διεύθυνσης στενής δέσμης με υψηλό κέρδος για την αποστολή των ραδιοφωνικών σημάτων και των πληροφοριών απευθείας στη συσκευή αντί να εκπέμπονται σε ολόκληρη την κυψέλη, μειώνοντας τις παρεμβολές ραδιοφώνου σε όλη την κυψέλη.

Τα βάρη για τα στοιχεία κεραίας για μια τεράστια τοποθεσία κυψέλης MIMO 5G είναι κρίσιμα για τη μεγιστοποίηση του αποτελέσματος διαμόρφωσης δέσμης. Το ML και το AI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- Να προσδιορίσουμε τη δυναμική αλλαγή και να προβλέψουμε την κατανομή των χρηστών αναλύοντας ιστορικά δεδομένα.
- Να βελτιστοποιήσουμε δυναμικά τα βάρη των στοιχείων κεραίας χρησιμοποιώντας τα ιστορικά δεδομένα.
- Να εκτελέσουμε προσαρμοστική βελτιστοποίηση βαρών για συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης με μοναδική κατανομή από τον χρήστη.
- Να βελτιώσουμε την κάλυψη σε ένα σενάριο πολλαπλών κυψελών λαμβάνοντας υπόψη την παρεμβολή μεταξύ τοποθεσιών μεταξύ πολλών τοποθεσιών 5G μαζικών κυψελών MIMO.

7.6 Machine Learning for Network Slicing

Στην τρέχουσα εφαρμογή προσέγγισης, που ταιριάζει σε όλους για ασύρματα δίκτυα, οι περισσότεροι πόροι χρησιμοποιούνται ελάχιστα και δεν βελτιστοποιούνται για σενάρια υψηλού εύρου ζώνης και χαμηλής καθυστέρησης. Η σταθερή εκχώρηση πόρων για διαφορετικές εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις ενδέχεται να μην είναι αποτελεσματική προσέγγιση για τη χρήση διαθέσιμων πόρων δικτύου. Ο τεμαχισμός δικτύου δημιουργεί πολλαπλά αποκλειστικά εικονικά δίκτυα χρησιμοποιώντας μία κοινή φυσική υποδομή, όπου κάθε τμήμα δικτύου μπορεί να διαχειρίζεται και να ενορχηστρώνεται ανεξάρτητα.[19]

Η ενσωμάτωση αλγορίθμων Machine Learning και Artificial Intelligence σε δίκτυα 5G μπορεί να βελτιώσει την αυτοματοποίηση και την προσαρμοστικότητα, επιτρέποντας την αποτελεσματική ενορχήστρωση και τη δυναμική παροχή του τμήματος δικτύου. Η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να συλλέξουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για πολυδιάστατη ανάλυση και να κατασκευάσουν έναν πανοραμικό χάρτη δεδομένων για κάθε τμήμα δικτύου με βάση:

- User subscription
- Quality of Service (QoS)
- Network performance
- Events and logs

Διαφορετικές πτυχές όπου η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να αξιοποιηθούν, περιλαμβάνουν:

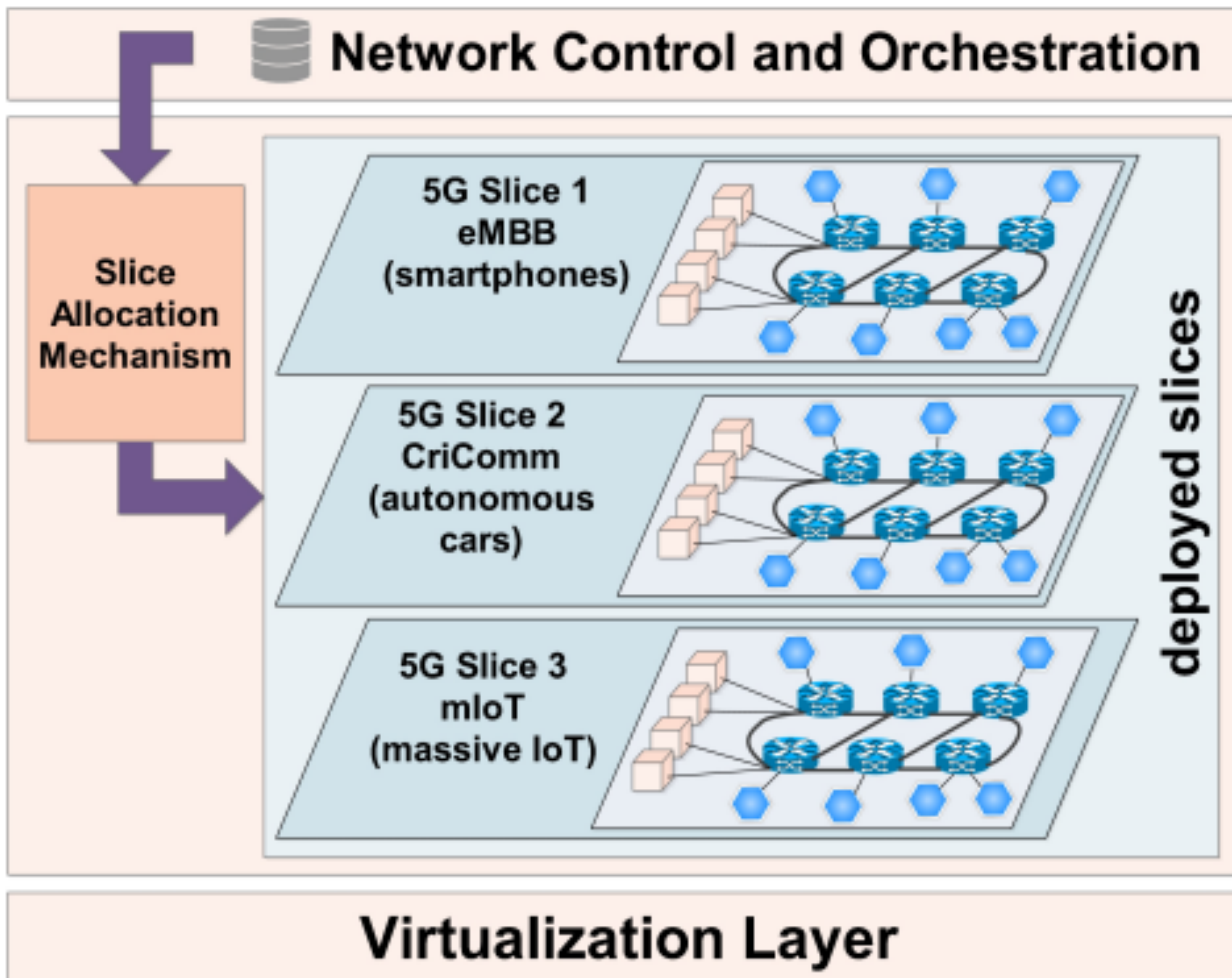
- Πρόβλεψη των πόρων του δικτύου, που μπορεί να επιτρέψει στους ασύρματους χειριστές να προβλέπουν διακοπές δικτύου, βλάβες εξοπλισμού και υποβάθμιση της απόδοσης.

- Γνωστική κλιμάκωση για να βοηθήσει τους ασύρματους χειριστές να τροποποιήσουν δυναμικά τους πόρους του δικτύου για τις απαιτήσεις χωρητικότητας με βάση την προγνωστική ανάλυση και τα προβλεπόμενα αποτελέσματα.
- Πρόβλεψη κινητικότητας UE σε δίκτυα 5G, που επιτρέπει Access and Mobility Management Function (AMF) να ενημερώνει τα μοτίβα κινητικότητας με βάση τη συνδρομή των χρηστών, τα ιστορικά στατιστικά στοιχεία και τις στιγμιαίες συνθήκες ραδιοφώνου για βελτιστοποίηση και απρόσκοπτη μετάβαση για τη διασφάλιση καλύτερης ποιότητας υπηρεσίας.
- Ενίσχυση της ασφάλειας στα δίκτυα 5G αποτρέποντας επιθέσεις και απάτες με την αναγνώριση των μοτίβων των χρηστών και την προσθήκη ετικετών σε ορισμένα συμβάντα για την αποτροπή παρόμοιων επιθέσεων στο μέλλον.

Με μελλοντικά ετερογενή ασύρματα δίκτυα, που εφαρμόζονται με ποικίλες τεχνολογίες, που αντιμετωπίζουν διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης, που παρέχουν συνδεσιμότητα σε εκατομμύρια χρήστες, που απαιτούν ταυτόχρονα προσαρμογή ανά κομμάτι και ανά υπηρεσία και που περιλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες KPI για διατήρηση, η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη θα είναι μια βασική και απαιτούμενη μεθοδολογία που πρέπει να υιοθετηθεί από ασύρματους χειριστές στο εγγύς μέλλον.

Slice deployment

Το επίπεδο Network Control and Orchestration λαμβάνει το αίτημα χρήστη και ικανοποιεί τη ζήτηση με την κατανομή ενός κατάλληλου slice σε αυτά που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 7.2: Network Slicing Architecture

Τα ανεπτυγμένα slices κατηγοριοποιούνται με βάση την υπηρεσία απαιτήσεις τύπου, όπως καθυστέρηση, αξιοπιστία, διαθεσιμότητα, απόδοση κλπ. Μπορεί να αναπτυχθεί ο αριθμός τμημάτων που διαθέτουν το καλύτερο κομμάτι για αυτήν την υπηρεσία. Έχουμε τρεις τύπους για slices: Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Critical Communication (CriComm), Massive IoT (mIoT). Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα είναι η κατανομή, δηλαδή το τέλειο κομμάτι για κάθε υπηρεσία, ώστε να μπορεί να επιλέξει το VNF και να δημιουργήσει το SFC. Στα δίκτυα 5G όλες οι υπηρεσίες είναι αφιερωμένες σε ανεπτυγμένα slices και τα slices χρησιμοποιούν αποτελεσματικά το VNF. Ο λανθάνοντας περιορισμός, η κινητικότητα του IoT ή το εύρος ζώνης αποδίδουν καλά, επειδή χρησιμοποιούν τις δικές τους λογικές υποδομές slices.

Use Case	Examples	Service Level Agreement (SLA)	Requirements
Enhanced Mobile Broadband (eMBB)	wide area coverage and connectivity, high user mobility with variable the data rate, moving Hot-Spot etc.	Available: normal condition	Latency: 5-10 ms Reliability: 95% Availability: 95% Throughput: 50Mbps (DL) 25 Mbps (UL)
Critical Communication (CriComm)	Autonomous industrial robots, Self-driving cars	Available: normal and overloaded condition	Latency: 1 ms Reliability: 99.9 - 99.999% Availability: 99.9 - 99.999% Throughput: Downlink (DL): 100Mbps/km ² , Uplink (UL): 50 Mbps/km ²
Massive IoT (mIoT)	Smart Sensors, eHealth, Smart networks	Available: normal condition	Latency: 10 ms Reliability: 95% Availability: 95% Throughput: 300Mbps (DL) 60 Mbps (UL)

Σχήμα 7.3: 5G Use Cases and Requirements

Problem Statement

Το ευέλικτο δίκτυο μελλοντικής γενιάς (5G) έχει ως στόχο να παρέχει μια αποκλειστική υποδομή, δηλαδή ένα τμήμα δικτύου για του ίδιου είδους υπηρεσίες. Υπάρχουν πολλά προβλήματα που σχετίζονται με αυτό της επιλογής slice και φτιάχνουν μια αλυσίδα SFC με βάση τα διαθέσιμα VNF.

Καλύτερη κατανομή slice για την κυκλοφορία δικτύου: Για να εκχωρήσουμε το κατάλληλο slice για μία υπηρεσία, η επιλογή του slice είναι σημαντική. Το 5G εισάγει πολλές περιπτώσεις χρήσης με τις απαιτήσεις τους σχετικά με τη διαθεσιμότητα, την αξιοπιστία, την καθυστέρηση και την παροχή πρέπει να ολοκληρωθεί η επιλογή της καλύτερης υπηρεσίας υποστήριξης για τις απαιτήσεις τους[19].

Solution Strategy

Οι διαφορετικές μέθοδοι μηχανικής μάθησης όπως Random Forest, Support vector machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN), Decision Tree χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική κατανομή των slices. Η απόδοση όλων των αλγορίθμων ελέγχεται με split σύνολο δεδομένων σε ενότητες εκπαίδευσης και δοκιμής.

- **Random Forest:** Το Random Forest ταξινομείται με βάση το δέντρο ταξινόμησης με παραμέτρους U_k επιλεγμένες τυχαία από τυχαίο διάνυσμα U στην οικογένεια ταξινομητή $h(x|U_1), \dots, h(x|U_k)$. Σωστή τυχαία ταξινόμηση δασών για τα δέντρα απόφασης που έχει τη συνήθεια να προσαρμόζεται υπερβολικά στα δεδομένα της προπόνησής τους.

Στο σύνολο δεδομένων $D = (x_i, y_i)_{i=1}^n$ εκπαιδεύσαμε μία οικογένεια ταξινομητές $h_k(x)$, όπου $h_k(x) \cong h(x|U_k)$.

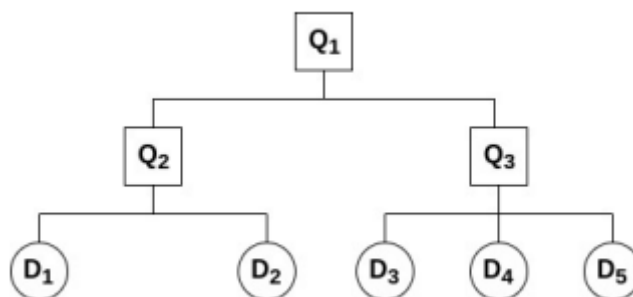
- **Support Vector Machine (SVM):** Το SVM είναι ένα από τα μοντέλα μάθησης, που χρησιμοποιούνται για ταξινόμηση και παλινδρόμηση. Βασίζεται στην έννοια των επιπέδων απόφασης. Το επίπεδο απόφασης διαχωρίζει το σύνολο διαφορετικού αντικειμένου, που έχει μια διαφορετική τάξη μέλους. Το θετικό με το SVM είναι ότι τα δεδομένα id είναι γραμμικά διαχωριζόμενα, υπάρχει πάντα ένα μοναδικό παγκόσμιο ελάχιστο. Για τα υπερεπίπεδα περιθωρίου η απόσταση παρουσιάζεται παρακάτω.

Ο περιορισμός: $y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1 - z_i, \forall x_i, z_i \geq 0$, όπου z_i είναι μια μεταβλητή στοίβας για τις περιπτώσεις, που πέφτουν εκτός περιθωρίου. Αντικειμενική συνάρτηση (objective function): $\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_i z_i$, όπου C είναι συμβιβασμός περιθωρίων ή εσφαλμένες ταξινομήσεις.

- **k-Nearest Neighbours (kNN):** Το C είναι συμβιβασμός περιθωρίων kNN είναι η μη παραμετρική μέθοδος, που χρησιμοποιείται για ταξινόμηση και παλινδρόμηση. Είναι ένας από τους βασικούς αλγορίθμους ταξινόμησης, που ανήκουν στους εποπτευόμενους στον τομέα μάθησης. Υπάρχουν πολλές λειτουργίες απόστασης που ισχύουν για C είναι συμβιβασμός περιθωρίων kNN όπως Euclidean, Manhattan, Minkowski distance. Η Ευκλείδεια απόσταση δίνεται από τον τύπο:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^k \pi (x_i - y_i)^2}$$

- **Decision Tree:** Το Δέντρο Αποφάσεων είναι το υπολογιστικό μοντέλο στην οποία χρησιμοποιείται η λειτουργία διακλάδωσης βάσει συγκρίσεων. Είναι ένας τύπος εποπτευόμενου αλγόριθμου μάθησης, που χρησιμοποιείται κυρίως σε προβλήματα ταξινόμησης. Στο σχήμα παρακάτω, το Q1 είναι η ρίζα, το Q2 και το Q3 είναι εσωτερικοί κόμβοι, που συνδέονται με τους κόμβους φύλλων D1, D2, ..., D5. Στην αρχή, ολόκληρο το σετ εκπαίδευσης πρέπει να εξεταστεί ως ρίζα. Στη συνέχεια, με βάση τα χαρακτηριστικά οι εγγραφές αξίας κατανέμονται αναδρομικά. Τα χαρακτηριστικά τοποθετούνται ως ρίζα ή εσωτερικό κόμβος του δέντρου χρησιμοποιώντας κάποια στατιστική προσέγγιση.



Σχήμα 7.4: Decision Tree

Simulation Results

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης προσομοιώθηκαν για slice κατανομή σε διαφορετικούς λόγους διαχωρισμού με το σύνολο δεδομένων.

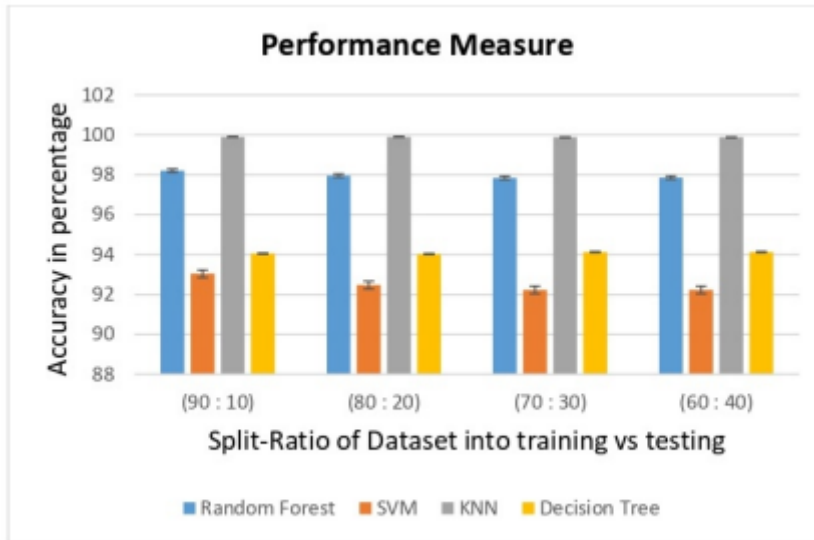
Split-ratio	Random forest	SVM	KNN	Decision Tree
90:10	98.21 %	93.04 %	99.8978 %	94.05 %
80:20	97.96 %	92.47 %	99.8993 %	94.03 %
70:30	97.85 %	92.23 %	99.8823 %	94.13 %
60:40	97.86 %	92.23 %	99.8823 %	94.13 %

Σχήμα 7.5: Slice Allocation Accuracy

Βλέπουμε ότι, ο αλγόριθμος Random forest και kNN accuracy είναι καλύτεροι από τον αλγόριθμο decision tree. Η στρατηγική κατανομής τμημάτων μπορεί να βελτιώσει την ικανότητα δικτύων 5G. Μετά την ανάπτυξη, μακροπρόθεσμα αυτοί οι αλγόριθμοι μπορεί να παρέχουν ακριβείς μετρήσεις για ταξινόμηση, περίπου 99.99%.

Performance Measures

Το μέτρο απόδοσης των αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ο αλγόριθμος random forest και ο kNN αποδίδει καλά σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις. Έτσι για την ανάπτυξη μιας μικρής κλίμακας οργάνωσης, ο Random forest και ο kNN είναι οι καλύτερες επιλογές. Θα λειτουργήσει καλά από το αρχικό στάδιο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι πόροι του δικτύου. Η μάθηση από την πραγματική κυκλοφορία του δικτύου θα μπορούσε να αυξήσει την απόδοση των μοντέλων μηχανικής μάθησης μετά την ανάπτυξη.



Σχήμα 7.6: Performance Measure

Στον επόμενο πίνακα, φαίνεται η μέση ακρίβεια ταξινόμησης, δηλαδή η κατανομή τμημάτων κατά Random forest, SVM, kNN και Decision tree. Αυτοί οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν σχεδόν καλή απόδοση, που βρέθηκε από την προσομοίωση με το σύνολο δεδομένων. Επιπλέον, αυτό το μοντέλο μπορεί να βελτιωθεί μετά την ανάπτυξη σε πραγματικό χρόνο. Το δίκτυο 5G έχει διαφορετικούς τύπους περιπτώσεων χρήσης και τις απαιτήσεις του για την κάλυψη QoS και QoE. Η επερχόμενη κυκλοφορία του δικτύου θα μπορούσε να φτάσει στην κατάλληλη κυκλοφορία μετά την εκμάθηση αλγορίθμου, που χρησιμοποιείται σε επίπεδο δικτύου και εντοπισμού.

Algorithm	Average accuracy
Random forest	97.97 %
SVM	92.49 %
KNN	99.89 %
Decision Tree	94.08 %

Σχήμα 7.7: Average Result

Για τους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έχουν καλή βαθμολογία χρησιμότητας για eMBB, Cricomm και mIoT. Το επίπεδο ελέγχου δικτύου και εντοπισμού ωθεί τον αλγόριθμο για την επερχόμενη κυκλοφορία δικτύου. Επιπλέον, το slice allocation mechanism διαθέτει ένα κατάλληλο κομμάτι για αυτή την κίνηση. Το επίπεδο εικονικοποίησης έχει την προσβασιμότητα όλων των VNF, ως εκ τούτου, τα slices χρησιμοποιούν δυναμικά τα VNF και άλλους πόρους.

Ανάπτυξη ML και AI σε ασύρματα δίκτυα

Οι ασύρματοι χειριστές μπορούν να αναπτύξουν AI με τρεις τρόπους:

- Ενσωμάτωση αλγορίθμων ML και AI σε μεμονωμένες συσκευές άκρων για χαμηλή υπολογιστική ικανότητα και γρήγορη λήψη αποφάσεων.
- Ελαφρύς κινητήρες ML και τεχνητής νοημοσύνης στο άκρο του δικτύου για εκτέλεση υπολογιστικών αιχμής πολλαπλής πρόσβασης (MEC) για υπολογισμούς σε πραγματικό χρόνο και δυναμική λήψη αποφάσεων κατάλληλες για υπηρεσίες IoT χαμηλής καθυστέρησης, που αντιμετωπίζουν ποικίλα σενάρια περιπτώσεων χρήσης.
- Πλατφόρμα ML και AI ενσωματωμένη στον εντοπιστή του συστήματος για κεντρική ανάπτυξη για εκτέλεση βαρέων υπολογισμών και αποθήκευσης για ιστορικές αναλύσεις και προβολές.

Πλεονεκτήματα από μόχλευση ML και AI στα 5G

Η εφαρμογή του ML και της τεχνητής νοημοσύνης στο ασύρματο είναι ακόμα στην αρχή και θα ωριμάσει σταδιακά τα επόμενα χρόνια για τη δημιουργία εξυπνότερων ασύρματων δικτύων. Η τοπολογία, τα μοντέλα σχεδίασης και διάδοσης του δικτύου μαζί με την κινητικότητα και τα πρότυπα χρήσης του χρήστη στο 5G θα είναι πολύπλοκα. Το ML και το AI θα διαδραματίσουν βασικό ρόλο στην παροχή βοήθειας στους ασύρματους χειριστές να αναπτύξουν, να λειτουργήσουν και να διαχειριστούν τα δίκτυα 5G με τον πολλαπλασιασμό των συσκευών IoT. Το ML και το AI θα δημιουργήσουν περισσότερη νοημοσύνη στα συστήματα 5G και θα επιτρέψουν τη μετάβαση από τη διαχείριση δικτύων στη διαχείριση υπηρεσιών. Το ML και το AI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση πολλών περιπτώσεων χρήσης για να βοηθήσουν τους χειριστές ασύρματης σύνδεσης να μεταβούν από ένα μοντέλο ανθρώπινης διαχείρισης στην αυτό-οδηγούμενη αυτόματη διαχείριση μετασχηματίζοντας τις λειτουργίες του δικτύου και τις διαδικασίες συντήρησης.

Υπάρχουν υψηλές συνεργασίες μεταξύ ML, AI και 5G. Όλα αντιμετωπίζουν περιπτώσεις χρήσης χαμηλής καθυστέρησης, όπου η ανίχνευση και η επεξεργασία δεδομένων είναι ευαίσθητες στο χρόνο. Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης περιλαμβάνουν αυτόνομα οχήματα με αυτόνομη οδήγηση, αυτοματισμούς βιομηχανίας που είναι κρίσιμοι για το χρόνο και απομακρυσμένη υγειονομική περίθαλψη. Το 5G προσφέρει εξαιρετικά αξιόπιστη χαμηλή καθυστέρηση που είναι 10 φορές ταχύτερη από το 4G. Ωστόσο, για να επιτευχθούν ακόμη χαμηλότεροι λανθάνοντες χρόνοι, για να επιτραπεί η ανάλυση βάσει συμβάντων, η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο και η λήψη αποφάσεων, υπάρχει ανάγκη για μια αλλαγή παραδείγματος από την τρέχουσα κεντρική και εικονική τεχνητή νοημοσύνη.

Αποδοτική ανάθεση πόρων σε δίκτυα 5G με τεχνικές machine learning

8. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ

8.1 Components of Multi-stack RL Method

Ένας αλγόριθμος multi-stack RL αποτελείται από τρία στοιχεία:

- α) **State (Κατάσταση)**
- β) **Action (Δράση)**
- γ) **Reward (Ανταμοιβή)**

Συγκεκριμένα, το X είναι ο διακριτός χώρος καταστάσεων περιβάλλοντος, A_k^n είναι τα διακριτά σύνολα των διαθέσιμων ενεργειών για το BS n στο βήμα k και το R είναι η συνάρτηση ανταμοιβής του BS n . Τα συστατικά του αλγορίθμου multi-stack RL καθορίζεται ως εξής:[30]

- **State (Κατάσταση):** Η κατάσταση περιβάλλοντος $x \in X$ αποτελείται από τρία στοιχεία, $x = (t_{max}, m_{max}, m^*)$, όπου $t_{max} = \max t_m(u_{n,m}, u_{n,m}, d_{n,m}, w_{n,m}, m)$ αντιπροσωπεύει τη μέγιστη υπολογιστική και την καθυστέρηση μετάδοσης μεταξύ όλων των χρηστών, $m_{max} = \arg \max t_m^f(u_{n,m}, u_{n,m}, d_{n,m}, w_{n,m}, m_m)$ αντιπροσωπεύει τον χρήστη του οποίου η κατανάλωση χρόνου είναι η μέγιστη δυνατή όλων των χρηστών και m^* αντιπροσωπεύει την έννοια του χρήστη που ζητά υπολογιστικό πόρο και πόρο μετάδοσης στο τρέχον βήμα. Σημειώνεται ότι, το t_{max} καθορίζεται από τις πεπερασμένες και διακριτές ενέργειες $u_{n,m}, u_{n,m}, d_{n,m}, w_{n,m}, m_m$. Επειδή, $m_{max} \in \{1, \dots, M\}$ και $m^* \in \{1, \dots, M\}$.

- **Action (Δράση):** Δεδομένου ότι κάθε BS βελτιστοποιεί από κοινού την κατανομή ισχύος εργασιών, υποφορέα και μετάδοσης σχήματος, η δράση $a_n^k = [u_n, u_n, d_n, w_n]$, όπου $u_n = [u_{1,n}, \dots, u_{M,n}]$, $u_n = [y_{1,n}, \dots, y_{M,n}]$, $d_n = [d_{1,n}, \dots, d_{M,n}]$ και $w_n = [w_{1,n}, \dots, w_{M,n}]$. Η ανερχόμενη ζεύξη μεταδίδει ισχύ και η κατερχόμενη ζεύξη μετάδοσης ισχύος χωρίζεται χωριστά σε επίπεδα N_a . Επομένως, υποθέτουμε ότι $u_{n,m}^i \in \{0, \frac{P_u}{N_a}, \frac{2P_u}{N_a}, \dots, P_U\}$ και $w_{n,m}^i \in \{0, \frac{P_B}{N_a}, \frac{2P_B}{N_a}, \dots, P_B\}$. Για να βρούμε τη βέλτιστη κατανομή εργασιών m , έχουμε το ακόλουθο αποτέλεσμα:

Θεώρημα 1

Η βέλτιστη κατανομή εργασιών δίνεται από:

$$m = \frac{f_m + Y}{f_m + Y + mF}$$

$$\text{όπου } Y = \frac{f_m F}{U_{n,m}(u_{n,m}, u_{n,m})} + \frac{f_m v F}{D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m})}$$

Το θεώρημα 1 μας παρουσιάζει ότι η κατανομή εργασιών εξαρτάται από την ισχύ εκπο-

μπής και τον υποφορέα κατανομής. Ειδικότερα, όπως η ισχύς μετάδοσης και ο αριθμός των υποφερόντων μέσω ανοδικής ζεύξης και η κατερχόμενη σύνδεση που εκχωρείται σε κάθε χρήστη αυξάνεται, έτσι και το μέρος μιας εργασίας που υπολογίζεται από το διακομιστή MEC αυξάνεται. Κατά συνέπεια, ο υπολογιστικός χρόνος μειώνεται.

Κάνοντας έναν συνδυασμό των δύο προηγούμενων σχέσεων έχουμε:

$$t_m^3(u_{n,m}, u_{n,m}, d_{n,m}, w_{n,m}, m_m) = \frac{m_m(f_m+Y)}{f_m(f_m+Y+mF)},$$

$$\text{όπου } Y = \frac{f_m F}{U_{n,m}(u_{n,m}, u_{n,m})} + \frac{f_m v F}{D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m})}$$

Στο θεώρημα 1, χτίζουμε τη σχέση μεταξύ της κατανομής εργασιών, της ισχύος εκπομπής και την κατανομή του υποφορέα. Στη συνέχεια, αναλύουμε το κέρδος που προκύπτει από την αλλαγή της μετάδοσης ισχύος και του αριθμού των υπομεταφορέων μέσω άνω και κάτω ζεύξης που έχουν εκχωρηθεί στον χρήστη m . Όπως φαίνεται και στον πίνακα 1, παρουσιάζεται η μείωση της καθυστέρησης λόγω της αλλαγής του αριθμού των υποφορέων και της μετάδοσης ισχύος που εκχωρείται στον χρήστη.

The type of computational tasks	The variation of resource allocation			
	downlink subcarriers	uplink subcarriers	downlink transmit power	uplink transmit power
Edge task	$\Delta t_m^1(d_{n,m} + \Delta d_{n,m})$	$\Delta t_m^1(u_{n,m} + \Delta u_{n,m})$	$\Delta t_m^1(w_{n,m} + \Delta w_{n,m})$	$\Delta t_m^1(v_{n,m} + \Delta v_{n,m})$
Local task	$\Delta t_m^2(d_{n,m} + \Delta d_{n,m})$	$\Delta t_m^2(u_{n,m} + \Delta u_{n,m})$	$\Delta t_m^2(w_{n,m} + \Delta w_{n,m})$	$\Delta t_m^2(v_{n,m} + \Delta v_{n,m})$
Collaborative task	$\Delta t_m^3(d_{n,m} + \Delta d_{n,m})$	$\Delta t_m^3(u_{n,m} + \Delta u_{n,m})$	$\Delta t_m^3(w_{n,m} + \Delta w_{n,m})$	$\Delta t_m^3(v_{n,m} + \Delta v_{n,m})$

Σχήμα 8.1: Summarization of the Time Consumption

Στον πίνακα 1, το t_m^1 παρουσιάζει την διακύμανση του χρόνου που καταναλώνεται για την επεξεργασία, όταν αλλάζει το σχήμα κατανομής πόρων. Ειδικότερα, $t_m^1(d_{n,m} + \Delta d_{n,m})$, $t_m^1(u_{n,m} + \Delta u_{n,m})$, $t_m^1(w_{n,m} + \Delta w_{n,m})$ και το $t_m^1(v_{n,m} + \Delta v_{n,m})$ αντίστοιχα, αντιπροσωπεύει τη διακύμανση της κατανάλωσης χρόνου για την εργασία αιχμής επεξεργασίας λόγω της αλλαγής του αριθμού των υποφερόντων κατερχόμενης ζεύξης, ο αριθμός των υποφερόντων ανερχόμενης ζεύξης, η ισχύς μετάδοσης κατερχόμενης ζεύξης και η ισχύς μετάδοσης άνω ζεύξης. Ομοίως, t_m^2 και t_m^3 αντιπροσωπεύουν τη διακύμανση της κατανάλωσης χρόνου για την επεξεργασία τοπικής εργασίας και συλλογικής εργασίας όταν αλλάζει το σχήμα κατανομής πόρων. Δεδομένων των εννοιών κατανάλωσης χρόνου, παρουσιάζουμε τη σχέση μεταξύ του χρόνου κατανάλωσης και της αλλαγής του αριθμού των υποφορέων και της ισχύος μετάδοσης που διατίθεται σε κάθε χρήστη.

Θεώρημα 2

Η μείωση της καθυστέρησης λόγω της αλλαγής του αριθμού των υπομεταφορέων και η ισχύς μετάδοσης που εκχωρείται στον χρήστη m είναι:

- Το κέρδος λόγω της αλλαγής του αριθμού των υποφορέων κατερχόμενης ζεύξης που εκχωρήθηκαν στον χρήστη m , που ζητά μια εργασία ακμής, $t_m^1(w_{n,m}, d_{n,m} + \Delta d_{n,m})$, είναι:

$$\Delta t_m^1(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m} + \Delta \mathbf{d}_{n,m}) = \begin{cases} \frac{\nu \lambda_m}{D_{n,m}(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m})}, \|\Delta \mathbf{d}_{n,m}\| \gg \|\mathbf{d}_{n,m}\|, \\ \frac{\nu \lambda_m \Delta \mathbf{d}_{n,m}}{d_{n,m}^2 D_{n,m}(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m})}, \|\Delta \mathbf{d}_{n,m}\| \ll \|\mathbf{d}_{n,m}\|, \\ \frac{\nu \lambda_m \Delta \mathbf{d}_{n,m}}{d_{n,m}(\mathbf{d}_{n,m} + \Delta \mathbf{d}_{n,m}) D_{n,m}(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m})}, \text{ else,} \end{cases}$$

όπου $t_{n,m} = [d_{n,m}^1, d_{n,m}^2, \dots, d_{n,m}^J]$ αντιπροσωπεύει τη διακύμανση της κατανομής των υποκατηγοριών κατερχόμενης ζεύξης. $d_{n,m}^j = 1$ υποδηλώνει ότι το BS n εκχωρεί τον υποφορέα κατερχόμενης ζεύξης j στον χρήστη m , αντιθέτως, έχουμε $d_{n,m}^j = 0$. $\|\mathbf{d}_{n,m}\|$ είναι η ενότητα του $\mathbf{d}_{n,m}$, που δείχνει τον αριθμό των υποφορέων κατερχόμενης ζεύξης, που θα εκχωρηθούν στον χρήστη m . Ομοίως, $\|\mathbf{d}_{n,m}\|$ αντιπροσωπεύει τον αριθμό των υποφερόντων κατερχόμενης ζεύξης, που έχουν ήδη εκχωρηθεί στον χρήστη m .

- Το κέρδος που προκύπτει από την αλλαγή του αριθμού των υποφορέων ανοδικής ζεύξης που έχουν εκχωρηθεί στον χρήστη m που ζητά μια τοπική εργασία $t_m^2(u_{n,m}, u_{n,m} + \Delta u_{n,m})$ είναι:

$$\Delta t_m^2(\mathbf{v}_{n,m}, \mathbf{u}_{n,m} + \Delta \mathbf{u}_{n,m}) = \begin{cases} \frac{\nu \lambda_m}{U_{n,m}(\mathbf{v}_{n,m}, \mathbf{u}_{n,m})}, \|\Delta \mathbf{u}_{n,m}\| \gg \|\mathbf{u}_{n,m}\|, \\ \frac{\nu \lambda_m \Delta \mathbf{u}_{n,m}}{u_{n,m}^2 U_{n,m}(\mathbf{v}_{n,m}, \mathbf{u}_{n,m})}, \|\Delta \mathbf{u}_{n,m}\| \ll \|\mathbf{u}_{n,m}\|, \\ \frac{\nu \lambda_m \Delta \mathbf{u}_{n,m}}{u_{n,m}(\mathbf{u}_{n,m} + \Delta \mathbf{u}_{n,m}) U_{n,m}(\mathbf{v}_{n,m}, \mathbf{u}_{n,m})}, \text{ else,} \end{cases}$$

όπου, $u_{n,m} = [u_{n,m}^1, u_{n,m}^2, \dots, u_{n,m}^I]$ αντιπροσωπεύει την παραλλαγή των υποφερόντων κατανομής ανερχόμενης ζεύξης. Ομοίως, $u_{n,m}^i = 1$ υποδηλώνει ότι το BS n εκχωρεί τον υποφορέα ανοδικής ζεύξης i στον χρήστη m και $u_{n,m}^i = 0$. Το $\|\mathbf{u}_{n,m}\|$ δηλώνει τον αριθμό των υποφερόντων ανοδικής ζεύξης που θα εκχωρηθεί στον χρήστη m . Το $\|\mathbf{u}_{n,m}\|$ είναι ο αριθμός των υποφερόντων ανοδικής ζεύξης που έχει ήδη εκχωρηθεί στον χρήστη m .

- Το κέρδος που προκύπτει από την αλλαγή του αριθμού των υποφορέων κατερχόμενη ζεύξης που έχουν καταναμεηθεί στον χρήστη m που ζητά μια συλλογική εργασία $t_m^3(w_{n,m}, d_{n,m} + d_{n,m})$ είναι:

$$\Delta t_m^3(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m} + \Delta \mathbf{d}_{n,m}) = \begin{cases} \frac{\lambda_m \nu (\omega_m F)^2}{(\omega_m F + Y)(\omega_m F + \Delta Y_d) D_{n,m}(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m})}, \|\Delta \mathbf{d}_{n,m}\| \gg \|\mathbf{d}_{n,m}\|, \\ \frac{\lambda_m \nu (\omega_m F)^2 \Delta \mathbf{d}_{n,m}}{d_{n,m}^2 (\omega_m F + Y)(\omega_m F + \Delta Y_d) D_{n,m}(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m})}, \|\Delta \mathbf{d}_{n,m}\| \ll \|\mathbf{d}_{n,m}\|, \\ \frac{\lambda_m \nu (\omega_m F)^2 \Delta \mathbf{d}_{n,m}}{d_{n,m}(\mathbf{d}_{n,m} + \Delta \mathbf{d}_{n,m})(\omega_m F + Y)(\omega_m F + \Delta Y_d) D_{n,m}(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m})}, \text{else,} \end{cases}$$

όπου, $Y = \frac{f_m F}{U_{n,m}(u_{n,m}, u_{n,m})} + \frac{f_m \nu F}{D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m})}$ και $Y_d = \frac{f_m F}{U_{n,m}(u_{n,m}, u_{n,m})} + \frac{f_m \nu F}{D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m} +)}$.

- Το κέρδος που προκύπτει από την αλλαγή του αριθμού των υποφορέων ανερχόμενη ζεύξης που έχουν καταναμεηθεί στον χρήστη m που ζητά μια συλλογική εργασία $t_m^3(u_{n,m}, u_{n,m} + u_{n,m})$ είναι:

$$\Delta t_m^3(\mathbf{v}_{n,m}, \mathbf{u}_{n,m} + \Delta \mathbf{u}_{n,m}) = \begin{cases} \frac{\lambda_m (\omega_m F)^2}{(\omega_m F + Y)(\omega_m F + \Delta Y_u) D_{n,m}(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m})}, \|\Delta \mathbf{u}_{n,m}\| \gg \|\mathbf{u}_{n,m}\|, \\ \frac{\lambda_m (\omega_m F)^2 \Delta \mathbf{u}_{n,m}}{d_{n,m}^2 (\omega_m F + Y)(\omega_m F + \Delta Y_u) D_{n,m}(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m})}, \|\Delta \mathbf{u}_{n,m}\| \ll \|\mathbf{u}_{n,m}\|, \\ \frac{\lambda_m (\omega_m F)^2 \Delta \mathbf{u}_{n,m}}{d_{n,m}(\mathbf{d}_{n,m} + \Delta \mathbf{d}_{n,m})(\omega_m F + Y)(\omega_m F + \Delta Y_u) D_{n,m}(\mathbf{w}_{n,m}, \mathbf{d}_{n,m})}, \text{else,} \end{cases}$$

όπου, $Y = \frac{f_m F}{U_{n,m}(u_{n,m}, u_{n,m})} + \frac{f_m \nu F}{D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m})}$ και $Y_u = \frac{f_m F}{U_{n,m}(u_{n,m}, u_{n,m} + u_{n,m})} + \frac{f_m \nu F}{D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m})}$.

- Το κέρδος που προκύπτει από την αλλαγή της ισχύος εκπομπής κατερχόμενη ζεύξης του m που ζητά μια εργασία ακμής, $t_m^1(w_{n,m} + w_{n,m}, d_{n,m})$ είναι:

$$t_m^1(w_{n,m} + w_{n,m}, d_{n,m}) = \frac{m(D_{n,m}(w_{n,m} + w_{n,m}, d_{n,m}) - D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m}))}{D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m}) D_{n,m}(w_{n,m} + w_{n,m}, d_{n,m})}$$

- Το κέρδος που προκύπτει από την αλλαγή της ισχύος μετάδοσης ανερχόμενη ζεύξης του m που ζητά μια εργασία ακμής, $t_m^2(w_{n,m} + w_{n,m}, u_{n,m})$ είναι:

$$t_m^2(w_{n,m} + w_{n,m}, u_{n,m}) = \frac{m(U_{n,m}(u_{n,m} + u_{n,m}, u_{n,m}) - U_{n,m}(u_{n,m}, u_{n,m}))}{U_{n,m}(u_{n,m}, u_{n,m}) U_{n,m}(u_{n,m} + u_{n,m}, u_{n,m})}$$

- Το κέρδος που προκύπτει από την αλλαγή της ισχύος μετάδοσης κατερχόμενη ζεύξης του χρήστη m που ζητά μια συλογική εργασία, $t_m^3(w_{n,m} + w_{n,m}, d_{n,m})$ είναι:

$$t_m^3(w_{n,m} + w_{n,m}, d_{n,m}) = \frac{mv(w_m F)^2}{(w_m F + Y)(w_m F + w)} X \frac{D_{n,m}(w_{n,m} + w_{n,m}, d_{n,m}) - D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m})}{D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m}) D_{n,m}(w_{n,m} + w_{n,m}, d_{n,m})}$$

$$\text{όπου} = \frac{f_m F}{U_{n,m}(u_{n,m}, u_{n,m})} + \frac{f_m v F}{D_{n,m}(w_{n,m}, d_{n,m})} \text{ και } = \frac{f_m F}{U_{n,m}(u_{n,m}, u_{n,m})} + \frac{f_m v F}{D_{n,m}(w_{n,m} + D w_{n,m}, d_{n,m})}$$

Από το θεώρημα 2, μπορούμε να δούμε ότι ο αριθμός των υποφορέων και η ισχύς μετάδοσης που κατανέμεται σε κάθε χρήστη m , θα επηρεάσει άμεσα την καθυστέρηση του χρήστη m . Επομένως, για να ελαχιστοποιηθεί η μέγιστη μετάδοση και η υπολογιστική καθυστέρηση μεταξύ των χρηστών, μπορούμε να αυξήσουμε τον αριθμό των υποφορέων καθώς και την ισχύ μετάδοσης που κατανέμεται σε κάθε χρήστη ανάλογα με τον τύπο εργασίας που ζητά κάθε χρήστη. Αν και αυξάνεται ο αριθμός των υπομεταφορέων καθώς και η ισχύς μετάδοσης που εκχωρείται σε κάθε χρήστη μπορεί να μειώσει την καθυστέρηση κάθε χρήστη. Το κέρδος προέρχεται από την αύξηση του ίδιου αριθμού υπομεταφορέων ή της ισχύος που διατίθεται στον χρήστη που ζητά διάφορους τύπους υπολογιστικών εργασιών. Έτσι, έχουμε το συμπέρασμα ότι, η σχέση μεταξύ των κερδών που προκύπτουν από την αλλαγή του ίδιου αριθμού υποφορέων ή της ισχύς μετάδοσης για έναν χρήστη που έχει διαφορετικές εργασίες είναι οι ακόλουθες:

- Η σχέση μεταξύ των κερδών που προκύπτουν από την αλλαγή του αριθμού κατερχόμενης ζεύξης, που εκχωρούνται στον χρήστη m είναι: $t_m^2(d_{n,m} + d_{n,m}) < t_m^3(d_{n,m} + d_{n,m}) < t_m^1(d_{n,m} + d_{n,m})$

- Η σχέση μεταξύ των κερδών που προκύπτουν από την αλλαγή του αριθμού ανερχόμενης ζεύξης, που εκχωρούνται στον χρήστη m είναι: $t_m^1(u_{n,m} + u_{n,m}) < t_m^3(u_{n,m} + u_{n,m}) < t_m^2(u_{n,m} + u_{n,m})$

- Η σχέση μεταξύ των κερδών που προκύπτουν από την αλλαγή της ισχύος μετάδοσης κατερχόμενης ζεύξης, που εκχωρούνται στον χρήστη m είναι: $t_m^2(w_{n,m} + w_{n,m}) < t_m^3(w_{n,m} + w_{n,m}) < t_m^1(w_{n,m} + w_{n,m})$

- Η σχέση μεταξύ των κερδών που προκύπτουν από την αλλαγή της μετάδοσης ανοδικής ζεύξης ισχύος, που εκχωρούνται στον χρήστη m είναι: $t_m^1(u_{n,m} + u_{n,m}) < t_m^3(u_{n,m} + u_{n,m}) < t_m^2(u_{n,m} + u_{n,m})$

Από όλα τα παραπάνω, προκύπτει κέρδος από την αύξηση του αριθμού των υποφορέων και της μετάδοσης ισχύος ενός χρήστη που έχει μια συλογική εργασία, η οποία είναι μικρότερη από αυτή που ζητά ο χρήστης. Αυτό συμβαίνει, γιατί ο αριθμός των υποφορέων ή της μετάδοσης ισχύος για uplink (downlink) αυξάνεται, ο ρυθμός δεδομένων για uplink (downlink) αυξάνεται, μειώνοντας έτσι την καθυστέρηση μετάδοσης uplink (down-

link). Εντωμεταξύ, λόγω της αύξησης του ρυθμού μετάδοσης uplink (downlink), ο χρήστης θα στείλει περισσότερα δεδομένα στον διακομιστή MEC που μπορεί να χρησιμοποιήσει τις CPUs υψηλής απόδοσης για την επεξεργασία των δεδομένων. Έτσι, η καθυστέρηση μετάδοσης κατερχόμενη ζεύξης (ανερχόμενη ζεύξης) αυξάνεται. Η αύξηση της καθυστέρησης κατερχόμενη μετάδοσης (ανερχόμενη ζεύξη) είναι μεγαλύτερη από την μείωση της υπολογιστικής καθυστέρησης. Για την ελαχιστοποίηση της μέγιστης καθυστέρησης υπολογισμού και μετάδοσης μεταξύ όλων των χρηστών, το BS n προτιμά να εκχωρεί περισσότερους υποφορείς κατερχόμενη ζεύξης και μετάδοση κατερχόμενη ζεύξης τροφοδοσίας σε έναν χρήστη που ζητά μια εργασία αιχμής και εκχωρεί περισσότερους δευτερεύοντες φορείς και ανοδική ζεύξη μετάδοσης ενέργειας σε έναν χρήστη που ζητά μια τοπική εργασία.

• **Reward (Ανταμοιβή):** Με δεδομένο το τρέχον περιβάλλον κατάστασης x και την επιλεγμένη ενέργεια a_n^k , η συνάρτηση ανταμοιβής κάθε BS n δίνεται από:

$$R(x, a_n^k) = \frac{\max_{f_m} \frac{l_m}{f_m} - \max_{f_m}^f(a_n^k)}{\max_{f_m} \frac{l_m}{f_m}},$$

όπου $R(x, a_n^k) \in (0, 1)$ μαζί με $\max_{f_m} \frac{l_m}{f_m}$ είναι η μέγιστη κατανάλωση χρόνου από όλους τους χρήστες που επεξεργάζεται την μία εργασία τοπικά και $\max_{f_m}^f(a_n^k)$ είναι ο μέγιστος χρόνος μετάδοσης και υπολογισμού όλων των χρηστών. Για να υπολογιστεί το $\max_{f_m}^f(a_n^k)$, κάθε BS n πρέπει να ανταλλάξει το μέγιστο της καθυστέρησης μεταξύ των συνδεδεμένων χρηστών του με άλλα BS, ώστε να προσαρμόσει το σχέδιο κατανομής πόρων για την ελαχιστοποίηση της μέγιστης υπολογιστικής καθυστέρησης και μετάδοσης μεταξύ όλων των χρηστών.

8.2 Multi-stack RL for Optimization of Resource Allocation

Ανεξάρτητα από τα συστατικά στοιχεία του προτεινόμενου αλγορίθμου μάθησης, παρουσιάζουμε τη χρήση του προτεινόμενου αλγορίθμου μάθησης για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης, που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του μέγιστου υπολογιστικού και της μετάδοσης καθυστέρησης μεταξύ όλων των χρηστών. Συγκεκριμένα, κάθε BS n επιλέγει πρώτα μία ενέργεια a_n^k από το A_n^k σε κάθε βήμα k . Μετά από την επιλεγμένη δράση a_n^k που εκτελείται από το BS n , η κατάσταση περιβάλλοντος x αλλάζει και το BS n καταγράφει την ανταμοιβή $R(x, a_n^k)$. [34]Για να διασφαλιστεί ότι οποιαδήποτε ενέργεια μπορεί να επιλεγεί με μη μηδενική πιθανότητα, υιοθετείται μια άπληστη εξερεύνηση. Αυτός ο μηχανισμός είναι υπεύθυνος για επιλογή δράσης κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας και εξισορρόπησης της ανταλλαγής μεταξύ εξερεύνησης και εκμετάλλευσης. Όσον αφορά την εκμετάλλευση αναφερόμαστε στην περίπτωση κατά την οποία κάθε BS θα υιοθετήσει τη δράση με τη μέγιστη ανταμοιβή. Επομένως, η πιθανότητα το BS n να επιλέξει την ενέργεια a_n^k δίνεται από:[30]

$$\pi_{n, \mathbf{a}_n^k} = \begin{cases} 1 - \varepsilon + \frac{\varepsilon}{\|\mathbf{a}_n^k\|}, & \arg \max_{\mathbf{a}_n^k \in \mathcal{A}_n^k} Q(\mathbf{x}, \mathbf{a}_n^k), \\ \frac{\varepsilon}{\|\mathbf{a}_n^k\|}, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

όπου ε είναι η πιθανότητα εξερεύνησης.

Για την αποφυγή της επανάληψης των σχημάτων κατανομής ιστορικών πόρων, χρησιμοποιούνται οι πολλαπλές στοίβες, που καταγράφουν τις πληροφορίες του τρέχοντος σχήματος κατανομής πόρων και των καταστάσεων των χρηστών, που ορίζονται ως $u_0 = [u_0^1, u_0^2, \dots, u_0^B]$, $u_1 = [u_1^1, u_1^2, \dots, u_1^B]$, \dots , $u_{G-1} = [u_{G-1}^1, u_{G-1}^2, \dots, u_{G-1}^B]$ με το G να είναι ο αριθμός των στοίβων και B να είναι το μήκος κάθε στοίβας. Από την επιλεγμένη ενέργεια a_n^k και την τρέχουσα κατάσταση \mathbf{x} θα καταγραφεί στο στοιχείο v_G^l της αντίστοιχης στοίβας v_G . Ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιτρέπει σε κάθε BS n να μάθει τις πληροφορίες στις στοίβες, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα εξερεύνησης στα πρώτα $G \times B$ βήματα. Στη συνέχεια, η επιλεγμένη ενέργεια και η τρέχουσα κατάσταση συγκρίνονται με τις ιστορικές πληροφορίες που καταγράφονται στην αντίστοιχη στοίβα.

Η διαδικασία σύγκρισης δίνεται από:

$$q = \mathbb{1}_{\{k \bmod G=0 \ \& \ R(\mathbf{x}, \mathbf{a}_n^k) \neq v_0^b, b=1, \dots, B\}} \\ \vee \mathbb{1}_{\{k \bmod G=1 \ \& \ R(\mathbf{x}, \mathbf{a}_n^k) \neq v_1^b, b=1, \dots, B\}} \\ \vee \dots \\ \vee \mathbb{1}_{\{k \bmod G=G-1 \ \& \ R(\mathbf{x}, \mathbf{a}_n^k) \neq v_{G-1}^b, b=1, 2, \dots, B\}},$$

όπου $1_x = 1$ είναι αληθές, διαφορετικά, έχουμε $1_x = 0$. $(k \bmod G = i)$ δείχνει ότι οι πληροφορίες που λαμβάνονται από το BS n στο βήμα k πρέπει να συγκριθούν με τις εγγραφές στην στοίβα. Επιπρόσθετα, $1_{\{k \bmod G=i \ \& \ R(\mathbf{x}, \mathbf{a}_n^k) \neq v_i^b, b=1, \dots, B\}} = 1$ υποδηλώνει ότι οι πληροφορίες που λαμβάνονται στο βήμα k δεν έχουν καταγραφεί στην στοίβα i . Επομένως, $q \in \{0, 1\}$

είναι το αποτέλεσμα σύγκρισης με $q=1$ που υποδεικνύει ότι οι πληροφορίες στο βήμα k καταγράφονται στη στοίβα i . Στη συνέχεια, το BS n καταγράφει το $R(x, a_n^k)$ σε μία από τις πολλαπλές στοίβες του, η οποία δίνεται από:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_1^{1+(k-1)/G} = R(x, a_n^k), \text{ if } k \bmod G = 1, \\ v_2^{1+(k-2)/G} = R(x, a_n^k), \text{ if } k \bmod G = 2, \\ \dots \\ v_{G-1}^{1+(k-(G-1))/G} = R(x, a_n^k), \text{ if } k \bmod G = G - 1, \\ v_G^{k/G} = R(x, a_n^k), \text{ if } k \bmod G = 0, \end{array} \right.$$

όπου $u_i^{1+(k-1)}$ υποδεικνύει ότι οι πληροφορίες που λαμβάνονται στο βήμα k πρέπει να αποθηκευτούν στο στοιχείο $1 + (-1)$ στοίβας.

Αφού οι πληροφορίες στο βήμα k καταγράφουν στις στοίβες, κάθε BS n θα λάβει σύγκριση αποτελέσματος q , ανταμοιβή $R(x, a_n^k)$ και κατάσταση x .

$$Q(x, a_n^k) = Q(x, a_n^k) + q * a(R(x, a_n^k) + \max Q(x', a_n^{k'}) - Q(x, a_n^k)),$$

όπου x' και $a_n^{k'}$ είναι η επόμενη κατάσταση και δράση αντίστοιχα. Το $a \in [0, 1]$ είναι ο ρυθμός εκμάθησης και το $\epsilon \in [0, 1]$ είναι ο συντελεστής έκπτωσης. Σύμφωνα με τις παραπάνω συναρτήσεις, κάθε BS πρέπει ενημερώνει το Q ανάλογα με το αποτέλεσμα σύγκρισης και να καταγράφει το νέο σχήμα κατανομής πόρων και στην κατάσταση των χρηστών στις στοίβες. Με βάση τις καταγεγραμμένες ιστορικές πληροφορίες, κάθε BS μπορεί να αποφύγει την επανειλημμένη υιοθέτηση του ίδιου του συστήματος κατανομής πόρων επιταχύνοντας έτσι τη σύγκλιση. Ουσιαστικά σε κάθε βήμα, το BS n επιλέγει μια ενέργεια a_n^k που βασίζεται στον άπληστο μηχανισμό και τα ιστορικά σχήματα κατανομής πόρων έτσι ώστε να καταναίμει τον δευτερεύοντα φορέα και την ισχύ του στους συνδεδεμένους χρήστες του και να καταναίμει τη συλλογική εργασία που θα ζητηθεί από τους χρήστες. Έπειτα, το BS n μπορεί να υπολογίσει το μέγιστο και τη μετάδοση καθυστέρησης των συνδεδεμένων χρηστών του και την ανταλλαγή με άλλα BS. Στη συνέχεια, κάθε BS μπορεί να αποκτήσει τη μέγιστη καθυστέρηση μεταξύ όλων των χρηστών, ώστε να υπολογιστεί η ανταμοιβή και να καταγραφούν οι πληροφορίες της ίδιας δράσης και κατάστασης του περιβάλλοντος. Με βάση την τρέχουσα κατάσταση x , η τρέχουσα ανταμοιβή είναι $R(x, a_n^k)$ και η δράση είναι a_n^k .

Algorithm 1 Multi-stack RL Method

Input: The available action space \mathcal{A}_n^k and the environment state \mathcal{X} .
Output: The resource allocation policy.

- 1: Initialize the stacks $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_G$ and $Q(\mathbf{x}, \mathbf{a}_n^k)$ as $\mathbf{0}$.
- 2: Select an initial state \mathbf{x} .
- 3: **for** each step **do**
- 4: **if** $\text{rand}(\cdot) < \epsilon$ **then**
- 5: Randomly choose one action \mathbf{a}_n^k from \mathcal{A}_n^k .
- 6: **else**
- 7: Select the action $\mathbf{a}_n^k = \arg \max_{\mathbf{a}_n^{k'}} Q(\mathbf{x}', \mathbf{a}_n^{k'})$.
- 8: **end if**
- 9: Execute \mathbf{a}_n^k , obtain $R(\mathbf{x}, \mathbf{a}_n^k)$ and observe \mathbf{x}' .
- 10: **while** $k < G \times B$ **do**
- 11: **if** \mathbf{x} and \mathbf{a}_n^k have been recorded in the stacks **then**
- 12: Skip to step 4.
- 13: **else**
- 14: Record \mathbf{x} and \mathbf{a}_n^k in the corresponding stack, $q = 1$.
- 15: **end if**
- 16: **end while**
- 17: Execute \mathbf{a}_n^k , obtain $R(\mathbf{x}, \mathbf{a}_n^k)$ and observe \mathbf{x}' .
- 18: Update $Q(\mathbf{x}, \mathbf{a}_n^k)$ using (23), $\mathbf{x} = \mathbf{x}'$.
- 19: **end for**

Σχήμα 8.2: Multi-stack RL Method

8.3 Προσομοίωση

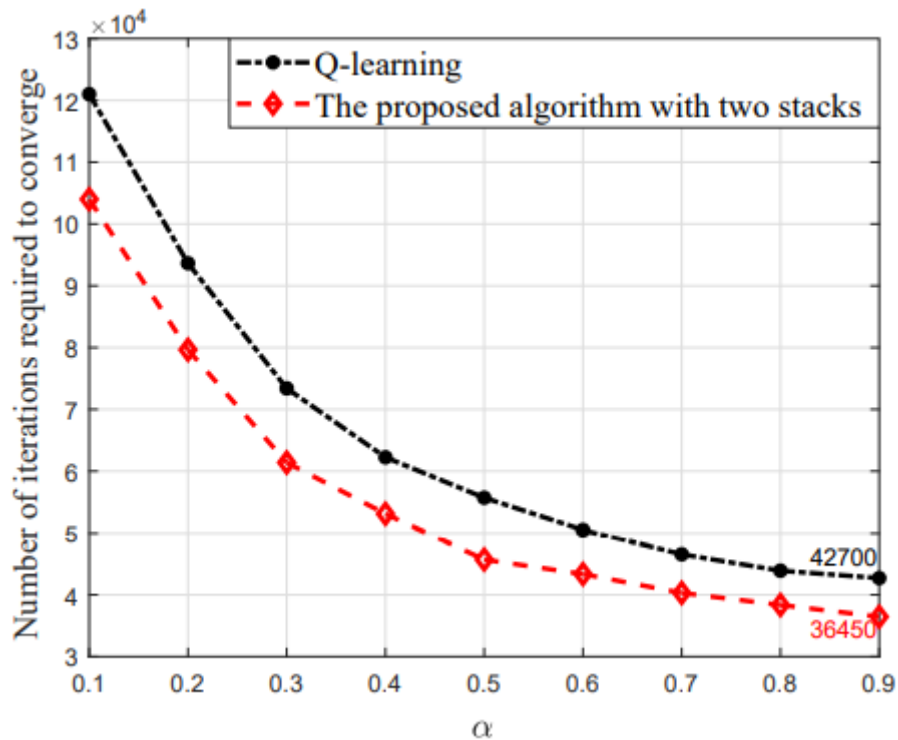
Parameter	Value	Parameter	Value
N	3	N_a	10
M	6	δ	2
I	9	σ_N^2	-95 dBm
J	9	ω	[1000, 2000]
B	150	ω_m	1500
P_U	0.5 W	λ_m	[100, 400] kbits
P_B	1 W	F	100 GHz
W	3 MHz	f_m	0.5 GHz

Σχήμα 8.3: Simulation Parameters

Συγκεκριμένα, σε αυτή την προσομοίωση, λαμβάνουμε υπόψη μια περιοχή δικτύου που βασίζεται σε MEC και έχει ακτίνα 100m μαζί με $N=3$ ομοιόμορφα καταναμημένα BS και $M=6$ ομοιόμορφα καταναμημένους χρήστες. Ουσιαστικά, θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματά μας με τον αλγόριθμο Q-learning. Για τον αλγόριθμο Q-learning, οι καταστάσεις, οι ενέργειες και η συνάρτηση ανταμοιβής ορίζονται στις ίδιες καταστάσεις, ενέργειες καθώς και συνάρτηση ανταμοιβής που ορίζονται στον δικό μας προτεινόμενο αλγόριθμο. Σε κάθε επανάληψη αυτός ο αλγόριθμος Q-learning θα επιλέξει μια ενέργεια με βάση τον μηχανισμό e-greedy και στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσει έναν πίνακα Q για να καταγράψει τις καταστάσεις, τις ενέργειες και την επιτυχημένη πολιτική κατανομής πόρων που προκύπτει από τις ενέργειες που έχουν εφαρμόσει τα BS.

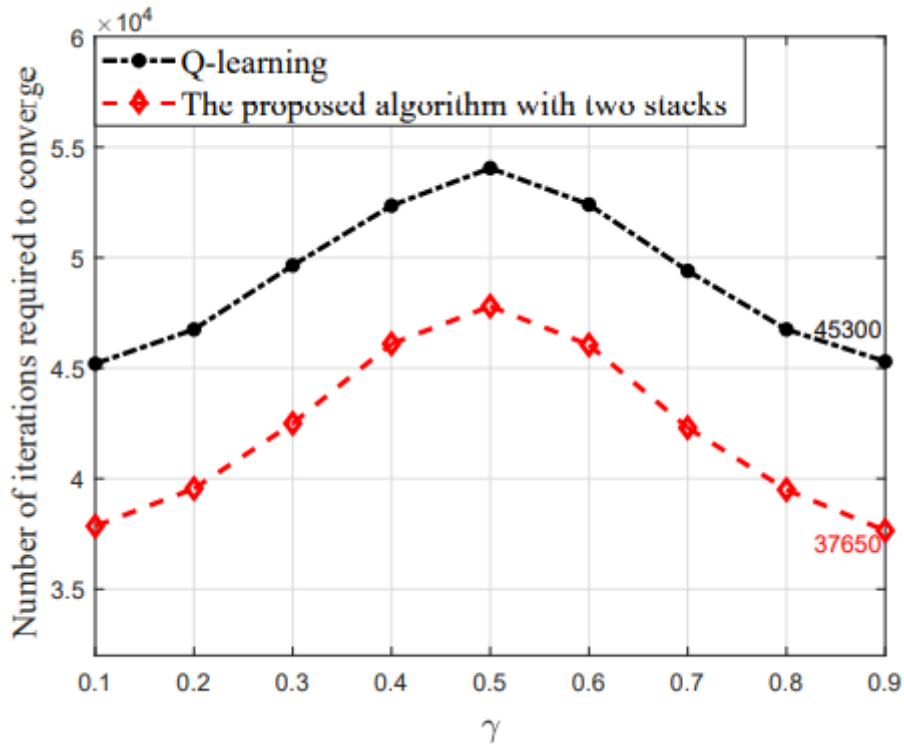
Στο σχήμα 1, μπορούμε να δούμε ότι, ο αριθμός των επαναλήψεων που απαιτούνται για τη σύγκλιση αλλάζει με το ρυθμό εκμάθησης a . Καθώς το a αυξάνεται, ο αριθμός των επαναλήψεων απαιτείται να μειώσει την σύγκλιση. Ο κύριος λόγος είναι ότι καθώς το a είναι κοντά στο 0, κάθε BS μαθαίνει λίγες πληροφορίες από τη νέα δράση. Επίσης, παρατηρούμε ότι ο αριθμός των επαναλήψεων που απαιτούνται για να συγκλίνει, μειώνεται πιο αργά καθώς το a συνεχίζει να αυξάνεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, καθώς το a είναι μεγαλύτερο από 0.7, κάθε BS έχει μάθει τις πληροφορίες από τη δράση και ως εκ τούτου, αυξάνει το a , που δεν επηρεάζει την ταχύτητα σύγκλισης. Τέλος, καταλαβαίνουμε ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να μειώσει κατά 25% τον αριθμό των επαναλήψεων που απαιτούνται για τη σύγκλιση σε σύγκριση με τον κλασικό αλγόριθμο Q-learning. Αυτό συμβαίνει, επειδή ο προτεινόμενος αλγόριθμος δίνει τη δυνατότητα στα BS να μάθουν το ιστορικό κατανομής πόρων και της κατάστασης των χρηστών, που καταγράφονται σε

στοίβες.



Σχήμα 8.4: Number of iterations required to converge as the learning rate α varies.

Στο παρακάτω σχήμα, δείχνουμε πώς ο αριθμός των επαναλήψεων που απαιτούνται για τη σύγκλιση ποικίλλει ανάλογα με την τιμή του συντελεστή έκπτωσης γ που αλλάζει. $\gamma=0$ δείχνει ότι κάθε BS δίνει έμφαση στην άμεση ανταμοιβή και $\gamma=1$ δείχνει ότι κάθε BS δίνει έμφαση στη μελλοντική ανταμοιβή. Παρατηρούμε ότι, καθώς το γ αυξάνεται, ο αριθμός των επαναλήψεων που απαιτούνται για τη σύγκλιση αυξάνεται αρχικά και στη συνέχεια μειώνεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς το γ μειώνεται στο 0, κάθε BS εστιάζει μόνο με την άμεση ανταμοιβή και επιλέγει τη βέλτιστη τρέχουσα ενέργεια, η οποία μπορεί να ελέγξει τα σφάλματα, που προκύπτουν από μια εσφαλμένη ενημέρωση των μελλοντικών βημάτων. Σε κάθε βήμα, κάθε BS μπορεί να μάθει σωστές πληροφορίες, ώστε να επιταχυνθεί η σύγκλιση. Καθώς το γ αυξάνεται σε 1, το κάθε BS δίνει έμφαση στη μελλοντική ανταμοιβή, πράγμα που σημαίνει ότι κάθε BS εξετάζει τις επόμενες ενέργειες για το μέλλον και αξιολογεί την τρέχουσα δράση, που έχει ως αποτέλεσμα να επιταχύνεται η σύγκλιση. Τέλος, παρατηρείται ότι σε σχέση με τον αλγόριθμο Q-learning, η προτεινόμενη μέθοδος βελτιώνει κατά 18% τον αριθμό των επαναλήψεων που απαιτούνται για σύγκλιση λόγω του γεγονότος, ότι κάθε BS μαθαίνει το περιβάλλον και τους χρήστες.

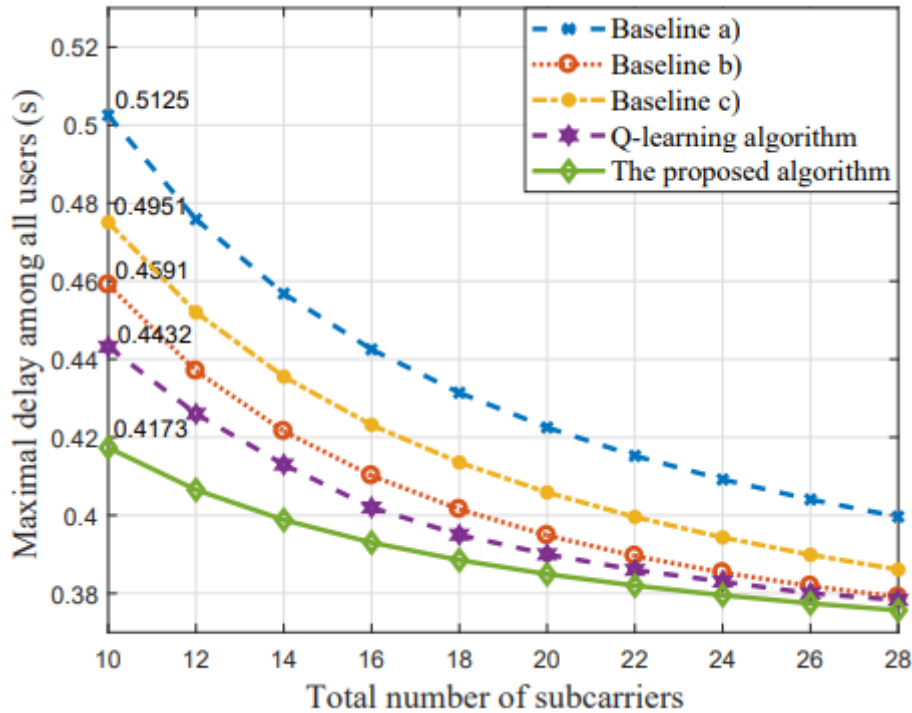


Σχήμα 8.5: Number of iterations required to converge as the discount factor γ varies.

Στο σχήμα 3, παρατηρούμε ότι η μέγιστη καθυστέρηση μεταξύ όλων των χρηστών T_{max} αλλάζει με την ποικιλία των υποφορέων. Ουσιαστικά φαίνονται τρεις γραμμές:

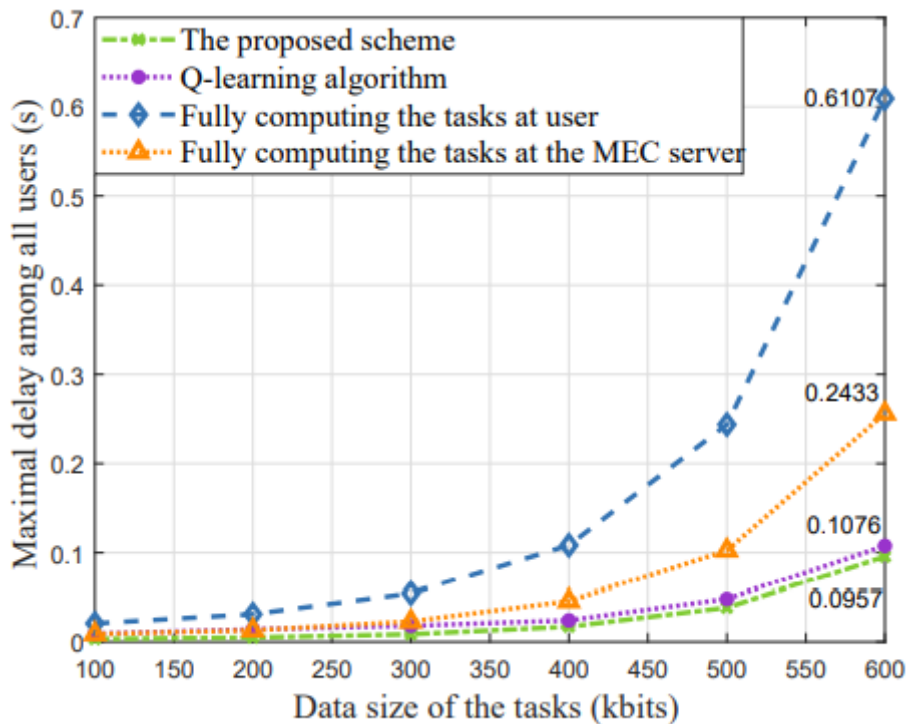
- α) Η βελτιστοποίηση για την κατανομή εργασιών με τυχαίο υποφορέα και κατανομή ισχύος
- β) Η κοινή βελτιστοποίηση εργασίας και δευτερεύοντος φορέα με τυχαία κατανομή ισχύος
- γ) Η κοινή βελτιστοποίηση για εργασία και κατανομή ισχύος με τυχαία κατανομή υποφορέα

Επίσης, το σχήμα δείχνει τη μέγιστη καθυστέρηση T_{max} , που μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των υποφορέων. Ο λόγος για αυτό είναι ότι όταν ο αριθμός των υποφορέων αυξάνεται, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των BS και κάθε χρήστη αυξάνεται, που έχει ως αποτέλεσμα η καθυστέρηση μετάδοσης να μειώνεται. Μπορούμε επίσης να δούμε, ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να επιτύχει έως και 8.7% βελτίωση όσον αφορά μέγιστη καθυστέρηση σε σύγκριση με τους αλγόριθμους που δεν λαμβάνουν υπόψη την κατανομή ισχύος. Αυτό το κέρδος πηγάζει από το γεγονός ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να βελτιστοποιήσει την κατανομή ισχύος μετάδοσης. Επιπλέον, ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να επιτύχει έως και 5.8% βελτίωση όσον αφορά τη μέγιστη καθυστέρηση σε σύγκριση με τον αλγόριθμο Q-learning. Αυτό μπορεί να συμβεί διότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιήσει πολλαπλές στοίβες για την καταγραφή των ιστορικών σχημάτων κατανομής πόρων και των πληροφοριών των χρηστών.



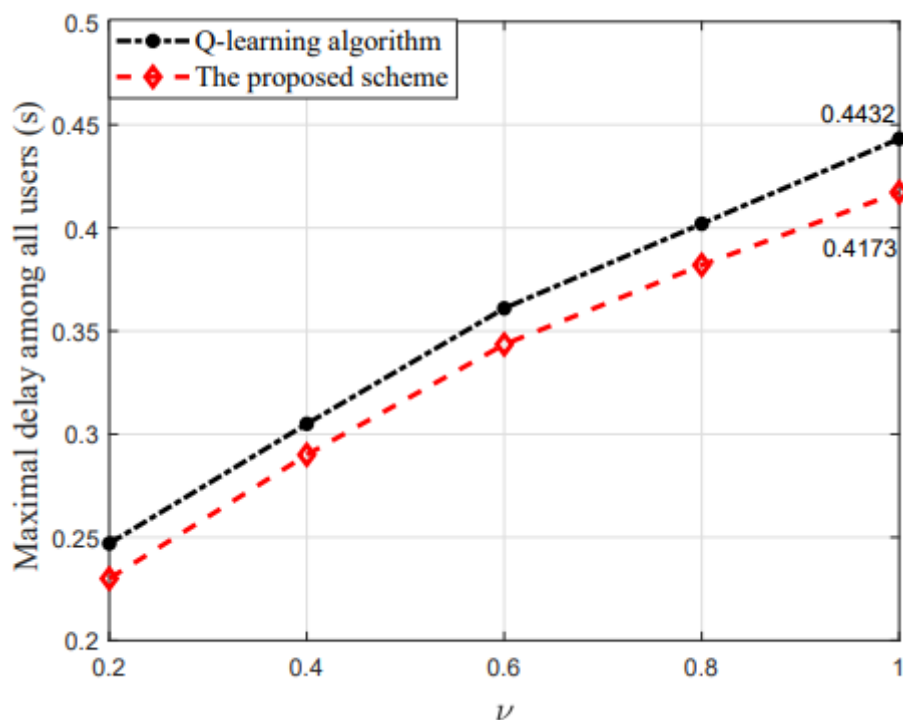
Σχήμα 8.6: Maximal delay changes as the total number of subcarriers I and J varies.

Στο σχήμα 4, παρουσιάζεται πώς η μέγιστη καθυστέρηση μεταξύ όλων των χρηστών T_{max} αλλάζει καθώς το μέγεθος των δεδομένων σε κάθε υπολογιστική εργασία ποικίλλει. Καθώς το μέγεθος των δεδομένων σε κάθε εργασία αυξάνεται, αυξάνεται και η μέγιστη καθυστέρηση T_{max} . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς αυξάνεται το μέγεθος δεδομένων κάθε ζητούμενης εργασίας, η κατανάλωση χρόνου για υπολογισμούς και μετάδοση αυξάνεται. Επίσης παρατηρούμε ότι, καθώς το μέσο μέγεθος δεδομένων κάθε εργασίας είναι 600kbit, το προτεινόμενο σχήμα μειώνει τη μέγιστη καθυστέρηση έως και 84% και 61% σε σύγκριση με τις περιπτώσεις στις οποίες κάθε υπολογιστική εργασία έχει υπολογιστεί πλήρως στον χρήστη και στον διακομιστή MEC, αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει, γιατί το προτεινόμενο σχήμα κατανέμει από κοινού τους περιορισμένους πόρους με βάση τις ανάγκες κάθε χρήστη. Κάθε BS μαθαίνει τις πληροφορίες των σχημάτων κατανομής ιστορικών πόρων και οι καταστάσεις των χρηστών καταγράφονται σε πολλαπλές στοίβες, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα μάθησης.



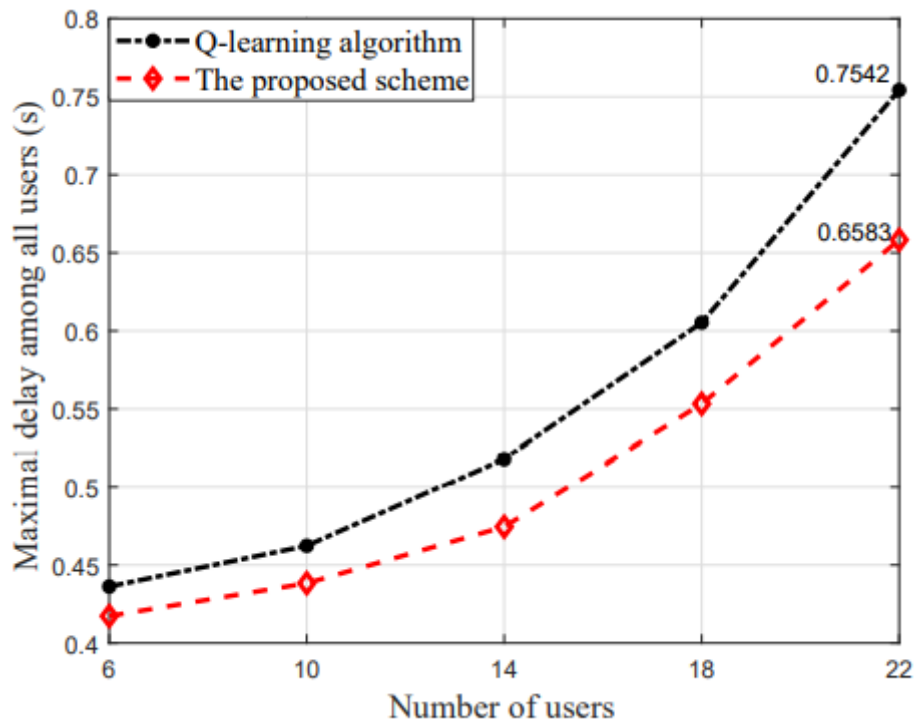
Σχήμα 8.7: Maximal delay changes as the data size of tasks varies.

Στο επόμενο σχήμα, μπορούμε να δούμε πώς όταν αυξάνεται το v , αυξάνεται η μέγιστη καθυστέρηση μεταξύ όλων των χρηστών. Ο λόγος είναι ότι όπως το v αυξάνεται, το μέγεθος δεδομένων του υπολογιστικού αποτελέσματος κάθε υπολογιστικής εργασίας αυξάνεται και έχουμε το αποτέλεσμα η καθυστέρηση μετάδοσης να αυξάνεται. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να επιτύχει κέρδος έως και 5.8% όσον αφορά τη μέγιστη καθυστέρηση σε σύγκριση με το Q-learning. Αυτό το κέρδος προκαλείται από το γεγονός ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιτρέπει σε κάθε BS να αποφύγει την επανειλημμένη εκμάθηση του ίδιου συστήματος κατανομής πόρων, ώστε να επιταχυνθεί η σύγκλιση.



Σχήμα 8.8: Maximal delay changes as ν varies.

Στο τελευταίο σχήμα της προσομοίωσής μας, φαίνεται πώς αλλάζει η μέγιστη καθυστέρηση καθώς ποικίλλει ο αριθμός των χρηστών. Επίσης, μπορούμε να δούμε ότι, η μέγιστη καθυστέρηση μεταξύ όλων των χρηστών αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών. Ο λόγος είναι ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών, ο μέσος αριθμός υπομεταφορέων που μπορούν να κτανεμηθούν σε κάθε χρήστη μειώνεται και έχει ως επακόλουθο η καθυστέρηση μετάδοσης να αυξάνεται. Επίσης, βλέπουμε ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να επιτύχει έως και 12.7% κέρδος όσον αφορά τη μέγιστη καθυστέρηση σε σύγκριση με τον αλγόριθμο Q-learning. Αυτό συμβαίνει, επειδή ο προτεινόμενος αλγόριθμος δίνει τη δυνατότητα στα BS να καταγράψουν τα ιστορικά σχήματα κατανομής πόρων και τις πληροφορίες των χρηστών, έτσι ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση και μείωση της πρόσθετης καθυστέρησης για την επεξεργασία υπολογιστικών εργασιών.



Σχήμα 8.9: Maximal delay changes as the number of users varies.

Προτείνεται η μέθοδος RL πολλαπλής στοίβας για να λύσει το πρόβλημα της κατανομής πόρων στα δίκτυα 5G. Χρησιμοποιώντας τον προτεινόμενο αλγόριθμο, κάθε BS καταγράφει τα ιστορικά σχήματα κατανομής πόρων και τις πληροφορίες χρηστών στις πολλαπλές στοίβες του, που επιτρέπουν στα BS να καταγράφουν τα σχήματα κατανομής πόρων και τις πληροφορίες των χρηστών στις στοίβες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ταχύτητας σύγκλισης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να αποδίδει κέρδος έως και 18% όσον αφορά τον αριθμό των επαναλήψεων, που απαιτούνται για τη σύγκλιση σε σύγκριση με τον Q-learning.

9. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ

9.1 Σύνοψη

Στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας ήταν να γίνει μία εισαγωγή στην μηχανική μάθηση, στην επίδραση που έχει στα σημερινά δίκτυα πέμπτης γενιάς και παρουσιάζουμε έναν αλγόριθμο ενισχυτικής μάθησης, που επιτρέπει να γίνεται αποδοτικά η ανάθεση πόρων στα δίκτυα. Μεταξύ των πιο χρησιμοποιούμενων αλγορίθμων για τα δίκτυα 5G είναι ο Q-learning και η ενισχυτική μάθηση, που συμβάλλει στην επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης στις κινητές επικοινωνίες. Στην πτυχιακή εργασία, αρχικά κάνουμε μία ιστορική αναδρομή στα ασύρματα δίκτυα, θέλοντας να δείξουμε τις σημαντικές διαφορές με τα σημερινά δίκτυα. Στη συνέχεια, κάνουμε μία εισαγωγή στα δίκτυα πέμπτης γενιάς και αναφέρουμε λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά των δικτύων. Έπειτα, αναφέρουμε και αναλύουμε τις βασικές τεχνολογίες που συναντάμε στα δίκτυα 5G και τις κυρίαρχες εφαρμογές των δικτύων αυτών στην καθημερινότητά μας. Επιπλέον, γίνεται μία εισαγωγή στην μηχανική μάθηση, όπως τα χαρακτηριστικά και οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης. Αναλύουμε την επίδραση της μηχανικής μάθησης σε σημαντικές τεχνολογίες των δικτύων πέμπτης γενιάς κι τέλος επεξεργαζόμαστε το κύριο μέρος της πτυχιακής που είναι η ανάθεση πόρων στα δίκτυα 5G. Στο κεφάλαιο 7, παρουσιάζουμε έναν αλγόριθμο RL, που συμβάλλει στην βελτίωση του σημαντικού προβλήματος των ασύρματων δικτύων, που δεν είναι άλλο από το πρόβλημα της κατανομής πόρων.

9.2 Για το μέλλον

Σίγουρα, η μηχανική μάθηση είναι ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο για την τεχνολογία, συνεπώς κατέχει και έναν πολύ σημαντικό ρόλο για τα ασύρματα δίκτυα. Η μηχανική μάθηση έχει πολλές πτυχές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές τεχνολογίες για να βελτιώσει την καθημερινότητά μας. Αποτελεί ένα "καινούριο" μέρος στα δίκτυα 5G, γιατί τα δίκτυα πέμπτης γενιάς είναι λίγο καιρό στο προσκήνιο. Δεδομένου ότι η μηχανική μάθηση μπορεί να βοηθήσει σε όλες τις πτυχές των δικτύων 5G, υπάρχει πολλή δουλειά που πρέπει να γίνει αναλύοντας τη χρήση μηχανικής μάθησης σε άλλες βασικές τεχνολογίες ενεργοποίησης του 5G. Για να βοηθηθούν τα δίκτυα 5G, η μηχανική μάθηση θα πρέπει να κάνει βήματα προς τα εμπρός. Αρχικά, η εύρεση των κατάλληλων δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση μηχανικής μάθησης είναι εξαιρετικά σημαντικά. Επίσης, η επιλογή των αλγορίθμων για συγκεκριμένα προβλήματα είναι πολύ σημαντικό πρόβλημα, καθώς δεν είναι όλοι οι αλγόριθμοι κατάλληλοι για όλα τα προβλήματα. Ένα ακόμα μειονέκτημα, που πρέπει να βελτιωθεί στην μηχανική μάθηση είναι ότι απαιτείται αρκετός χρόνος για να υπάρξει αποτέλεσμα (κυρίως στην αρχή). Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν αποτελεσματικότητα και προκαλούν βελτίωση στα προβλήματα, αλλά μόνο όταν αυξάνεται ο όγκος των δεδομένων. Αυτό δίνει στον αλγόριθμο το πλεονέκτημα της εμπειρίας, αλλά είναι ένα ζήτημα που πρέπει να βελτιωθεί. Σίγουρα, αυτό που καταλαβαίνουμε είναι ότι η μηχανική μάθηση είναι μία πολύ σημαντική τεχνολογία με πολλαπλά οφέλη στα δίκτυα

πέμπτης γενιάς, αλλά πρέπει να υπάρξει βελτίωση για να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα στα δίκτυα 6G, που ναι μεν δεν υπάρχουν στον φυσικό κόσμο, αλλά σιγά σιγά θα έρθουν στην καθηρινότητά μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ensymata Diktia.
- [2] Network Slicing.
- [3] What are the differences between 2G, 3G, 4G LTE, and 5G networks?
- [4] What is 3G?
- [5] What is IoT.
- [6] What is network functions virtualization?
- [7] What is Radio Resource Management.
- [8] THE 5G INDUSTRIAL IOT – HOW IT WILL CHANGE DIFFERENT VERTICALS. 19 NOV 2021.
- [9] View-on-5G-Architecture. 2015.
- [10] View-on-5G-Architecture. 2019.
- [11] Machine Learning. 2020.
- [12] What is 4G. 2020.
- [13] What are Smart Cities. 2021.
- [14] Τι είναι τα 1G, 2G, 3G, 4G και 5G στα δίκτυα των κινητών;. 2021.
- [15] 5 Things to Know About 5G Drones. 2022.
- [16] The Advantages and Disadvantages of a 5G Network. 2022.
- [17] What is a Cellular network or Mobile network? Oct 27, 2020.
- [18] Marco Contento. How 5G and edge computing will transform AR VR use cases. 2021.
- [19] Rohit Kumar Gupta. Machine Learning-based Slice Allocation Algorithms in 5G Networks. December 2019.
- [20] Karim Husami. How is 5G Developed for Autonomous Vehicles? Wed Apr 13 2022.
- [21] Abdelhak Aqqal Abdelfatteh Haidine, Fatima Zahra Salmam and Aziz Dahbi. Artificial Intelligence and Machine Learning in 5G and beyond: A Survey and Perspectives. 2021.
- [22] Academic Resource Index. What is 5G. 2020.
- [23] Ed Burns. What is Machine Learning.
- [24] Sacha Kavanagh Jon Mundy. What Is Massive MIMO Technology? 2021.
- [25] Keith Shaw. What is beamforming and how does it make wireless better? 2021.
- [26] Linda Rosencrance. software-defined networking (SDN).
- [27] Rajiv. Applications of 5G technology. March 21, 2022.
- [28] Sacha Kavanagh. What is 5G-New Radio. 2020.
- [29] X.Lampropoulou. Asyrmata Diktia. 2014.

- [30] IEEE Mingzhe Chen Member IEEE Xuanlin Liu Student Member IEEE Changchuan Yin Senior Member IEEE Shuguang Cui Fellow IEEE Sihua Wang, Student Member and IEEE H. Vincent Poor, Fellow. "A Machine Learning Approach for Task and Resource Allocation in Mobile Edge Computing Based Networks". 20 July 2020.
- [31] Marco Stracuzzi. 4 Revolutionary Use Cases of 5G in Health Care. April 18, 2022.
- [32] Aikaterini-Maria Tsikki. "Use of Artificial Intelligence and Machine Learning for the Support of Internet of Things and 5G Communications". September 2019.
- [33] Yusuke Fukushima Ved P. Kafle, Pedro Martinez-Julia. Consideration On Automation of 5G Network Slicing with Machine Learning. November 2018.
- [34] Y. Wu R. Q. Hu Y. Zhou, F. Zhou and Y. Wang. "Subchannel assignment based on Q-learning in wideband cognitive radio networks". Jan. 2020.