



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

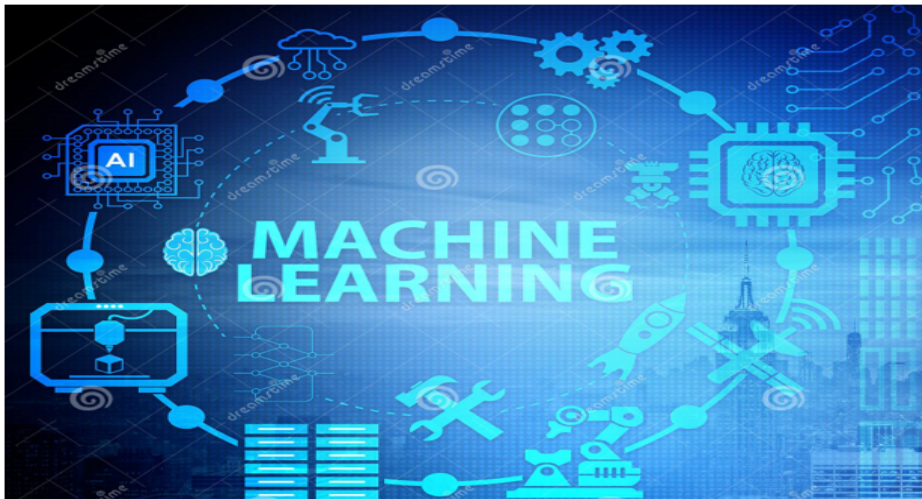
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών

Ειδίκευση Λογισμικού και Πληροφοριακών Συστημάτων,

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Η Εφαρμογή της Μηχανικής Μάθησης στα Δίκτυα Επικοινωνιών με
έμφαση σε 5G Δίκτυα και Οπτικά Δίκτυα

Φώτης Π. Ζιώγος

A.M. 19005

Εισηγητής: Δρ Αντώνιος Μπόγγρης, Καθηγητής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η Εφαρμογή της Μηχανικής Μάθησης στα Δίκτυα Επικοινωνιών με έμφαση σε 5G
Δίκτυα και Οπτικά Δίκτυα**

**Φώτιος Π. Ζιώγος
Α.Μ. 19005**

Εισηγητής:

Δρ Αντώνιος Μπόγρης, Καθηγητής

Εξεταστική Επιτροπή:

Επικ. Καθηγητής Παναγιώτης Καρκαζής
Καθηγητής Βασίλειος Μάμαλης

Ημερομηνία εξέτασης: 30/06/2021

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φώτιος Ζιώγος του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 19005 φοιτητή του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογίας της Πληροφορικής και των Υπολογιστών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου». Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 1/7/2021 και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώθηκε μετά από επίμονες προσπάθειες, σε ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο, όπως αυτό της Μηχανικής Μάθησης. Την προσπάθειά μου αυτή υποστήριξε ο επιβλέπων καθηγητής μου, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω και την οικογένειά μου που με στηρίζει σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στα δίκτυα 5G καθώς και σε οπτικά δίκτυα. Σε πρώτο στάδιο έχουν αναπτυχθεί κάποιες εισαγωγικές έννοιες των δικτύων 5G αλλά και των οπτικών δικτύων γενικά, κάθε ένας από τους οποίους περιγράφει τα δίκτυα αυτά καθώς και κάποιες αναφορές στις εφαρμογές τους και στα «θέματα» που αντιμετωπίζουν. Στην συνέχεια αναπτύσσεται πως η μηχανική μάθηση επηρεάζει στην επίλυση σύγχρονων προβλημάτων στα δίκτυα αυτά αναπτύσσοντας τους σκοπούς, τις δυνατότητες, τις υπηρεσίες, τις προκλήσεις καθώς και τις επιδόσεις των εκάστοτε δικτύων επικοινωνίας όπως το 5G και γενικά τα οπτικά δίκτυα. Έπειτα, γίνεται μια εισαγωγή στην μηχανική μάθηση γενικά και στον σκοπό της, καθώς και στους τύπους δικτύων και τις εφαρμογές της γενικά. Επίσης, πρέπει να αναφέρουμε το γεγονός ότι γίνεται μια αναφορά γενική στο cloud computing και στην αρχιτεκτονική του. Επιπροσθέτως, στο βασικό κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής εργασίας γίνεται εκτενής αναφορά στις εφαρμογές της μηχανικής μάθησης και πως χρησιμεύουν αυτές στα δίκτυα 5G και στα οπτικά, βάζοντας και κάποια παραδείγματα. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται επισκόπηση της διπλωματικής και τι συμπεράσματα βγαίνουν για την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στα δίκτυα 5G και στα οπτικά δίκτυα.

ABSTRACT

This dissertation deals with the application of machine learning in 5G networks as well as in optical networks. In the first stage, some introductory concepts of 5G networks and optical networks in general have been developed, each of which describes these networks as well as some references to their applications and the "issues" they face. It is then developed that machine learning influences the solution of modern problems in these networks by developing the purposes, capabilities, services, challenges and performance of the respective communication networks such as 5G and optical networks in general. Next, an introduction is made to machine learning in general and its purpose, as well as to the types of networks and their applications. We should also mention the fact that a general reference is made to cloud computing and its architecture. In addition, in the main chapter of this dissertation there is an extensive reference to the applications of machine learning and how they are used in 5G networks and optical networks, giving some examples. Finally, the last chapter provides an overview of the diploma and what conclusions are drawn for the application of machine learning in 5G networks and optical networks.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ.....	1
1.1.	5G ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	2
1.2.	ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	3
1.3.	ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΥΝ.....	5
2.	Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	6
2.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ 5G.....	7
2.2.	ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ 5G.....	9
2.3.	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ 5G.....	12
2.4.	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ 5G.....	17
2.5.	ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ 5G.....	23
3.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	25
3.1.	ΕΙΔΗ - ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	27
3.2.	ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	29
3.3.	ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ.....	31
3.4.	ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ.....	32
4.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ.....	34
4.1.	ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ.....	35
4.2.	ΕΙΔΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	37
4.3.	ΤΥΠΟΙ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	43
4.4.	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	47
5.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ CLOUD COMPUTING.....	48
5.1.	ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ CLOUD COMPUTING.....	49
5.2.	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ CLOUD COMPUTING.....	50
6.	ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	51
6.1.	5G.....	52
6.2.	ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	66
7.	ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	81
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	82

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<u>Εικόνα 1:</u> Μια γενική απεικόνιση του 5G.....	1
<u>Εικόνα 2:</u> Μια γενική απεικόνιση ενός οπτικού δικτύου.....	4
<u>Εικόνα 3:</u> Μια γενική εικόνα του δικτύου 5G.....	9
<u>Εικόνα 4:</u> Η αρχιτεκτονική του 5G.....	12
<u>Εικόνα 5:</u> Απεικόνιση «έξυπνης» πόλης.....	15
<u>Εικόνα 6:</u> Οι επιπτώσεις του 5G στην βιομηχανία και στην ρομποτική.....	17
<u>Εικόνα 7:</u> Το IoT σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας μας.....	20
<u>Εικόνα 8:</u> Τα οπτικά δίκτυα στην καθημερινότητα μας.....	27
<u>Εικόνα 9:</u> Σχήμα των Οπτικών Συστημάτων Επικοινωνίας.....	30
<u>Εικόνα 10:</u> Απεικόνιση της Μηχανικής Μάθησης και των ειδών της.....	35
<u>Εικόνα 11:</u> Η λογική της Επιτηρούμενης Μηχανικής Μάθησης.....	39
<u>Εικόνα 12:</u> Η λογική της Μη Επιτηρούμενης Μηχανικής Μάθησης.....	41
<u>Εικόνα 13:</u> Η λογική της Μάθησης Ενίσχυσης.....	43
<u>Εικόνα 14:</u> Αρχιτεκτονική ANN.....	44
<u>Εικόνα 15:</u> Αρχιτεκτονική DNN.....	45
<u>Εικόνα 16:</u> Αρχιτεκτονική CNN.....	46
<u>Εικόνα 17:</u> Αρχιτεκτονική RNN.....	47
<u>Εικόνα 18:</u> Απεικόνιση του Cloud Computing.....	49
<u>Εικόνα 19:</u> Η αξιοποίηση της Μηχανικής Μάθησης και της Τεχνικής Νοημοσύνης στο 5G.....	56
<u>Εικόνα 20:</u> Το eMBB(βελτιωμένες εφαρμογές Mobile Broadband).....	57
<u>Εικόνα 21:</u> Το mMTC(Επικοινωνίες τύπου Massive Machine).....	62
<u>Εικόνα 22:</u> Το URLLC(Εξαιρετικά αξιόπιστη χαμηλή καθυστέρηση).....	64
<u>Εικόνα 23:</u> Οπτικό δίκτυο υποστηριζόμενο από αλγόριθμους Μηχανικής Μάθησης..	69
<u>Εικόνα 24:</u> Η Επιτηρούμενη Μάθηση στα οπτικά δίκτυα.....	76
<u>Εικόνα 25:</u> Η Μη-Επιτηρούμενη Μάθηση στα οπτικά δίκτυα.....	79
<u>Εικόνα 26:</u> Η Ενισχυμένη Μάθηση στα οπτικά δίκτυα.....	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ

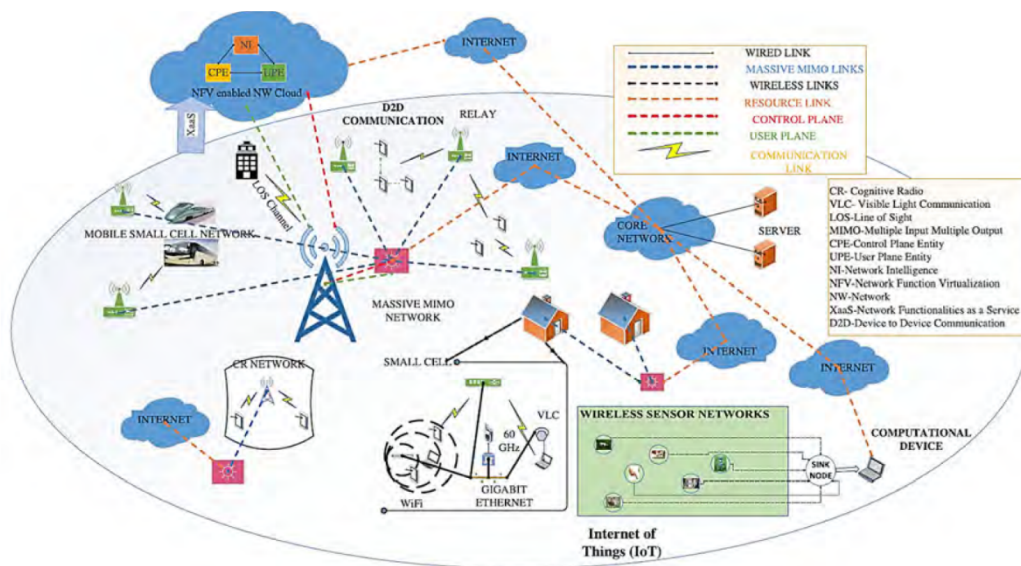
Ο άνθρωπος ως ον χρειάζεται να επικοινωνεί και αυτό συμβαίνει από το πολύ πρώιμο στάδιο της ύπαρξης του επινοώντας ποικίλους τρόπους και μέσα επικοινωνίας. Από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα έχει αναπτυχθεί πολύ η επικοινωνία αλλά και τα μέσα που χρησιμοποιεί για να επικοινωνήσει και σε αυτό έχει συμβάλει η τεχνολογία. Στην σημερινή εποχή οι επικοινωνίες έχουν φτάσει σε ένα στάδιο πολύ εξελιγμένο και τα δίκτυα νέας γενιάς βοηθούν σε αυτό. Οι συσκευές τηλεπικοινωνίας όπως τα smartphones έχουν διεισδύσει πολύ σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης ζωής, της εργασίας και της ψυχαγωγίας των ατόμων. Τα οπτικά δίκτυα επικοινωνιών μπορούν να θεωρηθούν ως ο ακρογωνιαίος λίθος της σύγχρονης κοινωνίας μας. Οι εφαρμογές που βασίζονται στο Διαδίκτυο και οι κλασικές επιχειρηματικές εγκαταστάσεις βασίζονται και τα δύο σε ένα πολύπλοκο πλέγμα υποδομής οπτικής δικτύωσης για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων σύνδεσης. Προκειμένου να υποστηρίξουν τέτοιες διαφοροποιημένες προσφορές υπηρεσιών, τα οπτικά δίκτυα έχουν ενσωματώσει μια σειρά καινοτομιών τις τελευταίες δεκαετίες, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης λέιζερ, ενισχυτών, ινών, συνεκτικής ανίχνευσης και επεξεργασίας ψηφιακού σήματος. Με τις πρόσφατες εξελίξεις στα συστήματα κινητής επικοινωνίας (δικτύωση 5G), μαζί με εκτεταμένες πλατφόρμες cloud προσανατολισμένες στις υπηρεσίες όπως: Uber, Amazon κ.λπ. οι ενδιαφερόμενοι φορείς οπτικών μεταφορών αντιμετωπίζουν τεράστιες προκλήσεις όσον αφορά την εναρμόνιση στασιμότητας ροών εσόδων και αυξανόμενων απαιτήσεων δικτύωσης. Επίσης ο αυξανόμενος αριθμός smartphone και η εμφάνιση συνεχώς διαφορετικών εφαρμογών προκαλούν αύξηση της κίνησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Πράγματι, οι τελευταίες προβλέψεις του κλάδου δείχνουν ότι η ετήσια παγκόσμια κατανάλωση κίνησης IP θα φτάσει τα 3,3 zettabytes έως το 2021, με την κυκλοφορία smartphone να υπερβαίνει την κυκλοφορία υπολογιστών μέχρι το ίδιο έτος. Η αυξανόμενη πολυμορφία και πολυπλοκότητα των αρχιτεκτονικών του δικτύου κινητής τηλεφωνίας έκανε την παρακολούθηση και τη διαχείριση του πλήθους των στοιχείων του δικτύου πολύ δύσκολη. Τα διάφορα τμήματα δικτύου τυπικά πρέπει να συνεργαστούν για την υποστήριξη υπηρεσιών και εφαρμογών πολλαπλών επιπέδων, είτε απευθείας είτε μέσω μιας υβριδικής ασύρματης / ενσύρματης υποδομής. Αυτό το ποικίλο, δυναμικό και πολύπλοκο πλέγμα στοιβών δικτύωσης, μαζί με μελλοντικούς περιορισμούς κινητικότητας, απαιτεί έξυπνα και ολοκληρωμένα προγράμματα end-to-end λογισμικού προσανατολισμένα για να αυξήσουν τις συμβατικές εξελίξεις υλικού. Η πρόκληση, ωστόσο, είναι αυτή της αύξησης των εργαλείων διαχείρισης και ελέγχου δικτύου με προσαρμοστική μάθηση και λήψη αποφάσεων σε αρχιτεκτονικές δικτύων πολλαπλών επιπέδων και πολλών τομέων με οικονομικά αποδοτικό τρόπο, διευκολύνοντας την αυτοματοποίηση δικτύου από άκρο σε άκρο. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) είναι η επιστήμη που βοηθάει στην δημιουργία έξυπνων μηχανών ικανών να λαμβάνουν αυτόνομα αποφάσεις με βάση το αντιληπτό περιβάλλον τους. Η τεχνητή νοημοσύνη κάνει χρήση υπολογιστών / μηχανών για την εκτέλεση γνωστικών εργασιών, δηλαδή

εκείνων που απαιτούν γνώση, αντίληψη, μάθηση, συλλογιστική, κατανόηση και άλλες παρόμοιες γνωστικές ικανότητες. Ένα σύστημα AI αναμένεται να κάνει τρία πράγματα: (i) αποθήκευση γνώσεων, (ii) εφαρμογή της αποθηκευμένης γνώσης για την επίλυση προβλημάτων και (iii) απόκτηση νέων γνώσεων μέσω εμπειρίας. Τα τρία βασικά στοιχεία ενός συστήματος AI περιλαμβάνουν αναπαράσταση γνώσης, μηχανική μάθηση (ML) και αυτοματοποιημένη συλλογιστική. Η ML είναι ένας κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης που βασίζεται στην ιδέα ότι τα μοτίβα και οι τάσεις σε ένα δεδομένο σύνολο δεδομένων μπορούν να μαθευτούν αυτόματα μέσω αλγορίθμων. Η ML μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη στόχων τομέα δικτύου, προγνωστική συντήρηση και εντοπισμό αστοχίας, καθώς και σε άλλες περιπτώσεις. Οι αλγόριθμοι ML χαρακτηρίζονται από μια μοναδική ικανότητα να μάθουν τη συμπεριφορά του συστήματος από προηγούμενα δεδομένα και να εκτιμήσουν μελλοντικές αποκρίσεις με βάση το μοντέλο του εκπαιδευμένου συστήματος. Η ML είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο που μοιράζεται κοινά θέματα με τους τομείς της στατιστικής, της βελτιστοποίησης, της θεωρίας πληροφοριών και της θεωρίας παιχνιδιών.

1.1. 5G ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών είναι ένας τομέας με γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης. Έτσι, σήμερα, βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο η ανάπτυξη, ο καθορισμός των αναγκών απόδοσης, οι προδιαγραφές των υπηρεσιών που θα προτείνουν και το είδος των τεχνολογιών που θα χρησιμοποιούν τα νέα κυψελωτά δίκτυα 5ης γενιάς (5G). Ο όρος 5G χρησιμοποιείται προς το παρόν αρκετά γενικά, ώστε να περιγράψει μια σειρά από νέες τεχνολογίες και αρχιτεκτονικές που θα απαιτήσουν στα επόμενα χρόνια, σημαντικές μεταλλάξεις στις σημερινές υποδομές δικτύου, και οι οποίες θα οδηγήσουν αναπόφευκτα στη δημιουργία της νέας γενιάς. Το 5G είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον τεχνολογιών ή αλλιώς ένα οικοσύστημα τεχνολογιών, που συνδέει και συμπλέκει μεταξύ τους τις τεχνολογίες που εισάγει, με σκοπό να πετύχει τις μεγαλύτερες δυνατές ταχύτητες, με ελάχιστες καθυστερήσεις και μεγάλες αποδόσεις για πολλές και διαφορετικές χρήσεις. Η 5η γενιά ασυρμάτων δικτύων, εισάγει ένα πρωτόγνωρο άλμα σε ταχύτητες ευρυζωνικού δικτύου, σε σύγκριση πάντα με τα προγενέστερα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Το 5G θα επιτρέπει την αδιάκοπη και μαζική επικοινωνία ανάμεσα στους υπολογιστές και σε άλλες «έξυπνες» συσκευές με μεγάλη απόδοση, μικρή κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο, και σε εφαρμογές ψυχαγωγικού ή τηλεπικοινωνιακού χαρακτήρα, αλλά και σε πιο σύνθετες δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος βιομηχανικών διαδικασιών, οι αισθητήρες αναγνώρισης κίνησης, οι πειραματικές ενέργειες βελτίωσης της καθημερινότητας, κ.ά. Τα δίκτυα 5G θα καλύψουν ανάγκες σε κάθε είδους εφαρμογές και θα καταστήσουν εφικτή την απομακρυσμένη χρήση τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας. Επίσης το δίκτυο 5G θα φέρει πολλές καινοτομίες και εφαρμογές σε πολλούς τομείς όπως στην βιομηχανία των οχημάτων που θα γίνουν αυτόνομα οδηγώντας σε πιο ασφαλείς και αποδοτικές μεταφορές. Τέλος θα έχουν και εφαρμογή στην ιατρική με την απομακρυσμένη παρακολούθηση των ασθενών ή κάνοντας απομακρυσμένη εγχείρηση ασθενών μέσω ρομποτικών μηχανημάτων με αξιόπιστη σύνδεση χωρίς απώλειες και καθυστερήσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά

διάφορες τεχνολογίες που υπόσχονται να δώσουν λύσεις σε διάφορες περιπτώσεις χρήσης στα δίκτυα 5G, όπως massive-MIMO, mmwaves, Cognitive Radio Network, mobile-static small cells, D2D (device to device), DAS, IoT (Internet of Things), femtocells, VLC.



Εικόνα 1: Μια γενική απεικόνιση του 5G

1.2. ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Ο όρος «δίκτυα επικοινωνίας» (communication networks) αναφέρεται γενικά σε συστήματα υλικού-λογισμικού και εφαρμογών (υπηρεσιών - δυνατοτήτων), που στοχεύουν στη μετάδοση και δρομολόγηση δεδομένων, μεταξύ ηλεκτρονικών διατάξεων σταθμών (όπως υπολογιστές διαφόρων κατηγοριών, τερματικά, τηλεφωνικές συσκευές). Ο όρος περιλαμβάνει τις διάφορες τεχνολογίες όπως:

α) τηλεπικοινωνιακών δικτύων, β) δικτύων υπολογιστών (τοπικά LANs), μητροπολιτικά (MANs), ευρείας περιοχής (WANs) και διαδίκτυα, γ) ψηφιακά δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών στενής (N-ISDN) και ευρείας (B-ISDN) ζώνης καθώς και όλες τις ασύρματες επικοινωνιακές τεχνολογίες. Για την ταξινόμηση των δικτύων επικοινωνίας χρησιμοποιούνται διάφορα χαρακτηριστικά όπως:

1. Η αρχιτεκτονική και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων και έχουμε:

- Μεταγωγίμα δίκτυα (μεταγωγής κυκλώματος, «πακέτου» και «κυψελίδων»).
- δίκτυα εκπομπής.

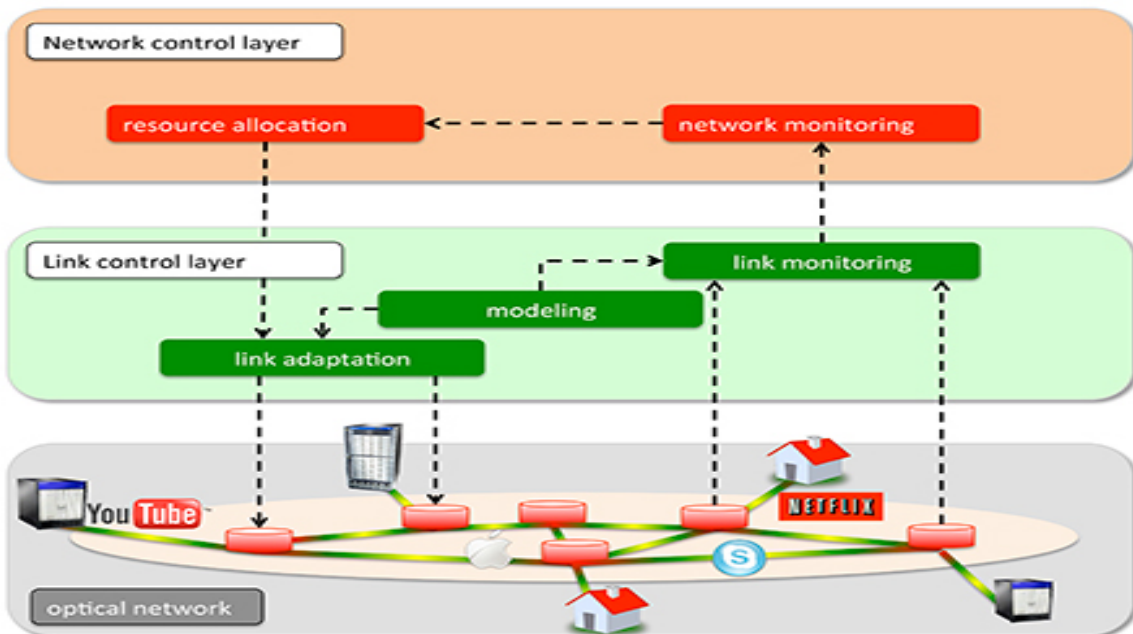
2. Η διασύνδεσή τους και έχουμε: ενσύρματα και ασύρματα.

3. Η προσφερόμενη γεωγραφική κάλυψη και έχουμε:

- Δίκτυα μηχανών ροής δεδομένων (Data flow machines) και συστημάτων πολυεπεξεργαστών (Multi processor systems)
- Δίκτυα προσωπικής περιοχής (PANs-Personal Area Networks)
- Τοπικά δίκτυα (LANs-Local Area Networks)
- Μητροπολιτικά δίκτυα (MANs- Metropolitan Area Networks)
- Περιφερειακά δίκτυα (RANs- Regional Area Networks)

- Δίκτυα ευρείας περιοχής (WANs- Wide Area Networks) και διαδίκτυα(Interconnection of long haul Networks) ή
 - Διηπειρωτικά παγκόσμια δίκτυα (GANs-Global Area Networks) τα οποία προκύπτουν από τη διασύνδεση επιμέρους δικτύων.
4. Το προσφερόμενο εύρος ζώνης(bandwidth).
 5. Το είδος των υποστηριζόμενων εφαρμογών.
 6. Το κανονιστικό πλαίσιο λειτουργίας
 7. Το χρησιμοποιούμενο υλικό και λογισμικό.

Δηλαδή, τα δίκτυα ταξινομούνται σε κατηγορίες, όπου η κάθε κατηγορία έχει δικά της χαρακτηριστικά , τεχνολογίες, ταχύτητες και πεδίο εφαρμογής. Σημαντικό στοιχείο στα δίκτυα είναι η δυνατότητα διαχείρισης της κοινής πρόσβασης με την έννοια της δυνατότητας ρύθμισης χαρακτηριστικών λειτουργίας της κοινής πρόσβασης : της ασφάλειας (ποιος έχει πρόσβαση σε τι ;), της απόδοσης (ταχύτητα πρόσβασης, καθυστέρηση πρόσβασης) και αξιοπιστίας (λάθη πρόσβασης, βλάβες). Μια από τις εφαρμογές των οπτικών δικτύων είναι να παρέχει αξιοπιστία αφού είναι κατασκευασμένη για να διαρκεί. Επίσης, είναι η διασφάλιση της ποιότητας του δικτύου με την αυτό-βελτιστοποίηση του δικτύου παρέχοντας λύση στην ανάπτυξη της ζωντανής κίνησης σε μη δοκιμασμένες διαμορφώσεις. Τέλος, άλλη μια εφαρμογή των οπτικών δικτύων είναι οι όψεις των δεδομένων καθώς το οπτικό δίκτυο είναι μια ομάδα αισθητήρων με δεδομένα που κυμαίνονται από διαμορφώσεις υπηρεσίας έως αρχεία καταγραφής συντήρησης.



Εικόνα 2: Μια γενική απεικόνιση ενός οπτικού δικτύου

1.3. ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΥΝ

Τα οπτικά δίκτυα και τα δίκτυα 5G έχουν και τις «αδυναμίες» τους εκτός από τα πολλά οφέλη τους όπως γνωρίζουμε, ένα από αυτά είναι και η διαχείριση των πόρων ενός δικτύου που δε μπορούν να το διαχειριστούν τα οπτικά δίκτυα ή τα δίκτυα 5G. Ένα ακόμα «πρόβλημα» που έχουν τα οπτικά και τα 5G δίκτυα είναι η ταχεία αλλαγή των προφίλ κίνησης γιατί στις ασύρματες επικοινωνίες, η κατανομή πόρων παίζει σημαντικό ρόλο. Η κατανομή πόρων ορίζεται ως η διαχείριση των πόρων και αυξάνει την ικανότητα για καλύτερη επικοινωνία. Οι διάφοροι πόροι όπως η ισχύς, το φορτίο, το φάσμα, κ.λπ., μοιράζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χρήστη για βελτιστοποιημένη συνδεσιμότητα. Οι πόροι στα κυψελοειδή δίκτυα μπορούν να εκχωρηθούν τοπικά ή παγκοσμίως. Οι παραδοσιακές λύσεις έδωσαν έμφαση στις στρατηγικές κατανομής της έρευνας με την ενσωμάτωση μαθηματικών προβλημάτων θεωρίας παιχνιδιών, αλλά δεν θέτουν συμβατότητα με εγκαταστάσεις ασφαλείας. Η ασφάλεια μεταξύ ανταλλαγής πόρων είναι απαραίτητη από την άποψη της βελτιστοποίησης και της καλύτερης χρήσης των πόρων. Ο υποκλοπής ή ένας εισβολέας μπορεί να χρησιμοποιήσει τους πόρους με παραποιημένο τρόπο και να αυξήσει το ρυθμό υποβάθμισης του δικτύου. Έχουν παρουσιαστεί διάφορες μελέτες στην εποχή της ασφαλούς κατανομής πόρων σε δίκτυα 5G. Ένας μηχανισμός διαχείρισης πόρων εφαρμόζεται σε δύο στάδια: (i) συγκέντρωση πόρων και κατανομή πόρων. Συγκεκριμένα, το βήμα συγκέντρωσης πόρων δημιουργεί MEC, δηλαδή, ένα σύνολο διαθέσιμων πόρων για χρήση από άλλες κινητές συσκευές για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των χρηστών. Αυτό περιλαμβάνει την ανακοίνωση των διαθέσιμων αδρανών υπολογιστικών πόρων, οι οποίοι μπορούν να κοινοποιηθούν σε άλλες συσκευές που ανήκουν στο σύστημα, μεγιστοποιώντας το σύνολο των διαθέσιμων πόρων που μπορεί να χρησιμοποιήσει το σύστημα. Από την άλλη πλευρά, το βήμα κατανομής πόρων περιλαμβάνει την κατανομή υπηρεσιών βάσει των διαθέσιμων πόρων στο MEC για την καλύτερη κάλυψη των απαιτούμενων υπηρεσιών. Σε αυτό το πλαίσιο, η επιλογή πότε και πού θα εκχωρηθεί η υπηρεσία από έναν μηχανισμό κατανομής πόρων επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της παρεχόμενης υπηρεσίας. Το κύριο καθήκον της λειτουργίας διαχείρισης κινητής τηλεφωνίας είναι ο εντοπισμός των τοποθεσιών των χρηστών και η ανίχνευσή τους προκειμένου να παρέχεται υπηρεσία δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Η αποτελεσματική διαχείριση πόρων είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για περιορισμένους πόρους, συμπεριλαμβανομένων πόρων συχνότητας, πόρων υπολογιστών και κόστους ανάπτυξης. Για να επιτευχθεί υψηλή ελαστικότητα και διαχείριση πόρων υψηλής ευελιξίας, ο τεμαχισμός δικτύου είναι απαραίτητη τεχνολογία. Διερευνάτε η διαχείριση πόρων στο 5G, συμπεριλαμβανομένου του βασικού δικτύου και του RAN που ακολουθεί συστηματικά την αρχιτεκτονική του δικτύου, τα σενάρια εφαρμογών και τους ερευνητικούς στόχους για την ταξινόμηση των πρόσφατων έργων. Γνωρίζουμε ότι το δίκτυο 5G επιβάλλει υψηλή μετάδοση δεδομένων στην επικοινωνία και την παροχή υπηρεσιών. Αυτό οδηγεί σε υψηλά ποσοστά δεδομένων τα οποία μπορούν να επιτευχθούν μέσω καλύτερου ελέγχου κυκλοφορίας και διαχείρισης της κινητικότητας. Στην πραγματικότητα, η κινητικότητα είναι η δυνατότητα που επιτρέπει στους χρήστες να συνδεθούν στο δίκτυο από οπουδήποτε. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει διαχείριση κινητικότητας, οι συνδρομητές θα πρέπει να αλλάξουν τις υπηρεσίες τους ή τις κάρτες

SIM όταν αλλάζουν την τοποθεσία τους. Δηλαδή, λόγω λειτουργιών διαχείρισης κινητικότητας, σταθερότητας σύνδεσης και επικοινωνίας, αξιοπιστίας και απόδοσης. Σε όλα αυτά τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα δίκτυα επικοινωνιών και το 5G καλείται να δώσει την λύση η μηχανική μάθηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

Μία από τις πιο θεμελιώδεις δεξιότητες της ευφυούς συμπεριφοράς είναι η ικανότητα μάθησης. Τα πεδία που σχετίζονται με την κατανόηση της νοημοσύνης πρέπει να εμπλουτιστούν τόσο στη θεωρία όσο και στη μοντελοποίηση των μαθησιακών διαδικασιών. Τέτοιοι τομείς περιλαμβάνουν τη γνωστική επιστήμη, την τεχνητή νοημοσύνη, την επιστήμη της πληροφορίας, την αναγνώριση προτύπων, την ψυχολογία, την εκπαίδευση, την επιστημολογία, τη φιλοσοφία και σχετικούς κλάδους. Η μάθηση μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πολύπλευρο φαινόμενο, καθώς στοχεύει στην απόκτηση νέων δηλωτικών γνώσεων, στην ανάπτυξη κινητικών και γνωστικών δεξιοτήτων μέσω της διδασκαλίας ή της πρακτικής, στην οργάνωση νέων γνώσεων γενικά, αποτελεσματικών αναπαραστάσεων και στην ανακάλυψη νέων γεγονότων και θεωριών μέσω παρατήρησης και πειραματισμού. Ένας από τους πιο απαιτητικούς και μακροχρόνιους στόχους της τεχνητής νοημοσύνης είναι να λυθεί αυτό το πρόβλημα. Από την άλλη πλευρά, η ML στοχεύει στη μελέτη και τη μοντελοποίηση υπολογιστών των μαθησιακών διαδικασιών. Η μηχανική μάθηση παρέχει στα συστήματα τη δυνατότητα να μαθαίνουν αυτόματα. Η απόδοση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης βελτιώνεται καθώς εκτίθενται σε περισσότερα δεδομένα με την πάροδο του χρόνου. Η μηχανική μάθηση είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της επιστήμης των υπολογιστών, με πολλές και διαφορετικές εφαρμογές. Ο στόχος του ML είναι ο σχεδιασμός και η ανάλυση αλγορίθμων που επιτρέπουν στους υπολογιστές να μάθουν. Η μηχανική εκμάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διδάξει στους υπολογιστές να εκτελούν ένα ευρύ φάσμα χρήσιμων εργασιών, όπως η αυτόματη ανίχνευση αντικειμένων σε εικόνες (χρήσιμα σε αυτοκίνητα με οδηγό και αυτο-οδήγηση), αναγνώριση ομιλίας και προγνωστικά αναλυτικά στοιχεία. Η μηχανική μάθηση είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο μελέτης και χρησιμοποιεί τεχνικές από τους τομείς της επιστήμης των υπολογιστών, των στατιστικών και της τεχνητής νοημοσύνης, μεταξύ άλλων. Η μηχανική μάθηση αναφέρεται επίσης ως προγνωστική ανάλυση, η οποία είναι ένα πεδίο στατιστικών που στοχεύει στην εξαγωγή πληροφοριών από δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη μοτίβων συμπεριφοράς αναλύοντας τα τρέχοντα και ιστορικά γεγονότα για να προβούν σε προβλέψεις για μελλοντικά ή άγνωστα γεγονότα. Οι αλγόριθμοι ML χρησιμοποιούνται σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών, όπως το φιλτράρισμα email και το «όραμα» του υπολογιστή, όπου ένας αλγόριθμος συγκεκριμένων οδηγιών για την εκτέλεση μιας

εργασίας είναι ανέφικτος να αναπτυχθεί. Ο στόχος της έρευνας μηχανικής μάθησης είναι η ανάπτυξη γρήγορων και αποτελεσματικών αλγορίθμων μάθησης που μπορούν να κάνουν προβλέψεις από τα διαθέσιμα δεδομένα. Η μηχανική εκμάθηση είναι ένα ουσιαστικό εργαλείο, επειδή ορισμένα προβλήματα είναι πολύ περίπλοκα για να προγραμματιστούν με τον κλασικό τρόπο και επειδή υπάρχει ανάγκη προσαρμοστικότητας. Στην πραγματικότητα, η μηχανική μάθηση μπορεί να κάνει καλύτερη χρήση μεγάλων όγκων παραγόμενων δεδομένων. Τα στοιχεία του δικτύου μέσω της μηχανικής μάθησης μπορούν να προσαρμόσουν αυτόνομα τη συμπεριφορά τους προκειμένου να παρέχουν αποτελεσματικότητα, ασφάλεια και βέλτιστη εμπειρία χρήστη.

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ 5G

Το 5G είναι η πέμπτη γενιά κινητής τεχνολογίας μετά από 2G (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών - GSM), 3G (Universal Mobile Telecommunications System - UMTS) και 4G (Long Term Evolution - LTE / Worldwide Interoperability for Microwave Access - WiMax). Τα Δίκτυα Επόμενης Γενιάς (NGN) στοχεύουν στην υποστήριξη μιας εντελώς κινητής και συνδεδεμένης κοινωνίας και στην ενίσχυση των κοινωνικοοικονομικών αλλαγών με απεριόριστους τρόπους, πολλοί από τους οποίους δεν είναι σήμερα κατανοητοί, όπως η παραγωγικότητα, η βιωσιμότητα και η ευημερία. Τα χαρακτηριστικά αυτής της εντελώς κινητής και συνδεδεμένης κοινωνίας είναι η αύξηση της συνδεσιμότητας και της κυκλοφοριακής πυκνότητας / όγκου, η επιθυμητή πυκνότητα πολλαπλών επιπέδων για την επίτευξη αυτού του στόχου και το ευρύ φάσμα περιπτώσεων χρήσης και επιχειρηματικών μοντέλων που αναμένονται. Ο ορισμός του 5G: είναι ένα οικοσύστημα από άκρο σε άκρο που επιτρέπει μια πλήρως κινητή και συνδεδεμένη κοινωνία. Ενισχύει τη δημιουργία αξίας προς πελάτες και συνεργάτες, μέσω υπαρχουσών και αναδυόμενων περιπτώσεων χρήσης, που παρέχονται με συνεπή εμπειρία και επιτρέπεται από βιώσιμα επιχειρηματικά μοντέλα.

Το 5G περιγράφει μια σειρά από αναδυόμενες περιπτώσεις χρήσης που εστιάζουν σε:

- Ευρυζωνική πρόσβαση σε πυκνές περιοχές: Παρέχει ευρυζωνική πρόσβαση με εύρος ζώνης έως και 10Gbps και διαθεσιμότητα υπηρεσιών σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, π.χ. σε πυκνά αστικά κέντρα ή εκδηλώσεις, στάδια ή υπαίθρια φεστιβάλ.
- Ευρυζωνική πρόσβαση παντού: Στοχεύει σε ελάχιστο εύρος ζώνης τουλάχιστον 50Mbps, διασφαλίζοντας μια συνδεδεμένη παγκόσμια κοινωνία, μέσω Internet υψηλής ταχύτητας.
- Υψηλή κινητικότητα χρηστών: παρέχει ευρυζωνική υποστήριξη για χρήστες κινητών σε πολύ γρήγορα κινούμενα οχήματα όπως τρένα υψηλής ταχύτητας.
- Massive Internet of Things: Παρέχει ευρυζωνική πρόσβαση για εξαιρετικά πυκνά δίκτυα αισθητήρων και ενεργοποιητών. Αυτή η χρήση θα περιλαμβάνει επικοινωνίες τύπου μηχανήματος χαμηλού κόστους / μεγάλης εμβέλειας / χαμηλής ισχύος (MTC) καθώς και MTC ευρείας ζώνης με ορισμένες δυνατότητες πιο κοντά στην επικοινωνία ανθρώπινου τύπου (HTC).

- Εξαιρετική επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο: Παρέχει συνδεσιμότητα εξαιρετικά χαμηλού λανθάνοντος χρόνου που είναι απαραίτητη στις διαδραστικές επικοινωνίες, π.χ., από το Διαδίκτυο.
- Γραμμή επικοινωνίας: Υποστηρίζει τη συνδεσιμότητα σε περίπτωση φυσικών καταστροφών και καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Για αυτές τις περιπτώσεις χρήσης απαιτείται πολύ υψηλό επίπεδο διαθεσιμότητας μαζί με την ικανότητα να διατηρείται η κυκλοφορία.
- Εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία: Παρέχει εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση, αξιοπιστία και διαθεσιμότητα υποστήριξης σύνδεσης δικτύου, για παράδειγμα, αυτόνομη οδήγηση.
- Υπηρεσία τύπου εκπομπής: Παρέχει συνδεσιμότητα δικτύου για μετάδοση

Τα υπάρχοντα δίκτυα, τα οποία βασίζονται στη σχεδίαση «one-size-fits-all», δεν είναι αρκετά ευέλικτα και κλιμακούμενα ώστε να ανταποκρίνονται στις διαφορετικές απαιτήσεις 5G. Ο στόχος του 5G είναι να επιτύχει μια αξιοσημείωτη αύξηση των ποσοστών δεδομένων, του εύρους ζώνης, της κάλυψης και της συνδεσιμότητας, και ταυτόχρονα να μειώσει σημαντικά την καθυστέρηση και την κατανάλωση ενέργειας.

Οι βασικές αυστηρές απαιτήσεις των συστημάτων επόμενης γενιάς 5G προσδιορίζονται ως εξής:

- Ρυθμός δεδομένων έως και 10Gbps σε πραγματικά δίκτυα: Αύξηση σχεδόν 10 φορές από τον ρυθμό θεωρητικών αιχμών δεδομένων του παραδοσιακού δικτύου LTE των 150 Mbps.
- Καθυστέρηση μετ' επιστροφής 1 λεπτού: Μείωση σχεδόν 10 φορές από το χρόνο μετ' επιστροφής των 4G των 10 ms.
- 1000x εύρος ζώνης ανά μονάδα περιοχή: Απαιτείται να ενεργοποιηθεί μεγάλος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών με υψηλότερο εύρος ζώνης για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Έως 100x αριθμός συνδεδεμένων συσκευών ανά περιοχή μονάδας: Τα αναδυόμενα δίκτυα 5G πρέπει να παρέχουν συνδεσιμότητα σε χιλιάδες συσκευές, προκειμένου να πραγματοποιηθεί το όραμα του IoT.
- Αντιληπτή διαθεσιμότητα 99,999%: Το 5G προβλέπει ότι το δίκτυο θα πρέπει πρακτικά να είναι πάντα διαθέσιμο.
- Κάλυψη σχεδόν 100% για συνδεσιμότητα «οποτεδήποτε οπουδήποτε»: Τα ασύρματα δίκτυα 5G πρέπει να διασφαλίζουν πλήρη κάλυψη ανεξάρτητα από τις τοποθεσίες των χρηστών.
- Μείωση της χρήσης ενέργειας κατά σχεδόν 90%: Η ανάπτυξη της πράσινης τεχνολογίας εξετάζεται ήδη από τους τυπικούς φορείς. Αυτό θα είναι ακόμη πιο σημαντικό με υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και τεράστια συνδεσιμότητα ασύρματου δικτύου 5G.
- Υψηλή διάρκεια ζωής της μπαταρίας: Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από συσκευές είναι θεμελιωδώς σημαντική στα αναδυόμενα δίκτυα 5G.

Το σύστημα 5G θα υποστηρίξει διάφορες περιπτώσεις χρήσης, οι οποίες χωρίζονται σε τρεις ευρείες κατηγορίες. α) Βελτιωμένες κινητές ευρυζωνικές συνδέσεις (eMBB), β) Επικοινωνίες τύπου μαζικής μηχανής (mMTC) και γ) Εξαιρετικά αξιόπιστες και χαμηλού λανθάνοντος χρόνου επικοινωνίες (URLLC). Συγκεκριμένα, το eMBB αναφέρεται σε ευρυζωνικές υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας μεγάλου όγκου που έχουν υψηλές απαιτήσεις για εύρος ζώνης, όπως βίντεο υψηλής ευκρίνειας, εικονική πραγματικότητα (VR) και επαυξημένη πραγματικότητα (AR), το mMTC αναφέρεται σε υπηρεσίες IoT μεγάλης κλίμακας, υπηρεσίες που περιλαμβάνουν υψηλές απαιτήσεις για πυκνότητα σύνδεσης, όπως η έξυπνη πόλη και η έξυπνη γεωργία και το URLLC αναφέρεται σε υπηρεσίες ευαίσθητες σε καθυστέρηση, όπως υποβοηθούμενη και αυτοματοποιημένη οδήγηση, βιομηχανικός αυτοματισμός και απομακρυσμένη διαχείριση.



Εικόνα 3: Μια γενική εικόνα του δικτύου 5G

2.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ 5G

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G έχουν σχεδιαστεί με τρεις βασικούς στόχους για να ενσωματώσουν μια σειρά από νέες τεχνικές ξεπερνώντας τους περιορισμούς απόδοσης των τρεχουσών αναπτύξεων και να ικανοποιήσουν νέες απαιτήσεις εφαρμογής βελτιώνοντας την απόδοση του δικτύου για την επόμενη δεκαετία. Αρχικά, η βελτιωμένη ευρυζωνική σύνδεση για κινητά (eMBB) θα υποστηρίξει εφαρμογές γενικών καταναλωτών, όπως ροή βίντεο, περιήγηση και τυχερά παιχνίδια που βασίζονται σε cloud computing. Έπειτα, οι εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλού λανθάνοντος χρόνου (URLLC) θα υποστηρίζουν εφαρμογές ευαίσθητες σε λανθάνουσα κατάσταση, όπως AR / VR, αυτόνομα οχήματα και drone, υποδομή έξυπνης πόλης, Industry 4.0 και tele-robotics. Τέλος, οι μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC) θα υποστηρίζουν επεκτάσιμα δίκτυα peer-to-peer για εφαρμογές IoT χωρίς υψηλό εύρος ζώνης. Τα δίκτυα 5G επιτυγχάνουν το υψηλό εύρος ζώνης, την υψηλή διαθεσιμότητα και τις απαιτήσεις χαμηλού λανθάνοντος χρόνου των νέων υπηρεσιών και εφαρμογών διαδικτύου μέσω της

υιοθέτησης υποδομής υπολογιστικού νέφους. Οι πάροχοι cloud χρησιμοποιούν δίκτυα καθορισμένα από λογισμικό (SDN) και εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV) για να ενισχύσουν τη δημιουργία υπηρεσιών για τη διευκόλυνση υποδομών πολλαπλών ενοικιαστών και πολλαπλών υπηρεσιών. Η μετάβαση στην υποδομή SDN επιτρέπει την αντικατάσταση ιδιόκτητου υλικού και λογισμικού για λειτουργίες δικτύου όπως δρομολογητές ή τείχη προστασίας με φθηνότερο, τυποποιημένο και επαναπρογραμματιζόμενο εξοπλισμό εικονικών εγκαταστάσεων πελατών (vCPE). Τα NFV ελέγχονται κεντρικά στο cloud. Οι λειτουργίες εικονικού δικτύου (VNF), ως μία από τις βασικές λειτουργίες του NFV, όπως οι εξισορροπητές φορτίου, μπορούν να εκτελεστούν σε οποιονδήποτε γενικό διακομιστή για να επιτρέψουν στο δίκτυο να αυξήσει τους πόρους κατά παραγγελία και να μετεγκατασταθεί μεταξύ διαφορετικών τμημάτων του δικτύου. Ωστόσο, η επεξεργασία δεδομένων σε μεγάλα κέντρα δεδομένων απομακρυσμένου cloud που βασίζονται σε λειτουργίες SDN / NFV δεν μπορεί να ικανοποιήσει τον χαμηλό λανθάνοντα χρόνο που απαιτείται για την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε αυτόνομα οχήματα ή σε τοπική επαυξημένη / εικονική πραγματικότητα (AR / VR). Η αυξημένη επικοινωνία που λαμβάνει χώρα σε smartphone, tablet, φορητά και συσκευές IoT μπορεί να συμφορήσει το κεντρικό δίκτυο που επικοινωνεί με τους κεντρικούς διακομιστές cloud. Τα διπλά αιτήματα για δημοφιλή βίντεο κατά τη διάρκεια των αιχμών ροής μπορεί να κατακλύσουν τα βασικά δίκτυα και να οδηγήσουν σε χαμηλή ποιότητα εμπειρίας (QoE) για τους χρήστες και δαπανηρές αναποτελεσματικότητες στη χρήση των πόρων του δικτύου. Ο φορητός υπολογιστής edge μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση αυτών των προκλήσεων στο 5G δημιουργώντας ένα αποκεντρωμένο σύννεφο στην άκρη του δικτύου.

Η σχεδίαση του δικτύου 5G έχει γίνει με βάση πολλά χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα οποία δεν υπήρχαν στις προηγούμενες γενιές των δικτύων. Το πιο βασικό χαρακτηριστικό του 5G παρέχεται μέσω της χρήσης των μαζικών συστημάτων MIMO τα οποία έγιναν γνωστά σαν συστήματα Very Large MIMO. Με τη χρήση περισσότερων κεραιών γίνεται δυνατή η αύξηση της απόδοσης της ενέργειας που εκπέμπεται. Πέρα όμως από αυτό, δίνεται και η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν πιο φθηνά εξαρτήματα χαμηλής ισχύος ενώ, παράλληλα, μειώνεται το διάστημα εμβέλειας και γίνεται πιο απλός ο έλεγχος της πρόσβασης. Το κυριότερο χαρακτηριστικό που θα πρέπει να καλύπτεται από το 5G είναι η συνδεσιμότητα και, μάλιστα, με συνεχή και απρόσκοπτο τρόπο σε οποιαδήποτε συσκευή και εφαρμογή που είναι ικανή να υποστηρίξει τις νέες τεχνολογίες του 5G. Οι τεχνολογίες αυτές δεν θα λειτουργούν με έναν μοναδικό τρόπο σύνδεσης. Αντίθετα, πιθανώς να υποστηρίζουν πολλαπλές τεχνικές και τρόπους πρόσβασης, ανάλογα κάθε φορά με το ποιος χρησιμοποιεί την τεχνολογία και για ποιο λόγο. Μιλάμε, λοιπόν, για έναν πολύμορφο τρόπο χρήσης με ασύρματη σύνδεση ανάμεσα σε συσκευές που λειτουργούν σε διαφορετικούς κλάδους, όπως η ιατρική, η βιομηχανία, η ασφάλεια υπολογιστών αλλά και τα νοικοκυριά, τα αυτοκίνητα και τα σκάφη αναψυχής. Οι μεγάλες ταχύτητες που θα παρέχονται από τα 5G δίκτυα, θα δίνουν τη δυνατότητα μέσω του ασύρματου παγκόσμιου ιστού (Wireless World Wide Web – WWW), να χρησιμοποιήσουμε τη δυναμική των πολυμέσων. Επιπλέον, τα νέα δυναμικά Adhoc Ασύρματα Δίκτυα (DAWN) θα παρέχουν νέες δυνατότητες συνεργασίας με τις έξυπνες

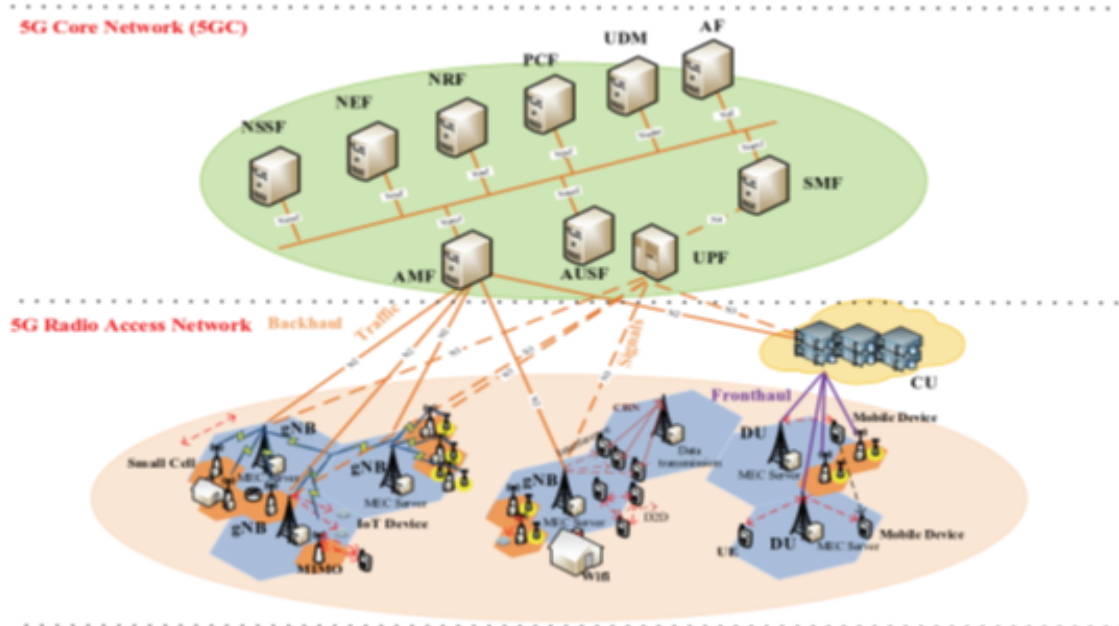
κεραίες, με βάση τις αρχές της συνεργατικής ποικιλομορφίας και της ευέλικτης διαμόρφωσης. Όλα τα παραπάνω όμως, προϋποθέτουν πλήρη κατανόηση των δυνατοτήτων, όπως και των απαιτήσεων που θέτουν οι νέες τεχνολογίες που εισάγονται με το 5G. Όμως δε πρέπει να ξεχνάμε το γεγονός ότι θα γίνει αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου σε συσκευές (περίπου χίλιες φορές μεγαλύτερη), αύξηση της ταχύτητας (100Mbps – 1Gbps σε πόλεις), μείωση της καθυστέρησης, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και, τέλος, αύξηση της ισχύος για αδύναμες (σε ενεργειακή απόδοση) συσκευές. Επίσης, θα έχουμε 10 φορές λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και ταυτόχρονα δεκάδες φορές μεγαλύτερος αριθμός συσκευών που μπορούν να είναι συνδεδεμένες στο ίδιο περιβάλλον. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να υπάρχει και βελτίωση σε άλλα, πιο τεχνικά μέρη των τεχνολογιών αυτών της πέμπτης γενιάς, όπως για παράδειγμα ο χρόνος αντίδρασης στα δεδομένα (χρόνος που υπολογίζεται μικρότερος του 1ms) και αποδόσεις που θα αγγίζουν το 100%. Το 5G καλείται να λύσει και το πρόβλημα που είχαν χρήστες, ιδιαίτερα σε δημόσιες θέσεις, με χρήση αρκετών σταθμών βάσης. Η νέα γενιά θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα υψηλής διαθεσιμότητας του ποσοστού δυαδικών αριθμών – ψηφίων σε σημαντικά πιο μεγάλο τμήμα των κυψελικών κυττάρων. Σημαντική βελτίωση θα προκύψει σε ότι αφορά και στην τεχνολογία smart – radio, όπου θα δίνεται η δυνατότητα σε διαφορετικές ραδιοτεχνολογίες να χρησιμοποιούν και να διαμοιράζονται δίχως προβλήματα το φάσμα από την εύρεση αχρησιμοποίητου φάσματος και να προσαρμόζουν το σύστημα μετάδοσης. Κι αυτό σε αντίθεση με τον τρόπο που επιτυγχάνεται σήμερα, όπου διαφορετικές συσκευές μοιράζονται το φάσμα αλλά με σημαντικά προβλήματα. Η νέα τεχνολογία έχει σχεδιασθεί για να παρέχει και άλλες δυνατότητες όπως:

- Θα είναι περισσότερο φιλική στο περιβάλλον, αφού βασικός στόχος των σύγχρονων εταιρειών δημιουργίας κινητών συσκευών είναι να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας. Επίσης, βασικός στόχος είναι και η επέκταση της ζωής της μπαταρίας των κινητών συσκευών.
- Θα δεσμεύει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, κάτι, που ακούγεται εξαιρετικά δύσκολο, αν σκεφτεί κανείς πώς είναι ακριβό να εξασφαλιστούν περισσότερες ζώνες συχνοτήτων.
- Θα υποστηρίζει τη σύνδεση ολοένα και αυξανόμενου πλήθους συσκευών, αφού εκτός από τις κινητές συσκευές, τους κινητούς υπολογιστές, τα έξυπνα κινητά, τις ταμπλέτες κλπ, θα προστεθούν τα επόμενα χρόνια και άλλες έξυπνες συσκευές, όπως οικιακές συσκευές, αυτοκίνητα, κλπ. Μια τάση που επαυξάνεται με την διεξόδουση του Internet of Things και την αλληλεπίδραση και επικοινωνία μεταξύ μηχανών (Machine – to – Machine).
- Θα πρέπει να έχει χαμηλότερο κόστος λόγω του σκεπτικισμού που υπάρχει σχετικά με τις νέες επενδύσεις στον τομέα αυτό. Ήδη οι εταιρείες κατασκευής τηλεφώνων δεν έχουν αποσβέσει τα χρήματά τους για την

μελέτη των προηγούμενων γενιών κινητής επικοινωνίας και η 4G τεχνολογία δεν έχει αποδώσει οικονομικά τα μέγιστα.

- Θα πρέπει να αντικαταστήσει παλιότερες τεχνολογίες που συνυπάρχουν με παλαιότερες και ενδιάμεσες γενιές τεχνολογίας, όπως οι 2.5G, 2.75G, 3G, 4G κλπ.

Είναι φυσικό πως με τις τόσο επαναστατικές και πρωτοπόρες δυνατότητες που μας δίνει το 5G, η χρήση του κινητού θα ισοδυναμεί και δεν θα υπάρχει τίποτα να ζηλέψει από εκείνη του φορητού υπολογιστή. Θα είναι συγχρόνως φωτογραφική μηχανή, θα παίζει τα πιο σύγχρονα και βαριά παιχνίδια, θα διαθέτει τεράστιους χώρους για μουσική, βίντεο, θα είναι συσκευή εγγραφής και αναπαραγωγής. Επιπλέον, θα ενοποιηθούν οι περιοχές και θα πάψουν τα συμβόλαια που αφορούν την περιαγωγή. Παρακάτω παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του 5G σε διάγραμμα:



Εικόνα 4: Η αρχιτεκτονική του 5G

2.3 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ 5G

Η εξέλιξη της τεχνολογίας μέσα στον χρόνο επιτυγχάνει ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση στις κινητές ευρυζωνικές επικοινωνίες. Τα δίκτυα πέμπτης γενιάς έχουν στόχο τη γρήγορη αποδοτική και οικονομική συνδεσιμότητα δεδομένων με το ελάχιστο δυνατό κόστος εγκατάστασης. Οι τεχνολογικές εξελίξεις θα υποστηρίξουν υψηλότερα ποσοστά και δεδομένα υπό την προϋπόθεση να ελαχιστοποιηθεί το κόστος ανά bit. Σημαντική δυνατότητα των δικτύων πέμπτης γενιάς πρέπει να είναι η δυνατότητα ασύρματης πρόσβασης σε κάθε δίκτυο, όχι μόνο από τα παλιά όπως 2.5G, 3G, 4G, ή τα κινητά δίκτυα 5G, Wi – Fi, WPAN, αλλά και σε κάθε νέα τεχνολογία που θα εμφανίζεται. Αυτό θα επιτυγχάνεται από τον συνδυασμό νέων ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων και της υπολογιστικής. Κι αυτό γιατί με την 5G τεχνολογία, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα να

υπάρχει συνεχής εναλλαγή, θα πρέπει να προσφέρεται η δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης μέσω πολλαπλών διαδρομών και με ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων. Κι όλα τα παραπάνω με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες από αυτές που έχουμε σήμερα. Βέβαια, πρέπει να επισημάνουμε ότι η εξέλιξη των ραδιοσυχνοτήτων συνδέεται άρρηκτα με το φάσμα. Το διαθέσιμο φάσμα για κινητές ευρυζωνικές συνδέσεις δύναται να αυξηθεί έως και σε δεκαπλάσια επίπεδα τα επόμενα χρόνια. Από την άλλη πλευρά, η αναδιανομή του εύρους ζώνης που πραγματοποιεί η τεχνολογία 5G, την καθιστά πολύ σημαντικό παράγοντα για τη βελτιστοποίηση των δικτύων. Είναι κατά κάποιο τρόπο έξυπνη τεχνολογία, εφόσον έχει τη δυνατότητα να αυτό-συγχρονίζεται στο δίκτυο που εισάγεται, χωρίς την ανάγκη χειρισμού από ειδικούς. Έτσι, δύναται να προσδίδει μεγαλύτερα ποσοστά ασφάλειας στο δίκτυο, εφόσον είναι δυνατό να υπάρχουν μία ή περισσότερες ομάδες χρηστών, που να είναι προεπιλεγμένα απαγορευμένες για το δίκτυο. Έτσι, είναι απαραίτητο οι νέες κινητές τεχνολογίες να αυξήσουν τη φασματική τους απόδοση. Μετά από αυτό πρόκειται να αναπτυχθούν και νέες ετερογενείς αναπτύξεις δικτύου. Ο στόχος αυτός μπορεί να επιτευχθεί συνδυάζοντας την αξιοποίηση του φάσματος μεγαλύτερου από 6 GHz με την πυκνότερη διάταξη ετερογενών δικτύων. Ο συνδυασμός των δύο αυτών επιλογών αποτελεί και τον βασικό άξονα εξέλιξης προς το 5G. Επιπλέον η φασματική αποτελεσματικότητα σε επίπεδο συστήματος, θα έχει τη δυνατότητα ενίσχυσης από έξυπνα σχέδια, τα οποία χρησιμοποιούν τεχνικές διαχείρισης διακυτταρικών παρεμβολών. Σήμερα η φασματική αποτελεσματικότητα είναι τυπικά μεταξύ 0,5 – 1,4 bps / Hz / cell, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς του τερματισμού και του backhaul. Η φασματική απόδοση θα μπορούσε να φθάσει έως 5 – 10 bps / Hz / cell αν χρησιμοποιήσει προηγμένους δέκτες, κεραιές, πολυκυτταρική μετάδοση και συνεργασία. Η εταιρική επένδυση σε 5G αυξήθηκε ραγδαία επειδή οι νέες περιπτώσεις χρήσης (και οι ροές εσόδων) που ανοίχθηκαν από την τεχνολογία επόμενης γενιάς θα μειώσουν τις δαπάνες και θα διατηρήσουν σταθερά ποσοστά για τους χρήστες. Υπάρχουν πολλαπλοί κλάδοι που θα μπορούσαν να ενισχυθούν από φορητούς υπολογιστές edge όπως: Internet of Things (IoT), caching, streaming βίντεο, επαυξημένη πραγματικότητα, υγειονομική περίθαλψη και συνδεδεμένα οχήματα. Με τη δημιουργία δικτύων μεγάλης κλίμακας 5G, οι ερευνητές επικεντρώνονται στους μυριάδες χώρους εφαρμογών που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από τη χαμηλή καθυστέρηση, την εγγύτητα, το υψηλό εύρος ζώνης, την επίγνωση θέσης και την πραγματική εικόνα που παρέχονται από φορητούς υπολογιστές αιχμής. Η ανάπτυξη της φορητής υπολογιστικής ακμής θα διακόψει το τρέχον παράδειγμα υπολογιστικού νέφους σε προτίμηση έναντι του τοπικού υπολογιστή κοντά στον χρήστη. Ο αριθμός των συσκευών IoT αναμένεται να αυξηθεί στα 18 δισεκατομμύρια, καθεμία από τις οποίες απαιτεί σύνδεση δικτύου. Ο φορητός υπολογιστής αιχμής μπορεί να ωφελήσει προσωπικές συσκευές IoT μικρής κλίμακας σε καταστάσεις σχεδιασμού μεγάλης κλίμακας, όπως έξυπνες πόλεις και νέες βιομηχανικές εφαρμογές. Μικρές συσκευές, όπως εργαλεία IoT στο σπίτι (Amazon Alexa, Nest Cam, Google Home), μπορούν να χρησιμοποιούν φορητό υπολογιστή για να εκφορτώνουν υπολογιστικές εργασίες που είναι πολύ περίπλοκες για τη μικρή χωρητικότητα μνήμης τους. Οι χρήστες που μεταδίδουν βίντεο από τις κινητές συσκευές τους μπορούν να απολαύσουν προσωρινά αποθηκευμένες εκδόσεις του επιθυμητού περιεχομένου τους από φορητούς σταθμούς βάσης υπολογιστών αιχμής ή βίντεο που παραδίδονται αυτόματα σε ποιότητα / εύρος

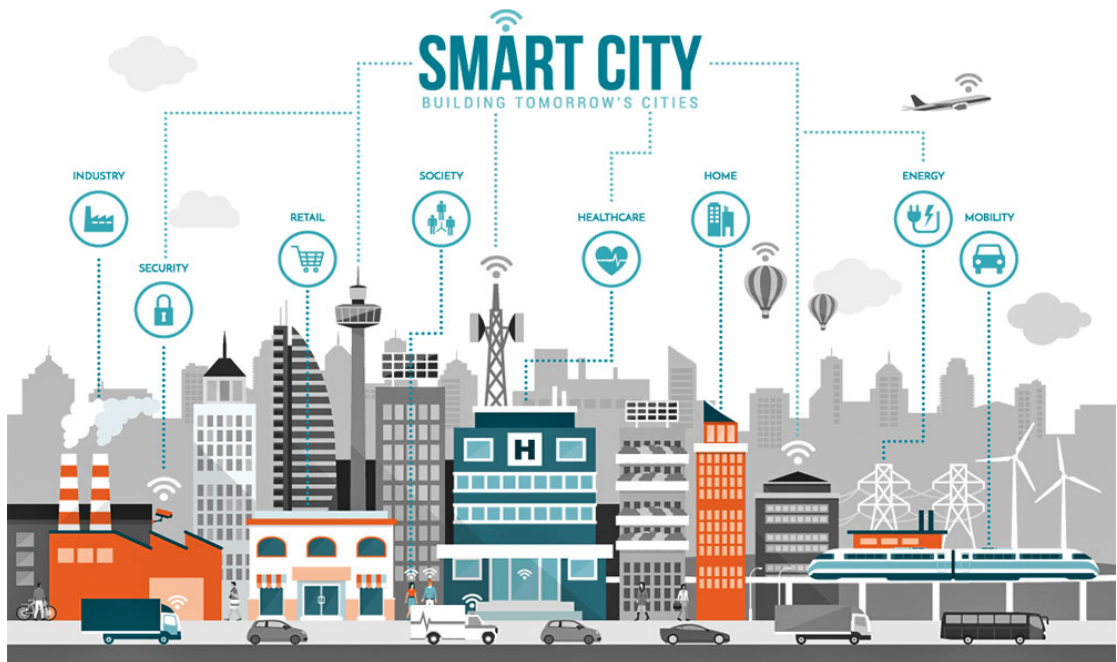
ζώνης που υποστηρίζεται από το δίκτυό τους βάσει τοπικών συνθηκών δικτύου. Τα αναπτυσσόμενα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας, όπως το Pokémon Go μπορούν να αποθηκεύουν τοπικά σχετικές πληροφορίες για να επικαλύπτουν το περιβάλλον του χρήστη σε τοπικούς σταθμούς βάσης υπολογιστών με κινητές συσκευές, οι οποίοι αντιμετωπίζουν μειωμένη καθυστέρηση σε σύγκριση με την ανάκτηση πληροφοριών από περιφερειακά κέντρα δεδομένων cloud. Θα πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι οι δυνατότητες του 5G επηρεάζουν πολλές πτυχές της καθημερινής μας ζωής και μας προσθέτουν νέες δυνατότητες και εξελίξεις όπως:

✓ Συνδεδεμένα οχήματα

Ο φορητός υπολογιστής 5G μπορεί να επιτρέψει νέες εφαρμογές σε μεγαλύτερη κλίμακα. Όπως, το συντονισμό των ολοένα αυξανόμενων ad-hoc δικτύων από μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) και συνδεδεμένα αυτοκίνητα που πρέπει να πλοηγηθούν σε νέο περιβάλλον, να εκφορτώσουν υπολογιστικές εργασίες και να κατεβάσουν νέες πληροφορίες με τη βοήθεια κοντινών υπολογιστικών σταθμών κινητής τηλεφωνίας, όλα με χαμηλή καθυστέρηση καθώς τα οχήματα κινούνται σε ολόκληρη την περιοχή τους. Τα UAV έχουν αυστηρούς περιορισμούς στη μνήμη και στην κατανάλωση ισχύος βάσει των οποίων πρέπει να λειτουργούν οι εργασίες λήψης αποφάσεων ML και, επομένως, θα μπορούσαν να επωφεληθούν από τις κατανεμημένες μεθόδους μάθησης και την υπολογιστική εκφόρτωση.

✓ Έξυπνες πόλεις

Στις αστικές ρυθμίσεις, ο υπολογιστής κινητής τηλεφωνίας 5G μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση πρωτοβουλιών έξυπνης πόλης παγκοσμίως, παρέχοντας σημεία υπολογισμού και αποθήκευσης δεδομένων που σχετίζονται με τοπικές εκδηλώσεις και πληθυσμούς. Αξιοποιώντας τη δύναμη του cloud computing και της σύνδεσης στο Διαδίκτυο για IoT μεγάλης κλίμακας σε πόλεις, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να παρέχουν αστικές υπηρεσίες, όπως ηλεκτρικά δίκτυα, συστήματα μεταφορών και απόκριση έκτακτης ανάγκης μέσω της βαθιάς μάθησης στον φορητό υπολογιστή. Οι πόλεις μπορούν να χρησιμοποιούν φορητό υπολογιστή για να διαχειρίζονται την κατανάλωση ενέργειας σε αναπτυσσόμενες αστικές περιοχές, με βάση ενεργειακά προφίλ για κοινές δραστηριότητες και ζήτηση σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η τοποθέτηση του DL στην κινητή άκρη μπορεί επίσης να προωθήσει τις προσπάθειες δημόσιας ασφάλειας και αστυνόμευσης σε μεγάλες αστικές περιοχές μέσω ελαφρών συστημάτων όρασης υπολογιστή. Μια εικόνα που αντικατοπτρίζει τις «έξυπνες» πόλεις είναι η παρακάτω:



Εικόνα 5: Απεικόνιση «έξυπνης» πόλης

✓ Έξυπνη μετακίνηση

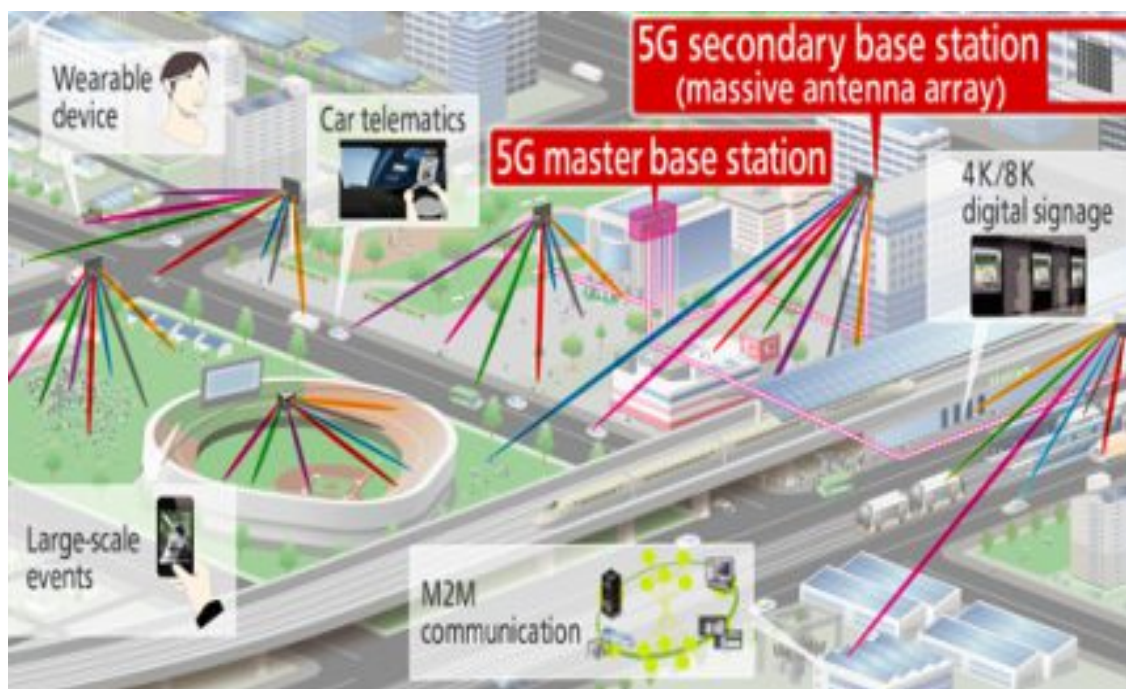
Η έννοια της έξυπνης μεταφοράς αναφέρεται σε ένα σύστημα μεταφοράς που επιτρέπει βελτιωμένη ασφάλεια, υψηλότερη παραγωγικότητα και αποδοτικότητα με τη βοήθεια μιας υποδομής δικτύου. Το 5G σε συνδυασμό με αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης (AI) είναι μια από τις κύριες τεχνολογίες που επιτρέπουν τέτοια έξυπνα συστήματα μεταφοράς. Τα συνδεδεμένα αυτοκίνητα και τα RSU θα προσφέρουν υπηρεσίες αποφυγής σύγκρουσης και βελτιστοποίησης διαδρομών σε ένα ειδικό δίκτυο μεταφορών με υψηλή ασφάλεια, υψηλή απόδοση και υπολογιστικό νέφος. Οι περιπτώσεις χρήσης στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας που είναι σχετικές με το 5G περιλαμβάνουν: αυτόνομα οχήματα οδήγησης, ασφάλεια και έλεγχο της κυκλοφορίας. Με την έλευση των αυτοματοποιημένων λειτουργιών οδήγησης, ειδικά με την ευρεία διαθεσιμότητα οχημάτων ικανών να υποστηρίξουν υψηλότερα επίπεδα αυτοματισμού, τα αυτοκίνητα με αυτόνομη οδήγηση είναι το μέλλον των έξυπνων μεταφορών. Τα αυτόνομα αυτοκίνητα έχουν την ευφυΐα να αναγνωρίζουν, να αποφασίζουν και να ελέγχουν ανάλογα. Οι βελτιωμένες επικοινωνίες V2X και οι αυτόνομες λειτουργίες έχουν σχεδιαστεί για την αποφυγή ατυχημάτων που προκαλούνται από ανθρώπινα λάθη. Η έννοια της εκτόξευσης οχημάτων αναφέρεται σε οχήματα που ταξιδεύουν μαζί ακολουθώντας ένα κύριο όχημα. Αυτό οδηγεί σε αυξημένη ασφάλεια και άνεση, μειωμένη κυκλοφοριακή συμφόρηση και βελτίωση της αποδοτικότητας. Η εκτόξευση οχημάτων μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί μέσω επικοινωνίας με σταθμούς βάσης 5G και επικοινωνίες μεταξύ οχημάτων. Οι σταθμοί βάσης 5G μπορούν να καταλάβουν τις πληροφορίες θέσης και ταχύτητας των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο με χαμηλή καθυστέρηση και μπορούν να υποστηρίξουν τη διατήρηση της ελάχιστης απόστασης μεταξύ των αυτοκινήτων. Η ασφάλεια και ο έλεγχος

της κυκλοφορίας περιλαμβάνουν όλες τις υπηρεσίες για τη διασφάλιση της μέγιστης ασφάλειας σε κάθε είδους κατάσταση. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν ανταλλαγή δεδομένων μεγάλων αρχείων και πραγματικού χρόνου και, στην περίπτωση τερματικών επιβατών, πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, συστήματα ψυχαγωγίας και διαφημίσεις βίντεο. Οι εφαρμογές V2X και ορισμένα άλλα έξυπνα συστήματα μεταφοράς (ITS) απαιτούν πολύ χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, πολύ χαμηλότερο από αυτό που παρέχεται από τις τρέχουσες τεχνολογίες. Επιπλέον, τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό και τα βοηθητικά προγράμματα οδήγησης χρειάζονται συστήματα ασφαλείας σε πραγματικό χρόνο που μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλα οχήματα και σταθερή υποδομή γύρω από αυτά. Αυτοί οι τύποι αυτοκινήτων πρέπει να επεξεργαστούν τουλάχιστον 1 Gbps ρυθμού δεδομένων για έξυπνες αποφάσεις. Ωστόσο, οι τρέχουσες τεχνολογίες δεν μπορούν να υποστηρίξουν την ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη με τόσο υψηλό ρυθμό δεδομένων μεταξύ χιλιάδων αυτοκινήτων σε μια μικρή περιοχή. Ως εκ τούτου, η τεχνολογία 5G είναι απαραίτητη για την παροχή υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο σε μελλοντικά οχήματα και για χαμηλή καθυστέρηση στον σχεδιασμό του 5G. Τα δίκτυα θα ανοίξουν τη δυνητικά μεγάλη αγορά έξυπνων μεταφορών για ασύρματους χειριστές. Ο εντοπισμός είναι επίσης μία από τις σημαντικές απαιτήσεις για την αυτονομία των οχημάτων για την απόκτηση των ακριβών πληροφοριών γύρω από τα οχήματα. Το Cellular V2X (C-V2X) παρέχει συνδεσιμότητα μεταξύ οχημάτων και οτιδήποτε με βελτιωμένες αρχιτεκτονικές και δυνατότητες που βασίζονται σε κυψελοειδείς τεχνολογίες. Σε 5G, το C-V2X μπορεί να χρησιμοποιήσει και τα δύο κάτω από τη ζώνη 6-GHz για υψηλή αξιοπιστία υπηρεσίας και πάνω από τη ζώνη 6-GHz, π.χ. κύμα χιλιοστών, για μεταφορά δεδομένων μεγάλου όγκου, παρέχοντας ταυτόχρονα υποστήριξη δικτύου ευρείας περιοχής χαμηλού λανθάνοντος χρόνου για υποβοηθούμενη οδήγηση. Επιπλέον, οι άμεσες επικοινωνίες C-V2X μπορούν να λειτουργήσουν στη ζώνη φάσματος ITS 5,9 GHz, η οποία χρησιμοποιείται από την τεχνολογία WAVE που βασίζεται σε IEEE 802.11p, χωρίς απαίτηση κινητής τηλεφωνίας για άμεσες επικοινωνίες ασφαλείας. Αν και η συνύπαρξη WAVE με βάση το C-V2X και το IEEE 802.11p μπορεί να εξεταστεί, το C-V2X μπορεί να προτιμηθεί ως πρότυπο 3GPP, επειδή το C-V2X μπορεί να παρέχει μια διαδρομή απευθείας εξέλιξης από LTE σε 5G και μπορεί να υποστηρίξει όλες τις εφαρμογές V2X ίδια τεχνολογία.

✓ Ρομποτική και βιομηχανία

Το 5G μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποίηση της εργασίας που πραγματοποιείται σε εργοστάσια χρησιμοποιώντας ρομποτικές συσκευές και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στην άκρη του κινητού στο εργοστάσιο. Τα ισχυρά δίκτυα 5G παρέχουν τεχνολογικές εξελίξεις που είναι κρίσιμες για τον αυτοματισμό των εργοστασίων, όπως υψηλή διαθεσιμότητα, χαμηλός λανθάνων χρόνος και ανθεκτικότητα έναντι επιθέσεων, όπως παρέχεται από ένα ειδικό τμήμα του δικτύου. Οι υπολογιστές 5G και mobile edge επιτρέπουν την αυτοματοποίηση κρίσιμων εφαρμογών, όπως η ποιοτική επιθεώρηση προϊόντων. Τα αυτοματοποιημένα εργοστασιακά συστήματα μπορούν στη συνέχεια να αξιοποιήσουν την DL για να διαχειριστούν την εκφόρτωση υπολογιστικών εργασιών στο τοπικό δίκτυο με τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας και πόρων. Στην ιατρική σφαίρα, το 5G σε συνδυασμό με ρομποτική μπορεί να επιτρέψει απομακρυσμένη

ιατρική εξέταση ή χειρουργικές επεμβάσεις με τηλεχειριστήριο εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης με απτική ανάδραση σε απομακρυσμένους χειρουργούς. Μια εικόνα που αντικατοπτρίζει τις επιπτώσεις του 5G στην βιομηχανία και στην ρομποτική είναι η παρακάτω:



Εικόνα 6: Οι επιπτώσεις του 5G στην βιομηχανία και στην ρομποτική

2.4 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ 5G

Η χρήση των κινητών επικοινωνιών έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας με αποτέλεσμα οι χρήστες να γίνονται πιο απαιτητικοί, όσον αφορά τις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες και τις ταχύτητες που προσφέρονται για μεταφορά δεδομένων υψηλού όγκου, αλλά και κάλυψη σε ευρύτερο φάσμα του δικτύου. Επικουρικά σε αυτό έχει συμβάλει η εμφάνιση νέων και εξελιγμένων τεχνολογικά συσκευών, που στοχεύουν στη απόλυτη ψηφιοποίηση της πληροφορίας. Κάποιες ενδεικτικές υπηρεσίες που πρόκειται να παραχθούν από τη νέα τεχνολογική πραγματικότητα των 5G είναι:

❖ Υπολογιστική με γνώμονα τον χρήστη

Ο χρήστης λαμβάνει περιεχόμενο αφού αναγνωρίσει, ερμηνεύσει και συμπεράνει μεγάλες πληροφορίες βασισμένες σε δεδομένα που συλλέγονται μέσω διαφόρων αισθητήρων. Οι ευφυείς υπηρεσίες υγείας, όπως η προσωπική υγειονομική περίθαλψη, η ψυχοθεραπεία, η αγχωτική πίεση, η επιχειρηματική καθοδήγηση κ.λπ., βασίζονται στην μεγάλη ανάλυση δεδομένων των καταγραφών ζωής. Τα μελλοντικά δίκτυα αναμένεται να έχουν μεγαλύτερη συμφόρηση λόγω του αυξανόμενου αριθμού συσκευών και κυκλοφορίας δεδομένων. Κατά συνέπεια, αυτό αυξάνει την καθυστέρηση δικτύου και μπορεί να παρεμποδίσει τη συνδεσιμότητα με διακομιστές cloud computing. Η χρήση

φορητού υπολογιστή με άκρη είναι εύχρηστη για τη μείωση της καθυστέρησης δικτύου και τη μεγιστοποίηση της απόδοσης κατά τη χρήση πόρων δικτύου. Επιπλέον, είναι επίσης χρήσιμο για κινητές υπηρεσίες όπως έξυπνα αυτοκίνητα, έξυπνη υγειονομική περίθαλψη, βιομηχανικά αυτοκίνητα, επαυξημένη πραγματικότητα και παιχνίδια. Ο φορητός υπολογιστής αιχμής και η ακριβής ανάλυση μεγάλων δεδομένων που προέρχονται από αισθητήρες είναι απαραίτητες για την άμεση και έγκαιρη ανταπόκριση σε περίπτωση καταστροφής. Είναι επίσης χρήσιμα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και των βιομηχανικών ατυχημάτων. Η αυξανόμενη ζήτηση της κίνησης δεδομένων απαιτεί μελλοντική τεχνολογία 5G για αύξηση του ρυθμού δεδομένων και μείωση του λανθάνοντος χρόνου. Ενεργοποιητές ενεργειακά αποδοτικοί και οι αισθητήρες είναι απαραίτητοι για την υποστήριξη της πράσινης επικοινωνίας. Επιπλέον, η τεχνολογία τηλεπικοινωνιών χαμηλής ισχύος είναι ένα άλλο επιθυμητό χαρακτηριστικό 5G. Εν ολίγοις, το 5G πρέπει να παρέχει αποτελεσματική επεξεργασία μεγάλων δεδομένων και γρήγορη μετάδοση μεγάλων δεδομένων με ελάχιστο χρόνο καθυστέρησης. Επιπλέον, απαιτείται ακριβής εντοπισμός των κινητών τερματικών για την παροχή αυτών των υπηρεσιών εγκαίρως.

❖ Υπηρεσίες πολυπληθών περιοχών

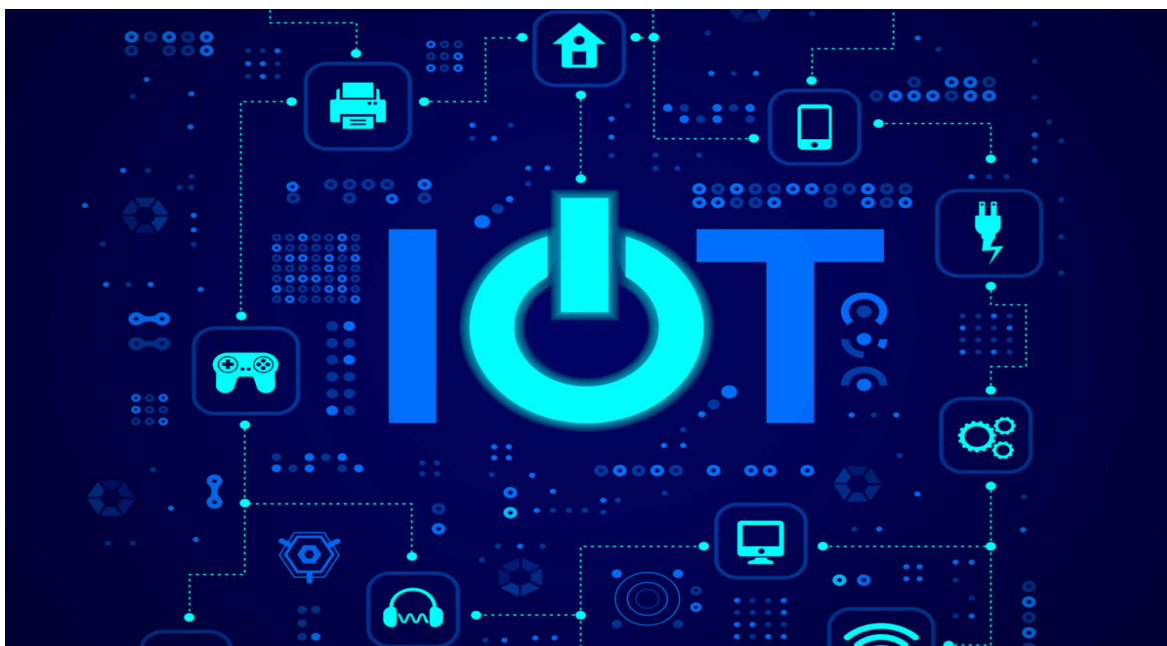
Οι πολυσύχναστες περιοχές, όπως γήπεδα ή συναυλίες μπορούν να αποτελέσουν πηγή τεράστιας κυκλοφορίας. Σε αυτά τα σενάρια, πολλοί χρήστες είναι παρόντες, και ο καθένας αποκτά διαφορετική εμπειρία υπηρεσίας για παρόμοιο και διαφορετικό περιεχόμενο. Επιπλέον, πολλοί χρήστες ανεβάζουν και κατεβάζουν βίντεο UHD μέσω κοινωνικών δικτύων, και αυτό τελικά αυξάνει τη συμφόρηση. Για την παροχή ασύρματων υπηρεσιών αποτελεσματικά σε πολυσύχναστες περιοχές, τα εξαιρετικά πυκνά δίκτυα δεν μπορούν να αποφευχθούν. Σε αυτό το σενάριο, η τοποθέτηση δεδομένων βίντεο στην άκρη του δικτύου των σταθμών βάσης μαζί με τον φορητό υπολογιστικό άξονα μειώνει το φορτίο του πυρήνα δικτύου 5G. Η αναγνώριση τοποθεσίας χρήστη βοηθά στην παροχή υπηρεσιών βάσει τοποθεσίας σε μεγάλα εμπορικά κέντρα. Τα τρέχοντα δίκτυα 4G παρέχουν υπηρεσίες γεμάτης περιοχής χρησιμοποιώντας πολλούς σταθμούς βάσης και το διαθέσιμο εύρος ζώνης κορμού. Ως εκ τούτου, το 5G μπορεί να παρέχει αυτές τις υπηρεσίες αποτελεσματικά χωρίς καμία διακοπή υιοθετώντας την έννοια των μικρών κυψελών και τον φορητό υπολογιστή. Ωστόσο, όλες αυτές οι υπηρεσίες διατίθενται με συγκεκριμένο κόστος. Επομένως, υπάρχει μια αντιστάθμιση μεταξύ της ποιότητας των υπηρεσιών και του κόστους. Τα περιεχόμενα πολυμέσων UHD και 3D αντικαθιστούν τα τρέχοντα περιεχόμενα χαμηλού όγκου και το δίκτυο 5G συνεπάγεται υποστήριξη υψηλότερου ρυθμού μετάδοσης. Η διαρκώς αυξανόμενη κίνηση πολυμέσων δεν μπορεί να υποβληθεί σε επεξεργασία στον κεντρικό διακομιστή. Κατά συνέπεια, τεχνολογίες όπως οι τοπικοί διακομιστές προσωρινής αποθήκευσης είναι απαραίτητοι για την παροχή δεδομένων από τοπικούς διακομιστές στο δίκτυο 5G. Ως τεχνικές προκλήσεις για ευφυείς υπηρεσίες 5G, συμπεριλαμβανομένων των κεντρικών υπολογιστών και των υπηρεσιών της περιοχής, το ενεργειακά αποδοτικό σύνολο χρηστών και η κατανομή ισχύος, οι σταθμοί βάσης συλλογής ενέργειας και οι τεχνολογίες fronthaul. Για την υποστήριξη

έξυπνων υπηρεσιών 5G, ιδίως υπηρεσιών με πολυσύχναστες περιοχές, δεν μπορούν να αποφευχθούν τα πυκνά δίκτυα μικρών κυψελών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο μικρός σταθμός βάσης κυψέλης (BS) μπορεί να είναι ένας κινούμενος BS, δηλαδή ένας κινητός BS και, στη συνέχεια, η ενεργειακή απόδοση μπορεί να είναι ένα πιο σημαντικό ζήτημα. Για να επιτευχθεί υψηλή ενεργειακή απόδοση, απαιτείται βελτιστοποίηση της σύνδεσης των χρηστών και της κατανομής ισχύος, καθώς και μια δυνατότητα συλλογής ενέργειας. Ο βέλτιστος διαχωρισμός και ο σχεδιασμός του fronthaul μπορεί να είναι ένα ζήτημα όσον αφορά το εύρος ζώνης και τον λανθάνοντα χρόνο του fronthaul.

❖ Το διαδίκτυο των πραγμάτων(IoT)

Το 5G εισάγει πολλές ετερογενείς συσκευές με διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με το 4G. Η εισαγωγή φορητών συσκευών και οικιακών συσκευών συνδεδεμένων στο δίκτυο που συχνά επικοινωνούν μεταξύ τους δημιουργεί μεγάλη ανταλλαγή πληροφοριών. Αυτές οι ανταλλαγές πληροφοριών δημιουργούν τεράστιο όγκο πληροφοριών σε διάφορες διαστάσεις που αποθηκεύονται σε συσκευές αποθήκευσης και επεξεργάζονται αργότερα χρησιμοποιώντας μεγάλες τεχνολογίες δεδομένων. Το IoT μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε έξυπνα προσωπικά δίκτυα, έξυπνα κτίρια και έξυπνες πόλεις, ανάλογα με την εφαρμογή και το μέγεθος του δικτύου του. Τα έξυπνα προσωπικά δίκτυα περιέχουν έξυπνα ρολόγια, έξυπνα γυαλιά, διάφορες συσκευές υγειονομικής περίθαλψης και συσκευές ανίχνευσης κίνησης. Ένα χαρακτηριστικό των έξυπνων υπηρεσιών προσωπικού δικτύου είναι η παρακολούθηση των προσωπικών συνθηκών υγείας και η πρόταση ασκήσεων ή φαρμάκων. Τα έξυπνα κτίρια περιέχουν διάφορους αισθητήρες, ελεγκτές φωτός και θερμοκρασίας, αποτελεσματικούς ελεγκτές ενέργειας και συστήματα πρόληψης του εγκλήματος. Σε έξυπνες πόλεις, μπορούν να αναπτυχθούν αποτελεσματικά συστήματα ελέγχου φωτεινού σηματοδότη χρησιμοποιώντας διάφορους τύπους αισθητήρων κυκλοφορίας. Αυτό τελικά θα βοηθήσει στον έξυπνο έλεγχο της κυκλοφορίας κατά την επικοινωνία με οχήματα και μονάδες δρόμου (RSUs). Το IoT είναι χρήσιμο στη δημιουργία αποτελεσματικής υποδομής πόλης χρησιμοποιώντας μεγάλες τεχνολογίες δεδομένων για την επεξεργασία πληροφοριών σχετικά με τη ροή της κυκλοφορίας. Στη συνέχεια, είναι δυνατόν να ενημερωθούν οι χρήστες για τη συνιστώμενη μεταφορά και την εκτιμώμενη ώρα άφιξης σύμφωνα με τις συνθήκες κυκλοφορίας. Ωστόσο, ένα δίκτυο με χαμηλό λανθάνοντα χρόνο είναι απαραίτητη προϋπόθεση ή ενδέχεται να προκύψουν σοβαρά προβλήματα ασφάλειας στην κυκλοφορία. Η μαζική αύξηση των συνδεδεμένων στο δίκτυο συσκευών θα εξαντλήσει σύντομα την Διεθνή Ταυτότητα Συνδρομητή Κινητών (IMSI) και το IPv4. Σε μελλοντικά σενάρια IoT, θα υπάρχει τεράστια ποσότητα συνδεδεμένων συσκευών σε σύγκριση με τα τρέχοντα σενάρια δικτύου 4G. Επομένως, οι τεχνολογίες 5G για μετάδοση και δίκτυα πρέπει να είναι σε θέση να διατηρούν πολλαπλές συνδέσεις δικτύου με πολλές συσκευές που χρησιμοποιούν περιορισμένους πόρους. Επί του παρόντος, εφαρμόζεται η πολιτική τιμολόγησης των υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας ανά τερματικό ή σύνδεση. Ο αριθμός των τερματικών αναμένεται να αυξηθεί εκθετικά, επομένως απαιτούνται νέα κριτήρια

χρέωσης. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει το IoT πως θα εισχωρήσει σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας μας:



Εικόνα 7: Το IoT σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας μας

❖ Drones

Τα Drones μπορούν να αναλάβουν διάφορα καθήκοντα και να φέρουν νέα αποδοτικότητα σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών και επιχειρήσεων. Τα αεροσκάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κάμερες πτήσης, για σκοπούς παράδοσης, για δημόσια ασφάλεια, για παρακολούθηση καταστροφών, για διαχείριση εγκαταστάσεων υποδομής, σε στρατιωτικούς και γεωργικούς τομείς κ.λπ. Με την υψηλή αξιοπιστία και τη χαμηλή καθυστέρηση του 5G, αυτές οι εργασίες μπορούν να διενεργείται από μια ομάδα μη επανδρωμένων οχημάτων (UAV) που επικοινωνούν και προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους μέσω εισαγωγής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και ανταλλαγής δεδομένων. Για στρατιωτικούς σκοπούς, τα αεροσκάφη μπορούν να συνεργαστούν με επανδρωμένα εναέρια οχήματα με ή δυνάμεις εδάφους για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της μάχης. Μπορεί επίσης να εξεταστεί το ενδεχόμενο δημιουργίας κινητών δικτύων παρακολούθησης που χρησιμοποιούν drone. Για την παρακολούθηση καταστροφών, την επιθεώρηση της κατάστασης των εγκαταστάσεων υποδομής και τη διάσωση ατόμων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, τα drone μπορούν να επικοινωνούν και να μοιράζονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μεταξύ τους, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα των αποστολών αναζήτησης και διάσωσης. Εκτός αυτού, τα drone μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στα ευφυή δίκτυα μεταφοράς. Τα αεροσκάφη μπορούν να παρακολουθούν και να παραδίδουν την κατάσταση μεταφοράς σε αστικές περιοχές ή αυτοκινητόδρομους μέσω δικτύων 5G. Επί του παρόντος, δεν υπάρχουν συγκεκριμένα πρότυπα για συνδέσμους επικοινωνίας για drone. Ως εκ τούτου, 900-MHz συστήματα χρησιμοποιούνται για αυτά ως εναλλακτική λύση, και 2,4 GHz ή 5

GHz Wi-Fi χρησιμοποιείται στην μετάδοση δεδομένων για βίντεο. Έτσι, υπάρχουν ορισμένα σοβαρά προβλήματα, όπως περιορισμοί στο εύρος επικοινωνίας, διασφάλιση αξιοπιστίας και καθυστέρηση δικτύου. Αν και ο όγκος των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των drones και τα δεδομένα σχετικά με την κατάσταση ελέγχου τους δεν είναι πολύ μεγάλα, ο χαμηλός λανθάνων χρόνος και η υψηλή αξιοπιστία τέτοιων δικτύων πρέπει να διασφαλιστούν με την τεχνολογία 5G. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες μετάδοσης και δικτύου 5G με υψηλή ενεργειακή απόδοση για τη βελτίωση του χρόνου λειτουργίας των drone. Ένα άλλο παράδειγμα υπηρεσιών drone με συνδεσιμότητα 5G είναι το Διαδίκτυο μέσω drone. Τα Drones θα βοηθήσουν στη διάδοση του Διαδικτύου σε περιοχές που δεν διαθέτουν αξιόπιστη συνδεσιμότητα. Τέτοια τεχνολογία δοκιμάζεται ήδη και η συνδεσιμότητα μέσω 5G θα την κάνει πιο αξιόπιστη.

❖ Παρακολούθηση καταστροφών

Πολλαπλοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση βουνών, θάλασσας και ραδιενεργών μολυσμένων χώρων, καθώς και για την ελαχιστοποίηση ζημιών σε καταστροφές, παρέχοντας γρήγορη ανταπόκριση μέσω της συνεργασίας με δίκτυα δημόσιας ασφάλειας. Οι αισθητήρες μπορούν επίσης να παρακολουθούν τις δασικές πυρκαγιές και τις αλλαγές του τοπίου ανιχνεύοντας θερμοκρασίες, δονήσεις, ταχύτητες ανέμου και κατεύθυνση ανέμου. Οι αισθητήρες ανίχνευσης ραδιενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση αλλαγών στον δείκτη ραδιενέργειας σε περιοχές που έχουν μολυνθεί από ραδιενέργεια. Είναι δυνατή η παρακολούθηση ραδιενεργών μολύνσεων σε πραγματικό χρόνο και η χρήση αυτών των πληροφοριών για υπηρεσίες ελέγχου πρόσβασης ή ειδοποίησης καταστροφών. Επιπλέον, οι αισθητήρες μπορούν να εγκατασταθούν σε εγκαταστάσεις υποδομής, όπως φράγματα, γέφυρες και ταχείες οδούς, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συντήρηση των εγκαταστάσεων μαζί με την παρακολούθηση του κινδύνου κατάρρευσης. Από τώρα, τέτοια δίκτυα παρακολούθησης χρησιμοποιούν υπάρχοντα πρότυπα επικοινωνίας, όπως Wi-Fi ή ZigBee. Ωστόσο, αυτά τα δίκτυα δεν είναι σε θέση να παρέχουν την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας (QoS) όσον αφορά την κάλυψη, την ενεργειακή απόδοση, την αξιοπιστία του δικτύου και την αποδοτικότητα κόστους. Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα 5G ενδέχεται να παίξουν ρόλο στα δίκτυα δημόσιας ασφάλειας χρησιμοποιώντας την υψηλότερη προτεραιότητα πρωτοκόλλου όταν συμβαίνει ένα συμβάν έκτακτης ανάγκης. Η ενοποίηση των δορυφόρων σε μελλοντικά δίκτυα 5G θα θεωρηθεί ουσιαστικό μέρος της επίγεια υποδομής για την παροχή στρατηγικών λύσεων για κρίσιμες και σωστικές υπηρεσίες. Οι δορυφόροι θα μπορούν να παρέχουν κρίσιμες και έκτακτες υπηρεσίες και να διατηρούν το δίκτυο ζωντανό σε περιπτώσεις καταστροφών. Όσον αφορά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των αισθητήρων, η ενεργειακή απόδοση είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του 5G. Τα δίκτυα παρακολούθησης καταστροφών απαιτούν ακραία επίπεδα αξιοπιστίας στις συνδέσεις τους στο δίκτυο. Ως εκ τούτου, η υπερ-ενεργειακή απόδοση και η υπερ-αξιοπιστία είναι υποχρεωτικά χαρακτηριστικά για δίκτυα

5G. Ταυτόχρονα, οι κύριες απαιτήσεις των δικτύων αισθητήρων, όπως η κάλυψη και η αποδοτικότητα κόστους, θα λαμβάνονται επίσης υπόψη στα δίκτυα 5G.

❖ Ιδιωτική ασφάλεια και δημόσια ασφάλεια

Σε καταστροφές, τα δίκτυα μπορούν να ανακατασκευαστούν το συντομότερο δυνατό με σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας και ασύρματα δίκτυα πυρήνα, καθώς πραγματοποιούνται δραστηριότητες πρώτων βοηθειών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα δίκτυα χωρίς υποδομές πρέπει να δημιουργούνται μόνο με κινητές συσκευές για την παροχή των ελάχιστων απαιτούμενων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Επιπλέον, οι συνδεδεμένες στο δίκτυο CCTV μπορούν να παρακολουθούν την ασφάλεια της πόλης. Οι χωρικοί περιορισμοί μπορούν να ξεπεραστούν χρησιμοποιώντας drone και μη επανδρωμένα ρομπότ σε περιπτώσεις όπου οι διασώστες δεν μπορούν να έχουν εύκολη πρόσβαση στην περιοχή καταστροφής. Αυτά τα ρομπότ θα μπορούν να ενημερώνουν σχετικά με την κατάσταση του πεδίου τους εργαζόμενους διάσωσης και το κέντρο διοίκησης και επίσης να σώζουν και να επαναφέρουν τον ιστότοπο από απόσταση. Επιπλέον, μια υπηρεσία ενημέρωσης σχετικά με τη θέση των ατόμων για διάσωση μπορεί να παρέχεται χρησιμοποιώντας μεταδόσεις ρελέ μεταξύ τερματικών με δυνατότητα δημόσιας ασφάλειας (ενεργοποιημένη με PS) ακόμη και χωρίς υποδομή δικτύου. Επιπλέον, το 5G μπορεί να παρέχει προηγμένους μηχανισμούς ασφαλείας. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του 5G για τη διευκόλυνση τέτοιων υπηρεσιών ασφαλείας είναι η ταξινόμηση των δεδομένων δημόσιας ασφάλειας σύμφωνα με την προτεραιότητα. Επιπλέον, οι υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας μπορεί να παρέχονται με τερματικά με δυνατότητα PS που μπορούν να μεταδίδουν το μήνυμα και να εκτελούν απευθείας επικοινωνία αναμετάδοσης μέσω των τερματικών τους. Για δίκτυα δημόσιας ασφάλειας ή «στρατιωτικά» δίκτυα, ενδέχεται να παρέχονται σχετικά χαρακτηριστικά με μεγαλύτερη ασφάλεια και αξιοπιστία. Η ενεργειακή απόδοση των τερματικών με δυνατότητα PS διασφαλίζεται για μεγαλύτερους χρόνους λειτουργίας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Επιπλέον, υπηρεσίες κρίσιμης σημασίας που απαιτούν πολύ υψηλή αξιοπιστία και παγκόσμια κάλυψη θα υποστηρίζονται από την υποδομή 5G.

❖ Υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης

Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, η ανταπόκριση στην κατάσταση έκτακτης ανάγκης μπορεί να βελτιωθεί παρέχοντας τα δεδομένα ενός ασθενούς σε ασθενοφόρο και παρέχοντας απομακρυσμένη ιατρική περίθαλψη. Αναλυτικά, όταν συμβαίνει ατύχημα σε απομακρυσμένο μέρος και απαιτούνται ενέργειες έκτακτης ανάγκης, ιατρική περίθαλψη μπορεί να παρέχεται μέσω ρομπότ πρώτων βοηθειών. Οι περιορισμοί των τρεχουσών τεχνολογιών για αυτούς τους τύπους υπηρεσιών περιλαμβάνουν την αξιοπιστία και την απαίτηση χαμηλού λανθάνοντος χρόνου. Η παράδοση ιατρικών δεδομένων που λαμβάνονται από καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και οι πληροφορίες για απομακρυσμένη ιατρική περίθαλψη και χειρουργική επέμβαση πρέπει να παρέχονται με το υψηλότερο

επίπεδο αξιοπιστίας και το χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο. Επιπλέον, πρέπει να αποστέλλονται βίντεο υψηλής ποιότητας σχετικά με την περιοχή έκτακτης ανάγκης και τα ιατρικά δεδομένα για τους ασθενείς με υψηλή ταχύτητα και ευρύτερη κάλυψη δικτύου. Ως εκ τούτου, το 5G θα είναι κατάλληλο για τέτοιου τύπου υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, με την εξαιρετικά αξιόπιστη ασύρματη μετάδοση.

2.5 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ 5G

Υπάρχουν βασικές προκλήσεις που καλούνται να επιλύσουν τα αναπτυσσόμενα δίκτυα 5G. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο πώς η τεχνολογία αυτή καλείται να αναπτύξει περισσότερο τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες αναβαθμίζοντας τες όσο το δυνατόν περισσότερο όπως το εύρος ζώνης, το IoT και το real time end to end.



Βελτίωση εύρους ζώνης δικτύου και ταχύτητας δεδομένων

Μια πρόκληση της τεχνολογίας αυτής είναι η δραματική αύξηση της κίνησης κατά την επόμενη δεκαετία, αφού τα δίκτυα 5G αναμένεται να επιτύχουν υψηλότερες αυξήσεις χωρητικότητας σε σύγκριση με τα δίκτυα 4G, με σημαντικά υψηλότερα ποσοστά δεδομένων. Αυτός ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί με πυκνή ανάπτυξη μικρών κυψελών, χρήση της ζώνης κύματος χιλιοστομέτρου, και M-MIMO και διαμόρφωση δέσμης. Απαιτείται πυκνή ανάπτυξη μικρών κυψελών για την εκφόρτωση των μακροκυττάρων και τη βελτίωση της ισχύος του σήματος. Τα μικρά κελιά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους και προσφέρουν μια απλή, οικονομικά αποδοτική λύση σε ζητήματα χωρητικότητας δικτύου που προκύπτουν από τη μαζική αύξηση της κίνησης από κινητά. Ένα πρόβλημα εδώ είναι η σημαντική αύξηση του ποσοστού μεταβίβασης. Η συνεχής μετακίνηση των χρηστών από μια μικρή περιοχή κάλυψης κυττάρων σε μια άλλη θα δημιουργήσει πάρα πολλές ή περιττές μεταβιβάσεις. Οι κινητοί σταθμοί πρέπει να μετακινούνται από και προς πολλά hotspots, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της αποτυχίας παράδοσης και «πτώση» κλήσεων. Αυτό το πρόβλημα θα είναι ανησυχητικό καθώς η ανάπτυξη μικρών κυττάρων γίνεται πιο πυκνή. Για να ελαχιστοποιηθεί το ποσοστό μεταβίβασης σε μελλοντικά ετερογενή δίκτυα 5G, μπορεί να χρησιμοποιηθεί διαχωρισμός ελέγχου / επιπέδου χρήστη (επίπεδο C / U). Βασικά, ο διαχωρισμός επιπέδου C / U επιτρέπει στα τερματικά κινητής τηλεφωνίας να λαμβάνουν πληροφορίες συστήματος, να εκδίδουν αιτήματα πρόσβασης σε σταθμό βάσης και να λαμβάνουν πόρους ραδιοσυχνότητας για μετάδοση δεδομένων υψηλού ρυθμού σε διαφορετικό σταθμό βάσης. Οι υπηρεσίες σηματοδότησης και δεδομένων μπορούν να παρέχονται από εξειδικευμένους σταθμούς βάσης ή να υλοποιούνται ως ξεχωριστές και ανεξάρτητες υπηρεσίες στον ίδιο φυσικό εξοπλισμό. Στην περίπτωση ετερογενών δικτύων, μια πιθανή προσέγγιση είναι να παρέχει ο σταθμός βάσης μακροεντολών την υπηρεσία σηματοδότησης για ολόκληρη την περιοχή σε αδειοδοτημένη ζώνη χαμηλής συχνότητας (παλαιού τύπου <3 GHz), ενώ τα μικρά κελιά κυματικού χιλιοστού (phantom cell) ειδικεύονται σε πόρους δεδομένων για μετάδοση υψηλού ρυθμού με εναέριο έλεγχο

φωτισμού και κατάλληλη διεπαφή αέρα. Αυτό θα μειώσει περαιτέρω τη σηματοδότηση ελέγχου λόγω των υψηλών μεταβιβάσεων μεταξύ μικρών κυττάρων και μακροκυττάρων ή μεταξύ μικρών κυττάρων. Η συντριπτική πλειονότητα των συστημάτων επικοινωνίας λειτουργούν ήδη στη ζώνη μικροκυμάτων (MW) κάτω των 3 GHz, λόγω των ευνοϊκών χαρακτηριστικών διάδοσης. Αυτό καθιστά τη ζώνη MW πολύ σπάνια. Το 5G μπορεί να αντιμετωπίσει τέτοια έλλειψη εύρους ζώνης ως εξής: Όταν απαιτείται μεγαλύτερη χωρητικότητα και συνδεσιμότητα δικτύου, απαιτείται επιπλέον φάσμα. Επιπλέον, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν βελτιώσει την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) χρησιμοποιώντας επιπλέον φάσμα (υψηλότερες συχνότητες και ευρύτερο εύρος ζώνης). Επομένως, το 5G πιθανότατα θα χρησιμοποιήσει επίσης υψηλότερο φάσμα, χρησιμοποιώντας τη ζώνη χιλιοστομετρικών κυμάτων λόγω του σημαντικού διαθέσιμου εύρους ζώνης. Επιπρόσθετο φάσμα για δίκτυα 5G είναι ζωτικής σημασίας για την ικανοποίηση των απαιτήσεων 5G. Ωστόσο, αυτή η προσθήκη θα καλύψει μόνο ένα μέρος της ανάγκης 5G. Ουσιαστικές ποσότητες φάσματος μπορούν να διατεθούν εάν η ζώνη κύματος χιλιοστών χρησιμοποιείται για να ικανοποιήσει όλες τις απαιτήσεις του 5G. Όμως, πολλές ζώνες εντός της ζώνης των χιλιοστομετρικών κυμάτων φαίνονται πολλά υποσχόμενες και μπορεί να είναι υποψήφιας για μελλοντικά κινητά συστήματα 5G, συμπεριλαμβανομένης της ζώνης τοπικής υπηρεσίας διανομής πολλαπλών σημείων (LMDS) από 28-30 GHz, η άδεια-ελεύθερη ζώνη στα 60 GHz και 12,9 GHz που βρίσκονται από 71–76 GHz, 81–86 GHz και 92–95 GHz στη ζώνη E. Έτσι, τα συστήματα 5G αναμένεται να χρησιμοποιούν ζώνες κύματος χιλιοστών από 20–90 GHz, λόγω της διαθεσιμότητας ενός μεγάλου τμήματος αχρησιμοποίητου εύρους ζώνης. Αυτό το βήμα είναι επαναστατικό επειδή τα κύματα χιλιοστών έχουν πολύ διαφορετικές συνθήκες διάδοσης, ατμοσφαιρική απορρόφηση και περιορισμούς υλικού σε σύγκριση με το MW. Αυτές οι προκλήσεις θα μπορούσαν να αντισταθμιστούν για τη χρήση διαμόρφωσης δέσμης και μια μεγαλύτερη σειρά κεραιών. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η ζώνη κύματος χιλιοστομέτρου πρέπει να χρησιμοποιείται με περιορισμένη ακτίνα κυψέλης (<100 m) για την ελαχιστοποίηση της απώλειας μεγάλης διαδρομής.

Άλλη μια πρόκληση της τεχνολογίας 5G που καλείται να επιλύσει είναι η μεγάλη συνδεσιμότητα πολλών συσκευών μαζί και το IoT. Μακροπρόθεσμα, αναμένεται ότι όλες οι συσκευές που επωφελούνται από τη συνδεσιμότητα δικτύου τελικά θα συνδεθούν και ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών θα υπερβεί τον αριθμό των ανθρώπινων συσκευών. Με την αυξημένη διαθεσιμότητα κινητής ευρυζωνικότητας, η συνδεσιμότητα έχει γίνει ένα ρεαλιστικό ζήτημα για την επικοινωνία M2M. Ωστόσο, η μαζική αύξηση της κυκλοφορίας που αναμένεται από την επικοινωνία τύπου μηχανήματος ως αποτέλεσμα δισεκατομμυρίων συνδεδεμένων συσκευών θα προκαλέσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση του δικτύου. Έτσι, απαιτούνται αρκετές τάξεις αύξησης μεγέθους στη συνδεσιμότητα δικτύου και χωρητικότητα, οι οποίες μπορούν να καλυφθούν με πυκνότητα δικτύου, πυκνή ανάπτυξη μικρών κυψελών και M-MIMO. Η μετακίνηση της πρόσβασης δεδομένων στο cloud θα διαδραματίσει επίσης σημαντικό ρόλο στο 5G, έτσι ώστε η πρόσβαση στο δίκτυο να γίνεται από οπουδήποτε. Η εικονικοποίηση λειτουργίας δικτύου (NFV) μπορεί να κάνει λειτουργίες με προβλήματα συμβατότητας υλικού που εκτελούνται σε υποδομή υπολογιστικού νέφους. Έτσι, θα υπάρξει μεγαλύτερη χρήση της

υποδομής δικτύου από ό, τι στο τρέχον δίκτυο. Επιπλέον, το CoMP μπορεί να μετατρέψει τις παρεμβολές σε χρήσιμα σήματα.

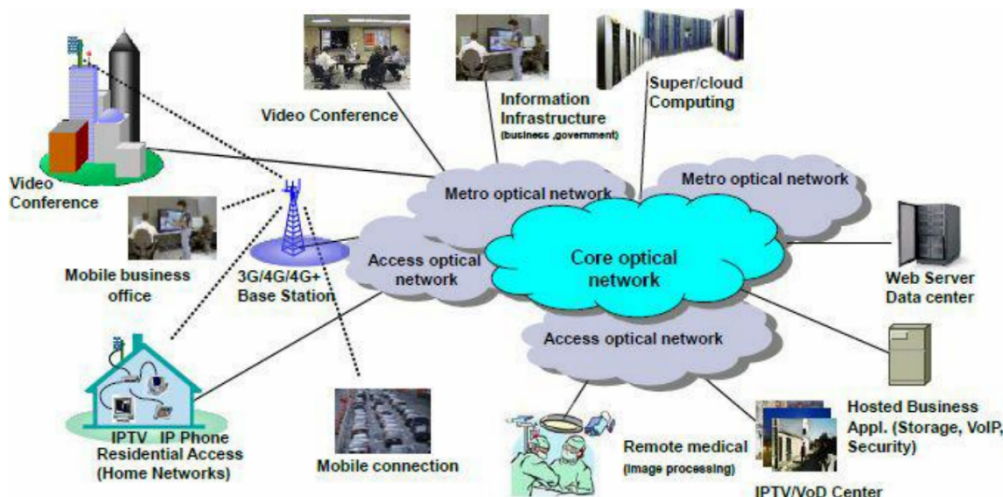
Μια ακόμα τελευταία ίσως πρόκληση που καλείται να αντιμετωπίσει το 5G δίκτυο είναι η end-to-end καθυστέρηση. Η καθυστέρηση είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένα σήμα για την ολοκλήρωση μιας μεμονωμένης, πλήρους συναλλαγής. Εκτός από την επίτευξη υψηλών ποσοστών δεδομένων, η μείωση του λανθάνοντος χρόνου καθίσταται ζωτικής σημασίας για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η τρέχουσα καθυστέρηση 4G είναι περίπου 15 ms με βάση το υποπλαίσιο 1-ms. Αυτός ο λανθάνων χρόνος θεωρείται ιδανικός για τρέχουσες εφαρμογές. Ωστόσο, το 5G θα εισαγάγει τεχνολογίες από το Διαδίκτυο, αμφίδρομο παιχνίδι σε πραγματικό χρόνο, εφαρμογές που βασίζονται σε σύννεφο και επαυξημένη πραγματικότητα που δεν μπορούν να υποστηριχθούν σε τρέχουσες καθυστερήσεις. Επομένως, το 5G πρέπει να υποστηρίζει λανθάνοντα χρόνο μικρότερο από 1 ms, κάτι που θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στις επιλογές σχεδίασης σε όλα τα επίπεδα. Ένας από τους τρόπους για τη μείωση του λανθάνοντος χρόνου είναι μέσω πυκνών μικρών κυττάρων και επικοινωνιών D2D, ως εξής: εάν δύο συσκευές βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, οι επικοινωνίες τους μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω επικοινωνίας D2D χωρίς να καταναλώνουν πόρους δικτύου. Το D2D μπορεί να χειριστεί αποτελεσματικά την τοπική κυκλοφορία. Είναι μια σημαντική επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Το D2D υπάρχει ήδη ως τεχνολογία 4G και η υιοθέτησή του εξαρτάται από τη σημασία του για εφαρμογές ασφάλειας και καταστροφών και εφαρμογές χαμηλού λανθάνοντος χρόνου. Σε αυτόν τον τομέα, οι προκλήσεις είναι η αποτελεσματική ανίχνευση εγγύτητας, ενσωμάτωση δικτύου και εγγενής υποστήριξη σε μελλοντικά δίκτυα 5G.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Η βασική λειτουργία ενός δικτύου είναι αρκετά απλή, επιτρέποντας την επικοινωνία μεταξύ των επιθυμητών τελικών σημείων, οι υποκείμενες ιδιότητες ενός δικτύου μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την αξία του. Η χωρητικότητα του δικτύου, η αξιοπιστία, το κόστος, η επεκτασιμότητα και η λειτουργική απλότητα είναι μερικά από τα βασικά σημεία αξιολόγησης στα οποία αξιολογείται ένα δίκτυο. Οι σχεδιαστές δικτύων αντιμετωπίζουν συχνά ανταλλαγές μεταξύ αυτών των παραγόντων και αναζητούν συνεχώς τεχνολογικές εξελίξεις που έχουν τη δύναμη να βελτιώσουν τη δικτύωση σε πολλά μέτωπα. Με τα χρόνια η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών άρχισε να μεταναστεύει μεγάλο μέρος του φυσικού επιπέδου των δικτύων μεταξύ πόλεων σε καλώδια οπτικών ινών. Οι οπτικές ίνες είναι ένα ελαφρύ καλώδιο που παρέχει μετάδοση χαμηλής απώλειας, αλλά σαφώς το σημαντικότερο πλεονέκτημά του είναι η τεράστια δυναμική του ικανότητα δικτύωσης. Όχι μόνο οι οπτικές ίνες άνοιξαν τις δυνατότητες για μετάδοση, αλλά δημιούργησαν επίσης οπτικά δίκτυα και το πεδίο της οπτικής δικτύωσης. Ένα οπτικό δίκτυο αποτελείται από καλώδια οπτικών ινών που μεταφέρουν κανάλια φωτός, σε

συνδυασμό με τον εξοπλισμό που αναπτύσσεται κατά μήκος της ίνας για την επεξεργασία του φωτός. Οι δυνατότητες ενός οπτικού δικτύου συνδέονται απαραίτητα με τη φυσική του φωτός και τις τεχνολογίες χειρισμού φωτεινών ροών. Ως εκ τούτου, η εξέλιξη των οπτικών δικτύων χαρακτηρίστηκε με σημαντικές μεταβολές παραδείγματος καθώς αναπτύσσονται πρωτοποριακές συναρπαστικές τεχνολογίες. Μία από τις πρώτες τεχνολογικές εξελίξεις ήταν η ικανότητα μεταφοράς πολλαπλών καναλιών φωτός σε ένα μόνο καλώδιο οπτικών ινών. Κάθε ροή φωτός ή μήκος κύματος μεταφέρεται σε διαφορετική οπτική συχνότητα και πολυπλέκεται (δηλαδή, συνδυάζεται) σε μία μόνο ίνα, δημιουργώντας πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM). Τα παλαιότερα συστήματα WDM υποστήριξαν λιγότερα από δέκα μήκη κύματος σε μία μόνο ίνα. Ο αριθμός έχει αυξηθεί γρήγορα σε πάνω από εκατό μήκη κύματος ανά ίνα, παρέχοντας μια τεράστια αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Ένας βασικός παράγοντας των οικονομικά αποδοτικών συστημάτων WDM ήταν η ανάπτυξη του Erbium Doped (ενισχυτής ίνας (ED (A))). Πριν από την ανάπτυξη του ED (As, κάθε μήκος κύματος στην ίνα έπρεπε να αναγεννηθεί μεμονωμένα σε περίπου 40- διαστήματα km, χρησιμοποιώντας δαπανηρό ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Το ED οπτικά ενισχύει όλα τα μήκη κύματος σε μια ίνα ταυτόχρονα, επιτρέποντας τη μετάδοση οπτικών σημάτων της τάξης των 500 km πριν από την ανάγκη αναγέννησης. Μια πιο λεπτή καινοτομία ήταν η μετάβαση από μια αρχιτεκτονική όπου το οπτικό δίκτυο χρησίμευε απλώς ως μια συλλογή στατικών σωλήνων σε έναν όπου θεωρήθηκε ως ένα άλλο επίπεδο δικτύωσης. Σε αυτό το πρότυπο οπτικής δικτύωσης, λειτουργίες δικτύου όπως η δρομολόγηση και η προστασία υποστηρίζονται με την ευκρίνεια ενός μήκους κύματος, η οποία μπορεί να είναι λειτουργικά πολύ πλεονεκτική. Ένα μόνο μήκος κύματος μπορεί να μεταφέρει εκατοντάδες κυκλώματα. Εάν παρουσιαστεί βλάβη σε ένα καλώδιο ινών, η επαναφορά της υπηρεσίας με την επεξεργασία μεμονωμένων μηκών κύματος είναι λειτουργικά απλούστερη από την εκτροπή κάθε κυκλώματος ξεχωριστά. Τα οφέλη της κλίμακας που παρέχεται από την οπτική δικτύωση έχουν επιταχυνθεί περαιτέρω από την αυξανόμενη ικανότητα ενός μόνο μήκους κύματος. Ο αυξημένος ρυθμός μήκους κύματος σε συνδυασμό με μεγαλύτερο αριθμό μήκους κύματος ανά ίνα έχει επεκτείνει τη χωρητικότητα των οπτικών δικτύων κατά αρκετές παραγγελίες μεγέθους. Ωστόσο, η χωρητικότητα μετάδοσης είναι ένας μόνο σημαντικός παράγοντας. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το περιεχόμενο κάθε μήκους κύματος έχει υποστεί ηλεκτρονική επεξεργασία σε πολλά σημεία του δικτύου. Καθώς τα δίκτυα εξερράγησαν σε μέγεθος, αυτό απαιτούσε τη χρήση τεράστιου όγκου ηλεκτρονικού εξοπλισμού τερματισμού και εναλλαγής, ο οποίος παρουσίαζε προκλήσεις στο κόστος, την κατανάλωση ενέργειας, την απαγωγή θερμότητας, τον φυσικό χώρο και τη συντήρηση. Τα οπτικά δίκτυα στην καθημερινότητα μας παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 8: Τα οπτικά δίκτυα στην καθημερινότητα μας

3.1. ΕΙΔΗ - ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Υπάρχουν πολλά είδη δικτύων επικοινωνίας και περιλαμβάνονται στα δίκτυα τοπικής περιοχής περιορισμένης εμβέλειας (LAN) ή δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN), τα οποία διασχίζουν μητροπολιτικές και περιφερειακές περιοχές καθώς και εθνικά, διεθνή και υπερωκεάνια δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Είναι μια μορφή οπτικής επικοινωνίας που βασίζεται σε οπτικούς ενισχυτές, λέιζερ ή LED και πολυπλεξία διαίρεσης κυμάτων (WDM) για τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, γενικά μέσω καλωδίων οπτικών ινών. Επειδή είναι ικανό να επιτύχει εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης, είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει στα δίκτυα Διαδικτύου και τηλεπικοινωνιών να μεταδίδουν τη συντριπτική πλειοψηφία όλων των πληροφοριών ανθρώπου και μηχανής σε μηχανή. Ταξινομούνται δε σε δίκτυα οπτικών ινών και οπτικά δίκτυα ελεύθερου χώρου. Τα πιο κοινά δίκτυα οπτικών ινών είναι δίκτυα επικοινωνίας, δίκτυα πλέγματος ή δίκτυα δακτυλίου που χρησιμοποιούνται συνήθως σε μητροπολιτικά, περιφερειακά, εθνικά και διεθνή συστήματα. Μια άλλη παραλλαγή των δικτύων οπτικών ινών είναι το παθητικό οπτικό δίκτυο, το οποίο χρησιμοποιεί μη τροφοδοτημένους οπτικούς διαχωριστές για τη σύνδεση μιας ίνας σε πολλές εγκαταστάσεις για εφαρμογές τελευταίου μιλίου. Τα οπτικά δίκτυα ελεύθερου χώρου χρησιμοποιούν πολλές από τις ίδιες αρχές με ένα δίκτυο οπτικών ινών αλλά μεταδίδουν τα σήματά τους σε ανοιχτό χώρο χωρίς τη χρήση ινών. Αρκετοί προγραμματισμένοι δορυφορικοί αστερισμοί, όπως το Starlink του SpaceX που προορίζονται για παγκόσμια παροχή διαδικτύου, θα χρησιμοποιούν ασύρματη επικοινωνία λέιζερ για τη δημιουργία δικτύων οπτικών ματιών μεταξύ δορυφόρων στο διάστημα. Τα αερομεταφερόμενα οπτικά δίκτυα μεταξύ πλατφορμών μεγάλου υψομέτρου σχεδιάζονται ως μέρος του Project Loon της Google και του Facebook Aquila με την ίδια τεχνολογία. Τα οπτικά δίκτυα ελεύθερου χώρου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία προσωρινών επίγειων δικτύων π.χ. για σύνδεση LAN

σε πανεπιστημιούπολη. Τα στοιχεία ενός συστήματος δικτύωσης οπτικών ινών περιλαμβάνουν:

- Ινα. Multi-mode ή single-mode
- Πηγή φωτός λέιζερ ή LED
- Multiplexer / demultiplexer, που ονομάζεται επίσης mux / demux, φίλτρο ή πρίσμα. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν το Optical Add / Drop Multiplexer (OADM) και το Reconfigurable Optical Add / Drop Multiplexer (ROADM)
- Οπτικός διακόπτης, για να κατευθύνει το φως μεταξύ των θυρών χωρίς οπτική-ηλεκτρική-οπτική μετατροπή
- Οπτικός διαχωριστής, για αποστολή σήματος σε διαφορετικές διαδρομές ινών
- Κυκλοφορητής, για σύνδεση σε άλλα εξαρτήματα, όπως ένα OADM
- Οπτικός ενισχυτής
- Πολυπλέκτης διαίρεσης κυμάτων

Κατά την ίδρυσή του, το δίκτυο τηλεπικοινωνιών βασίστηκε στο χαλκό για να μεταφέρει πληροφορίες. Αλλά το εύρος ζώνης του χαλκού περιορίζεται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του - καθώς η συχνότητα του σήματος αυξάνεται για τη μεταφορά περισσότερων δεδομένων, περισσότερη ενέργεια του σήματος χάνεται ως θερμότητα. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά σήματα μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους όταν τα καλώδια απέχουν πολύ, ένα πρόβλημα γνωστό ως crosstalk. Η χωρητικότητα των δικτύων οπτικών ινών έχει αυξηθεί εν μέρει λόγω βελτιώσεων σε εξαρτήματα, όπως οπτικοί ενισχυτές και οπτικά φίλτρα που μπορούν να διαχωρίσουν τα κύματα φωτός σε συχνότητες με διαφορά κάτω των 50 GHz, τοποθετώντας περισσότερα κανάλια σε μια ίνα. Ένα λέιζερ αντλίας διεγείρει τα άτομα, τα οποία εκπέμπουν φως, ενισχύοντας έτσι το οπτικό σήμα. Καθώς προχώρησε η μετατόπιση του σχεδιασμού δικτύου, προέκυψε ένα ευρύ φάσμα ενισχυτών, επειδή τα περισσότερα οπτικά συστήματα επικοινωνίας χρησιμοποίησαν ενισχυτές οπτικών ινών. Οι ενισχυτές με πρόσμιξη Erbium ήταν τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μέσα για την υποστήριξη συστημάτων πολυπλεξίας διαίρεσης πυκνού μήκους κύματος. Στην πραγματικότητα, τα EDFA ήταν τόσο διαδεδομένα που, καθώς το WDM έγινε η τεχνολογία επιλογής στα οπτικά δίκτυα, ο ενισχυτής erbium έγινε «ο οπτικός ενισχυτής επιλογής για εφαρμογές WDM». Σήμερα, τα EDFA και οι υβριδικοί οπτικοί ενισχυτές θεωρούνται τα πιο σημαντικά συστατικά των συστημάτων και δικτύων πολυπλεξίας διαίρεσης κυμάτων. Χρησιμοποιώντας οπτικούς ενισχυτές, η ικανότητα των ινών να μεταφέρουν πληροφορίες αυξήθηκε δραματικά με την εισαγωγή της πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος (WDM). Το μέγιστο μήκος κύματος κάθε δέσμης απέχει αρκετά μακριά ώστε οι ακτίνες να διακρίνονται μεταξύ τους, δημιουργώντας πολλαπλά κανάλια μέσα σε μία μόνο ίνα και τα πρώτα συστήματα WDM είχαν μόνο δύο ή τέσσερα κανάλια. Οι ενισχυτές με νάρκωση από το erbium από τους οποίους εξαρτώνται, ωστόσο, δεν ενισχύουν τα σήματα ομοιόμορφα σε όλη την περιοχή φασματικής απόκτησης. Κατά την αναγέννηση σήματος, μικρές αποκλίσεις σε διάφορες συχνότητες εισήγαγαν ένα απαράδεκτο επίπεδο θορύβου, καθιστώντας το WDM με περισσότερα από 4 κανάλια ανέφικτο για επικοινωνίες ινών υψηλής χωρητικότητας. Για την αντιμετώπιση αυτού του

περιορισμού αναπτύχθηκαν κάποια στοιχεία για την αύξηση του εύρους ζώνης ινών με πολύ περισσότερα κανάλια. Η πυκνότητα των φωτεινών διαδρομών από το WDM ήταν το κλειδί για τη μαζική επέκταση της χωρητικότητας οπτικών ινών που επέτρεψε την ανάπτυξη του Διαδικτύου. Έπειτα, ο αριθμός καναλιών και η χωρητικότητα των πυκνών συστημάτων WDM έχει αυξηθεί σημαντικά, με εμπορικά συστήματα ικανά να μεταδίδουν κοντά σε 1 Tbit / s κυκλοφορίας στα 100 Gbit / s σε κάθε μήκος κύματος. Αναπτύχθηκε ένα ζωντανό σύστημα που επιτρέπει τη μετάδοση 30,4 Tbit / s ανά ζεύγος ινών σε φάσμα 61,5 GHz, ίση με 1,2 εκατομμύρια βίντεο 4K HD HD ταυτόχρονα που έχει ως αποτέλεσμα την μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων, το WDM έχει γίνει η κοινή βάση σχεδόν κάθε παγκόσμιου δικτύου επικοινωνιών και ως εκ τούτου, ένα θεμέλιο του Διαδικτύου σήμερα. Η ζήτηση για εύρος ζώνης οφείλεται κυρίως στην κίνηση του πρωτοκόλλου διαδικτύου (IP) από υπηρεσίες βίντεο, τηλεϊατρική, κοινωνική δικτύωση, χρήση κινητού τηλεφώνου και υπολογιστές που βασίζονται σε cloud. Ταυτόχρονα, η κίνηση από μηχανή σε μηχανή, η IoT και η επιστημονική κοινότητα απαιτούν υποστήριξη για την ευρεία ανταλλαγή αρχείων δεδομένων.

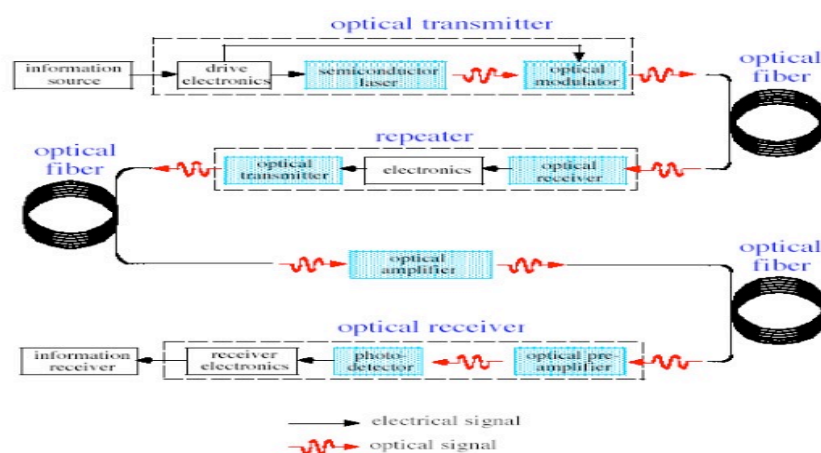
3.2 ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Οπτική επικοινωνία είναι οποιοσδήποτε τύπος επικοινωνίας στην οποία το φως χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του σήματος στο απομακρυσμένο άκρο, αντί του ηλεκτρικού ρεύματος. Η οπτική επικοινωνία βασίζεται σε οπτικές ίνες για τη μεταφορά σημάτων στους προορισμούς τους. Ένας διαμορφωτής / αποδιαμορφωτής, ένας πομπός / δέκτης, ένα φωτεινό σήμα και ένα διαφανές κανάλι είναι τα δομικά στοιχεία του συστήματος οπτικών επικοινωνιών. Λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων του έναντι της ηλεκτρικής μετάδοσης, οι οπτικές ίνες έχουν αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τις επικοινωνίες καλωδίων χαλκού σε δίκτυα πυρήνα στον ανεπτυγμένο κόσμο. Τα οπτικά συστήματα επικοινωνίας εξελίσσονται για να φιλοξενήσουν το μεγαλύτερο περιεχόμενο πληροφοριών που πρέπει να μεταδοθεί μέσω δικτύων point-to-point ή meshed. Τα συστήματα οπτικών επικοινωνιών έχουν αναπτυχθεί εκρηκτικά όσον αφορά την ικανότητα που μπορεί να μεταδοθεί μέσω μίας μόνο οπτικής ίνας. Αυτή η τάση τροφοδοτήθηκε από δύο συμπληρωματικές τεχνικές, εκείνες που είναι η αύξηση του ρυθμού δεδομένων ανά κανάλι σε συνδυασμό με την αύξηση του συνολικού αριθμού καναλιών παράλληλου μήκους κύματος. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές εκτιμήσεις ως προς τον συνολικό αριθμό καναλιών διαίρεσης μήκους κύματος-πολυπλεξίας (WDM) που μπορούν να προσαρμοστούν σε ένα σύστημα, συμπεριλαμβανομένων του κόστους, της φασματικής απόδοσης πληροφοριών, των μη γραμμικών εφέ και της επιλεκτικότητας του μήκους κύματος των συστατικών. Ωστόσο, η ευελιξία των σημερινών δικτύων εξακολουθεί να είναι περιορισμένη - νέα κυκλώματα προστίθενται με την πάροδο του χρόνου, αλλά μόλις προβλεφθούν, τα κυκλώματα είναι ουσιαστικά μόνιμα. Οι πόροι όπως οι αναμεταδότες και οι αναγεννητές που έχουν αναπτυχθεί είναι αφιερωμένοι σε ένα συγκεκριμένο κύκλωμα και δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε νέες απαιτήσεις κυκλοφορίας χωρίς χειροκίνητη αντικατάσταση των αλυσίδων. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα ενός πραγματικά δυναμικού φωτονικού δικτύου είναι η αποτελεσματική κοινή χρήση

αυτών των σπάνιων πόρων. Αυτό απαιτεί ένα σχεδιασμό κόμβου που μπορεί να διαμορφωθεί εκ νέου από τη μεταφορά DWDM, μέσω των αναμεταδοτών, μέχρι τις συνδέσεις πελατών - μια υποδομή που εκτείνεται πολύ πέρα από το ίδιο το ROADM. Όχι μόνο το φυσικό υλικό θα πρέπει να περιλαμβάνει πρόσθετες δυνατότητες, αλλά θα πρέπει να αναπτυχθούν νέα συστήματα διαχείρισης, τρόποι λειτουργίας και εφαρμογές. Τα ROADM ελαχιστοποιούν τον αριθμό των οπτικοηλεκτρονικών αναγεννητών που απαιτούνται σε ένα δίκτυο, χωρίς να απαιτούνται ειδικά ζεύγη ινών μεταξύ κάθε ζεύγους τερματικών. Επίσης, μειώνουν τα λειτουργικά έξοδα και τον κίνδυνο αστοχίας που σχετίζονται με τη χειροκίνητη ρύθμιση των ενδιάμεσων κόμβων. Επειδή τα ROADM είναι (εξ ορισμού) αναδιαμορφώσιμα, κάθε μήκος κύματος μπορεί να ακολουθήσει μια εξατομικευμένη διαδρομή, επιτρέποντας στα δίκτυα να αναπτυχθούν αποτελεσματικά χωρίς τέλεια γνώση των μελλοντικών απαιτήσεων κίνησης. Αυτή η βελτίωση της απόδοσης οδήγησε σε μεγάλη ανάπτυξη ROADM σε οπτικά δίκτυα μετρό, περιφερειακά και μεγάλων αποστάσεων. Τα οπτικά συστήματα επικοινωνίας αποτελούνται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- **Πομπός:** Μετατρέπει και μεταδίδει ένα ηλεκτρονικό σήμα σε ένα φωτεινό σήμα. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι πομποί είναι συσκευές ημιαγωγών, όπως δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) και δίοδοι λέιζερ.
- **Δέκτης:** Συνήθως αποτελείται από έναν ανιχνευτή φωτογραφιών, ο οποίος μετατρέπει το φως σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας το φωτοηλεκτρικό εφέ. Ο ανιχνευτής φωτογραφιών είναι συνήθως μια φωτοδίοδος που βασίζεται σε ημιαγωγούς.
- **Optical Fiber:** Αποτελείται από έναν πυρήνα, επένδυση και ένα buffer μέσω του οποίου η επένδυση καθοδηγεί το φως κατά μήκος του πυρήνα χρησιμοποιώντας ολική εσωτερική ανάκλαση.

Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματικά ένα οπτικό σύστημα επικοινωνίας με τους πομπούς, τους δέκτες και την οπτική ίνα:



Εικόνα 9: Σχήμα των Οπτικών Συστημάτων Επικοινωνίας

3.3 ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ

Η παρακολούθηση της επίδοσης αποτελεί ζωτικό μέρος των συστημάτων ψηφιακής επικοινωνίας. Είναι απαραίτητο να εντοπίζονται και να αποτρέπονται σφάλματα για να διατηρούνται οι συμφωνίες χρόνου λειτουργίας και ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Για την επαλήθευση και διασφάλιση της τήρησης των εγγυημένων ορίων, απαιτείται ακριβής παρακολούθηση της επίδοσης καθώς και προστασία του δικτύου. Οι τρέχοντες χρόνοι αποκατάστασης SDH / SONET1 καθορίζονται εντός ενός ορίου 50 ms για να διασφαλιστεί μια αδιάκοπη υπηρεσία. Η παρακολούθηση απόδοσης ορίζεται εδώ ως η γενική απόδοση του σήματος, η οποία μπορεί να είναι είτε ηλεκτρική είτε οπτική, ενώ η παρακολούθηση της οπτικής απόδοσης περιορίζεται στην παρακολούθηση απόδοσης οπτικών σημάτων. Η οπτική παρακολούθηση της απόδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση του οπτικού σήματος σε όρους μήκους κύματος, διασποράς και OSNR και επίσης παρακολούθησης σφαλμάτων bit. Η παρακολούθηση της οπτικής απόδοσης μπορεί να χωριστεί σε κατηγορίες παρακολούθησης παραμέτρων οπτικού σήματος όπως μήκος κύματος, PMD, διασπορά και παρακολούθηση OSNR και παρακολούθηση ποιότητας οπτικού σήματος, η οποία καλύπτει κυρίως την παρακολούθηση σφαλμάτων bit και την παρακολούθηση της τιμής Q, δηλαδή μεθόδους για άμεση εκτίμηση ποιότητας σήματος. Αυτό δεν συνεπάγεται αναγέννηση οπτικών-ηλεκτρικών-οπτικών (O-E-O). Η παρακολούθηση της οπτικής απόδοσης αναφέρεται συγκεκριμένα στη μη ενοχλητική παρακολούθηση της απόδοσης των οπτικών σημάτων σε όλα τα οπτικά δίκτυα. Μπορεί να περιλαμβάνει ηλεκτρική μετατροπή ενός σήματος παρακολούθησης που έχει κτυπηθεί, αλλά το κύριο σήμα μεταφοράς δεδομένων πρέπει να παραμείνει στην οπτική περιοχή. Η παρακολούθηση της απόδοσης στα δίκτυα επικοινωνίας μπορεί και πρέπει να γίνει σε πολλά επίπεδα του δικτύου. Πηγαινόντας από το φυσικό στρώμα στο επίπεδο μετάδοσης και πιο πάνω, κάθε στρώμα φέρει ένα μέρος της ευθύνης να διασφαλίσει την ακεραιότητα των δεδομένων. Η παρακολούθηση στο φυσικό στρώμα, το οποίο μπορεί να είναι το οπτικό κανάλι σε μια ίνα, περιλαμβάνει παρακολούθηση του μήκους κύματος, της μετατόπισης μήκους κύματος, της ισχύος του καναλιού και της συνολικής ισχύος WDM για να αναφέρουμε τις πιο σημαντικές παραμέτρους λαμβάνοντας υπόψη τα σημερινά δίκτυα οπτικών επικοινωνιών. Αυτές οι παράμετροι είναι φυσικής φύσης και δεν θα δώσουν καμία ένδειξη της ποιότητας του σήματος εκτός από τις ενδείξεις απώλειας σήματος (LOS). Η παρακολούθηση της απόδοσης στο φυσικό στρώμα κυριαρχείται συνήθως από την παρακολούθηση παραμέτρων οπτικού σήματος. Η παρακολούθηση της απόδοσης στο επίπεδο μεταφοράς σήμερα διαχειρίζεται συνήθως από SDH ή SONET και είναι το τρέχον χαμηλότερο επίπεδο όπου γίνεται παρακολούθηση της ποιότητας σήματος και, στην περίπτωση αυτή, μέσω αξιολόγησης σφάλματος bit. Τα υψηλότερα επίπεδα, όπως τα στρώματα μεταγωγής και δρομολόγησης, μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν δυνατότητες παρακολούθησης της απόδοσης. Για παράδειγμα, η ασύγχρονη λειτουργία μεταφοράς (ATM) μπορεί να κάνει διαφοροποίηση κατηγοριών υπηρεσιών (CoS) και ποιότητας υπηρεσίας (QoS) με βάση τις απαιτήσεις στην αναλογία απώλειας πακέτου και την απόδοση καθυστέρησης. Τα SDH και SONET υπάρχουν εδώ και αρκετά χρόνια και σήμερα είναι η πιο προτιμώμενη τεχνολογία επιπέδων μετάδοσης. Οι τεχνολογίες υλοποιήθηκαν για διάδοχο της τεχνολογίας ψηφιακής ιεραρχίας (PDH). Η

επιθυμία για καλύτερη διαλειτουργικότητα, αποτελεσματικότερη χρήση χωρητικότητας και πολλοί άλλοι λόγοι οδήγησαν στην ανάπτυξη μιας νέας τεχνολογίας. Τα SDH / SONET διαθέτουν πολλά πλεονεκτήματα, μερικά από τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

- Τα SDH και SONET είναι διεθνή πρότυπα που επιτρέπουν σε εξοπλισμό από διαφορετικούς προμηθευτές να επικοινωνούν μεταξύ τους και, ως εκ τούτου, να αντικαθιστούν τον εξοπλισμό που έχει μόνο σκοπό διασύνδεσης.
- Τα σύγχρονα δίκτυα δε σημαίνουν bit-stuffing, γεγονός που καθιστά την πολυπλεξία και την αποπολυπλεξία πιο αποτελεσματική και απλή και έτσι μειώνει το κόστος εξοπλισμού
- Το SONET / SDH περιλαμβάνει ισχυρές λειτουργίες διαχείρισης δικτύου και επιπλέον μέσα για παρακολούθηση απόδοσης σήματος καθώς και γρήγορη και αποτελεσματική εναλλαγή προστασίας. Η PDH δεν επέτρεψε τη δομική συμπερίληψη των δυνατοτήτων παρακολούθησης της απόδοσης.

Αν και η SDH / SONET διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα, είναι δαπανηρή όσον αφορά τον εξοπλισμό. Απαιτεί σημαντική επιβάρυνση για την υποστήριξη όλων των λειτουργιών και καθώς το overhead καταναλώνει εύρος ζώνης, λιγότερο διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο για ωφέλιμο φορτίο. Επιπλέον, το SDH / SONET είναι μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε για την τηλεφωνία και, ως εκ τούτου, δεν έχει βελτιστοποιηθεί για το αυξανόμενο ποσοστό της κίνησης δεδομένων που φαίνεται σήμερα.

3.4 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Στην πραγματικότητα, υπάρχουν προκλήσεις που παραμένουν με το σενάριο εφαρμογής και τις απαιτήσεις ενός συγκεκριμένου δικτύου σε διαφορετικές πτυχές του δικτύου. Μερικές προκλήσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

- *Απόδοση*

Η απόδοση του δικτύου Wi-Fi βασίζεται στον σχεδιασμό κόμβων πύλης (ONUs) που είναι πολύ σημαντικός στην ενσωμάτωση του Wi-Fi. Η κατανομή εύρους ζώνης, η δρομολόγηση και ο προγραμματισμός συνδέσμων είναι επίσης σημαντικές λειτουργίες στο σχεδιασμό του δικτύου. Ο προγραμματισμός συνδέσμου χρησιμοποιείται σε ασύρματα δίκτυα πλέγματος για να εγγυηθεί μετάδοση χωρίς παρεμβολές στο κοινόχρηστο ασύρματο μέσο. Η απόδοση αυτού του uplink του δικτύου θα μπορούσε επίσης να υποβαθμιστεί σημαντικά λόγω της διασποράς πολλαπλών διαδρομών που εισήχθη από τον ασύρματο σύνδεσμο και της μη γραμμικής παραμόρφωσης που προκαλείται από τον σύνδεσμο radio-over-fiber (RoF). Στις οπτικές ίνες, η διασπορά πολλαπλών διαδρομών συμβαίνει σε έναν ευρύ πυρήνα επειδή το φως που κινείται κατά μήκος του άξονα του πυρήνα ταξιδεύει σε μικρότερη απόσταση ανά μέτρο μιας ίνας από το φως που υφίσταται επανειλημμένα ολική εσωτερική ανάκλαση.

- *Αρχιτεκτονικά θέματα*

Υπάρχουν αρκετές ολοκληρωμένες αρχιτεκτονικές δικτύου που συνδυάζουν οπτική και ασύρματη επικοινωνία για να αποκτήσουν τη μέγιστη απόδοση δικτύου. Μερικές από τις βασικές αρχιτεκτονικές είναι η ανεξάρτητη αρχιτεκτονική και η ραδιο-υπερ-ίνα (RoF). Στην ανεξάρτητη αρχιτεκτονική, το ONU συνδέεται απευθείας με σταθμό βάσης (BS) μέσω μιας κοινής τυποποιημένης διεπαφής. Δεν υπάρχει άμεση ασύρματη σύνδεση μεταξύ του ONU και των πελατών. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της αρχιτεκτονικής είναι η ανεξάρτητη ανάπτυξη των δύο δικτύων πρόσβασης. Ωστόσο, η επικοινωνία μεταξύ ONU και BS, η οποία ανταλλάσσει πληροφορίες, είναι αναπόφευκτη επειδή δύο τομείς είναι ξεχωριστοί. Επομένως, τα μηνύματα σηματοδότησης ελέγχου ενδέχεται να παρουσιάσουν καθυστέρηση και να προκαλέσουν γενικά επισκεψιμότητα. Η μείωση διαφόρων τύπων καθυστερήσεων και στα δύο μέρη του Wi-Fi είναι πάντα ανοιχτό ζήτημα όταν εξετάζονται υπηρεσίες όπως βίντεο κατ 'απαίτηση (VoD), ζωντανή ροή, τηλεδιάσκεψη και άλλη παράδοση πολυμέσων.

- *Εκμετάλλευση πόρων*

Κάθε τεχνολογία στο Wi-Fi χρησιμοποιεί το δικό της πρωτόκολλο MAC για την εξυπηρέτηση της κίνησης των πελατών. Εάν αυτές οι τεχνολογίες λειτουργούν ανεξάρτητα, η μεγάλη ποσότητα διαθέσιμων πόρων δεν θα χρησιμοποιηθεί σε οπτικά δίκτυα. Επομένως, η χρήση υβριδικού ολοκληρωμένου πρωτοκόλλου MAC είναι πολύ σημαντική για την αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων πόρων και την επίτευξη υψηλής συνολικής απόδοσης δικτύου. Αυτά τα πρωτόκολλα πρέπει να υποστηρίζουν QoS από άκρο σε άκρο, έτσι ώστε οι συμφωνίες επιπέδου υπηρεσίας (SLAs) να μπορούν να ικανοποιούνται και οι πελάτες να λαμβάνουν εγγυημένη εξυπηρέτηση.

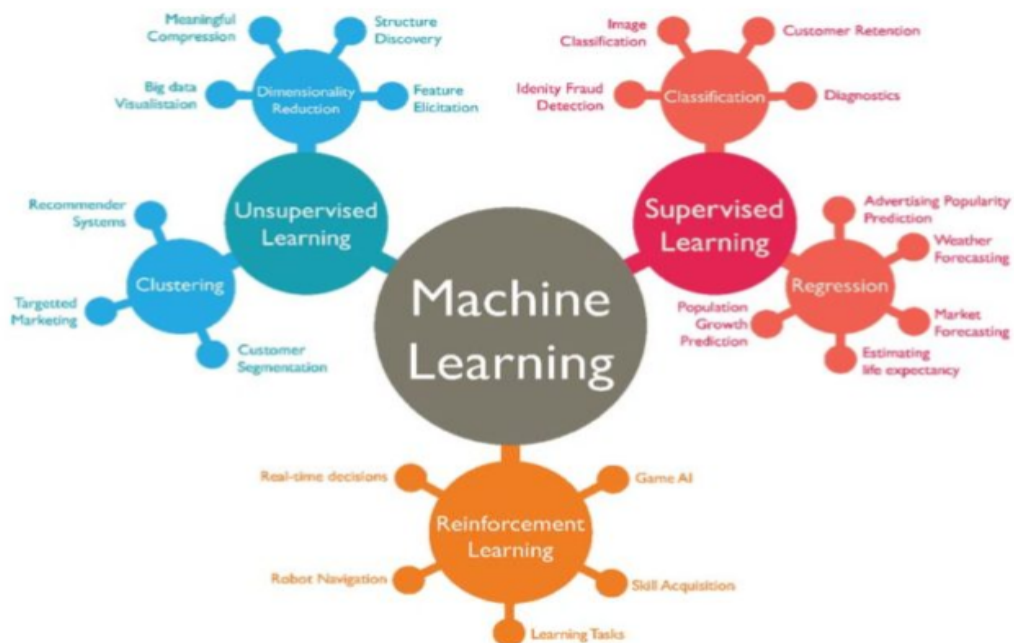
- *Υποστήριξη διαφορετικών τεχνολογιών*

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η ικανότητα του δικτύου να υποστηρίζει peer-to-peer τεχνολογίες πολλαπλής επικοινωνίας και τεχνολογίες πολλαπλής διανομής. Η κοινή χρήση αρχείων και η τηλεδιάσκεψη στην ομότιμη επικοινωνία είναι παραδείγματα όπου οι χρήστες ανταλλάσσουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Αυτό το είδος κίνησης μπορεί να εξυπηρετηθεί πιο αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας αποκεντρωμένους μηχανισμούς κατανομής πόρων για την αποφυγή πιθανών σημείων συμφόρησης του δικτύου. Το ίδιο περιεχόμενο πρέπει να παραδοθεί σε πολλούς χρήστες σε υπηρεσίες όπως βίντεο κατ 'απαίτηση (VoD) και Internet Protocol TeleVision (IPTV). Το Multicasting υποστηρίζει μια μοναδική ροή που μεταδίδεται ταυτόχρονα σε πολλούς χρήστες αποφεύγοντας τη σπατάλη πόρων. Αυτά είναι πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά των τρεχόντων και μελλοντικών δικτύων για τα δίκτυα Wi-Fi.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ

Μία από τις πιο θεμελιώδεις δεξιότητες της ευφυούς συμπεριφοράς είναι η ικανότητα μάθησης. Τα πεδία που σχετίζονται με την κατανόηση της νοημοσύνης πρέπει να εμπλουτιστούν τόσο στη θεωρία όσο και στη μοντελοποίηση των μαθησιακών διαδικασιών. Τέτοιοι τομείς περιλαμβάνουν γνωστική επιστήμη, τεχνητή νοημοσύνη, επιστήμη της πληροφορίας, αναγνώριση προτύπων, ψυχολογία, εκπαίδευση, επιστημολογία, φιλοσοφία και συναφείς κλάδους. Η μάθηση μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πολύπλευρο φαινόμενο, καθώς στοχεύει στην απόκτηση νέων δηλωτικών γνώσεων, στην ανάπτυξη κινητικών και γνωστικών δεξιοτήτων μέσω της διδασκαλίας ή της πρακτικής, στην οργάνωση νέων γνώσεων γενικά, αποτελεσματικών αναπαραστάσεων και στην ανακάλυψη νέων γεγονότων και θεωριών μέσω παρατήρησης και πειραματισμού. Από την αρχή της εποχής των υπολογιστών, οι ερευνητές προσπαθούν να εμφυτεύσουν τέτοιες δεξιότητες σε υπολογιστές. Ένας από τους πιο απαιτητικούς και συναρπαστικούς στόχους μακροχρόνιας τεχνητής νοημοσύνης είναι η επίλυση αυτού του προβλήματος. Από την άλλη πλευρά, η ML στοχεύει στη μελέτη και τη μοντελοποίηση υπολογιστών των μαθησιακών διαδικασιών. Η μηχανική εκμάθηση είναι στην πραγματικότητα ένας υποτομέας του AI που παρέχει στα συστήματα τη δυνατότητα να μαθαίνουν αυτόματα. Η απόδοση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης βελτιώνεται καθώς εκτίθενται σε περισσότερα δεδομένα με την πάροδο του χρόνου. Η βελτίωση με τον αλγόριθμο επέρχεται σταδιακά, επειδή ο αλγόριθμος τις περισσότερες φορές είναι επαναληπτικός, δηλαδή εξετάζει τα παραδείγματα πολλές φορές σε «εποχές μάθησης». Εφαρμόζεται σε σειρά υπολογιστικών εργασιών όπου η σχεδίαση και ο προγραμματισμός των αλγορίθμων είναι ανέφικτος. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως τα φίλτρα spam, η οπτική αναγνώριση χαρακτήρων (OCR), οι μηχανές αναζήτησης και η υπολογιστική όραση. Τελικά μπορούμε να πούμε ότι Μηχανική μάθηση είναι το σύνολο των μεθόδων μέσω των οποίων είναι εφικτή η επινόηση κατάλληλων μοντέλων και αλγορίθμων, τέτοιων που είναι ικανοί να οδηγήσουν στην πρόβλεψη. Μια απεικόνιση της μηχανικής μάθησης είναι:



Εικόνα 10: Απεικόνιση της Μηχανικής Μάθησης και των ειδών της

4.1. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ

Η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) όπως ανάφερα και πριν αποτελεί τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης που ασχολείται με την ανάπτυξη αλγορίθμων μάθησης, δηλαδή αλγορίθμων που βελτιώνουν την επίδοση ενός συστήματος σε προβλήματα. Ο σκοπός της μηχανικής μάθησης είναι η αφαίρεση της πίεσης των προγραμματιστών λογισμικού. Σύμφωνα με το υπάρχον λογισμικό μας και τα συστήματα υπολογιστών γνωρίζουμε μόνο τι τους λείπει ένας προγραμματιστής. Αυτό σημαίνει ότι ένα σύστημα λογισμικού δεν μπορεί να καινοτομεί και το μόνο που μπορεί να κάνει πρέπει να το σκεφτούν τα άτομα που το έχουν προγραμματίσει. Με τη μηχανική μάθηση, ένα σύστημα δεν περιορίζεται πλέον από το ανθρώπινο όραμα των προγραμματιστών και μπορεί να μάθει τις δικές του μεθόδους και να επιτύχει στόχους μέσω νέων και καινοτόμων διαδικασιών. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο επειδή επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν λογισμικό με συγκεκριμένο στόχο κατά νου και έναν σκοπό που πρέπει να επιτευχθεί χωρίς να χρειάζεται να επικεντρωθεί σε ολόκληρη τη διαδικασία για το πώς το κάνει. Οι μηχανές έχουν πολύ ευρύτερο πεδίο δυνατότητας επεξεργασίας δεδομένων από ό, τι διαθέτουν οι άνθρωποι και μπορούν να οργανώσουν και να σαρώσουν δεδομένα για σημαντικές πληροφορίες πολύ πιο γρήγορα από ό, τι οποιοδήποτε άτομο μπορούσε ποτέ. Η μηχανική εκμάθηση επιτρέπει στο λογισμικό να προσανατολίζεται στο στόχο και επίσης επιτρέπει σε μηχανικές διαδικασίες που οι προγραμματιστές μπορεί να μην είχαν καν λάβει υπόψη. Δεν δημιουργεί μόνο πιο χρήσιμο λογισμικό αλλά και πιο αποτελεσματικό λογισμικό. Η μηχανική μάθηση έχει δυνητικές χρήσεις σε μηχανές αναζήτησης, χρηματοδότηση,

ιατρική διάγνωση, περιβάλλοντα λιανικής, ηλεκτρονικό εμπόριο, διαστημικά ταξίδια, εντοπισμό σφαλμάτων και τεχνολογίες ρομπότ.

Για να υπάρξει μάθηση όμως απαιτούνται 3 βασικά συστατικά:

1. Ένα περιβάλλον το οποίο προσφέρει τα δεδομένα υπό μορφή παραδειγμάτων στο σύστημα
2. Ένα κριτήριο αξιολόγησης της επίδοσης του συστήματος
3. Μια συγκεκριμένη εργασία την οποία το σύστημα καλείται να εκτελέσει

Για να επιτύχει όμως η μηχανική μάθηση τον σκοπό της πρέπει να έχει τα εξής 3:

1. Προσαρμοστικότητα -> πρέπει να είμαστε σε θέση να προσαρμόζουμε τα μοντέλα και τους αλγορίθμους μας στις εξελισσόμενες ανάγκες και την προηγμένη τεχνολογία. Μελλοντική απόδειξη είναι η τυποποίηση και η προετοιμασία για αλλαγή εφαρμογών και μεθοδολογίας, ενώ χτίζετε σε μια σταθερή πλατφόρμα.

2. Ευελιξία -> η ταχύτητα είναι το παν και πρέπει να είμαστε προετοιμασμένοι για γρήγορη αλλαγή κατεύθυνσης.

3. Συνεργασία και άνθρωποι -> η τεχνολογία δεν μπορεί να αντικαταστήσει τον άνθρωπο σε κάθε πτυχή και η ποικιλομορφία και οι συζητήσεις που μπορούν να έχουν οι άνθρωποι (όχι τα ρομπότ) θα κάνουν τη διαφορά.

Η μηχανική μάθηση χρησιμεύει για πολλούς και διάφορους λόγους όπως όταν:

- Η παραδοσιακή τεχνική ροή δεν ισχύει ή είναι ανεπιθύμητη λόγω ελλείμματος μοντέλου ή ελλείμματος αλγορίθμου.
Α) Με έλλειμμα μοντέλου, δεν υπάρχουν μαθηματικά μοντέλα με βάση τη φυσική για το πρόβλημα λόγω ανεπαρκούς γνώσης τομέα. Ως αποτέλεσμα, ένας συμβατικός σχεδιασμός βασισμένος στο μοντέλο δεν εφαρμόζεται.
Β) Με έλλειμμα αλγορίθμου, υπάρχει ένα καθιερωμένο μαθηματικό μοντέλο, αλλά οι υπάρχοντες αλγόριθμοι που έχουν βελτιστοποιηθεί βάσει αυτού του μοντέλου είναι πολύ περίπλοκοι για να εφαρμοστούν για τη δεδομένη εφαρμογή. Σε αυτήν την περίπτωση, η χρήση κατηγοριών υποθέσεων, συμπεριλαμβανομένων αποτελεσματικών «μηχανημάτων», όπως το νευρωνικό δίκτυο περιορισμένου μεγέθους ή με προσαρμοσμένες υλοποιήσεις υλικού, μπορεί να αποφέρει λύσεις χαμηλότερης πολυπλοκότητας.
- Υπάρχουν αρκετά μεγάλα εκπαιδευτικά σύνολα δεδομένων ή μπορούν να δημιουργηθούν.
- Η εργασία δεν απαιτεί την εφαρμογή λογικής, κοινής λογικής ή ρητού συλλογισμού με βάση τις γνώσεις του περιβάλλοντος.
- Η εργασία δεν απαιτεί λεπτομερείς εξηγήσεις για τον τρόπο λήψης της απόφασης. Το εκπαιδευμένο μηχάνημα είναι σε γενικές γραμμές ένα μαύρο κουτί που χαρτογραφεί τις εισόδους στις εξόδους. Ως εκ τούτου, δεν παρέχει άμεσα μέσα για να εξακριβώσει γιατί μια δεδομένη παραγωγή έχει παραχθεί ως απάντηση σε

ένα στοιχείο, αν και πρόσφατη έρευνα έχει σημειώσει κάποια πρόοδο σε αυτό το μέτωπο. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις σχεδιασμένες βέλτιστες λύσεις, οι οποίες μπορούν συνήθως να ερμηνευτούν βάσει κριτηρίων φυσικής απόδοσης. Για παράδειγμα, ένας αποκωδικοποιητής μέγιστης πιθανότητας επιλέγει μια δεδομένη έξοδο επειδή ελαχιστοποιεί την πιθανότητα σφάλματος σύμφωνα με το υποτιθέμενο μοντέλο.

- Το φαινόμενο ή η συνάρτηση που μαθαίνεται είναι στάσιμη για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό γίνεται προκειμένου να καταστεί δυνατή η συλλογή και μάθηση δεδομένων.
- Η εργασία έχει είτε χαλαρούς περιορισμούς στις απαιτήσεις, είτε, στην περίπτωση ελλείμματος αλγορίθμου, οι απαιτούμενες εγγυήσεις απόδοσης μπορούν να παρασχεθούν μέσω αριθμητικών προσομοιώσεων. Με τη συμβατική τεχνική προσέγγιση, μπορούν να ληφθούν εγγυήσεις θεωρητικής απόδοσης που υποστηρίζονται από ένα μαθηματικό μοντέλο που βασίζεται στη φυσική. Αυτές οι εγγυήσεις μπορούν να στηριχθούν στο βαθμό που το μοντέλο θεωρείται αξιόπιστη αναπαράσταση της πραγματικότητας. Εάν χρησιμοποιηθεί μια προσέγγιση μηχανικής μάθησης για την αντιμετώπιση ενός ελλείμματος αλγορίθμου και ένα μοντέλο με βάση τη φυσική είναι διαθέσιμο, τότε τα αριθμητικά αποτελέσματα μπορεί να είναι επαρκή για τον υπολογισμό ικανοποιητικών μέτρων απόδοσης. Αντίθετα, η εξασφάλιση ασθενέστερων εγγυήσεων μπορεί να προσφερθεί με τη μηχανική εκμάθηση ελλείψει μοντέλου φυσικής. Σε αυτήν την περίπτωση, μπορεί κανείς να παρέχει όρια απόδοσης μόνο υπό τις παραδοχές ότι η κατηγορία υποθέσεων είναι αρκετά γενική ώστε να περιλαμβάνει "μηχανήματα" που μπορούν να έχουν καλή απόδοση στο πρόβλημα και ότι τα δεδομένα είναι αντιπροσωπευτικά της πραγματικής κατανομής δεδομένων που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά το χρόνο εκτέλεσης. Η επιλογή μιας τάξης προκατειλημμένων υποθέσεων ή η χρήση ενός μη αντιπροσωπευτικού συνόλου δεδομένων μπορεί επομένως να αποδώσει έντονα υποβέλτιστη απόδοση.

4.2. ΕΙΔΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Οι προσεγγίσεις ML μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τους στόχους της μαθησιακής εργασίας, όπου αυτοί οι στόχοι μπορεί να στοχεύουν στον προσδιορισμό προτύπων για την ταξινόμηση και την πρόβλεψη, τη μάθηση για δράση ή τις επαγωγικές μεθόδους μάθησης. Οι αλγόριθμοι μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω σε τρεις διαφορετικές οικογένειες μάθησης, δηλαδή, εποπτευόμενη μάθηση, μη εποπτευόμενη μάθηση και εκμάθηση ενίσχυσης. Η ημι-εποπτευόμενη μάθηση - ή η υβριδική μάθηση - μερικές φορές θεωρείται ένας τέταρτος αλγόριθμος, που δανείζεται χαρακτηριστικά από τις εποπτευόμενες και μη εποπτευόμενες κατηγορίες. Τα είδη της μηχανικής μάθησης περιγράφονται παρακάτω:

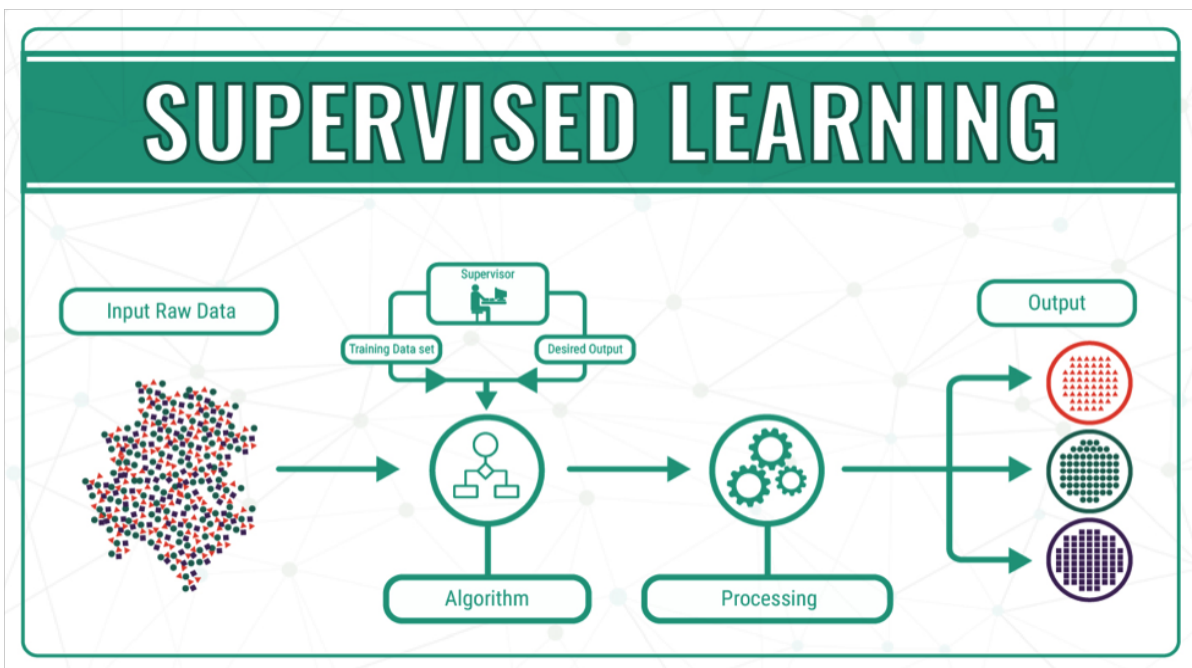
Επιτηρούμενη μάθηση: Η επιτηρούμενη μάθηση (SL) χρησιμοποιεί γνωστά χαρακτηριστικά εξόδου, που ονομάζονται ετικέτες, για να αντλήσει μια υπολογιστική

σχέση μεταξύ δεδομένων εισόδου και εξόδου. Ένας αλγόριθμος κατασκευάζει ένα μοντέλο ML ενημερώνοντας τα βάρη του, με βάση τη χαρτογράφηση ενός συνόλου εισόδων στις αντίστοιχες εξόδους τους. Το SL μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω σε εργασίες ταξινόμησης και παλινδρόμησης, ανάλογα με το αν χρησιμοποιούνται διακριτές ή συνεχείς λειτουργίες εξόδου. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται μερικοί αλγόριθμοι SL:

- *K-Κοντινότεροι γείτονες(K-nn)*: Ένας μη παραμετρικός αλγόριθμος ML με βάση την ομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων. Για προβλήματα ταξινόμησης, ως υποθέσουμε ότι υπάρχουν n δείγματα, $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ στο διάστημα R^d , όπου τα X και Y αντιπροσωπεύουν δείγματα εισόδου και τις ετικέτες τάξης τους, αντίστοιχα. Για ένα νέο σημείο δεδομένων (X, Y) , χρησιμοποιώντας μια μέτρηση απόστασης, όλα τα δείγματα θα ταξινομηθούν με βάση τις αποστάσεις, π.χ. $|X_1 - X| \leq \dots \leq |X_n - X|$. Η κλάση που κατέχει τα περισσότερα δείγματα μεταξύ των k -πλησιέστερων δειγμάτων του X , όπου το k είναι παράμετρος που καθορίζεται από το χρήστη, θεωρείται η κλάση του νέου σημείου δεδομένων. Σε μια εφαρμογή παλινδρόμησης, ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της τιμής μιας συνεχούς μεταβλητής, όπου το προβλεπόμενο αποτέλεσμα είναι ο μέσος όρος ή η μέση σταθμισμένη απόσταση των k -πλησιέστερων γειτόνων.
- *Naive Bayes*: Το Naive Bayes είναι ένας αλγόριθμος μηχανικής εκμάθησης που χρησιμοποιεί το θεώρημα του Bayes για σκοπούς ταξινόμησης με την υπόθεση της ανεξαρτησίας μεταξύ των χαρακτηριστικών. Η τεχνική ταξινόμησης Naive Bayes χρησιμοποιείται ιδιαίτερα όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός εισόδων. Ένας ταξινομητής Naive Bayes θεωρεί ότι η παρουσία / απουσία ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού / χαρακτηριστικού μιας κλάσης δεν σχετίζεται με την παρουσία / απουσία οποιουδήποτε άλλου χαρακτηριστικού όταν δίνεται η μεταβλητή κατηγορίας. Ως εκ τούτου ονομάζεται αφελές. Σύμφωνα με το θεώρημα του Bayes, μπορούμε να βρούμε την πιθανότητα να συμβεί το X , δεδομένου ότι έχει συμβεί το Y . Το Y είναι η απόδειξη και το X είναι η υπόθεση.
- *Υποστήριξη Vector Machine (SVM)*: Μια τεχνική ταξινόμησης που στοχεύει στο διαχωρισμό δειγμάτων διαφορετικών τάξεων σε ένα δεδομένο χώρο χαρακτηριστικών. Ο χώρος χωρίζεται με μεγιστοποίηση των περιθωρίων (δηλ. Κενών) μεταξύ των κλάσεων, όπου τα νέα σημεία δεδομένων ταξινομούνται με βάση την πλευρά των κενών στα οποία εμπίπτουν. Τα SVMs θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν σε γραμμικά και μη γραμμικά SVMs. Για γραμμικά SVM, οι είσοδοι μετατρέπονται γραμμικά, ενώ στη μη γραμμική περίπτωση, οι είσοδοι μετατρέπονται σε άλλο χώρο με χαρτογράφηση πυρήνα. Μια κοινή χαρτογράφηση πυρήνα είναι η συνάρτηση Gaussian ακτινική βάση, $k(x_i, x_j) = \exp(-\gamma |x_i - x_j|^2)$, όπου $\gamma > 0$ και x_i και x_j είναι δύο δείγματα. Ο αλγόριθμος ταξινομείται επίσης από μαλακά και σκληρά περιθώρια. Σε μια περίπτωση δυαδικής ταξινόμησης, τα περιθώρια θεωρούνται σκληρά όταν αντιπροσωπεύονται από 1 και -1. Όταν μεγιστοποιηθεί η συνάρτηση απώλειας $\max(0, 1 - \gamma_i(\omega \times x_i - b))$, τα περιθώρια θεωρούνται μαλακά.
- *Random Forest (RF)*: Το RF είναι μια προσέγγιση εκμάθησης συνόλου για ταξινόμηση, η οποία αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό δέντρων αποφάσεων

που λειτουργούν ως σύνολο. Σε ένα RF, οι «αδύναμοι μαθητές» συνεργάζονται για την κατασκευή «ισχυρών μαθητών», χρησιμοποιώντας αυτόν τον μεγάλο αριθμό δέντρων αποφάσεων (το τυχαίο δάσος). Το τυχαίο δάσος συνδυάζει τον αριθμό των ριχών δέντρων, σχηματίζοντας ένα πρόσθετο στρώμα στο σάκο. Η φόρτωση σε φόρμες και προβλέψεις, χρησιμοποιώντας ανεξάρτητα διαδοχικά δέντρα, χρησιμοποιώντας δείγματα του συνόλου δεδομένων. Οι η προβλέψεις συνδυάζονται για να λύσουν ένα πρόβλημα ταξινόμησης ή εκτίμησης μέσω του μέσου όρου. Αν και οι μεμονωμένοι ταξινομητές είναι αδύναμοι μαθητές, όλοι οι ταξινομητές σε συνδυασμό δημιουργούν έναν ισχυρό μαθητή. Ενώ τα δέντρα μεμονωμένης απόφασης αντιμετωπίζουν υψηλή διακύμανση και υψηλή μεροληψία, το τυχαίο δάσος έχει κατά μέσο όρο πολλά δέντρα αποφάσεων για τη βελτίωση της απόδοσης εκτίμησης

Οι εφαρμογές οπτικής δικτύωσης περιλαμβάνουν αλγορίθμους SL βελτιστοποίησης πόρων με εκτίμηση και ενδεχόμενη πρόβλεψη παραμέτρων κατάστασης δικτύου για ένα δεδομένο σύνολο διαμορφώσεων (π.χ. ρυθμοί συμβόλων, βέλτιστη ισχύς εκκίνησης κ.λπ.). Μια άλλη εφαρμογή είναι ο εντοπισμός σφαλμάτων που βασίζεται στο ML, βάσει ιστορικού μοτίβου κίνησης ή λειτουργίας δικτύου. Η εποπτευόμενη μηχανική μάθηση σχηματικά μοιάζει κάπως έτσι:



Εικόνα 11: Η λογική της Επιτηρούμενης Μηχανικής Μάθησης

Εδώ αντικατοπτρίζεται το γεγονός ότι ο αλγόριθμος εκπαιδεύεται σε ένα σύνολο δεδομένων που αποτελείται από διαδρομές, μήκη κύματος, διαμόρφωση και το αντίστοιχο BER, τότε αντισταθμίζει το BER σε νέες εισόδους.

Μη επιτηρούμενη μάθηση: Ενώ η SL παρέχει μια καθαρή προσέγγιση στην κατασκευή μοντέλων ML, στην πράξη, τα δεδομένα με ετικέτα δεν είναι εύκολα προσβάσιμα ούτε άφθονα διαθέσιμα. Η μη επιτηρούμενη μάθηση (USL) στοχεύει στη δημιουργία

αντιπροσώπευση ενός δεδομένου συνόλου δεδομένων χωρίς μηχανισμούς ανάδρασης βάσει ετικετών. Το USL μπορεί να ταξινομηθεί περαιτέρω σε ομαδοποίηση δεδομένων σε παρόμοιες ομάδες, ή στην ανακάλυψη κανόνων συσχέτισης, προσδιορίζοντας σχέσεις μεταξύ χαρακτηριστικών. Ακολουθούν μερικοί αλγόριθμοι USL:

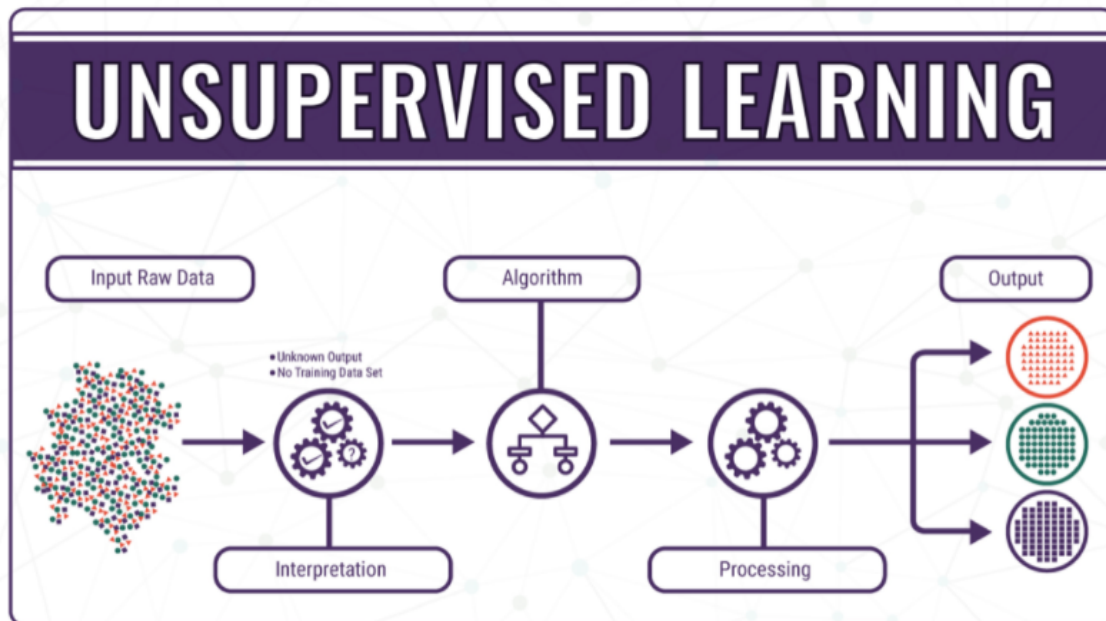
K-Mean Clustering: Ένας μη επιτηρούμενος αλγόριθμος ML, ο οποίος χωρίζει όλα τα δείγματα σε συστάδες k με βάση τις μετρήσεις ομοιότητας. Λαμβάνοντας υπόψη τα δείγματα n στο διάστημα R^d , $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$, ο k -mean clustering προσπαθεί να συγκεντρώσει όλα τα n δείγματα σε κλάσεις k , στο κέντρο της σειράς $S = S_1, S_2, \dots, S_k$. Η αντικειμενική συνάρτηση θα μπορούσε να οριστεί ως:

$$\arg \max_S \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} |x - \mu_i|^2,$$

Ανάλυση κύριων συστατικών (PCA): Μετατρέπει τις αρχικές μεταβλητές σε γραμμικές μη συσχετισμένες μεταβλητές με βάση την αποσύνθεση της μοναδικής τιμής / της ιδιοτιμής. Συνήθως χρησιμοποιείται ως προσέγγιση μείωσης διαστάσεων. Εξετάζοντας έναν πίνακα δεδομένων X , με στήλες μηδενικού μέσου, όπου κάθε σειρά στο X αντιπροσωπεύει μία παρατήρηση και κάθε στήλη αντιπροσωπεύει ένα μόνο χαρακτηριστικό. Ο μετασχηματισμός PCA στοχεύει στη μείωση του πίνακα δεδομένων X από τις διαστάσεις n σε διαστάσεις p πολλαπλασιάζοντας έναν πίνακα βαρών W w_1, \dots, w_p , όπου το W λαμβάνεται με την αντικειμενική συνάρτηση $\arg \max W^T X^T X W$. Η τιμή του $X^T X$ είναι η μεγαλύτερη ιδιοτιμή του X , και το W είναι το αντίστοιχο ιδιοδιανύσμα του X .

Αυτο-οργανωμένοι χάρτες (SOM): Ο αυτο-οργανωτικός χάρτης είναι μια μέθοδος νευρωνικού δικτύου. Το SOM χρησιμοποιείται για την ανάλυση και την οπτικοποίηση δεδομένων υψηλής διάστασης και ανήκει στην κατηγορία των ανταγωνιστικών δικτύων μάθησης. Ο χάρτης αυτο-οργάνωσης βασίζεται σε μη εποπτευόμενη μάθηση, πράγμα που σημαίνει ότι δεν απαιτείται καμία ανθρώπινη παρέμβαση κατά τη διάρκεια της μάθησης και λίγα πρέπει να είναι γνωστά για τα χαρακτηριστικά των δεδομένων εισαγωγής. Το SOM χαρτογραφεί δεδομένα εισόδου σε μια διδιάστατη συστοιχία νευρώνων. Ο στόχος είναι να μετατραπεί το σύνολο δεδομένων εισόδου διαστάσεων σε μονοδιάστατο ή διδιάστατο τοπολογικό χάρτη. Η δομή Αυτο-Οργάνωση του Χάρτη είναι ένα μοναδικό δίκτυο προώθησης τροφοδοσίας, όπου κάθε κόμβος πηγής του στρώματος εισόδου συνδέεται με όλους τους νευρώνες εξόδου και ο αριθμός των διαστάσεων εισόδου είναι συνήθως υψηλότερος από τη διάσταση εξόδου. Ο αλγόριθμος προσπαθεί να συγκεντρώσει σχετικά δεδομένα στα δεδομένα εισαγωγής. Η εκπαίδευση χρησιμοποιεί ανταγωνιστική μάθηση. Σύμφωνα με αυτό, ο νευρώνας με φορέα βάρους παρόμοιο με τον φορέα εισόδου είναι προσαρμοσμένος σε αυτόν. Σε αυτήν την περίπτωση, ο νευρώνας ονομάζεται «νικητής νευρώνων» ή η Μονάδα Best Matching (BMU). Τα μοντέλα USL μπορούν να χρησιμοποιηθούν φυσικά για την ομαδοποίηση

καναλιών μεταφοράς, κόμβων ή συσκευών, με βάση τις χρονικές και χωρικές τους ομοιότητες. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν μετακίνηση κίνησης, φασματική αναγνώριση υποδοχής κ.ά. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η μη επιτηρούμενη μηχανική μάθηση:



Εικόνα 12: Η λογική της Μη Επιτηρούμενης Μηχανικής Μάθησης

Ημι-επιτηρούμενη μάθηση: Οι ημι-επιτηρούμενες μέθοδοι μάθησης είναι ένα υβρίδιο των δύο προηγούμενων που παρουσιάστηκαν παραπάνω και αντιμετωπίζουν προβλήματα στα οποία τα περισσότερα από τα δείγματα εκπαίδευσης δεν φέρουν ετικέτα, ενώ μόνο λίγα σημεία με ετικέτα είναι διαθέσιμα. Το προφανές πλεονέκτημα είναι ότι σε πολλούς τομείς είναι διαθέσιμα πληθώρα σημείων δεδομένων χωρίς σήμανση. Η ημι-επιτηρούμενη μάθηση χρησιμοποιείται για τον ίδιο τύπο εφαρμογών με την εποπτευόμενη μάθηση. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν τα σημεία δεδομένων με ετικέτα δεν είναι τόσο συνηθισμένα ή πολύ ακριβά για λήψη και η χρήση διαθέσιμων δεδομένων χωρίς ετικέτα μπορεί να βελτιώσει την απόδοση. Η αυτο-εκπαίδευση είναι η παλαιότερη μορφή ημι-επιτηρούμενης μάθησης. Είναι μια επαναληπτική διαδικασία όπου κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου μόνο τα επισημασμένα σημεία δεδομένων χρησιμοποιούνται από έναν αλγόριθμο εποπτευόμενης μάθησης. Στη συνέχεια, σε κάθε βήμα, ορισμένα από τα σημεία χωρίς σήμανση επισημαίνονται σύμφωνα με την πρόβλεψη που προκύπτει για τη λειτουργία της εκπαιδευμένης απόφασης και αυτά τα σημεία χρησιμοποιούνται μαζί με τα αρχικά δεδομένα με ετικέτα για επανεκπαίδευση χρησιμοποιώντας τον ίδιο εποπτευόμενο αλγόριθμο μάθησης. Από την εισαγωγή της αυτο-εκπαίδευσης, η ιδέα της χρήσης ετικετών και μη ετικετών δεδομένων είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή πολλών ημι-εποπτευόμενων αλγορίθμων μάθησης. Οι ημι-επιτηρούμενες τεχνικές μάθησης μπορούν να οργανωθούν σε τέσσερις τάξεις:

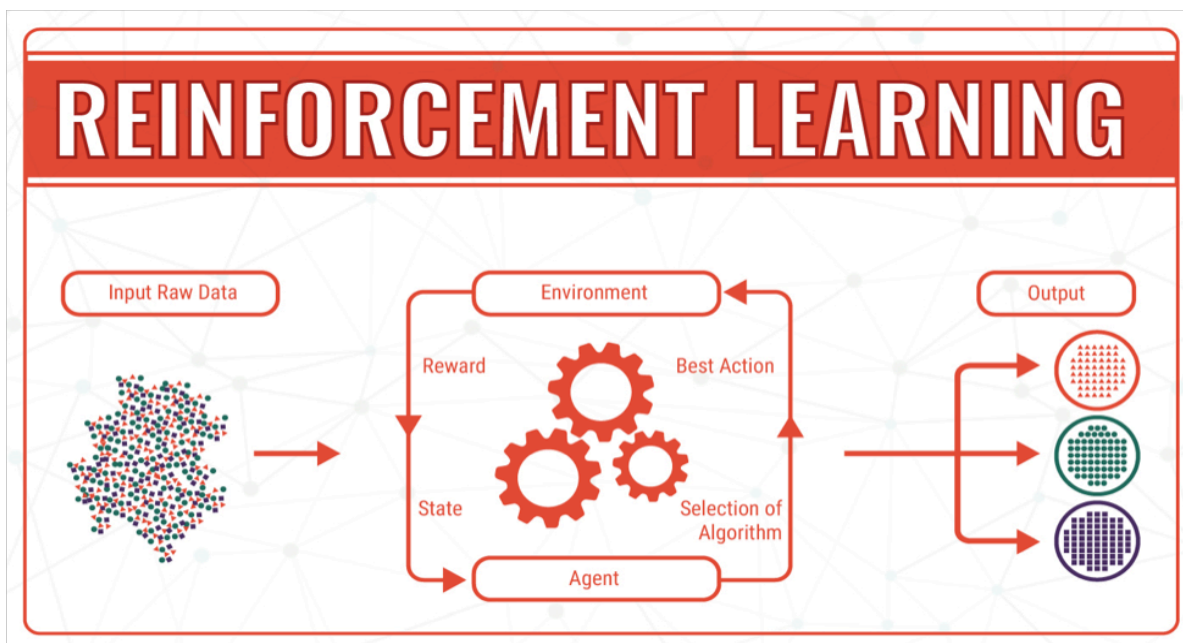
- i) μεθόδους βασισμένες σε γενετικά μοντέλα
- ii) μεθόδους που βασίζονται στην υπόθεση ότι το όριο απόφασης πρέπει να βρίσκεται σε μια περιοχή χαμηλής πυκνότητας
- iii) μεθόδους βάσει γραφημάτων
- iv) μεθόδους δύο βημάτων (πρώτα ένα μη εποπτευόμενο βήμα εκμάθησης για την αλλαγή της αναπαράστασης δεδομένων ή την κατασκευή ενός νέου πυρήνα, στη συνέχεια ένα εποπτευόμενο βήμα μάθησης με βάση τη νέα αναπαράσταση ή τον πυρήνα).

Μάθηση Ενίσχυσης: Η εκμάθηση ενίσχυσης (RL) αναφέρεται σε μηχανισμούς ML χωρίς μια ρητή φάση εκπαίδευσης. Η Reinforcement Learning (RL) χρησιμοποιείται, γενικά, για την αντιμετώπιση εφαρμογών όπως ρομποτική, χρηματοδότηση (επενδυτικές αποφάσεις), διαχείριση αποθέματος, όπου ο στόχος είναι να μάθουμε μια πολιτική, δηλαδή μια χαρτογράφηση μεταξύ των καταστάσεων του περιβάλλοντος σε δράσεις που πρέπει να εκτελεστούν, ενώ αλληλεπιδρά άμεσα με το περιβάλλον. Η RL στοχεύει στη δημιουργία και ενημέρωση ενός μοντέλου ML με βάση την αλληλεπίδραση ενός πράκτορα με το δικό του περιβάλλον. Η RL εκτελείται συνήθως στο πλαίσιο των διαδικασιών απόφασης Markov (MDP). Η αντίληψη του πράκτορα τη στιγμή k αντιπροσωπεύεται ως κατάσταση $s_k \in S$, όπου το S είναι το πεπερασμένο σύνολο καταστάσεων περιβάλλοντος. Ο πράκτορας αλληλεπιδρά με το περιβάλλον εκτελώντας ενέργειες. Τη στιγμή k ο πράκτορας επιλέγει μια ενέργεια $a_k \in A$, όπου A είναι το πεπερασμένο σύνολο ενεργειών του πράκτορα, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει μετάβαση σε μια νέα κατάσταση. Ο πράκτορας θα λάβει μια ανταμοιβή ως αποτέλεσμα της μετάβασης, σύμφωνα με τη συνάρτηση επιβράβευσης $\rho: S \times A \times S \rightarrow R$. Ο στόχος των πρακτόρων είναι να βρει την ακολουθία ζευγών κατάστασης-δράσης που μεγιστοποιεί την αναμενόμενη έκπτωση ανταμοιβής, δηλαδή, τη βέλτιστη πολιτική. Στο πλαίσιο του MDP, έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει μια βέλτιστη ντετερμινιστική και σταθερή πολιτική. Υπάρχει ένας αριθμός αλγορίθμων που μαθαίνουν τη βέλτιστη πολιτική τόσο σε περίπτωση που οι λειτουργίες μετάβασης κατάστασης όσο και οι λειτουργίες ανταμοιβής είναι γνωστές (μάθηση βάσει μοντέλου) και σε περίπτωση που δεν είναι (μάθηση χωρίς μοντέλα). Η βασική διαφορά σε σχέση με τις τεχνικές SL είναι ότι δεν παρέχονται χαρακτηρισμένες δυνατότητες εισόδου-εξόδου, αλλά η σχέση μαθαίνεται μάλλον μέσω της εφαρμογής του αρχικού μοντέλου για τη δοκιμή δεδομένων. Ο πιο χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος RL είναι η Q-learning, ένας αλγόριθμος χωρίς μοντέλο που εκτιμά τη βέλτιστη συνάρτηση τιμής δράσης. Μια συνάρτηση τιμής-ενέργειας, που ονομάζεται Qfunction, είναι η αναμενόμενη επιστροφή ενός ζεύγους κατάστασης-δράσης για μια δεδομένη πολιτική. Η βέλτιστη συνάρτηση τιμής-ενέργειας, Q^* , αντιστοιχεί στη μέγιστη αναμενόμενη απόδοση για ένα ζεύγος κατάστασης. Μετά τη μάθηση της συνάρτησης Q^* , ο πράκτορας επιλέγει τη δράση με την αντίστοιχη υψηλότερη τιμή Q σε αντιστοιχία με την τρέχουσα κατάσταση. Η Q-Learning εξηγείται παρακάτω:

Q-Learning: Αυτός ο αλγόριθμος προσπαθεί να βρει τις καλύτερες πολιτικές κάτω από συγκεκριμένες τιμές παράγοντα και περιβαλλοντικού Q . Τα βασικά στοιχεία του Q-Learning περιλαμβάνουν καταστάσεις S s_1, s_2, \dots, s_n και ενέργειες A a_1, a_2, \dots, a_m . Η πολιτική

π είναι ένας κανόνας που επιλέγεται από τον πράκτορα και αποτελείται από s_i , a_j , όπου στο state s_i , εκτελείται η ενέργεια a_j . Ο πράκτορας επιλέγει πολιτικές με βάση τη συνάρτηση τιμής $Q(s, a)$. Μία από τις βασικές εφαρμογές των αλγορίθμων RL σε οπτικά δίκτυα είναι η αυτοδιαμόρφωση του δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της κατανομής πόρων και των διαμορφώσεων υπηρεσιών (εκ νέου) - τόσο για φυσική όσο και για εικονική υποδομή. Τα πλαίσια διαχείρισης δικτύου μπορούν να επεκταθούν με το RL ώστε να εμφανιστούν γνωστικές ενέργειες.

Ακολουθεί η απεικόνιση της λογικής της Μάθησης Ενίσχυσης:



Εικόνα 13: Η λογική της Μάθησης Ενίσχυσης

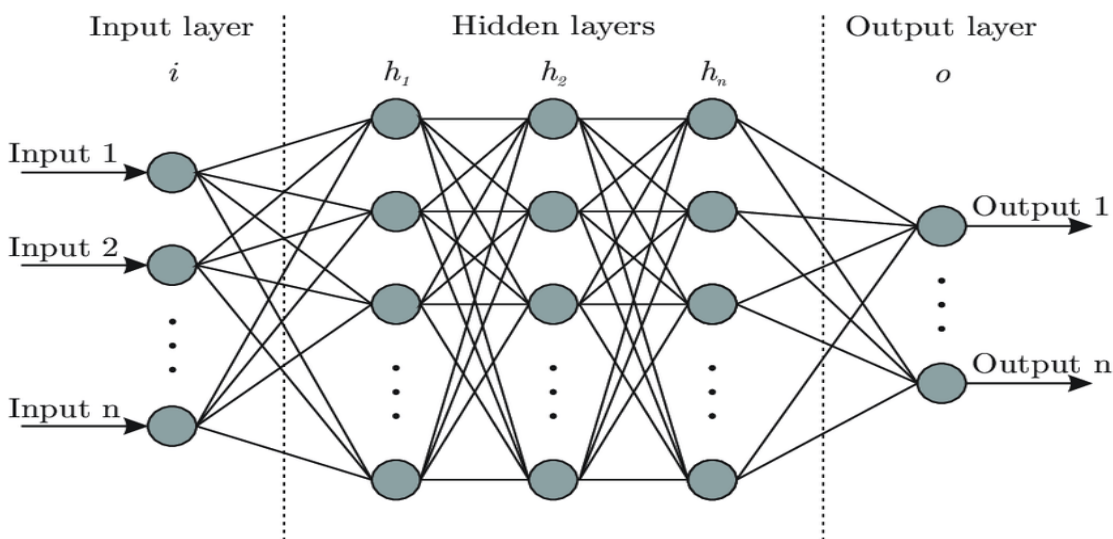
4.3. ΤΥΠΟΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

Η «Βαθιά Μάθηση» είναι μια μέθοδος εκμάθησης στην οποία ένας πράκτορας λαμβάνει αποφάσεις, παρατηρεί τα αποτελέσματα και προσαρμόζει αυτόματα τη στρατηγική του για να επιτύχει τη βέλτιστη πολιτική. Το DL μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για να επιτρέψει στις οντότητες του δικτύου να αποκτήσουν την καλύτερη πολιτική δεδομένης της κατάστασής τους όταν οι χώροι πολιτείας και δράσης είναι μικροί. Παρ'όλα αυτά, αυτή η μέθοδος εκμάθησης είναι ακατάλληλη και ανεφάρμοστη σε δίκτυα μεγάλης κλίμακας, καθώς θα πρέπει να διερευνήσει και να αποκτήσει γνώση ενός ολόκληρου συστήματος και κατά συνέπεια χρειάζεται πολύς χρόνος για να επιτευχθεί η βέλτιστη πολιτική. Κατά συνέπεια, οι εφαρμογές της μάθησης ενίσχυσης είναι πολύ λίγες στην πράξη. Η «βαθιά μάθηση» έχει προταθεί για την αντιμετώπιση του προβλήματος των δικτύων μεγάλης κλίμακας. Η βαθιά μάθηση είναι ένα υποκείμενο της μηχανικής μάθησης και είναι η μελέτη τεχνητών νευρικών δικτύων και συναφών αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που περιέχουν περισσότερα από ένα κρυμμένα επίπεδα. Οι πιο συνηθισμένοι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης είναι τα Νευρωνικά Δίκτυα (NN) που έχουν

επαρκή αριθμό κρυφών επιπέδων (συνήθως περισσότερα από ένα). Μερικοί αλγόριθμοι Νευρωνικών δικτύων παρουσιάζονται παρακάτω:

Artificial Neural Network (ANN)

Τα ANNs είναι μια αρχιτεκτονική AI που εμπνέεται από βιολογικά νευρωνικά δίκτυα και χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση λειτουργιών που μπορούν να εξαρτηθούν από μεγάλο αριθμό εισόδων και είναι γενικά άγνωστες. Το ANN είναι μια προσομοίωση του δικτύου νευρώνων που απαρτίζουν έναν ανθρώπινο εγκέφαλο, έτσι ώστε ο υπολογιστής να είναι σε θέση να μάθει πράγματα και να λαμβάνει αποφάσεις όπως ένας άνθρωπος. Η βασική δομή ενός ANN είναι ο τεχνητός νευρώνας, ο οποίος έχει παρόμοιο σχήμα και λειτουργία με τον βιολογικό νευρώνα. Το ANN είναι οργανωμένο σε επίπεδα, τα οποία αποτελούνται από πολλούς διασυνδεδεμένους «κόμβους». Το NN είναι συσχέτιση διαδοχικών στρωμάτων νευρώνων, το καθένα με τη δική του μήτρα βάρους, τον φορέα πόλωσης και τον φορέα εξόδου. Κατά συνέπεια, η δομή ενός νευρικού δικτύου αποτελείται από τον αριθμό των στρωμάτων και η επιλογή της δομής καθορίζει τα προτιμώμενα αποτελέσματα. Η απλούστερη δομή αποτελείται από δύο επίπεδα: Ένα επίπεδο εισόδου και ένα επίπεδο εξόδου. Ένα στρώμα νευρώνων είναι μια στήλη νευρώνων που λειτουργούν παράλληλα. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει την αρχιτεκτονική τους:

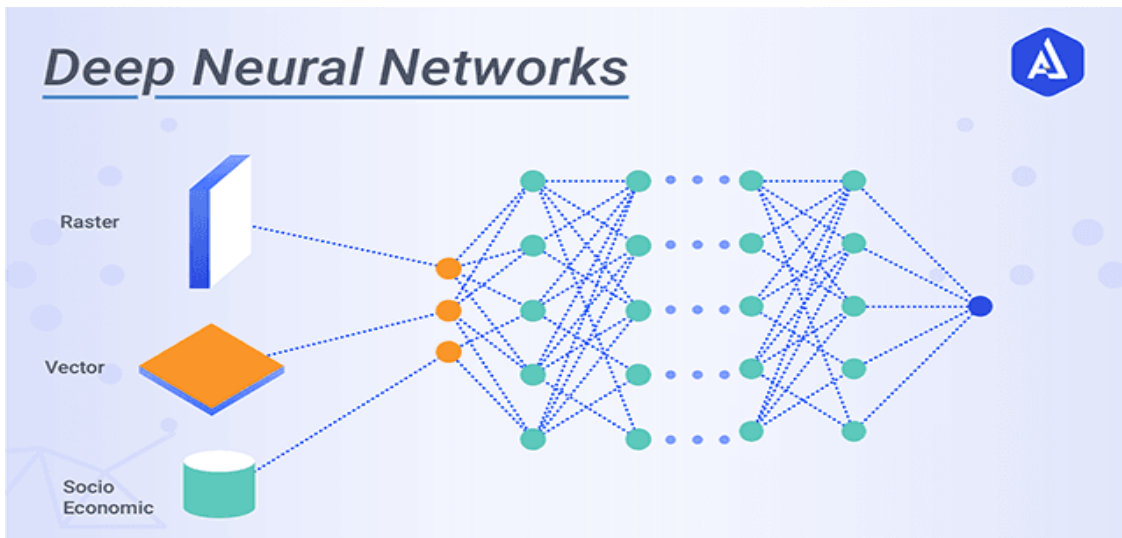


Εικόνα 14: Αρχιτεκτονική ANN

Deep Neural Network (DNN)

Προσθέτοντας ένα ή περισσότερα κρυμμένα επίπεδα μεταξύ των επιπέδων εισόδου και εξόδου, έχουμε ένα πολύ ισχυρό Deep Neural Network. Η έξοδος του τελευταίου επιπέδου είναι η έξοδος δικτύου και τα άλλα επίπεδα ονομάζονται κρυμμένα επίπεδα. Για να έχουμε την καλύτερη απόδοση, πρέπει να επιλέξουμε τον βέλτιστο αριθμό στρωμάτων και νευρώνων. Αυτός ο αριθμός εξαρτάται από την εφαρμογή. Εάν ο αριθμός

των κρυφών επιπέδων είναι μικρότερος από τον κανονικό, τότε το δίκτυο τείνει να συγκεντρώνει τα δεδομένα και να τα χαρτογραφεί στην ίδια έξοδο. Εάν ο αριθμός των νευρώνων είναι μεγάλος, υπάρχει το πρόβλημα της υπερβολικής τοποθέτησης. Η υπερφόρτωση συμβαίνει όταν ένα μοντέλο μαθαίνει τα σωστά δεδομένα καθώς και τον θόρυβο στα δεδομένα εκπαίδευσης. Αυτό οδηγεί σε κακή απόδοση επειδή επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του μοντέλου σε νέα δεδομένα. Το δίκτυο πρέπει να εκπαιδευτεί με αρκετά σημεία δεδομένων για να διασφαλίσει ότι τα διαμερίσματα που λαμβάνονται σε κάθε κρυφό επίπεδο διαχωρίζουν σωστά τα δεδομένα. Στην εικόνα θα δούμε πως είναι ένα βαθύ νευρωνικό δίκτυο:

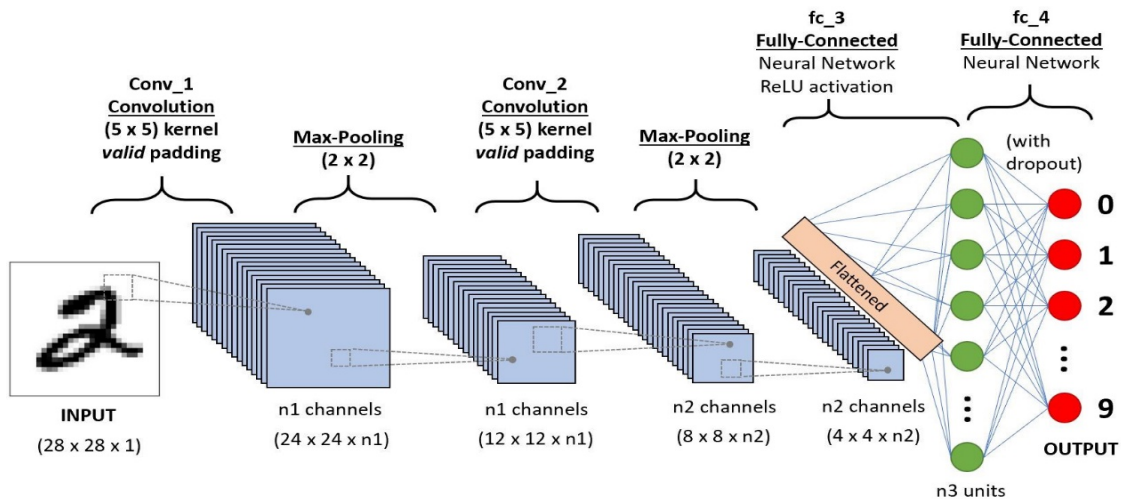


Εικόνα 15: Αρχιτεκτονική DNN

Convolutional Neural Network(CNN)

Τα Convolutional Neural Networks (CNN ή ConvNets) χρησιμοποιούν ένα σύνολο τοπικά συνδεδεμένων πυρήνων (φίλτρα) για να συλλάβουν συσχετίσεις μεταξύ διαφορετικών περιοχών δεδομένων αντί να χρησιμοποιεί πλήρεις συνδέσεις μεταξύ επιπέδων. Τα CNN βελτιώνουν τα παραδοσιακά MLP αξιοποιώντας τρεις σημαντικές ιδέες, δηλαδή, (i) αραιές αλληλεπιδράσεις, (ii) κοινή χρήση παραμέτρων και (iii) ισοδύναμες αναπαραστάσεις. Αυτό μειώνει σημαντικά τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου και διατηρεί την αμετάβλητη συσχέτιση (δηλαδή, τα αποτελέσματα αναγνώρισης είναι ισχυρά στον μετασχηματισμό των αντικειμένων). Συγκεκριμένα, οι αραιές αλληλεπιδράσεις υπονοούν ότι ο πυρήνας βάρους έχει μικρότερο μέγεθος από την είσοδο. Εκτελεί μετακίνηση φιλτραρίσματος για την παραγωγή εξόδων (με περίπου το ίδιο μέγεθος με τις εισόδους) για το τρέχον στρώμα. Η κοινή χρήση παραμέτρων αναφέρεται στη χρήση του ίδιου πυρήνα για τη σάρωση ολόκληρου του χάρτη εισόδου. Αυτό μειώνει σημαντικά τον αριθμό των απαιτούμενων παραμέτρων, οι οποίες μετριάζουν τον κίνδυνο υπερβολικής τοποθέτησης. Οι ισοδύναμες παραστάσεις δείχνουν ότι οι λειτουργίες της συνέλιξης είναι αμετάβλητες όσον αφορά τη μετάφραση, την κλίμακα και το σχήμα. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την επεξεργασία εικόνων, καθώς

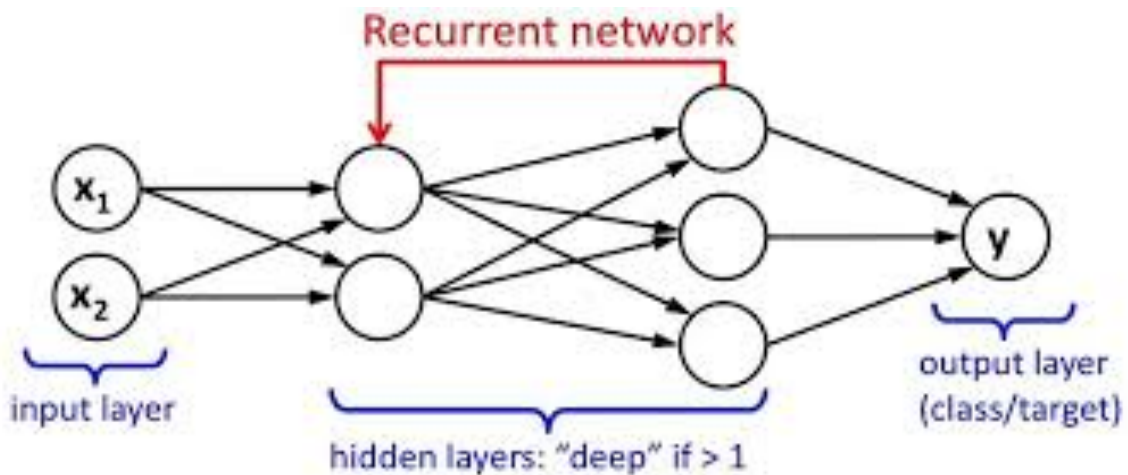
Βασικά χαρακτηριστικά μπορεί να εμφανίζονται σε διαφορετικές τοποθεσίες στην εικόνα, με διάφορα συνηθισμένα μοτίβα. Τα CNN επιτυγχάνουν αξιοσημείωτη απόδοση στις εφαρμογές απεικόνισης αλλά έχουν επεκταθεί και σε εφαρμογές βίντεο. Τέλος, δεδομένης της υψηλής ομοιότητας μεταξύ εικόνας και χωρικών δεδομένων κινητής τηλεφωνίας (π.χ. στιγμιότυπα κίνησης για κινητά, κινητικότητα χρηστών κ.λπ.), τα μοντέλα που βασίζονται στο CNN έχουν τεράστιες δυνατότητες για ανάλυση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας σε όλο το δίκτυο. Θα παρουσιαστεί το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 16: Αρχιτεκτονική CNN

Recurrent Neural Network(RNN)

Τα επαναλαμβανόμενα νευρικά δίκτυα (RNN) έχουν σχεδιαστεί για τη μοντελοποίηση διαδοχικών δεδομένων, όπου υπάρχουν διαδοχικές συσχετίσεις μεταξύ των δειγμάτων. Σε κάθε βήμα, παράγουν έξοδο μέσω επαναλαμβανόμενων συνδέσεων μεταξύ κρυφών μονάδων. Το RNN εκπαιδεύεται μέσω Backpropagation μέσω του χρόνου (BPTT) αλγόριθμος. Ωστόσο, τα βαθμιαία προβλήματα εξαφάνισης και έκρηξης αναφέρονται συχνά στα παραδοσιακά RNN, τα οποία τα καθιστούν ιδιαίτερα δύσκολα στην εκπαίδευση. Η Μακροπρόθεσμη Μνήμη (LSTM) μετριάζει αυτά τα ζητήματα εισάγοντας ένα σετ «πύλες», το οποίο έχει αποδειχθεί επιτυχημένο σε πολλές εφαρμογές (π.χ. αναγνώριση ομιλίας, κατηγοριοποίηση κειμένου και φορητή δραστηριότητα αναγνώριση). Θα πρέπει να παρουσιάσουμε το επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο:



Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική RNN

4.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μηχανική μάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά πεδία επικοινωνίας, όπως αυτά που ακολουθούν:

- ✓ Στα δίκτυα επικοινωνίας, η μηχανική εκμάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση διαφορετικών τύπων προβλημάτων δρομολόγησης, όπως η δρομολόγηση διαδρομής συντομότερης διαδρομής, η προσαρμοστική δρομολόγηση και η δρομολόγηση πολλαπλών διαστάσεων. Επιπλέον, οι τεχνικές μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της απόδοσης ή της κυκλοφορίας στα δίκτυα επικοινωνιών. Η χρήση διαφορετικών τεχνικών ML γίνεται σε διάφορους βασικούς τομείς δικτύωσης, όπως πρόβλεψη κυκλοφορίας, δρομολόγησης και ταξινόμησης, έλεγχος συμφόρησης, διαχείριση πόρων και σφαλμάτων, Ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και Ποιότητα εμπειρίας (QoE) διαχείριση και ασφάλεια δικτύου.
- ✓ Στις ασύρματες επικοινωνίες, η μηχανική εκμάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη υψηλής απόδοσης στο προτιμώμενο επίπεδο QoS προσαρμόζοντας συνεχώς τις διαφορετικές παραμέτρους του συστήματος MIMO-OFDM (Multiple Input Multiple Output - Orthogonal Divquency Division Multiplexing). Συγκεκριμένα παραμέτρους σύνδεσης, παραλλαγές περιβάλλοντος επικοινωνίας και παραμέτρους υλικού, όπως η επιλογή ενός κατάλληλου συνόλου εκπομπών και λήψη κεραιών. Το ML μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση του προβλήματος μείωσης της αναλογίας ισχύος κορυφής προς μέσο όρο (PAPR). Επιπλέον, οι τεχνικές ML μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το πρόβλημα εκτίμησης καναλιών σε συστήματα MIMO όταν υπάρχουν μη γραμμικότητες. Οι προσεγγίσεις που βασίζονται στη μάθηση έχουν επίσης εφαρμοστεί για την εκτίμηση των καναλιών mmWave. Η μηχανική εκμάθηση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο του ελέγχου ισχύος MIMO και του προβλήματος παρεμβολών μεταξύ κυττάρων, το οποίο μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στην

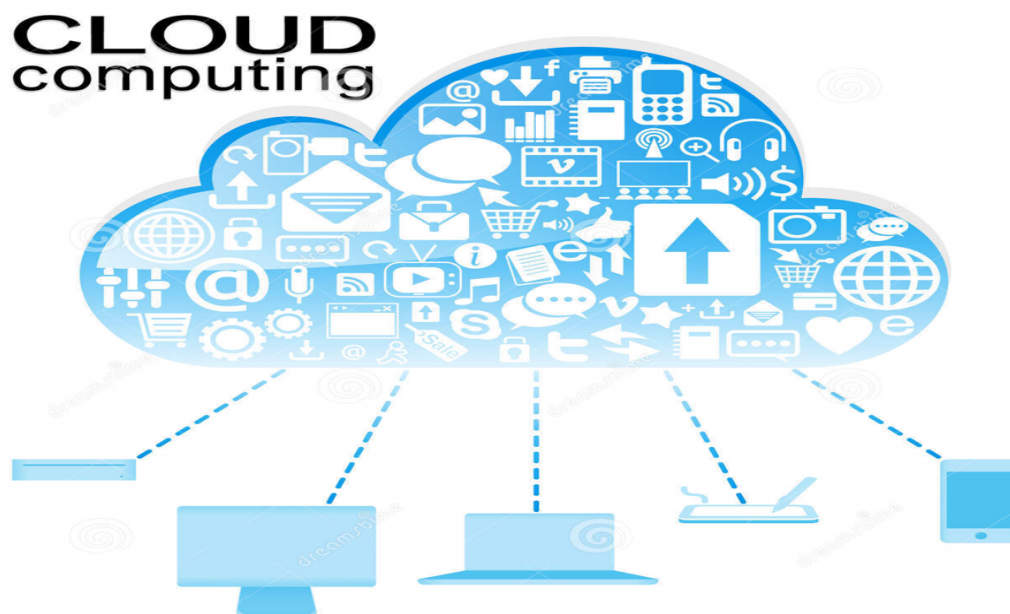
- απόδοση των ασύρματων χρηστών σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Έχουν εφαρμοστεί τεχνικές μηχανικής εκμάθησης για εντοπισμό, πλοήγηση και τοποθέτηση σε συστήματα επικοινωνίας από αυτοκίνητο σε αυτοκίνητο
- ✓ Οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης έχουν μεγάλη σημασία για την αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με το απόρρητο και την ασφάλεια των επικοινωνιών. Για παράδειγμα, το ML μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση πολλών δραστηριοτήτων δικτύου για την εύρεση πιθανών ανωμαλιών και για τη διατήρηση του απορρήτου των δεδομένων.
 - ✓ Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης είναι συχνά το πιο ζωτικό στοιχείο των έξυπνων εφαρμογών. Για παράδειγμα, η πρόβλεψη και ο έλεγχος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού σταθμού, η διαχείριση του φωτεινού σηματοδότη σε έξυπνες πόλεις ή υπολογιστές με γνώμονα το περιβάλλον στο Internet of Things (IoT), τον εντοπισμό κακόβουλων συμβάντων πριν από την εμφάνισή τους, χρήση πόρων, εκτίμηση των χρόνων απόκρισης εργασιών και παρακολούθηση της κυκλοφορίας δεδομένων.
 - ✓ Χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές μηχανικής εκμάθησης για διάφορες εργασίες στην επικοινωνία και την επεξεργασία πολυμέσων, όπως συμπίεση σήματος, παρακολούθηση, αναπαραγωγή συμπιεσμένου βίντεο και εκτίμηση της υποκειμενικής ποιότητας των εικόνων που μπορεί να αντιληφθεί ένας άνθρωπος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ CLOUD COMPUTING

Το cloud computing είναι ένα μοντέλο για να καθιστά ικανή την απέραντη ζήτηση πρόσβασης σε μία διαμοιραζόμενη ποικιλία παραμετροποιήσιμων υπολογιστικών πόρων (υπολογιστικά δίκτυα, servers, εφαρμογές και υπηρεσίες), η οποία μπορεί να τροφοδοτηθεί γρήγορα και να κυκλοφορήσει με την ελάχιστη προσπάθεια διαχείρισης. Το cloud computing και οι λύσεις αποθήκευσης παρέχουν στους χρήστες και τις επιχειρήσεις ποικίλες δυνατότητες να αποθηκεύσουν και να επεξεργαστούν τα δεδομένα τους από κέντρα δεδομένων τρίτων που μπορεί να βρίσκονται μακριά από τον χρήστη, μιλώντας για μία απόσταση από μία άκρη της πόλης μέχρι την άλλη άκρη του κόσμου. Το cloud computing βασίζεται στο διαμοιρασμό των πόρων για να επιτευχθεί συνοχή και οικονομία της κλίμακας, παρόμοια με ένα βοηθητικό πρόγραμμα (όπως το ηλεκτρικό δίκτυο) μέσω ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Πολλοί υποστηρίζουν ότι το cloud computing επιτρέπει στις επιχειρήσεις να αποφύγουν το κόστος των αρχικών υποδομών (π.χ. η αγορά των σέρβερ). Επίσης επιτρέπει στους οργανισμούς να επικεντρώνονται στις βασικές τους δραστηριότητες αντί να χαραμίζουν χρόνο και χρήμα στην υποδομή πληροφορικής. Κάποιοι επίσης ισχυρίζονται ότι το cloud computing επιτρέπει στις επιχειρήσεις να εγείρουν τις εφαρμογές τους και να τις τρέχουν πιο γρήγορα, με βελτιωμένη διαχειρισσιμότητα και λιγότερη συντήρηση, και να καθιστά ικανή στις ομάδες

τεχνολογίας πληροφορίας την ταχύτερη προσαρμογή των πόρων για την κάλυψη διακυμάνσεις και την απρόβλεπτη επιχειρηματική ζήτηση. Οι πάροχοι cloud συνήθως χρησιμοποιούν ένα μοντέλο το «pay as you go». Αυτό θα οδηγήσει σε απροσδόκητα υψηλές χρεώσεις, αν οι διαχειριστές δεν προσαρμοστούν στο μοντέλο τιμολόγησης cloud. Το cloud computing απεικονίζεται κάπως έτσι:



Εικόνα 18: Απεικόνιση του Cloud Computing

5.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ CLOUD COMPUTING

Το **υπολογιστικό νέφος (cloud computing)** είναι η διάθεση υπολογιστικών πόρων μέσω **διαδικτύου** (π.χ. servers, apps κλπ), από κεντρικά συστήματα που βρίσκονται απομακρυσμένα από τον τελικό χρήστη, τα οποία τον εξυπηρετούν αυτοματοποιώντας διαδικασίες, παρέχοντας ευκολίες και ευελιξία σύνδεσης. Η έννοια του Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Computing) πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του 1950 σε εκπαιδευτικά ινστιτούτα και εταιρείες, και η χρήση του πραγματοποιούνταν από κεντρικούς υπολογιστές μεγάλων υπολογιστικών και αποθηκευτικών δυνατοτήτων. Οι χρήστες είχαν πρόσβαση σε αυτούς τους υπολογιστές μέσω τερματικών (dumb terminals), οι οποίοι δεν είχαν ούτε υπολογιστική ισχύ ούτε αποθηκευτικές ικανότητες. Ο όρος του Υπολογιστικού Νέφους έγινε ευρύτερα γνωστός τη δεκαετία του 1970, όταν η IBM και η Google αποφάσισαν να συνεργαστούν στο συγκεκριμένο τεχνολογικό πεδίο. Αρχικά η IBM παρουσίασε το λειτουργικό σύστημα εικονικών μηχανών (VM operating system), το οποίο παρείχε τη δυνατότητα να εργάζονται πολλές εικονικές μηχανές (virtual machines) στο ίδιο μηχάνημα. Κάθε εικονική μηχανή είναι-ήταν μία αυτοτελής οντότητα που εκτελεί το δικό της λειτουργικό σύστημα και παρέχει υπολογιστικούς πόρους, όπως τη-μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας, μνήμης και μονάδες εισόδου-εξόδου. Τη δεκαετία του 1980, η πρώτη τακτική χρήση των προσωπικών υπολογιστών συνοδεύτηκε από την υπόσχεση ότι

οι χρήστες θα ήταν σε θέση να αποφασίζουν οι ίδιοι για το υπολογιστικό τους περιβάλλον. Η εμφάνιση του Διαδικτύου και του Παγκόσμιου Ιστού, εκτόξευσε τη φήμη του Υπολογιστικού Νέφους. Τη δεκαετία του 1990 εμφανίστηκαν τα Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα (Virtual Private Networks). Μέχρι τότε, οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών υποστήριζαν τα κυκλώματα δεδομένων σημείο προς σημείο (point-to-point data circuits). Μέχρι το 2000, κολοσσοί της Πληροφορικής όπως η Amazon, η Microsoft και η Google, ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη και την παροχή υπηρεσιών Υπολογιστικού Νέφους. Ακολούθησαν κάποια γεγονότα που θεωρούνται ευρέως ως ορόσημα στην ιστορία του Υπολογιστικού Νέφους. Το 2006, η Amazon παρουσίασε το Ελαστικό Υπολογιστικό Νέφος (Elastic Compute Cloud(EC2)). Μία εμπορική υπηρεσία βασισμένη στο Παγκόσμιο Ιστό, που παρείχε στο χρήστη τη δυνατότητα να υλοποιεί εφαρμογές σε ενοικιασμένα-ενοικιαζόμενα μηχανήματα. Το 2008, προωθήθηκε στην αγορά το Eucalyptus, η πρώτη πλατφόρμα ανοικτού κώδικα για ανάπτυξη ιδιωτικών σύννεφων (private clouds). Την ίδια χρονιά, η Google κυκλοφόρησε το Google App Engine, μια πλατφόρμα που υποστήριζε διάφορες υπηρεσίες του Υπολογιστικού Νέφους. Στη συνέχεια των εξελίξεων το 2011, η IBM παρουσίασε το IBM SmartCloud ενώ το 2012 κυκλοφόρησε το Oracle Cloud. Τέλος Microsoft ανακοίνωσε επίσης ότι θα εισαγάγει το cloud computing στην επόμενη μεγάλη ενημέρωση λύσεων Dynamics ERP και θα λειτουργούν μέσω της πλατφόρμας Windows Azure.

5.2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ CLOUD COMPUTING

Η αρχιτεκτονική υπολογιστικού νέφους ορίζει τα στοιχεία και τις επιμέρους συνιστώσες που απαιτούνται για το υπολογιστικό νέφος. Στην απλή μορφή του, τα θεμέλια του υπολογιστικού νέφους μπορεί να ταξινομηθούν σε δυο τμήματα: front-end και back-end, τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω ενός εικονικού δικτύου ή του διαδικτύου. Το υπολογιστικό νέφος συντελείται από τις ακόλουθες βασικές δυνατότητες και λειτουργίες:

- **front end platform (fat client, thin client, mobile device):** Οι αρχές του υπολογιστικού νέφους (η front-end πλατφόρμα) ονομάζονται επίσης πελάτες ή cloud clients. Αυτοί οι πελάτες είναι διακομιστές, fat (or thick) clients, zero or ultra-thin client, τα tablets και τις κινητές συσκευές. Αυτές οι πλατφόρμες πελατών αλληλοεπιδρούν με την αποθήκευση δεδομένων cloud μέσω μιας εφαρμογής (middleware) και μέσω ενός προγράμματος περιήγησης ιστού ή μέσω μιας εικονικής περιόδου σύνδεσης. Ένας zero or ultra-thin client προετοιμάζει το δίκτυο ώστε να συγκεντρώσει τα απαιτούμενα αρχεία ρυθμίσεων όπου είναι αποθηκευμένα τα εκτελέσιμα OS της.
- **back end platforms (servers, αποθήκευσης):** Μια ηλεκτρονική αποθήκευση δικτύου, όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται και είναι προσβάσιμα σε πολλούς πελάτες.
- **η παράδοση με βάση το υπολογιστικό νέφος:** όπως (IaaS - Infrastructure as a Service), οι πλατφόρμες με περιβάλλον προγραμματισμού (PaaS - Platform as a Service) και το λογισμικό (SaaS - Λογισμικό ως Υπηρεσία), και

- ένα δίκτυο (Internet, Intranet, Intercloud): Τα μοντέλα ανάπτυξης είναι είτε ιδιωτικά (private) είτε δημόσια (internet) είτε σε συνδυασμό των δύο (hybrid/intercloud).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

Η μηχανική μάθηση είναι ένα σύνολο αλγορίθμων που μπορούν να μάθουν και να κάνουν προβλέψεις σχετικά με τα δεδομένα. Αυτοί οι αλγόριθμοι δημιουργούν ένα μοντέλο από εισόδους προκειμένου να κάνουν προβλέψεις αντί να ακολουθούν αυστηρά στατικές οδηγίες προγράμματος. Η μηχανική μάθηση ορίζει την ανάγκη αυτόματης επεξεργασίας μεγάλου αριθμού δεδομένων προκειμένου να δημιουργηθούν χρήσιμες γνώσεις και να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις. Εν συντομία, η μηχανική μάθηση μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της απόδοσης ενός συγκεκριμένου συνόλου εργασιών μέσω της δημιουργίας ενός μοντέλου που μπορεί να βρει μοτίβα χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μάθησης. Στατιστικές προσεγγίσεις, αναλυτικές και τεχνικές μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται στη διαχείριση δικτύων τηλεπικοινωνιών για πολλά χρόνια, προκειμένου να εντοπιστούν προβλήματα δικτύου, για βελτιστοποιήσεις δικτύου, για πελάτες και ποιότητα διαχείρισης εμπειριών και για προβλέψεις και μειώσεις. Η εκτέλεση ML εντός συσκευών αιχμής μπορεί να επωφεληθεί από τα διαθέσιμα δεδομένα με βάση τα συμφραζόμενα, όπως φορτίο κυψέλης, τοποθεσία χρήστη, μεταδεδομένα σύνδεσης, τύπους εφαρμογών, μοτίβα τοπικής κίνησης και εκχωρημένο εύρος ζώνης. Ο λανθάνων χρόνος για απαντήσεις από παραδοσιακά κέντρα υπολογιστικού νέφους στο δίκτυο ευρείας περιοχής εμποδίζει τους βασικούς δείκτες απόδοσης του δικτύου και των υπηρεσιών (KPI). Επιπλέον, η εκτέλεση εργασιών ML στην άκρη μπορεί να μειώσει το φορτίο στο κεντρικό δίκτυο. Για να εκμεταλλευτούμε πλήρως τα πλεονεκτήματα του φορητού υπολογιστή και της συνεργασίας ML, τα μοντέλα ML πρέπει να είναι σχεδιασμένα ώστε να χρησιμοποιούν ελάχιστους πόρους και να λαμβάνουν ακόμη χρήσιμα και ακριβή αποτελέσματα καθώς εφαρμόζονται σε κλίμακα σε εκτεταμένα δίκτυα επικοινωνίας. Επί του παρόντος, οι εργασίες κατάρτισης ML και συμπερασμάτων στο φορητό υπολογιστικό άκρο αναστέλλονται εν μέρει από συγκριτικά μικρότερες δυνατότητες αποθήκευσης και περιορισμένη τροφοδοσία σε συσκευές αιχμής από αυτά που βρίσκονται σε βιομηχανικά κέντρα δεδομένων cloud. Σε απάντηση, το ML στο φορητό υπολογιστικό άκρο έχει ενεργοποιηθεί από δύο βασικές βελτιώσεις:

1. Αποτελεσματικά μοντέλα ML με εξειδίκευση που απαιτούν λιγότερη ενέργεια, μνήμη ή χρόνο εκμάθησης, και
2. Κατανεμημένα μοντέλα ML που διανέμουν τα καθήκοντα εκπαίδευσης και συμπερασμάτων μεταξύ μεγάλων κέντρων δεδομένων και μικρότερων συσκευών για παράλληλη επεξεργασία και αποτελεσματικότητα.

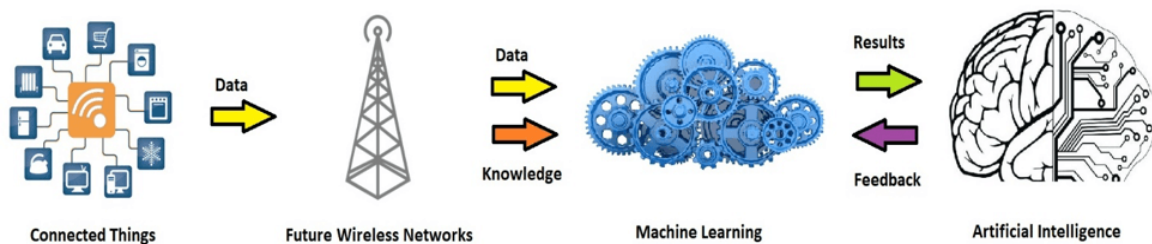
6.1. 5G ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ

Το προκαταρκτικό ενδιαφέρον και οι συζητήσεις σχετικά με τη σκοπιμότητα εξέλιξης των προτύπων 5G με τη βοήθεια πρωτοκόλλων ML έχουν προσελκύσει την προσοχή και τη φαντασία των μηχανικών και των ερευνητών σε ολόκληρο το κόσμο. Έχουμε δει πώς το κινητό και το ασύρματο σύστημα έχουν γίνει ουσιαστικό μέρος της κοινωνικής υποδομής, κινητοποιώντας την καθημερινή μας ζωή και διευκολύνοντας την ψηφιακή οικονομία με πολλούς τρόπους. Ωστόσο, οι ασύρματες επικοινωνίες ML και 5G θεωρήθηκαν κατά κάποιο τρόπο ως ανόμοιοι ερευνητικοί τομείς, παρά το δυναμικό που θα μπορούσαν να έχουν όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό. Στην πραγματικότητα, η επίδραση των επικοινωνιών κινητής και ασύρματου δικτύου με δυνατότητα ML έχει ήδη καταστεί εμφανής από μια σειρά πρόσφατων παραδειγμάτων δικτύωσης, όπως υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας, προσωρινή αποθήκευση, περιβάλλον - δικτύωση χωρίς επίγνωση, μεγάλη ανάλυση δεδομένων, υπολογιστής αιχμής για κινητά και έλεγχος κίνησης δικτύου. Οι κύριοι στόχοι του 5G είναι: α) ολιστικός τρόπος ασφάλειας από άκρο σε άκρο που περιέχει κλασική ασφάλεια δικτύου, ασφάλεια εφαρμογής (Λογισμικό και υλικό) και διαχείριση καθώς και ασφάλεια εφαρμογών / συσκευών και β) Αυτοματοποίηση δικτύου και υπηρεσιών μηδενικής αφής προκειμένου να αντιμετωπιστεί η πολυπλοκότητα των μελλοντικών δικτύων και να μειωθεί το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας. Ο στόχος των αυτο-οργανωτικών δικτύων θα βελτιωθεί και θα υλοποιηθεί με την υποστήριξη της τεχνητής νοημοσύνης. Η μηχανική μάθηση είναι ένα από τα πιο πολλά υποσχόμενα εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης, τα οποία μπορούν να εκμεταλλευτούν τόσο τεράστιους όγκους πληροφοριών και μπορούν να βοηθήσουν τις συναρπαστικές εφαρμογές των δικτύων 5G, όπως γνωστικά ραδιόφωνα, τεράστια MIMOs, femto / μικρά κύτταρα, ετερογενή δίκτυα, έξυπνο δίκτυο, ενεργειακή συγκομιδή, επικοινωνίες D2D. Με δίκτυα 5G θα υπάρξει μετακίνηση από αυτόνομο σε γνωστικό υπολογιστή. Σε αυτήν τη διαδικασία, η μηχανική μάθηση και η ευαισθητοποίηση περιβάλλοντος διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία του δικτύου. Επιπλέον, απαιτείται εικονικοποίηση προκειμένου να εφαρμοστούν οι δυναμικές πτυχές και έτσι η μηχανική μάθηση είναι απαραίτητη για να αντιμετωπιστούν οι πολυπλοκότητες που εισάγει η εικονικοποίηση. Τα δεδομένα ιστορικού και πραγματικού χρόνου θα χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση αναλυτικών στοιχείων για τη συνεχή παρακολούθηση του δικτύου και τη χρήση μηχανικής εκμάθησης για την πρόβλεψη και τη δυναμική προσαρμογή σε νέα περιβάλλοντα και καταστάσεις. Το δίκτυο 5G θα περιέχει ένα σύνολο διαφορετικών τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων των εξαιρετικά πυκνών δικτύων (δηλαδή, χρήση διαφόρων τεχνολογιών ραδιοπρόσβασης, πολλαπλών τεχνικών backhaul και μιας ιεραρχίας κυττάρων - μακρο, pico, femto), τεράστιο MIMO (δηλαδή, μεγάλες σειρές κεραιών στο BS για ταυτόχρονη εξυπηρέτηση πολλών χρηστών), φάσμα mmWave (λειτουργεί με συχνότητα άνω των 30 - 300 GHz), γνωστική αρχιτεκτονική με βάση το ραδιόφωνο, αρχιτεκτονική βάσει cloud και επικοινωνία D2D. Συνοπτικά, οι τρεις κύριες τεχνολογίες που θα συμβάλουν σημαντικά στο 5G είναι: εξαιρετική πυκνότητα, mmWave και τεράστιο MIMO. Αυτές οι τρεις θεωρούνται οι πιο πολλά υποσχόμενες βασικές τεχνολογίες για τη βελτίωση της χρήσης

του φάσματος, την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος και την ενίσχυση της απόδοσης του δικτύου 5G. Τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης, όπως μηχανική μάθηση, προηγμένες τεχνικές μηχανικής μάθησης και μεγάλα αναλυτικά δεδομένα είναι απαραίτητα σε δίκτυα 5G, προκειμένου να είναι έξυπνα και ενεργά. Το αυξημένο εύρος ζώνης, η υψηλότερη χρήση του φάσματος και οι υψηλοί ρυθμοί δεδομένων σε δίκτυα 5G διευρύνουν επίσης το τοπίο απειλών και απορρήτου στη προσωπική συσκευή του δικτύου παρόχου υπηρεσιών. Έτσι, το δίκτυο πρέπει να είναι αρκετά έξυπνο για να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις σε πραγματικό χρόνο και οι τεχνικές ML και AI θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη μοντελοποίηση αυτών των ισχυρών δυναμικών αλγορίθμων που μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό προβλημάτων δικτύου και να παρέχουν την πιθανή λύση σε πραγματικό χρόνο. Με τον ίδιο τρόπο, τα AI και ML προστατεύουν τις προσωπικές συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο παρέχοντας προσαρμοστικές λύσεις ασφάλειας που μπορούν να αντιμετωπίσουν διάφορες καταστάσεις δικτύου, απειλές και επιθέσεις. Βραχυπρόθεσμα έως μεσοπρόθεσμα, τα AI και ML μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό των απειλών και την αντιμετώπισή τους με τους ισχυρούς και προσαρμοστικούς αλγόριθμους ασφαλείας. Ενώ, μακροπρόθεσμα, προβλέπεται ένας πλήρως αυτοματοποιημένος μηχανισμός ασφαλείας για την έγκαιρη ανταπόκριση σε απειλές και επιθέσεις. Τα δίκτυα 5G αναμένεται να υποστηρίξουν πολύ υψηλότερη ετερογένεια επιπέδου (όσον αφορά τις συνδεδεμένες συσκευές και δίκτυα) σε σύγκριση με τους προκατόχους τους. Ομοίως, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) σε δομή δικτύου 5G θα περιλαμβάνει πιο στιβαρές και προσαρμοστικές τεχνικές για τον χειρισμό των κρίσιμων ζητημάτων ασφαλείας τόσο από πλευράς δικτύου όσο και από τη πλευρά της συσκευής. Η ασφάλεια τέτοιων δικτύων θα είναι πολύ πιο περίπλοκη λόγω της εξωτερικής εισβολής καθώς και της τοπικής εισβολής. Το AI και το ML μπορούν να παρέχουν λύσεις ταξινομώντας εύθραυστους συνδέσμους ασφαλείας μεταξύ άλλων, για παράδειγμα, ταυτότητα, έλεγχο ταυτότητας και διασφάλιση. Διότι, οι επιτιθέμενοι χρησιμοποιούν εξελιγμένες τεχνικές όπως η απόκρυψη, ο πολυμορφισμός ή η πλαστοπροσωπία για να αποφύγουν τον εντοπισμό. Η ασφάλεια και το απόρρητο στο 5G-IoT θα καλύπτει όλα τα επίπεδα, όπως προστασία ταυτότητας, προστασία προσωπικών δεδομένων και προστασία E2E. Για παράδειγμα, θα προστατεύουν το πλαίσιο ελέγχου ταυτότητας κλειδιού από δίκτυο τελικής συσκευής σε δίκτυο πυρήνα και εντός δικτύου προς πάροχο υπηρεσιών, όμως η απόκρυψη του αναγνωριστικού κλειδιού εξακολουθεί να είναι ένα περίπλοκο ζήτημα. Το AI και το ML μπορούν επίσης να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο ταυτότητας κλειδιών, καθώς και στην αποτελεσματική ελαχιστοποίηση των «μεταμφιεσμένων» επιθέσεων. Η τροφοδοσία για την ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων από αυτά τα διαφορετικά συστήματα με μοναδικά διαφορετικές απαιτήσεις ασφαλείας καθίσταται μια κουραστική εργασία. Τα ισχυρά AI και ML με επισκόπηση του SBA και των απαιτήσεων ασφαλείας για διαφορετικά τελικά συστήματα μπορούν να εντοπίσουν και να διορθώσουν αυτά τα ζητήματα σε πραγματικό χρόνο, ταξινομώντας και συγκεντρώνοντας ασυνήθιστες απειλές. Αυτό, με τη σειρά του, βοηθά σημαντικά την έλλειψη δεξιοτήτων εργατικού δυναμικού στη βιομηχανία ασφαλείας πληροφοριών. Τα AI και ML μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη μηχανισμών ασφαλείας δημιουργώντας μοντέλα εμπιστοσύνης, ασφάλεια συσκευών και διασφάλιση δεδομένων για την παροχή

συστηματικής ασφάλειας για ολόκληρο το δίκτυο 5G-IoT. Κυρίως, οι αλγόριθμοι AI και ML είναι «πεινασμένοι» από την φύση τους, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτούνται δεδομένα στην εκπαίδευση του μοντέλου για αποτελεσματική λειτουργία. Στην εποχή του 5G, η παραγωγή δεδομένων, η αποθήκευση και η διαχείριση δεν είναι δύσκολη καθώς έχουμε υψηλή υπολογιστική ισχύ, εκθετική ανάπτυξη δεδομένων και πηγές δεδομένων. Το δίκτυο μπορεί να διατηρηθεί, να προσπελαστεί και να αναλυθεί για πιθανές απειλές, επιθέσεις και ευπάθειες χρησιμοποιώντας AI και ML με χαμηλότερο κόστος υπολογιστών και προσιτή υποδομή. Τα μοντέλα AI και ML μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό ύποπτων δραστηριοτήτων σε πραγματικό χρόνο, αναλύοντας μοτίβα και παραμέτρους δραστηριότητας δικτύου. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση ανωμαλιών παρακολουθώντας παραμέτρους δικτύου, όπως η απόδοση και τα αρχεία καταγραφής σφάλματος δικτύου. Οι αλγόριθμοι συμπλέγματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατηγοριοποίηση διαφόρων ειδών απειλών και κενών στην ασφάλεια του δικτύου. Τα μοντέλα, όπως στατιστικές επιθέσεις συμπερασμάτων και γενετικά εχθρικά δίκτυα (GAN), μπορούν να δημιουργήσουν πλαστά σύνολα δεδομένων για την ανάπτυξη και αξιολόγηση νέων μέτρων ασφαλείας, καθώς και τη δοκιμή και εφαρμογή εξελιγμένων πρωτοκόλλων ασφαλείας και αλγορίθμων. Η έρευνα για την ανάπτυξη ιδιωτικών μοντέλων AI και ML έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στον ασφαλή υπολογισμό, την κρυπτογράφηση, το απόρρητο και την ομοσπονδιακή μάθηση. Τα υβριδικά μοντέλα δημιουργούνται υιοθετώντας τεχνικές από διαφορετικά πεδία για να κάνουν τα μοντέλα αποτελεσματικά, ταχύτερα και γενικευμένα. Το πιο κοινό και δημοφιλές παράδειγμα είναι το διαφορικό απόρρητο που εισήγαγε η ομάδα ασφαλείας και απορρήτου της Google. Το ασφαλές πεδίο υπολογισμού σημειώνει νέα πρόοδο συγκεντρώνοντας ξεχωριστά πρωτόκολλα για ταχύτερους υπολογισμούς. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τα Gazelle, TAPAS και Faster CryptoNets που χρησιμοποιούνται για ασφαλή υπολογισμό με ομομορφική κρυπτογράφηση. Το SecureNN είναι μια λύση ML που χρησιμοποιεί λειτουργία βασισμένων σε σύγκριση νευρωνικών δικτύων για εξαγωγή bit και μυστική κοινή χρήση. Η ομοσπονδιακή μάθηση και οι ασφαλείς θύλακες χρησιμοποιούν επίσης μοντέλα που βασίζονται σε AI και ML, όπως Slalom, Chiron και Ekiden. Μια άλλη πρόσφατη τάση είναι η ανάπτυξη γενικών και ισχυρών αλγορίθμων ανίχνευσης ανωμαλιών που ασχολούνται με άγνωστες επιθέσεις. Τα AI και ML μπορούν να εφαρμοστούν για την αντιμετώπιση των περισσότερων εφαρμογών, όπως συστήματα ανίχνευσης ιών, ανίχνευση εισβολής, φίλτρα ανεπιθύμητων μηνυμάτων και συστήματα εντοπισμού απάτης. Οι μέθοδοι λειτουργούν γενικά σε δεδομένα που δημιουργούνται από κίνηση στο δίκτυο, διεργασίες κεντρικού υπολογιστή, κλπ. Οι μη εποπτευόμενοι αλγόριθμοι όπως τα νευρωνικά δίκτυα και η ομαδοποίηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν τους ανθρώπους να εντοπίσουν ύποπτες δραστηριότητες. Το δίκτυο 5G και πέρα από το SBA, τις ανεξάρτητες αποκεντρωμένες λειτουργίες δικτύου και τους διακομιστές τρίτων θα αποτελέσει μεγαλύτερη απειλή από την άποψη της άρνησης υπηρεσίας (DoS) και των κυβερνοεπιθέσεων. Έτσι, ειδικοί πράκτορες σύμφωνα με τον τομέα των στοιχείων του δικτύου μπορούν να προστατεύσουν καλύτερα αυτά τα συστατικά, ιδίως και το γενικό σύστημα. Διάφορες λύσεις AI και MI έχουν παρουσιαστεί για την αντιμετώπιση αποκεντρωμένων δικτύων. Οι πρόσφατες λύσεις χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές

μάθησης ενίσχυσης (RL) και βαθιάς ενίσχυσης (DRL) για την αντιμετώπιση τέτοιων επιθέσεων. Σε περίπτωση επιθέσεων μπλοκαρίσματος όπου, οι χάκερ μπλοκάρουν τα σήματα ραδιοσυχνοτήτων (RF), αναπτύχθηκαν λύσεις με βάση το DRL που επιλέγουν κατάλληλα κανάλια συχνότητας και αποφεύγουν την επίθεση χρησιμοποιώντας μια βέλτιστη πολιτική που έχει μάθει σε προηγούμενες παρατηρήσεις. Οι κυβερνο-φυσικές επιθέσεις χειρίζονται δεδομένα για να αποκτήσουν τον έλεγχο του συστήματος. Αυτά τα είδη επιθέσεων συμβαίνουν συνήθως σε αυτόνομα συστήματα, όπως έξυπνα οχήματα. Το DRL παρέχει στα αυτόνομα συστήματα τη δυνατότητα να μάθουν από τις παρατηρήσεις που ποικίλλουν από το χρόνο για τη δημιουργία βέλτιστων ενεργειών, έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να είναι πιο στιβαρό και δυναμικό. Τα συστήματα DRL δείχνουν αξιοπρεπή πρόοδο στη διατήρηση της σύνδεσης μεταξύ ρομπότ για την υποστήριξη της αποτελεσματικής επικοινωνίας. Το Deep Learning (DL) παρέχει επίσης τα οφέλη του σε λύσεις ασφάλειας στον κυβερνοχώρο, καθώς μπορεί να μάθει αυτόματα μοτίβα από προηγούμενες καταχωρήσεις για να αποφύγει μελλοντική εισβολή και να εντοπίσει ακανόνιστα μοτίβα. Το DL έχει αναπτυχθεί με επιτυχία σε επίπεδο ασφάλειας υποδομής (ανίχνευση ανωμαλιών στο φυσικό δίκτυο), ασφάλεια σε επίπεδο λογισμικού (κακόβουλο λογισμικό, ανίχνευση ιών και botnet στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας) και ασφάλεια σε επίπεδο χρήστη (προστασία ιδιωτικών πληροφοριών). Διαφορετικές παραλλαγές δικτύων DL, όπως αυτόματοι κωδικοποιητές, πυκνά δίκτυα και Convolutional Neural Network χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές ασφαλείας, όπως ανίχνευση κακόβουλου λογισμικού, DoS probing, flooding, στιγμιαίες παραλλαγές λόγου σήματος προς θόρυβο και διάφορες άλλες κυβερνοεπιθέσεις. Σε επίπεδο λογισμικού, τα δίκτυα DL χρησιμοποιούνται στην κατάταξη κακόβουλων εφαρμογών, ανεπιθύμητων μηνυμάτων, άγνωστης κυκλοφορίας και botnet. Στην περίπτωση του απορρήτου των χρηστών, η DL έχει δείξει τις δυνατότητές της σε προβλήματα ανταλλαγής δεδομένων, διαρροή πληροφοριών και διατήρηση απορρήτου. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται πως αξιοποιείτε η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη στο 5G:



Εικόνα 19: Η αξιοποίηση της Μηχανικής Μάθησης και της Τεχνητής Νοημοσύνης στο 5G

Η μηχανική μάθηση θα προσφέρει στις απαιτήσεις του 5G την δυνατότητα για πιο ενισχυμένη ευρυζωνική σύνδεση στις κινητές συσκευές (eMBB) αναπτύσσοντας το. Το eMBB αναμένεται να είναι η κύρια περίπτωση χρήσης για το 5G στις πρώτες εφαρμογές του, σύμφωνα με τους ασύρματους χειριστές. Το eMBB θα προσφέρει φορητές

ευρυζωνικές συνδέσεις υψηλής ταχύτητας σε πολυσύχναστες περιοχές, επιτρέποντας στους καταναλωτές να απολαμβάνουν ροή υψηλής ταχύτητας για οικιακές συσκευές, οθόνες και κινητές συσκευές κατά παραγγελία και θα επιτρέψουν την ανάπτυξη των εταιρικών υπηρεσιών συνεργασίας. Ορισμένοι φορείς εκμετάλλευσης θεωρούν επίσης το eMBB ως την τελευταία λύση σε αυτές τις περιοχές που δεν διαθέτουν συνδέσεις χαλκού ή ινών με σπίτια. Καθώς το 5G eMBB καθίσταται ευρέως διαθέσιμο, μπορεί να παραδώσει αρκετές περιπτώσεις υποχρήσης, όπως:

Hotspots: Το eMBB μπορεί να βελτιώσει την ευρυζωνική πρόσβαση σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, ενισχύοντας την εσωτερική και εξωτερική κάλυψη σε πολυώροφα κτίρια και πολυσύχναστα κέντρα πόλεων.

Ευρυζωνικότητα παντού: Τεχνολογίες όπως το FWA μπορούν να προσφέρουν συνεπή κάλυψη σε όλο τον κόσμο με ελάχιστες ταχύτητες 50 Mbps.

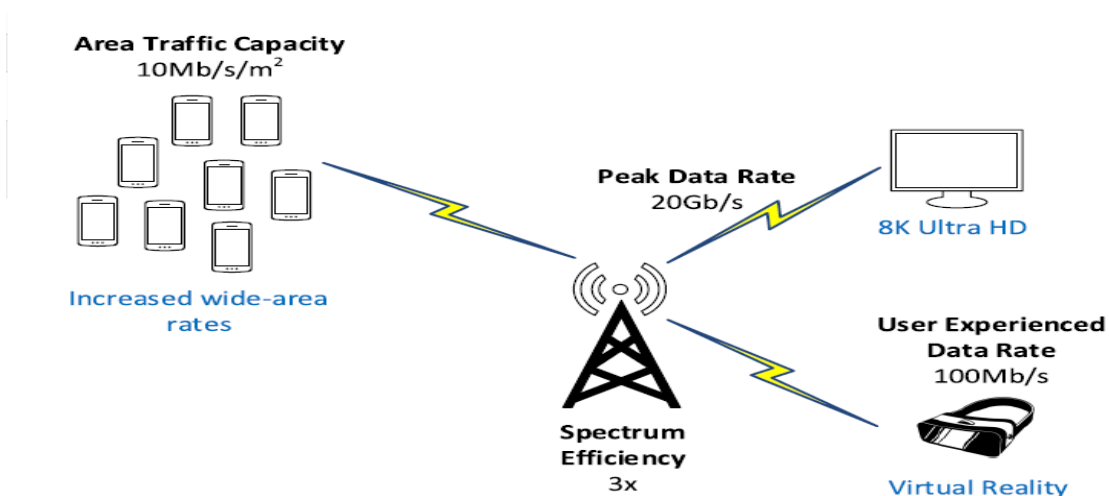
Δημόσιες συγκοινωνίες: Η ευρυζωνική πρόσβαση σε τρένα υψηλής ταχύτητας και σε άλλους τρόπους δημόσιας μεταφοράς είναι παραδείγματα.

Έξυπνα γραφεία: Το eMBB μπορεί να προσφέρει συνδέσεις υψηλού εύρους ζώνης σε εκατοντάδες χρήστες σε περιβάλλοντα με μεγάλη κίνηση δεδομένων.

Εκδηλώσεις μεγάλης κλίμακας: Συναυλίες και αθλητικές εκδηλώσεις μπορούν να εξυπηρετηθούν από το eMBB, επιτρέποντας υψηλά ποσοστά δεδομένων όπου συγκεντρώνονται δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιάδες άτομα.

Βελτιωμένα πολυμέσα: Το eMBB μπορεί να παρέχει συνεχή ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας, κινητή τηλεόραση και περιεχόμενο σε πραγματικό χρόνο σε ευρείες περιοχές κάλυψης.

Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε το eMBB όπου προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων αιχμής και αυξημένα ποσοστά ευρείας περιοχής:



Εικόνα 20: Το eMBB(βελτιωμένες εφαρμογές Mobile Broadband)

Η βελτίωση της τρέχουσας υπηρεσίας MBB θα επιτρέψει νέες εφαρμογές με υψηλότερες απαιτήσεις ρυθμού δεδομένων σε μια ενιαία περιοχή κάλυψης (π.χ., εξαιρετικά υψηλή ροή βίντεο και εικονική πραγματικότητα). Οι βασικές απαιτήσεις για την ενεργοποίηση του eMBB παρουσιάζονται παρακάτω:

a) ΡΥΘΜΙΣΗ ΜΕΓΑΛΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων έχει προγραμματιστεί να αυξηθεί και να υποστηρίξει περιπτώσεις χρήσης βάσει δεδομένων υψηλής ζήτησης. Τα συστήματα IMT-2020 θα απαιτήσουν να παρέχουν 20 φορές υψηλότερο ρυθμό δεδομένων από την προηγούμενη τεχνολογία, από 1 Gb / s σε 4G έως 20 Gb / s σε 5G. Αυτός είναι ο μέγιστος εφικτός ρυθμός δεδομένων υπό ιδανικές συνθήκες χωρίς σφάλματα που εκχωρούνται σε έναν μόνο κινητό σταθμό όταν χρησιμοποιούνται όλοι οι εκχωρημένοι πόροι ραδιοφώνου για τον αντίστοιχο σύνδεσμο (εξαιρουμένων των πόρων ραδιοφώνου για φυσικό συγχρονισμό στρώματος, σήματα αναφοράς, ζώνες προστασίας κ.λπ.) Η αύξηση του μέγιστου ρυθμού δεδομένων σε 5G πρέπει να θεωρηθεί ως μια εξέλιξη που βασίζεται σε όλα τα στοιχεία του φάσματος. Η ανάγκη για νέο πρόσθετο φάσμα αυξήθηκε με βάση την εμφάνιση νέων περιπτώσεων χρήσης καθώς οι πάροχοι υπηρεσιών επικοινωνιών εξετάζουν τις επιλογές ανάπτυξης τους για δίκτυα 5G, θα χρειαστούν πρόσβαση σε σημαντικές ποσότητες πόρων ραδιοφάσματος για να επιτύχουν τα πλήρη οφέλη απόδοσης του νέου 5G τεχνολογία ραδιοφώνου. Τα κύματα εκατοστόμετρου (cmWave) και τα κύματα χιλιοστών (mmWave) θεωρούνται ως θεμελιώδης απάντηση για να ξεκλειδώσει η πλήρης ισχύ του eMBB. Τα μελλοντικά συστήματα θα πρέπει να αναπτύξουν ευελιξία προκειμένου να λειτουργήσουν σε ένα ευρύ φάσμα κανονιστικών μοντέλων και συμφωνιών κοινής χρήσης. Η μαζική ή μεγάλη πολλαπλή έξοδος πολλαπλών εισόδων (MIMO) είναι μια ουσιαστική συνεισφορά στην υπόσχεση για την παροχή αυξημένης φασματικής απόδοσης στα 5G. Το MIMO ορίζεται ως ένα σύστημα που χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό ανεξάρτητα ελεγχόμενων στοιχείων κεραίας για να εκμεταλλευτεί τους χωρικούς βαθμούς ελευθερίας των πολυπλεξικών μηνυμάτων για πολλούς χρήστες στην ίδια συχνότητα ή για να εστιάσει το ακτινοβολημένο σήμα προς τους προβλεπόμενους δέκτες για την ελαχιστοποίηση των intracells και των intercells. Οι συνεισφορές της MIMO technology περιλαμβάνουν εκτίμηση καναλιών και εκτίμηση κατεύθυνσης άφιξης (DOA) χρησιμοποιώντας βαθιά νευρωνικά δίκτυα (DNN) για να μάθουν τα στατιστικά στοιχεία του ασύρματου καναλιού και των χωρικών δομών στον τομέα γωνίας. Μια άλλη συνεισφορά ML στο MIMO είναι η ταξινόμηση των πληροφοριών κατάστασης καναλιού (CSI) για την επιλογή των βέλτιστων δεικτών κεραίας χρησιμοποιώντας εποπτευόμενη εκμάθηση (δηλαδή, k-πλησιέστεροι γείτονες (k-NN) και υποστήριξη μηχανών φορέα (SVM)).

b) ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΧΡΗΣΤΗ

Ο ρυθμός δεδομένων με εμπειρία χρήστη ορίζεται ως το σημείο 5% της συνάρτησης αθροιστικής διανομής (CDF) της απόδοσης του χρήστη κατά τον ενεργό χρόνο (δηλαδή, ο αριθμός των σωστών λαμβανόμενων bits στο MAC Layer 3), που μετράτε σε ένα πυκνό

αστικό περιβάλλον. Το IMT-2020 σκοπεύει να υποστηρίξει 10 φορές υψηλότερο ρυθμό δεδομένων με εμπειρία χρήστη σε σύγκριση με 4G LTE, από 10 Mbit / s έως 100 Mbit / s. Η ισχυρή σύνδεσή του με άλλες απαιτήσεις, όπως ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων και ο λανθάνων χρόνος καθιστά ιδανικό να χρησιμοποιείται ως δείκτης απόδοσης 5G σε πραγματικά περιβάλλοντα. Αναδυόμενες τεχνολογίες όπως η εικονικοποίηση ασύρματου δικτύου (WNV) θα γίνουν μία από τις κύριες τάσεις στα συστήματα 5G και θα ενισχύσουν την καλύτερη ποιότητα εμπειρίας (QoE) για τους τελικούς χρήστες. Το WNV βασίζεται σε δίκτυο που καθορίζεται από λογισμικό (SDN) και στην εικονικοποίηση λειτουργίας δικτύου (NFV) για την εκπλήρωση διαφορετικών προτύπων δικτύου. Η δυνατότητα προγραμματισμού δικτύου μέσω SDN και NFV προσφέρει ατελείωτες δυνατότητες για την αυτοματοποίηση της λειτουργίας του δικτύου και των εργασιών διαχείρισης εφαρμόζοντας αλγορίθμους γνωστικής νοημοσύνης και ML. Τα συστήματα κατανομής πόρων δικτύου έχουν σχεδιαστεί με βάση SDN και NFV για να επιτρέπουν την αυτόνομη διαχείριση δικτύου. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν ταξινομητές για να προβλέψουν τη ζήτηση και να κατανέμουν δυναμικά το ποσό των πόρων του δικτύου, τη ρύθμιση τοπολογίας και τον καταλληλότερο ρυθμό bit ανάλογα με την απόδοση συνδεσιμότητας (π.χ. εύρος ζώνης, λανθάνουσα κατάσταση και jitter), βελτιώνοντας τον ρυθμό δεδομένων που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Ομοίως, το ML μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιλέξει δυναμικά τον πιο κατάλληλο ρυθμό μετάδοσης bit ανάλογα με την απόδοση σύνδεσης, χρησιμοποιώντας παράγοντες που μαθαίνουν με την πάροδο του χρόνου. Για αυτήν την περίπτωση, η επαρκής επιβολή πολιτικής σε ολόκληρο το δίκτυο εξακολουθεί να είναι ένα ανοιχτό ζήτημα, αλλά αναμένεται ότι στο μέλλον, πολλοί ελεγκτές SDN θα μπορούν να συνεργάζονται με κατανεμημένο τρόπο. Λαμβάνοντας υπόψη την κίνηση που δημιουργείται από πολλές πηγές, τα γενετικά δίκτυα βαθιάς νευρωνικής (GDNN) μπορούν να αποκαλύψουν την παρουσία συσχετισμών που επηρεάζουν τις αναγνώσεις πολλαπλών αισθητήρων που αναπτύσσονται στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Για παράδειγμα, ένα GDNN που τροφοδοτείται με τις αναγνώσεις όλων των thesensors ενός κτιρίου μπορεί να συλλάβει συσχετισμούς που εξαρτώνται από την κίνηση που δημιουργείται από τις συσκευές, καθιστώντας δυνατή τη διάκριση όχι μόνο μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών πηγών κίνησης (π.χ. τυχαίες προειδοποιήσεις και περιοδικές ανιχνευμένα δεδομένα), αλλά ακόμη και μεταξύ διαφορετικών ρευμάτων της ίδιας κλάσης (π.χ. δεδομένα με υψηλότερη προτεραιότητα και χρονικές τάσεις), λόγω, για παράδειγμα, περιβαλλοντικών αλλαγών ή κοινωνικών φαινομένων. Αυτού του είδους οι πλούσιες πληροφορίες περιβάλλοντος μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω βελτιστοποιώντας τη χρήση των πόρων μετάδοσης, π.χ., συμπεράνοντας τον τύπο του κτιρίου (γραφείο ή κατοικία) και προσαρμόζοντας ανάλογα τα μοντέλα διάδοσης για τη μεγιστοποίηση του QoE που προσφέρεται στον τελικό χρήστη.

c) ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Η χωρητικότητα κυκλοφορίας περιοχής αναφέρεται στη συνολική απόδοση κίνησης που εξυπηρετείται ανά γεωγραφική περιοχή σε Mbit / s / m², δηλαδή στον αριθμό των σωστών λαμβανόμενων bit που περιέχονται στη μονάδα δεδομένων υπηρεσίας (SDU), για

μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η τιμή-στόχος για χωρητικότητα κυκλοφορίας περιοχής αυξήθηκε από 0,1 Mbits / s / m² σε IMT-advanced, σε 10 Mbit / s / m² σε 5G. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η ζήτηση χωρητικότητας, η συγκέντρωση κυψελών έχει προταθεί με ευχάριστα αποτελέσματα σε σενάρια 5G. Η πυκνότητα κυττάρων αναφέρεται στην ανάπτυξη μεγάλου αριθμού μικρών σταθμών βάσης (SBS) με διαφορετικά μεγέθη κυψελών (δηλ. Micro, pico και femtocells), επιτρέποντας μεγαλύτερη χωρική επαναχρησιμοποίηση των πόρων. Πρόσθετα επίπεδα μικρών κυψελών παρέχουν τεράστια αύξηση στον παράγοντα επαναχρησιμοποίησης φάσματος, ο οποίος επιτρέπει την κατανομή μεγαλύτερου εύρους ζώνης ανά UE. Η μη επιτηρούμενη μάθηση ήταν η de facto προσέγγιση ML για τη δημιουργία συστάδων σε συντονισμένο πολλαπλό σημείο (CoMP), με βάση διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως βελτίωση χωρητικότητας, μετρίασμός παρεμβολών μεταξύ κυττάρων και εξισορρόπηση φορτίου. Η μη εποπτευόμενη μάθηση αυτο-οργάνωσης χάρτη (SOM) έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό της κάλυψης δυναμικών συμπλεγμάτων στο HetNets, με το πλεονέκτημα της προσαρμογής της θέσης των μικρών κυψελών βάσει ενός SON. Το κύριο μειονέκτημα της πυκνότητας των κυττάρων είναι ότι η κίνηση που μπορεί να εξυπηρετηθεί από ένα SBS περιορίζεται από την χωρητικότητα του backhaul link. Για την ανακούφιση της συμφόρησης του συνδέσμου backhaul και την αύξηση της συνδεσιμότητας, έχει προταθεί η προσωρινή αποθήκευση του πιο δημοφιλούς περιεχομένου στην άκρη του δικτύου. Η επισκεψιμότητα βίντεο είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για προσωρινή αποθήκευση επειδή απαιτεί υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και εμφανίζει μια ασύγχρονη ιδιότητα επαναχρησιμοποίησης περιεχομένου. Τα περιεχόμενα μπορούν να αποθηκευτούν στην κρυφή μνήμη είτε σε SBS εξοπλισμένα με μνήμη cache είτε απευθείας στις συσκευές των χρηστών. Μία από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες για την αύξηση της χωρητικότητας κυκλοφορίας είναι η χρήση πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO) και συντονισμένων συστημάτων κεραιών πολλαπλών σημείων (CoMP). Τα συστήματα πολλαπλών κεραιών στο eMBB υποστηρίζουν ακραίες ταχύτητες δεδομένων σε μια δεδομένη περιοχή, βελτιώνοντας τη φασματική απόδοση και την ακραία κάλυψη.







d) ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Οι ελάχιστες απαιτήσεις για μέγιστη φασματική απόδοση στο IMT-2020 είναι 30 bit / s / Hz για downlink και 15 bit / s / Hz για uplink. Η μέγιστη φασματική απόδοση υποδηλώνει το μέγιστο ρυθμό δεδομένων υπό ιδανικές συνθήκες που ομαλοποιούνται από το εύρος ζώνης καναλιού (σε bit / s / Hz). Το διαθέσιμο φάσμα θα επεκταθεί από 3 GHz σε 4G και έως 30 GHz σε 5G. Για να ικανοποιηθεί αυτή η απαίτηση, απαιτείται επίσης πρόσβαση σε ευέλικτες τεχνικές που μεγιστοποιούν την απόδοση του φάσματος. Η αναζήτηση βέλτιστης χρήσης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μας οδήγησε να σκεφτούμε τη χρήση του φάσματος όχι από την άποψη της αποκλειστικής ιδιοκτησίας αλλά της πολλαπλής πρόσβασης. Στη διαδικασία της δυναμικής πρόσβασης στο φάσμα, τα αρνητικά αποτελέσματα της κοινοποίησης αδειών έχουν δημιουργήσει αμφιβολίες μεταξύ των ερευνητών. Για να μειωθούν οι αρνητικές συνέπειες της κοινής χρήσης

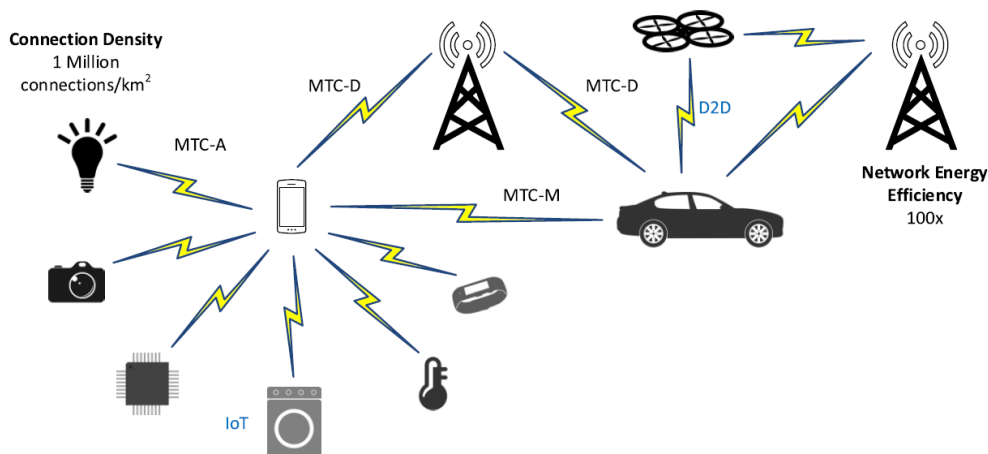
ραδιοφάσματος στους κόμβους αδειών πρόσβασης προτεραιότητας (PAL), χρησιμοποιήθηκε ενισχυτική εκμάθηση στη νέα ζώνη 3,5 GHz Citizens Broadband Radio Service (CBRS), για πρόσβαση σε κοινόχρηστο φάσμα ευκαιριακά. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος Q-learning για την προσαρμογή της πρόσβασης των δευτερευόντων κόμβων General Authorized Access (GAA), μέσω της εκμάθησης ενός βέλτιστου ορίου ανίχνευσης ενέργειας (EDT) για την ανίχνευση φορέα. Το τοπικό πλαίσιο εκμάθησης μπορεί να επεκταθεί σε μια παγκόσμια ευφυΐα χρησιμοποιώντας τη μάθηση πολλαπλών πρακτόρων για να βελτιστοποιηθεί από κοινού εντός και σε διαφορετικές εφαρμογές κοινής χρήσης φάσματος. Παρομοίως σημαντική, η ανίχνευση ανώμαλης συμπεριφοράς στο ασύρματο φάσμα παρέμεινε ως κρίσιμη δουλειά λόγω της πολύπλοκης ηλεκτρομαγνητικής χρήσης του φάσματος. Οι ανωμαλίες του ασύρματου φάσματος μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το ανεπιθύμητο σήμα σε μια άδεια ζώνη, η οποία καθιστά την μη αυτόματη επισήμανση, μη πρακτική.

Επίσης η εισαγωγή της τεχνολογίας μηχανικής μάθησης στα 5G δίκτυα θα πρέπει να υποστηρίζει νέες και ακόμη απρόβλεπτες χρήσεις χάρης στο mMTC. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των υπηρεσιών επικοινωνίας 5G είναι η κλιμακούμενη ζήτηση συνδεσιμότητας για την επέκταση του αριθμού των ασύρματων συσκευών με αποτελεσματική μετάδοση μικρών ποσοτήτων δεδομένων σε περιοχές εκτεταμένης κάλυψης. Εφαρμογές όπως δίκτυα σώματος, έξυπνα σπίτια, IoT και drones θα δημιουργήσουν αυτόν τον τύπο κυκλοφορίας. Η μαζική επικοινωνία τύπου μηχανής (mMTC) επίσης γνωστή ως μαζική επικοινωνία μηχανής (MMC) ή μαζική επικοινωνία Machine to Machine είναι ένας τύπος επικοινωνίας μεταξύ μηχανημάτων μέσω ενσύρματων ή ασύρματων δικτύων όπου η παραγωγή δεδομένων, η ανταλλαγή πληροφοριών και η ενεργοποίηση πραγματοποιούνται με ελάχιστη ή καθόλου παρέμβαση από τον άνθρωπο. Είναι μια υποκατηγορία της επικοινωνίας τύπου μηχανής (MTC). Το mMTC ασχολείται ιδιαίτερα με την ασύρματη συνδεσιμότητα και τη δικτύωση μεταξύ τεράστιων αριθμών (δισεκατομμυρίων) μηχανημάτων και θεωρείται βασική εξέλιξη από το Διαδίκτυο των πραγμάτων IoT στο Διαδίκτυο των πάντων. Η ανάπτυξη του mMTC περιορίζεται από τη διαθεσιμότητα της απαραίτητης συνδεσιμότητας για την υποστήριξη τεράστιου αριθμού αλληλεπιδράσεων μεταξύ μηχανών σε μηχανές. Αυτός ο τύπος επικοινωνίας συνήθως γίνεται μέσω μικρών πακέτων δεδομένων που δεν υποστηρίζονται βέλτιστα από τα κυψελοειδή δίκτυα που έχουν σχεδιαστεί για ανθρώπινη επικοινωνία. Μια τέτοια δικτύωση θα πρέπει να είναι ασφαλής, αξιόπιστη και σταθερά επεκτάσιμη με υψηλή χωρητικότητα και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο για να υποστηρίξει μια σειρά επικοινωνιών σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων. Το mMTC πρέπει επίσης να έχει χαμηλό κόστος και κατανάλωση ενέργειας με την διείσδυση που απαιτείται για να λειτουργεί αποτελεσματικά σε πυκνά αστικά ή εσωτερικά περιβάλλοντα. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας επόμενης γενιάς (NGMN) έχουν θεωρηθεί ως μια πιθανή λύση για την υποστήριξη του mMTC που προσφέρει μια ενιαία πλατφόρμα «οικοσύστημα» όπου η επικοινωνία δεκάδων δισεκατομμυρίων συσκευών που βασίζονται σε IP θα μπορούσε να υποστηρίζεται αποτελεσματικά και με ασφάλεια. Η έλευση του 5G προτείνεται ως ευκαιρία δημιουργίας ενός NGMN ικανού να υποστηρίξει το mMTC. Το 5G αναμένεται να

γίνει μια πλατφόρμα τεχνολογίας ικανή να υποστηρίξει τεράστιες τεχνολογικές υποδομές και καινοτομίες. Το mMTC μπορεί να είναι εφικτό εάν το άθροισμα του μηχανήματος στο μηχάνημα, η συσκευή στη συσκευή, το όχημα σε όχημα επικοινωνιών θα μπορούσε να ενοποιηθεί σε ένα μόνο δίκτυο 5G. Οι βασικοί τομείς όπου αναπτύσσονται εφαρμογές mMTC περιλαμβάνουν:

-  Υγειονομική περίθαλψη
-  Μεταφορές
-  Βοηθητικά προγράμματα
-  Ενέργεια
-  Γεωργία
-  Βιομηχανική παρακολούθηση

Το mMTC προσφέρει την ευκαιρία να επεκταθεί το IoT από περιορισμένη χρήση των καταναλωτών σε μια γενική υποδομή, η οποία εκμεταλλεύεται τις επιχειρήσεις της βιομηχανίας και τους οργανισμούς του δημόσιου τομέα. Το mMTC έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει κριτικά και να αλλάξει την καθημερινή ζωή για μεγάλους πληθυσμούς μέσω της ανάπτυξης «έξυπνων» πόλεων όπου το Διαδίκτυο των Πάντων (IoE) δημιουργεί μια πλήρως δικτυωμένη κοινωνία. Το mMTC παρέχει αποτελεσματική συνδεσιμότητα για την ανάπτυξη ενός τεράστιου αριθμού γεωγραφικά διαδεδομένων συσκευών όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 21: Το mMTC(Επικοινωνίες τύπου Massive Machine)

Οι δύο κεντρικές απαιτήσεις για την ενεργοποίηση του mMTC είναι:

A. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

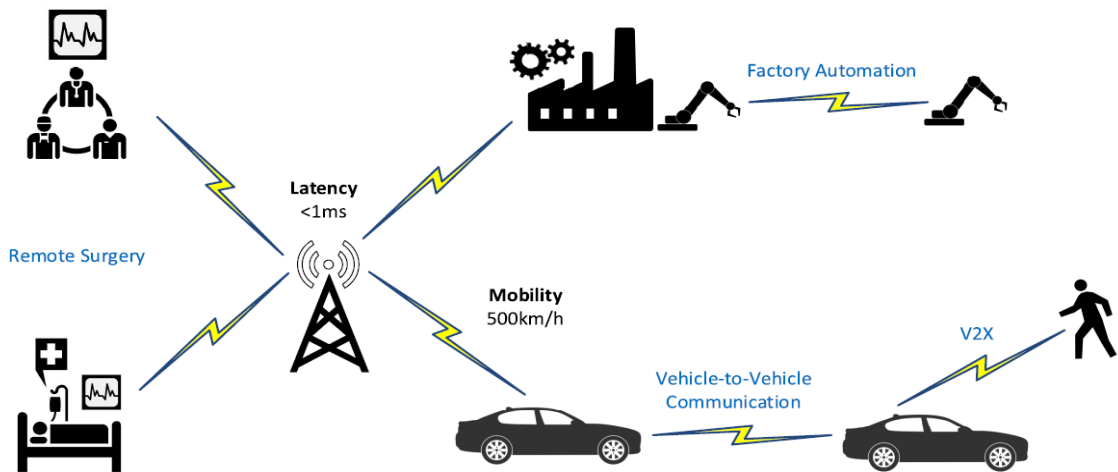
Μια τεράστια πρόκληση για τα συστήματα 5G είναι η σύνδεση τεράστιου αριθμού συσκευών στο διαδίκτυο, λαμβάνοντας υπόψη το IoT και τις έξυπνες πόλεις / σπίτια / κτίρια σε υψηλότερο επίπεδο, από 100 χιλιάδες συνδέσεις ανά km² σε 4G έως 1 εκατομμύρια συνδέσεις ανά km² σε 5G. Αυτή η απαίτηση πρέπει να επιτευχθεί για περιορισμένο εύρος ζώνης και σημεία μετάδοσης-λήψης (TRxPs). Η εμφάνιση του IoT οδήγησε σε σημαντική ποσότητα δεδομένων, που συλλέχθηκαν από αισθητήρες, συσκευές χρήστη και BS, τα οποία πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία από το ασύρματο σύστημα επόμενης γενιάς. Το πρόβλημα της συσχέτισης των κυττάρων όταν αυξάνεται η πυκνότητα των χρηστών έχει αντιμετωπιστεί εκτενώς στο παρελθόν, αλλά πρόσφατα καθώς εμφανίστηκαν τεχνικές ML, έχουν προταθεί αλγόριθμοι Q-learning που επιτρέπουν στους χρήστες να επιλέγουν το BS που τους εξυπηρετεί γρηγορότερα αξιοποιώντας τοπικά δεδομένα και τα μαθησιακά αποτελέσματα των γειτονικών χρηστών, αντί να ανταλλάσσονται όλα τα τοπικά δεδομένα μεταξύ των χρηστών. Η υποδομή συμπύκνωσης δικτύου (δηλαδή, η ανάπτυξη μικρών femtocells) μπορεί εύκολα να συμφορήσει τους αδύναμους συνδέσμους backhaul, επηρεάζοντας το QoS των τελικών χρηστών. Μια προσέγγιση ML για τον μετριασμό αυτού του περιορισμού είναι η λήψη δημοφιλών περιεχομένων (π.χ. ροών βίντεο) κατά τις ώρες εκτός αιχμής, η αποθήκευση των δεδομένων στις μονάδες μνήμης των SB και η επαναχρησιμοποίησή τους κατά την περίοδο αιχμής της κυκλοφορίας. Το πρόβλημα προσωρινής αποθήκευσης έχει διατυπωθεί ως μια διαδικασία Markov με μια άγνωστη πιθανότητα μετάβασης και επιλύεται χρησιμοποιώντας την ενίσχυση μάθησης για να βρει τη βέλτιστη πολιτική προσωρινής αποθήκευσης για προσαρμογή στην υποκείμενη δυναμική του 5G. Με παρόμοιο τρόπο, τα εξαιρετικά πυκνά δίκτυα (UDN) θα οδηγήσουν σε μείωση του αριθμού των ενεργών συσκευών ανά κόμβο πρόσβασης, με αποτέλεσμα το UDN να λειτουργεί συχνά υπό συνθήκες υψηλού φορτίου. Οι νέες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης επιτρέπουν την υπερφόρτωση του φάσματος από την πολυπλεξία των χρηστών στους τομείς ισχύος και κωδικών, με αποτέλεσμα μη ορθογώνια πρόσβαση. Με αυτήν την προσέγγιση, μπορούν να επιτευχθούν κέρδη απόδοσης χρήστη και συστήματος έως και 50%. Τα σχήματα υποψηφίων είναι Μη Ορθογώνια Πολλαπλή Πρόσβαση (NOMA), Sparse Code Multiple Access (SCMA) και Interleave Division Multiple Access (IDMA). Αυτά τα σχήματα μπορούν να συνδυαστούν με σχήματα ανοιχτού και κλειστού βρόχου MIMO.

B. ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η ενεργειακή απόδοση του δικτύου είναι σημαντική για το eMBB και αναμένεται να αυξηθεί από 1x σε 4G, σε 100x για το IMT-2020. Η κατανάλωση ενέργειας από τις συσκευές που συνδέονται με εφαρμογές mMTC πρέπει να ληφθεί υπόψη στο μελλοντικό σχεδιασμό του δικτύου λόγω των νέων εφαρμογών πολυμέσων που καταναλώνουν ενέργεια. Με τον πολλαπλασιασμό των ασύρματων συσκευών σε εφαρμογές 5G (π.χ. κινητά τηλέφωνα, ασύρματα αισθητήρια, αυτόνομα οχήματα, drones, έξυπνη εφοδιαστική κ.λπ.), η ενεργειακά αποδοτική ασύρματη δικτύωση υπήρξε ένα κρίσιμο και δύσκολο ζήτημα που αντιμετωπίστηκε από τη βιομηχανία και τους ακαδημαϊκούς, και θα παραμένει μια καυτή περιοχή έρευνας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η ενεργειακή

απόδοση δικτύου είναι η ικανότητα ενός RAT να ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας του δικτύου ραδιοπρόσβασης σε σχέση με την παρεχόμενη χωρητικότητα κίνησης. Το RAT πρέπει να έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει υψηλή αναλογία ύπνου και μεγάλη διάρκεια ύπνου. Αυτή η απαίτηση πρέπει να μελετηθεί σε δύο δευτερεύουσες πτυχές: αποτελεσματική μετάδοση δεδομένων στην φορτωμένη περίπτωση και στην χαμηλή κατανάλωση ενέργειας όταν δεν υπάρχουν δεδομένα. Επειδή η ενέργεια των κόμβων αισθητήρα είναι περιορισμένη και συνήθως μη επαναφορτιζόμενη, ένα θεμελιώδες πρόβλημα που χρησιμοποιεί το mMTC σε περιπτώσεις που πρέπει να επιλύσουν οι εφαρμογές είναι ο προγραμματισμός των καταστάσεων ύπνου και αφύπνισης των BS και των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN). Ο σκοπός είναι να διατηρήσετε τους κόμβους / BS σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας όσο το δυνατόν περισσότερο, μεγιστοποιώντας την ενέργεια του δικτύου. Η εκμάθηση ενίσχυσης βοηθά στη δημιουργία αυτοπροσαρμοσμένων αλγορίθμων προγραμματισμού ύπνου, επιτρέποντας σε κάθε κόμβο να αποφασίζει αυτόνομα τη βέλτιστη λειτουργία του (π.χ. μετάδοση, ακρόαση και ύπνο), μέσω αλληλεπιδράσεων δοκιμής και σφάλματος σε ένα δυναμικό περιβάλλον. Είναι επίσης επιθυμητό οι συσκευές που συνδέονται με εφαρμογές mMTC να ενσωματώνουν τεχνολογίες συλλογής ενέργειας. Οι έννοιες της συλλογής ενέργειας περιβάλλοντος από σήματα ραδιοσυχνοτήτων (RF) και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι επίσης απαραίτητες για την παράταση της διάρκειας ζωής των συσκευών με περιορισμένη μπαταρία. Για τη βελτιστοποίηση της συλλεγόμενης ενέργειας, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν γραμμική παλινδρόμηση και δέντρα αποφάσεων για να αντλήσουν μοντέλα ενεργειακής πρόβλεψης, επιτρέποντάς τους να καταρτίσουν πολιτικές προγραμματισμού και να παρέχουν στον κόμβο συγκομιδής προσαρμογή στη διαθεσιμότητα ενέργειας.

Τέλος η μηχανική μάθηση στα δίκτυα 5G προσφέρει εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλού λανθάνοντος χρόνου. Η επίτευξη των απαιτήσεων URLLC αποτελεί πρόκληση για τα δίκτυα 5G και θα απαιτήσει τεράστιες τροποποιήσεις στο σχεδιασμό του συστήματος της τρέχουσας τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Λόγω των ενθαρρυντικών αποτελεσμάτων που επιτυγχάνονται με το URLLC, μπορεί να διαδραματίσει αναπόσπαστο ρόλο στην εποχή των 5G. Αν και οι τρέχουσες απαιτήσεις των χρηστών βασίζονται αρχικά σε υψηλό εύρος ζώνης, η καθυστέρηση και η αξιοπιστία αναμένεται επίσης να διαδραματίσουν ζωτικό ρόλο σε εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο και σε κρίσιμα δίκτυα αποστολών. Το URLLC στοχεύει κυρίως σε υπηρεσίες όπως ο έλεγχος κυκλοφορίας ή το τηλεχειριστήριο, οι οποίες απαιτούν υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Το URLLC παρέχει εξαιρετικά αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνία για απαιτητικές εφαρμογές όπως φαίνεται και στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 22: Το URLLC(Εξαιρετικά αξιόπιστη χαμηλή καθυστέρηση)

Οι ακόλουθες περιπτώσεις χρήσης είναι τυπικά παραδείγματα:

➤ Έλεγχος Αυτόνομων Οχημάτων και Έλεγχος Κυκλοφορίας

Αυτή η περίπτωση χρήσης περιλαμβάνει την αποστολή προειδοποιητικών σημάτων μεταξύ οχημάτων και άλλων οχημάτων, οδικών οδών, ακόμη και πεζών για τη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων, βελτίωση της κυκλοφοριακής απόδοσης και υποστήριξη της κίνησης των οχημάτων έκτακτης ανάγκης.

➤ Έλεγχος ρομπότ και σύνδεση 3D με Drones και άλλες συσκευές

Αναμένεται αυτοματοποίηση της κατασκευής και της εφοδιαστικής χρησιμοποιώντας ρομπότ σε έξυπνα εργοστάσια και άλλες εγκαταστάσεις, και ο έλεγχος αυτών είναι μια περίπτωση χρήσης για 5G. Αναμένεται επίσης να καλύψει αερομεταφερόμενες και επίγειες εφαρμογές, οπότε καθορίζεται επίσης η ικανότητα ελέγχου αεροσκαφών και άλλων συσκευών στον αέρα από απόσταση.

➤ Απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση

Η απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας οπτική επικοινωνία ή άλλα σταθερά δίκτυα, αλλά αυτό είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε περιοχές καταστροφών ή σε άλλες επικίνδυνες καταστάσεις. Η απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση σε τέτοιες τοποθεσίες είναι μια άλλη περίπτωση χρήσης για 5G.

Οι κρίσιμες απαιτήσεις για την ενεργοποίηση των επικοινωνιών URLLC είναι:

i. ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ(LATENCY)

Ο λανθάνων χρόνος είναι πιθανώς ένα από τα πιο σημαντικά μέτρα απόδοσης του 5G. Ένα αξιόπιστο σύστημα 5G απαιτεί εξαιρετικά χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και ακόμη και μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) μπορούν να κάνουν μια τεράστια διαφορά, καθιστώντας το ένα εξαιρετικά σημαντικό πεδίο για ερευνητές και μηχανικούς 5G. Οι απαιτήσεις για το IMT-2020 δεν παρέχουν περιθώρια για απεριόριστη καθυστέρηση, από ένα αποδεκτό 10 ms σε 4G, έως <1 ms στην προδιαγραφή για 5G. Η επιτυχία του URLLC θα βασιστεί σε μια προγνωστική διαχείριση δικτύου, ικανή να προβλέψει προς ανάγκες του δικτύου και να αντιδράσει ανάλογα. Το URLLC θα είναι το κλειδί για την ενεργοποίηση συνδέσεων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ αυτόνομων οχημάτων, ηλεκτρονικής υγείας, απομακρυσμένης λειτουργίας ρομπότ, επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας (AR / VR) κ.λπ. Για παράδειγμα, ένα αυτοκινούμενο αυτοκίνητο στο δρόμο πρέπει να αναγνωρίζει άλλα οχήματα, πεζούς, ποδήλατα και άλλα αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο, όχι αύριο. Ο λανθάνων χρόνος αυξάνεται με την απόσταση και τη συμφόρηση των συνδέσεων δικτύου, γι' αυτό δεν μπορούν όλα να αποθηκευτούν σε απομακρυσμένους διακομιστές cloud μακριά από προς τελικούς χρήστες. Η ιδανική περίπτωση θα ήταν ότι το τοπικό BS έχει πάντα το επιθυμητό περιεχόμενο. Εάν όχι, ο χρήστης θα πρέπει να τον κατεβάσει από έναν διακομιστή cloud πολύ μακριά, αυξάνοντας την καθυστέρηση αναλογικά. Από την άλλη πλευρά, οι BS έχουν περιορισμένο μέγεθος αποθήκευσης, οπότε πρέπει να μάθουν να προβλέπουν προς ανάγκες των χρηστών. Οι λύσεις που βασίζονται σε ML (π.χ. Q-learning, βαθιά διαβάθμιση πολιτικής, μη παραμετρική εκμάθηση Bayesian κ.λπ.) απέδωσαν καλά αποτελέσματα για την πρόβλεψη δημοτικότητας του περιεχομένου και την προσωρινή αποθήκευση. Οι αιχμές προς κυκλοφορία μπορούν να μειωθούν ουσιαστικά με την προληπτική εξυπηρέτηση προβλέψιμων απαιτήσεων χρηστών μέσω προσωρινής αποθήκευσης σε BS και συσκευές χρηστών. Οι ερευνητές έχουν επιτύχει σημαντικές βελτιώσεις στο πλαίσιο προς προσωρινής αποθήκευσης μόνο με την εφαρμογή αλγορίθμων ML, προς η ομαδοποίηση k-means και η μη παραμετρική εκμάθηση Bayesian. Λόγω των τεράστιων όγκων δεδομένων σε μελλοντικά δίκτυα 5G, θα ήταν πολύ πιο αποτελεσματικό να κατακερματιστούν οι μεγάλοι διακομιστές σε πολλούς μικρότερους για να εκτελούνται παράλληλα υπολογισμοί. Με αυτά τα εργαλεία, κάθε BS θα μπορεί να αποθηκεύει ένα μειωμένο αλλά επαρκές σύνολο αρχείων ή περιεχομένων. Αυτό είναι ένα παράδειγμα για το γιατί τα μελλοντικά προς δίκτυα πρέπει να είναι προβλέψιμα και πώς το ML καθίσταται κρίσιμο για τη βελτιστοποίηση αυτού του τύπου προβλημάτων. Με την ανάπτυξη απλών εργαλείων προς το k-means clustering, το ML μπορεί να βοηθήσει στο διαχωρισμό των περιεχομένων του κέντρου δεδομένων σε μπλοκ πριν από την αποθήκευση, μειώνοντας τη διαδρομή δεδομένων μεταξύ κατανεμημένων συστημάτων αποθήκευσης και συμβάλλοντας σημαντικά στη μείωση του λανθάνοντος χρόνου. Μέχρι στιγμής το ML έχει επικεντρωθεί στην εκτέλεση αλγορίθμων με κεντρικό τρόπο, χωρίς να νοιάζεται για θέματα καθυστέρησης.

ii. ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ(MOBILITY)

Η κινητικότητα περιγράφεται ως η μέγιστη ταχύτητα του κινητού σταθμού με την οποία μπορεί να επιτευχθεί ένα καθορισμένο QoS (σε km / h). Για το σενάριο κινητικότητας

οχημάτων υψηλής ταχύτητας, θεωρείται ότι ο χρήστης κινείται με τη μέγιστη ταχύτητα 500 km / h, σε αντίθεση με τα προηγούμενα 350 km / h στο 4G. Για την υποστήριξη αυτών των περιπτώσεων χρήσης με μεγάλη κινητικότητα, ιδιαίτερα σε εφαρμογές πυκνότητας κυμάτων όπου οι χρήστες πρέπει συχνά να μεταβιβάζονται μεταξύ BS, είναι απαραίτητη η βέλτιστη αναγνώριση των διανυσμάτων διαμόρφωσης. Τα μοντέλα ML μπορούν να χρησιμοποιήσουν το πιλοτικό σήμα ανερχόμενης ζεύξης που λαμβάνεται στα τερματικά BS, και να μάθουν τη σιωπηρή λειτουργία χαρτογράφησης που σχετίζεται με τη ρύθμιση περιβάλλοντος για την πρόβλεψη και τον συντονισμό διανυσμάτων διαμόρφωσης δέσμης στα BS. Κατά παρόμοιο τρόπο, απαιτούνται εξυπνότεροι μηχανισμοί προς οποίους οι SBS πρέπει να συντονιστούν για να κάνουν κοινή εξισορρόπηση φορτίου και κοινή χρήση περιεχομένου. Μηχανισμοί για τον έλεγχο παράδοσης σε ασύρματα συστήματα που χρησιμοποιούν ML έχουν προταθεί προηγουμένως, όπου ο κεντρικός ελεγκτής συγκεντρώνει τα UE σύμφωνα με τα μοτίβα κινητικότητάς προς (π.χ. πληροφορίες ταχύτητας, τοποθεσίες των UE, γεωγραφικό πλαίσιο, καθώς και προηγούμενες τροχιές) χρησιμοποιώντας μη επιτηρούμενη μάθηση προκειμένου να επιτευχθεί μια βέλτιστη πολιτική παράδοσης για κάθε UE. Ο σχεδιασμός δικτύου με γνώμονα την κινητικότητα παίζει προς σημαντικό ρόλο στην κοινή επικοινωνία μεταξύ δικτύων υψηλής κινητικότητας. Το Deep Q-learning έχει προταθεί για τον προσδιορισμό των συνόλων πιθανών συνδέσεων γειτονικών οχημάτων, καθώς και για τη διατήρηση των παραμέτρων προς τοποθέτηση προσωρινής αποθήκευσης. Πρόσθετες πολλά υποσχόμενες προς του ML για την αξιοποίηση προς κινητικότητας των ασύρματων δικτύων περιλαμβάνουν εξαγωγή χαρακτηριστικών ή αναγνώριση προτύπων για τον προσδιορισμό, την πρόβλεψη και τον περιορισμό των παρεμβολών σε ευέλικτες αναπτύξεις δικτύου, προς κόμβοι κινητής τηλεφωνίας ή νομαδικοί κόμβοι[31]. Η δικτύωση για κινητά είναι μια από τις πιο κρίσιμες τεχνολογίες για κινητές επικοινωνίες 5G, αλλά ευτυχώς, μια προγνωστική διαχείριση κινητικότητας μέσω προς ML ανοίγει έναν νέο δρόμο προς τη δικτύωση URLLC.

6.2. ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και η Μηχανική Μάθηση (ML) έχουν προσελκύσει αυξανόμενα ερευνητικά ενδιαφέροντα και εμφανίζονται παντού σε διαφορετικά επίπεδα εντός οπτικών συστημάτων επικοινωνίας και δικτύων. Από τη μετάδοση φυσικού σήματος έως τη δικτύωση, έχουμε παρατηρήσει ότι τα οπτικά και ασύρματα συστήματα επικοινωνίας γίνονται όλο και πιο περίπλοκα λόγω προς αύξησης προς ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων, πιο δυναμικών συνδέσεων και πιο περίπλοκων περιπτώσεων χρήσης. Με την αυξανόμενη επιθυμία για ελαστικές υπηρεσίες, συστήματα και δίκτυα που καθορίζονται από λογισμικό, οι διαχειριστές δικτύου θα χρειαστούν νέες μεθόδους για τη διαχείριση των λειτουργιών προς στο δίκτυο. Τα AI και ML έχουν δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα για βελτιστοποίηση, πρόβλεψη και αναγνώριση σε συστήματα που παρουσιάζουν μη γραμμικές, δυναμικές και περίπλοκες συμπεριφορές. Αυτό θα μπορούσε να προσφέρει λειτουργικά πλεονεκτήματα χρησιμοποιώντας AI και ML σε μια σειρά εφαρμογών σε συστήματα οπτικών επικοινωνιών και δίκτυα. Η χρήση πιο έξυπνων στρατηγικών για την επεξεργασία σήματος, τη λειτουργία του συστήματος, την

παρακολούθηση προς απόδοση και τη βελτιστοποίηση του δικτύου θεωρείται όλο και περισσότερο επιτυχημένη εφαρμογή για ML και AI στην οπτική. Πρόσφατες εφαρμογές ML σε διάφορες πτυχές οπτικών επικοινωνιών και δικτύωσης προς μη γραμμικά συστήματα μετάδοσης, σχεδιασμός δικτύου και πρόβλεψη απόδοσης, βελτιστοποιήσεις δικτύων πολλαπλών επιπέδων για δίκτυα που καθορίζονται από λογισμικό και αυτόνομες και αξιόπιστες λειτουργίες δικτύου έχουν δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα. Τα δίκτυα και τα συστήματα οπτικής επικοινωνίας δεν έχουν παραμείνει στο περιθώριο, αλλά έχουν αρχίσει να υιοθετούν αυτήν την πειθαρχία προς την οπτική δικτύωση που βασίζεται σε AI, από φωτονικές συσκευές έως έλεγχο και διαχείριση. Ως επί το πλείστον, η τεχνητή νοημοσύνη δεν παρέχει εντελώς αυτόνομα συστήματα, αλλά προσθέτει γνώσεις και συλλογισμούς σε υπάρχουσες εφαρμογές, βάσεις δεδομένων και περιβάλλοντα, για να προσφέρει πιο φιλικές, εξυπνότερες και πιο ευαίσθητες προς αλλαγές στο περιβάλλον προς. Κάθε μικρή ανακάλυψη στην έρευνα AI προς επιτρέπει να επεκτείνουμε προς δεξιότητες προς για να λύσουμε νέες τάξεις και κλίμακες προβλημάτων, οδηγώντας έτσι την έρευνα και την καινοτομία σε σχεδόν κάθε επιστημονική πειθαρχία. Με προς πρόσφατες βελτιώσεις στο υπολογιστικό υλικό και τον παράλληλο υπολογισμό, προς η εμπορευματοποίηση μεγάλων πλαισίων παρακολούθησης δεδομένων, αποθήκευσης και επεξεργασίας, ωρίμανσης αλγορίθμων ML και εισαγωγής πλατφορμών SDN / NFV, προς προκλήσεις οπτικής δικτύωσης μπορεί να αντιμετωπιστούν μερικώς ή πλήρως χρησιμοποιώντας ML παραδείγματα. Τα βασικά κίνητρα μαζί με τα υποκείμενα σενάρια εφαρμογής παρατίθενται παρακάτω:

- **Ετερογένεια:** Τα οπτικά δίκτυα είναι ένα διαφορετικό και δυναμικό μέσο. Οι κατανομές υπηρεσιών, η απόδοση μετάδοσης, οι βέλτιστες διαμορφώσεις κ.λπ. εξελίσσονται συνεχώς με την πάροδο του χρόνου. Αν και παραδοσιακά αυτές οι διαδικασίες αντιμετωπίστηκαν με βάση προς αρχές του στατικού σχεδιασμού, αυτή η προσέγγιση δεν κλιμακώνεται πλέον λόγω διαφοροποιημένων και συχνά αντιφατικών απαιτήσεων υπηρεσίας και λειτουργίας.
- **Αξιοπιστία:** Η υποδομή οπτικής επικοινωνίας είναι συνήθως κατασκευασμένη για να διαρκεί. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω σχεδίων ασφαλούς αστοχίας, ενσωματώνοντας διάφορα περιθώρια μηχανικής και λειτουργίας, κ.λπ. Ενώ αυτή η προσέγγιση λειτούργησε καλά για τον παραδοσιακό σχεδιασμό και λειτουργία δικτύου, την κλίμακα, την πολυπλοκότητα και προς καθαρούς συνδυασμούς τύπων εξοπλισμού, αριθμών ανταλλακτικών, εκδόσεων λογισμικού κ.λπ. , ειδικά στο πλαίσιο των συστημάτων ανοιχτής γραμμής (OLS), καθιστούν αυτήν την προσέγγιση πρακτικά ανέφικτη.
- **Χωρητικότητα:** Η σύνδεση και η χωρητικότητα του δικτύου καθ' όλη τη διάρκεια προς βελτιστοποίησης είναι μια τυπική μέτρηση του σχεδιασμού δικτύου. Στην πραγματικότητα, είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά όσον αφορά την εμπορική βιωσιμότητα μιας λύσης. Προς τυπικός διαφοροποιητής προς αιτήσεις προτάσεων που εκδίδονται από τον πάροχο υπηρεσιών είναι εάν μια συγκεκριμένη διαμόρφωση μπορεί να επιτύχει μια συγκεκριμένη οπτική εμβέλεια με υψηλή απόδοση φάσματος. Συμβατικά, επινοούνται ακριβείς μηχανικοί κανόνες για την εκπλήρωση τέτοιων καθηκόντων. Ωστόσο, ο αριθμός των

διαμορφώσεων που υποστηρίζονται από την προσεχή γενιά οπτικών πομποδεκτών δεν ταιριάζει με αυτήν την προσέγγιση.

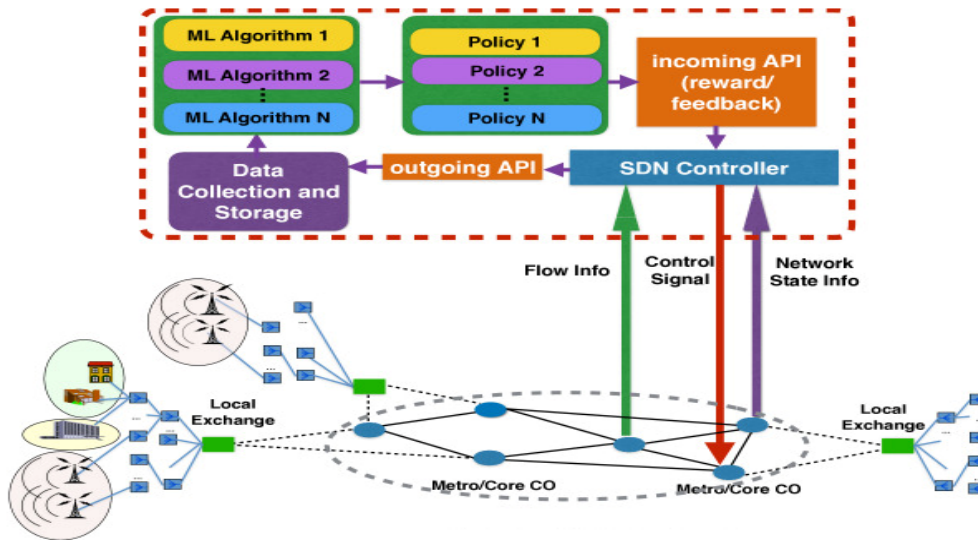
- **Πολυπλοκότητα:** Τα οπτικά δίκτυα κατασκευάζονται συχνά σε περίπλοκες αρχιτεκτονικές με πλέγματα. Σε πολλά σενάρια, οι βέλτιστες αρχές είναι είτε δύσκολο να μοντελοποιηθούν (π.χ. σχεδιασμός δικτύου), είτε είναι αδύνατο να επιτευχθούν αναλυτικά μοντέλα κλειστής μορφής ή γρήγορες ευρετικές. Αυτό οδηγεί σε σοβαρή υπο-χρήση των πόρων του συστήματος.
- **Διασφάλιση ποιότητας:** Με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα, το έργο των δοκιμών και προς επαλήθευση δικτύου γίνεται όλο και πιο απαγορευτικό. Οι διαχειριστές δικτύου δεν είναι ούτε άνετοι ούτε έτοιμοι να αναπτύξουν ζωντανή κίνηση σε μη δοκιμασμένες διαμορφώσεις και οι έννοιες προς βελτιστοποίησης είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για τέτοια προβλήματα.
- **Όψεις δεδομένων:** Ένα οπτικό δίκτυο είναι μια ομάδα αισθητήρων από μόνη προς, με δεδομένα που κυμαίνονται από διαμορφώσεις υπηρεσίας έως αρχεία καταγραφής συντήρησης. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του θησαυρού είναι σε μεγάλο βαθμό ανεκμετάλλευτο σε εμπορικά συστήματα. Η ανακάλυψη γνωστών και άγνωστων προτύπων σε ένα δίκτυο που επιτρέπει έξυπνες και αυτόνομες λειτουργίες μπορεί να οδηγήσει σε πληθώρα δυνατοτήτων βελτιστοποίησης. Εδώ, το ML μπορεί να βοηθήσει στην αφαίρεση διαφόρων λειτουργιών, επιτρέποντας εργασίες βάσει δεδομένων με περιορισμένες χειροκίνητες παρεμβάσεις ή / και διακοπές.

Παρά την υπόσχεση και την κλίμακα των παραδειγμάτων ML, ο στόχος προς βελτιστοποίησης βάσει προς μάθησης – λαμβάνοντας υπόψη την έκταση των υπηρεσιών, προς υποδομής και των λειτουργικών απαιτήσεων – είναι εξαιρετικά δύσκολος. Παρακάτω αναφέρονται προς ρεαλιστικές προκλήσεις:

- Δεν υπάρχει σχέδιο για το πώς να σχεδιάσετε και να λειτουργήσετε δίκτυα που βασίζονται στη μάθηση σε κλίμακα. Ενώ η ML υπόσχεται αυτορυθμιζόμενη αυτόνομη λειτουργία, εκμετάλλευση και μοντελοποίηση εγγενών πολυπλοκότητας δικτύου, τα θεμελιώδη πλεονεκτήματά προς δεν είναι καθόλου σαφή.
- Το ML έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε διάφορους τομείς και η επιλογή δεδομένων, αλγορίθμων, αρχιτεκτονικών κ.λπ. είναι κάπως σαφής για προβλήματα προς η αναγνώριση εικόνας. Ωστόσο, η επιλογή, η πολυπλοκότητα και η βελτιστοποίηση των αλγορίθμων ML για προβλήματα οπτικής δικτύωσης απαιτεί σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες.
- Συνήθως, το ML απαιτεί τεράστια ποσά δεδομένων. Το πώς αυτά τα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν, να υποβληθούν σε επεξεργασία (π.χ. denoising, δειγματοληψία κ.λπ.) και να μεταφερθούν είναι ένα ανοιχτό πρόβλημα.
- Η έννοια του ML στη δικτύωση είναι ένα πρόβλημα πολλαπλών τομέων πολλαπλών επιπέδων, στο οποίο εμπλέκονται διάφορες οντότητες και ενδιαφερόμενα μέρη. Επιπλέον, λείπει η αλυσίδα εργαλείων για την ενσωμάτωση πλαϊσίων ML με εννοχήστρωση δικτύου και SDN / NFV σε κλίμακα και πρέπει να

γίνουν σημαντικές εργασίες για τον έλεγχο του δικτύου, την ενσωμάτωση προς διαχείρισης και προς προσπάθειες αξιολόγησης.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο προς οπτικού δικτύου που υποστηρίζεται από αλγορίθμους ML:



Εικόνα 23: Οπτικό δίκτυο υποστηριζόμενο από αλγόριθμους Μηχανικής Μάθησης

A. Φυσικός τομέας επιπέδου

Προς προκλήσεις πρέπει να αντιμετωπιστούν στο φυσικό στρώμα προς οπτικού δικτύου, συνήθως για να αξιολογηθεί η απόδοση του συστήματος μετάδοσης και να ελεγχθεί εάν οποιαδήποτε υποβάθμιση σήματος επηρεάζει υπάρχουσες φωτεινές διαδρομές. Τέτοια παρακολούθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, για την ενεργοποίηση προληπτικών διαδικασιών, προς συντονισμός ισχύος εκτόξευσης, έλεγχος κέρδους σε οπτικούς ενισχυτές, διαφορετική μορφή διαμόρφωσης κ.λπ., προτού συμβεί μη αναστρέψιμη υποβάθμιση σήματος. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια περιγραφή των εφαρμογών του ML στο φυσικό στρώμα:

Εκτίμηση QoT

Πριν από την ανάπτυξη προς νέου lightpath, προς μηχανικός συστήματος πρέπει να εκτιμήσει την ποιότητα προς μετάδοσης (QoT) για το νέο lightpath, καθώς και για τα ήδη υπάρχοντα. Η έννοια προς Ποιότητας Μετάδοσης αναφέρεται γενικά σε έναν αριθμό παραμέτρων φυσικού επιπέδου, προς λαμβανόμενος λόγος οπτικού σήματος προς θόρυβο (OSNR), BER, συντελεστής Q, κ.λπ., που επηρεάζουν την «αναγνωσιμότητα» του οπτικού σήματος στον δέκτη. Τέτοιες παράμετροι δίνουν ένα ποσοτικό μέτρο για να ελέγξετε αν θα ήταν εγγυημένο ένα προκαθορισμένο επίπεδο QoT και επηρεάζονται από

αρκετές συντονιζόμενες παραμέτρους σχεδιασμού, προς, π.χ., μορφή διαμόρφωσης, ρυθμός baud, ρυθμός κωδικοποίησης, φυσική διαδρομή στο δίκτυο κ.λπ. Επομένως, η βελτιστοποίηση προς προς επιλογής δεν είναι ασήμαντη και συχνά αυτή η μεγάλη ποικιλία πιθανών παραμέτρων προκαλεί την ικανότητα προς μηχανικού συστήματος να χειρίζεται χειροκίνητα όλους προς πιθανούς συνδυασμούς ανάπτυξης lightpath. Από σήμερα, οι υπάρχουσες (προ-ανάπτυξη) τεχνικές εκτίμησης για το lightpath QoT ανήκουν σε δύο κατηγορίες: 1) «ακριβή» αναλυτικά μοντέλα που εκτιμούν προς φυσικές βλάβες του στρώματος, τα οποία παρέχουν ακριβή αποτελέσματα, αλλά υφίστανται βαριές υπολογιστικές απαιτήσεις και 2) περιθωριοποιημένους τύπους, οι οποίοι είναι υπολογιστικά γρηγορότεροι, αλλά συνήθως εισάγουν υψηλές περιθωριοποιήσεις που οδηγούν σε υποχρησιμοποίηση πόρων δικτύου. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι, λόγω προς πολύπλοκης αλληλεπίδρασης πολλαπλών παραμέτρων συστήματος (π.χ. ισχύς σήματος εισόδου, αριθμός καναλιών, τύπος συνδέσμου, μορφή διαμόρφωσης, ρυθμός συμβόλων, απόσταση καναλιών κ.λπ.) και, το πιο σημαντικό, λόγω προς μη γραμμικής διάδοσης σήματος μέσω του οπτικού καναλιού, η απόκτηση ακριβών αναλυτικών μοντέλων είναι μια δύσκολη εργασία, και πρέπει να γίνουν παραδοχές σχετικά με το υπό εξέταση σύστημα προκειμένου να υιοθετηθούν κατά προσέγγιση μοντέλα. Αντιστρόφως, το ML αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο μέσο για την αυτόματη πρόβλεψη του κατά πόσον οι μη εγκατεστημένοι lightpaths θα πληρούν το απαιτούμενο όριο QoT συστήματος. Η ML βοηθάει με διάφορες τεχνικές προς με ταξινομητές που βασίζονται σε ML μπορούν να εκπαιδευτούν χρησιμοποιώντας εποπτευόμενη εκμάθηση για να δημιουργήσουν άμεση σχέση εξόδου μεταξύ QoT που παρατηρείται στο δέκτη και αντίστοιχη διαμόρφωση lightpath όσον αφορά, π.χ., χρησιμοποιούμενη μορφή διαμόρφωσης, ρυθμό baud και / ή φυσική διαδρομή στο δίκτυο.

Έλεγχος οπτικών ενισχυτών

Στα τρέχοντα οπτικά δίκτυα, η παροχή lightpath γίνεται πιο δυναμική, ως απάντηση στην εμφάνιση νέων υπηρεσιών που απαιτούν τεράστιο εύρος ζώνης για περιορισμένες χρονικές περιόδους. Δυστυχώς, η δυναμική ρύθμιση και μείωση των διαδρομών φωτός σε διαφορετικά μήκη κύματος αναγκάζει προς χειριστές δικτύου να αναδιαμορφώσουν προς συσκευές δικτύου «εν κινήσει» για να διατηρήσουν τη σταθερότητα του φυσικού στρώματος. Σε απάντηση προς ταχείες αλλαγές προς ανάπτυξης του lightpath, οι ενισχυτές ινών Erbium Doped (EDFA) υποφέρουν από εξορμήσεις ισχύος που εξαρτώνται από το μήκος κύματος. Δηλαδή, όταν δημιουργείται ένα νέο lightpath (δηλαδή, προστίθεται) ή όταν ένα υπάρχον lightpath καταρρέει (δηλαδή πέφτει), η ασυμφωνία των επιπέδων ισχύος σήματος μεταξύ διαφορετικών καναλιών (δηλαδή μεταξύ lightpaths που λειτουργούν σε διαφορετικά μήκη κύματος) εξαρτάται από το συγκεκριμένο το μήκος κύματος προστίθεται (πέφτει) από το σύστημα. Συνεπώς, απαιτείται προς αυτόματος έλεγχος των επιπέδων ισχύος σήματος προ-ενίσχυσης, ειδικά σε περίπτωση διέλευσης πολλαπλών EDFA, για να αποφευχθεί ότι η υπερβολική απόκλιση ισχύος μετά την ενίσχυση μεταξύ διαφορετικών φωτεινών διαδρομών μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση του σήματος. Η ML παρέχει την τεχνογνωσία προς χάρη στη

διαθεσιμότητα ιστορικών δεδομένων που ανακτώνται από την παρακολούθηση προς κατάσταση του δικτύου, οι αλγόριθμοι παλινδρόμησης ML μπορούν να εκπαιδευτούν για να προβλέψουν με ακρίβεια την εκδρομή ισχύος μετά τον ενισχυτή ως απάντηση στην προσθήκη / πτώση συγκεκριμένων μηκών κύματος προς / από το σύστημα.

Αναγνώριση μορφής διαμόρφωσης (MFR)

Οι σύγχρονοι οπτικοί πομποί και δέκτες παρέχουν υψηλή ευελιξία στο χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης, τη συχνότητα φορέα και τη μορφή διαμόρφωσης, κυρίως για την προσαρμογή της μετάδοσης στον απαιτούμενο ρυθμό bit και οπτική εμβέλεια σε ένα ευέλικτο / ελαστικό περιβάλλον δικτύωσης. Δεδομένου ότι στην πλευρά μετάδοσης μπορεί να υιοθετηθεί μια αυθαίρετη συνεκτική μορφή οπτικής διαμόρφωσης, η γνώση αυτής της απόφασης εκ των προτέρων και στην πλευρά του δέκτη δεν είναι πάντα δυνατή, και αυτό μπορεί να επηρεάσει την κατάλληλη αποδιαμόρφωση σήματος και, κατά συνέπεια, την επεξεργασία και ανίχνευση σήματος. Η ML χρησιμοποιώντας εποπτευόμενους αλγορίθμους μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση μορφής διαμόρφωσης στον δέκτη, χάρη στην ευκαιρία να μάθει τη χαρτογράφηση μεταξύ της υιοθετούμενης μορφής διαμόρφωσης και των χαρακτηριστικών του εισερχόμενου οπτικού σήματος.

Μη γραμμικός μετριάσμός

Λόγω μη γραμμικότητας οπτικών ινών, όπως το φαινόμενο Kerr, η αυτοφασική διαμόρφωση (SPM) και η διασταυρούμενη φάση (XPM), η συμπεριφορά πολλών παραμέτρων απόδοσης, όπως BER, συντελεστής Q, Χρωματική διασπορά (CD), Διασπορά Λειτουργίας Πόλωσης (PMD), είναι εξαιρετικά απρόβλεπτα και αυτό μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση σήματος στον δέκτη (π.χ. ανισορροπία I/Q και θόρυβος φάσης). Επομένως, πολύπλοκα αναλυτικά μοντέλα υιοθετούνται συχνά για να αντιδράσουν στην υποβάθμιση του σήματος και / ή να αντισταθμίσουν τα ανεπιθύμητα μη γραμμικά αποτελέσματα. Η ML συμβάλει στην υιοθέτηση αναλυτικών μοντέλων για την επίλυση τέτοιων σύνθετων μη γραμμικών προβλημάτων, τα εποπτευόμενα μοντέλα ML μπορούν να σχεδιαστούν για να συλλάβουν άμεσα τα αποτελέσματα τέτοιων μη γραμμικών στοιχείων, τυπικά εκμεταλλευόμενοι τη γνώση ιστορικών δεδομένων και δημιουργώντας σχέσεις εισόδου-εξόδου μεταξύ των παραμέτρων που παρακολουθούνται στις επιθυμητές εξόδους.

Οπτική Παρακολούθηση Απόδοσης (OPM)

Με αυξανόμενες απαιτήσεις χωρητικότητας για οπτικά συστήματα επικοινωνίας, η παρακολούθηση απόδοσης είναι ζωτικής σημασίας για την εξασφάλιση ισχυρών και αξιόπιστων δικτύων. Η παρακολούθηση της οπτικής απόδοσης στοχεύει στην εκτίμηση των παραμέτρων μετάδοσης του συστήματος οπτικών ινών, όπως BER, συντελεστής Q,

CD, PMD, κατά τη διάρκεια ζωής του lightpath. Η γνώση τέτοιων παραμέτρων μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την ολοκλήρωση διαφόρων εργασιών, π.χ. ενεργοποίηση μονάδων αντισταθμιστή πόλωσης, ρύθμιση ισχύος εκτόξευσης, μεταβολή της υιοθετούμενης μορφής διαμόρφωσης, αλλαγή διαδρομής lightpaths κ.λπ. Συνήθως, οι παράμετροι οπτικής απόδοσης πρέπει να συλλέγονται σε διάφορα σημεία παρακολούθησης κατά μήκος του lightpath, επομένως απαιτείται μεγάλος αριθμός οθονών, προκαλώντας αυξημένο κόστος συστήματος. Επομένως, απαιτείται αποτελεσματική ανάπτυξη οθονών οπτικής απόδοσης στις κατάλληλες τοποθεσίες δικτύου για την εξαγωγή πληροφοριών δικτύου με λογικό κόστος. Η ML εισάγει την τεχνική της μείωσης των αριθμών οθονών που θα αναπτυχθούν στο σύστημα, ειδικά σε ενδιάμεσα σημεία των lightpaths, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εποπτευόμενοι αλγόριθμοι εκμάθησης για να μάθουν τη χαρτογράφηση μεταξύ των παραμέτρων καναλιού οπτικών ινών και των ιδιοτήτων του εντοπισμένου σήματος στον δέκτη, τα οποία μπορούν να ανακτηθούν, π.χ., παρατηρώντας στατιστικά στοιχεία διαγραμμάτων ματιών ισχύος, πλάτους σήματος, OSNR κ.λπ.

B. Τομέας επιπέδου δικτύου

Στο επίπεδο δικτύου συναντάμε πολλές εφαρμογές της μηχανικής μάθησης. Η παροχή καινούριων οπτικών μονοπατιών ή η αποκατάσταση των μονοπατιών που ήδη υπάρχουν μετά από μία βλάβη του δικτύου, απαιτούν πολύπλοκες και γρήγορες αποφάσεις οι οποίες εξαρτώνται από διάφορα, ταχέως εξελισσόμενα δεδομένα καθώς για την διαχείριση της υπάρχουσας κίνησης απαιτείται η αναγνώριση του αντίκτυπου της κίνησης που εισήχθη πρόσφατα. Για την αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου, δηλαδή την αποφυγή υπερβολικής παροχής πόρων στο δίκτυο, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη η εκτίμηση των απαιτήσεων των χρηστών και των υπηρεσιών. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύριες περιπτώσεις χρήσης εφαρμογών μηχανικής μάθησης στο επίπεδο δικτύου των οπτικών δικτύων:

Πρόβλεψη κίνησης

Η ακριβής πρόβλεψη της κίνησης στο πεδίο του χωροχρόνου επιτρέπει τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και αποτελεσματική διαχείριση των δικτύων. Στην φάση του σχεδιασμού, η πρόβλεψη κίνησης επιτρέπει την μείωση της υπερτροφοδοσίας του δικτύου με πόρους που δεν θα αξιοποιηθούν. Η χρησιμοποίηση των πόρων μπορεί να βελτιστοποιηθεί μέσω εφαρμογής τεχνικών κίνησης, οι οποίες βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα και τελικά να επαναδρομολογήσει την υπάρχουσα κίνηση εξοικονομώντας πόρους για μελλοντικές ανάγκες. Η μηχανική μάθηση βρίσκει εφαρμογή χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μάθησης με επίβλεψη, οι οποίοι εκμεταλλεύονται τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί και αφορούν τα μοτίβα τις κίνησης καθώς και τη συμπεριφορά των χρηστών, με σκοπό τη δημιουργία μοντέλων που θα εκπαιδευτούν στην πρόβλεψη της μελλοντικής κίνησης καθώς και στις απαιτήσεις ως προς τη διαχείριση των πόρων. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται η προληπτική επαναδρομολόγηση της κίνησης καθώς και η τακτική επαναβελτιστοποίηση του δικτύου, έτσι ώστε να εξυπηρετείται όλη η κίνηση του δικτύου και την ίδια στιγμή να μειώνεται η χρήση των

πόρων. Η ML συμβάλει στην επίλυση του προβλήματος με τη χρησιμοποίηση αλγόριθμων μάθησης χωρίς επίβλεψη για την εξαγωγή μοτίβων κίνησης σε διαφορετικά σημεία του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αναπτυχθούν παρόμοιες διαδικασίες σχεδιασμού και διαχείρισης (όπως η εγκατάσταση δικτύου και η δέσμευση χωρητικότητας) σε διαφορετικά σημεία του δικτύου ώστε να αναδεικνύονται ομοιότητες ως προς τις απαιτήσεις της κίνησης, δηλαδή να ανήκουν στο ίδιο cluster προφίλ κίνησης.

Σχεδιασμός και αναδιαμόρφωση εικονικής τοπολογίας

Η μοντελοποίηση των επικοινωνιακών δικτύων μέσω εικονικής τοπολογίας συναντά ευρεία εφαρμογή στην εποχή μας. Η μοντελοποίηση αποτελείται από την αναπαράσταση της σύνδεσης δύο τελικών σημείων (παραδείγματος χάρη δύο data center) μέσω μίας γειννίας στην εικονική τοπολογία, δηλαδή έναν εικονικό σύνδεσμο, αν και τα δύο τελικά σημεία δεν είναι απαραίτητο να είναι συνδεδεμένα με φυσικό τρόπο. Μετά τον καθορισμό όλων των εικονικών συνδέσμων, δηλαδή μετά την ταυτοποίηση των αιτημάτων των οπτικών μονοπατιών, για το σχεδιασμό της εικονικής τοπολογίας (Virtual Topology Design - VTD) απαιτείται η επίλυση του προβλήματος της δρομολόγησης και της ανάθεσης μήκους κύματος (Routing and Wavelength Assignment - RWA) για κάθε οπτικό μονοπάτι πάνω από το φυσικό δίκτυο. Ο σχεδιασμός της εικονικής τοπολογίας δεν είναι απαραίτητος μόνο σε περιπτώσεις παροχής νέων υπηρεσιών και εκχώρησης νέων πόρων στο δίκτυο. Για το σχεδιασμό και την αναδιαμόρφωση των εικονικών τοπολογιών δεν απαιτείται μόνο η παροχή χωρητικότητας στο δίκτυο για τις απαιτούμενες υπηρεσίες, αλλά απαιτείται και η παροχή πρόσθετων πόρων σύμφωνα με τα ειδικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών. Η μηχανική μάθηση συμβάλλει στο σχεδιασμό των εικονικών τοπολογιών και την αναδιαμόρφωσή τους. Μέσω αλγορίθμων μάθησης με επίβλεψη και χρήση ταξινομητών (classification), το μοντέλο μπορεί να εκπαιδευτεί ώστε να αποφασίζει με βέλτιστο τρόπο την κατανομή των πόρων στο δίκτυο, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψιν έναν μεγάλο αριθμό διαφορετικών και ετερογενών απαιτήσεων υπηρεσιών για ένα είδος εικονικών τοπολογιών (network slice), επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη λήψη αποφάσεων για τη βέλτιστη παροχή πόρων.

Διαχείριση βλαβών

Κατά τη διαχείριση ενός δικτύου, η ικανότητα ανίχνευσης βλαβών και ο εντοπισμός τους, όπως επίσης και ο προσδιορισμός της αιτίας αυτής της βλάβης, είναι ζωτικής σημασίας καθώς επιτρέπει την έγκαιρη επαναδρομολόγηση της κίνησης ώστε να διατηρηθεί το καθορισμένο επίπεδο υπηρεσίας (Service Level Agreements - SLAs) και το δίκτυο να ανακάμψει γρήγορα από την βλάβη αυτή. Η διαχείριση των βλαβών μπορεί να επιτευχθεί σε διάφορα επίπεδα. Για παράδειγμα, η εκτέλεση ανίχνευσης αστοχίας, δηλαδή η αναγνώριση του συνόλου των φωτεινών διαδρομών που επηρεάστηκαν από μια αποτυχία, είναι μια σχετικά απλή εργασία, η οποία επιτρέπει στους χειριστές δικτύου να αναδιαμορφώσουν μόνο τις επηρεαζόμενες φωτεινές διαδρομές, π.χ., με την εκ νέου δρομολόγηση της αντίστοιχης κίνησης. Η ικανότητα εντοπισμού των βλαβών επιτρέπει την ενεργοποίηση διαδικασιών επαναφοράς του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να

ανακτηθεί η κατάσταση προ βλάβης του δικτύου, η οποία κατάσταση είναι γενικά μία βέλτιστη κατάσταση από άποψη διαχείρισης πόρων. Επιπλέον, ο προσδιορισμός και της αιτίας της αποτυχίας δικτύου, π.χ. προσωρινής κυκλοφοριακής συμφόρησης, διακοπής συσκευών ή ακόμη και ανώμαλης συμπεριφοράς οθονών αστοχίας, είναι χρήσιμο να υιοθετήσετε τις σωστές διαδικασίες επαναφοράς και επαναδιαμόρφωσης της κυκλοφορίας, καθώς μερικές φορές η απομακρυσμένη αναδιάρθρωση των φωτεινών διαδρομών μπορεί να είναι αρκετή για τον χειρισμό της αποτυχία, ενώ σε ορισμένες άλλες περιπτώσεις απαιτείται επιτόπια παρέμβαση. Επίσης, η έγκαιρη αναγνώριση της αιτίας αστοχίας επιτρέπει τη γρήγορη επισκευή του εξοπλισμού και την επακόλουθη μείωση του μέσου χρόνου επισκευής (MTTR). Η μηχανική μάθηση μπορεί να συνεισφέρει στη διαχείριση του τεράστιου όγκου δεδομένων από τη συνεχή καταγραφή της δραστηριότητας του δικτύου. Για παράδειγμα, αλγόριθμοι ταξινόμησης μπορούν να εκπαιδευτούν ώστε να διακρίνουν τη διαφορά μεταξύ κανονικής και ανώμαλης μετάδοσης. Αξίζει να σημειωθεί πως σε περιπτώσεις που τα δεδομένα με κλάση είναι λιγοστά και η πλειονότητα των δεδομένων είναι χωρίς κλάση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσεγγίσεις μάθησης με ημι-επίβλεψη. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι ταξινόμησης ώστε να διακρίνουν την αιτία της βλάβης, εκμεταλλευόμενοι τη γνώση από τις βλάβες που έχουν ήδη παρατηρηθεί.

Ταξινόμηση ροών κυκλοφορίας

Όταν συνυπάρχουν διαφορετικοί τύποι υπηρεσιών στην ίδια υποδομή του δικτύου, η ταξινόμηση των αντίστοιχων ροών κίνησης πριν από την παροχή τους επιτρέπει την αποτελεσματική κατανομή πόρων, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο για ανεπαρκή ή υπερβολική παροχή πόρων. Επιπλέον, την ακριβή ταξινόμηση των ροών κυκλοφορίας την εκμεταλλεύονται και άλλες, ήδη παρεχόμενες υπηρεσίες για την εφαρμογή πολιτικών, όπως η διαχείριση της προτεραιότητας των πακέτων, ο έλεγχος της ροής και της συμφόρησης και η εγγύηση κατάλληλου QoS για κάθε ροή σύμφωνα με τα SLAs. Με βάση τα διάφορα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας και εκμεταλλευόμενοι τον μεγάλο όγκο πληροφοριών που μεταφέρονται από πακέτα δεδομένων, αλγόριθμοι μάθησης με επίβλεψη μπορούν να εκπαιδευτούν για να εξαγάγουν κρυμμένα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας και να εκτελούν γρήγορη ταξινόμηση πακέτων και διάκριση ροών.

Υπολογισμός διαδρομής

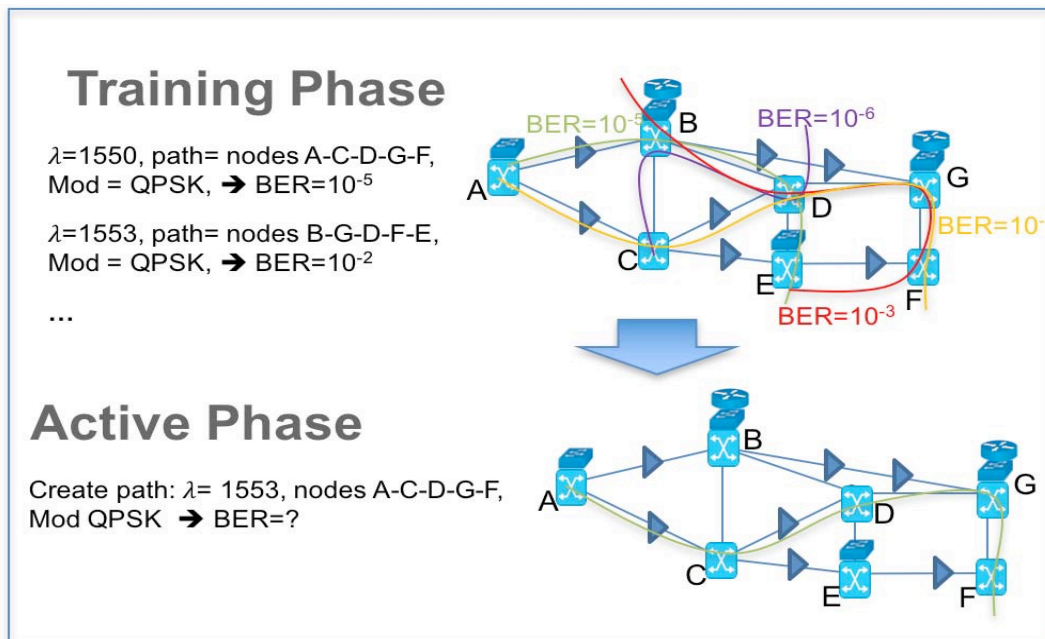
Κατά την κατανομή των πόρων στο δίκτυο για μια εισερχόμενη αίτηση για παροχή συγκεκριμένης υπηρεσίας, θα πρέπει να επιλεγεί μία κατάλληλη διαδρομή προκειμένου να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά οι διαθέσιμοι πόροι του δικτύου για να εξυπηρετηθεί η ζητούμενη κίνηση με το επιθυμητό QoS και χωρίς να επηρεαστούν οι υπάρχουσες υπηρεσίες που ήδη παρέχει το δίκτυο. Παραδοσιακά, ο υπολογισμός της διαδρομής πραγματοποιείται μέσω χρήσης αλγόριθμων δρομολόγησης βάσει κόστους (όπως οι αλγόριθμοι Dijkstra, Bellman-Ford και Yen), οι οποίοι βασίζονται σε μία προκαθορισμένη

μετρική κόστους (όπως η απόσταση μεταξύ αφετηρίας και τερματισμού, η από άκρο έως άκρο καθυστέρηση, η κατανάλωση ενέργειας, ακόμα και ο συνδυασμός άλλων μετρικών) για τη διάκριση μεταξύ εναλλακτικών διαδρομών. Στο πλαίσιο αυτό, η χρήση μεθόδων μάθησης με επίβλεψη μπορεί να είναι χρήσιμη καθώς επιτρέπει την εξέταση πολλών παραμέτρων που περιλαμβάνει το εισερχόμενο αίτημα για παροχή υπηρεσίας, ταυτόχρονα με τις πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Με αυτό τον τρόπο οι πληροφορίες αυτές χαρτογραφούνται σε μία βέλτιστη λύση δρομολόγησης χωρίς να χρειάζονται πολύπλοκες εκτιμήσεις κόστους δικτύου, επιτρέποντας έτσι την γρήγορη επιλογή διαδρομής και κατ' επέκταση γρήγορη παροχή υπηρεσίας.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ **ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ**

Η Μηχανική Μάθηση έχει εφαρμογές στα οπτικά δίκτυα με βάση τις μεθόδους της και θα το δούμε παρακάτω:

Στο επίπεδο της Επιτηρούμενης Μάθησης (Supervised Learning) στα οπτικά δίκτυα χρησιμοποιείτε σε διάφορες εφαρμογές όπως στην αναγνώριση ομιλίας, στην ανίχνευση spam και στην αναγνώριση προτύπων. Ο κύριος στόχος είναι να προβλεφθεί η τιμή μιας ή περισσότερων μεταβλητών εξόδου δεδομένης της τιμής ενός διανύσματος των μεταβλητών εισόδου x . Η μεταβλητή εξόδου μπορεί να είναι μια συνεχής μεταβλητή (πρόβλημα παλινδρόμησης) ή μια διακριτή μεταβλητή (πρόβλημα ταξινόμησης). Ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης περιλαμβάνει N δείγματα των μεταβλητών εισόδου και των αντίστοιχων τιμών εξόδου. Διαφορετικές μέθοδοι μάθησης κατασκευάζουν μια συνάρτηση $y(x)$ που επιτρέπει την πρόβλεψη της τιμής των μεταβλητών εξόδου σε αντιστοιχία με μια νέα τιμή των εισόδων. Η εποπτευόμενη μάθηση μπορεί να χωριστεί σε δύο κύριες τάξεις που περιγράφονται παρακάτω: παραμετρικά μοντέλα, όπου ο αριθμός των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο είναι σταθερός και μη παραμετρικά μοντέλα, όπου ο αριθμός τους εξαρτάται από το εκπαιδευτικό σετ και τη λειτουργία softmax, για παλινδρόμηση, δυαδική ταξινόμηση και προβλήματα ταξινόμησης πολλαπλών κλάσεων αντίστοιχα. Παρακάτω παρουσιάζεται σε εικόνα οι αλγόριθμοι που εκπαιδεύονται στο σύνολο δεδομένων που αποτελείται από διαδρομές, μήκη κύματος, διαμορφώσεις και το αντίστοιχο BER, όπου μετά επεκτείνει το BER σε αντιστάθμιση στις νέες εξόδους:



Εικόνα 24: Η Επιτηρούμενη Μάθηση στα οπτικά δίκτυα

✓ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Σε αυτήν την περίπτωση, η συνάρτηση γ είναι ένας συνδυασμός ενός σταθερού αριθμού παραμετρικών συναρτήσεων βάσης. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούν δεδομένα εκπαίδευσης για να εκτιμήσουν ένα σταθερό σύνολο παραμέτρων w . Μετά το στάδιο της εκμάθησης, τα δεδομένα εκπαίδευσης μπορούν να απορριφθούν, καθώς η πρόβλεψη σε αντιστοιχία με τις νέες εισόδους υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μόνο τις μαθημένες παραμέτρους w . Τα γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης και ταξινόμησης, τα οποία αποτελούνται από γραμμικό συνδυασμό σταθερών μη γραμμικών λειτουργιών βάσης, είναι τα απλούστερα παραμετρικά μοντέλα όσον αφορά τις αναλυτικές και υπολογιστικές ιδιότητες. Πολλές διαφορετικές επιλογές είναι διαθέσιμες για τις βασικές συναρτήσεις: από πολυώνυμο σε Gaussian, σε σιγμοειδές, σε βάση Fourier, κ.λπ. Σε περίπτωση πολλαπλών τιμών εξόδου, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστές λειτουργίες βάσης για κάθε στοιχείο της εξόδου ή, συνηθέστερα, εφαρμόζονται στο ίδιο σύνολο συναρτήσεων βάσης για όλα τα στοιχεία. Αυτά τα μοντέλα είναι γραμμικά στις παραμέτρους w , και αυτή η γραμμικότητα έχει ως αποτέλεσμα μια σειρά από πλεονεκτικές ιδιότητες, π.χ. λύσεις κλειστής μορφής στο πρόβλημα των λιγότερων τετραγώνων. Ωστόσο, η δυνατότητα εφαρμογής τους περιορίζεται σε προβλήματα με χώρο εισόδου χαμηλών διαστάσεων. Τα NN είναι ένα δίκτυο μονάδων ή νευρώνων και εφαρμόζουν μια σειρά λειτουργικών μετασχηματισμών στις εισόδους. Η συνάρτηση βάσης ή η λειτουργία ενεργοποίησης που χρησιμοποιείται από κάθε μονάδα είναι μια μη γραμμική συνάρτηση ενός γραμμικού συνδυασμού των εισόδων της μονάδας. Κάθε νευρώνας έχει μια παράμετρο προκατάληψης που επιτρέπει οποιαδήποτε σταθερή μετατόπιση στα δεδομένα. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μη γραμμικές συναρτήσεις είναι το λογιστικό σιγμοειδές όπως η συνάρτηση ταυτότητας, η συνάρτηση λογιστικής

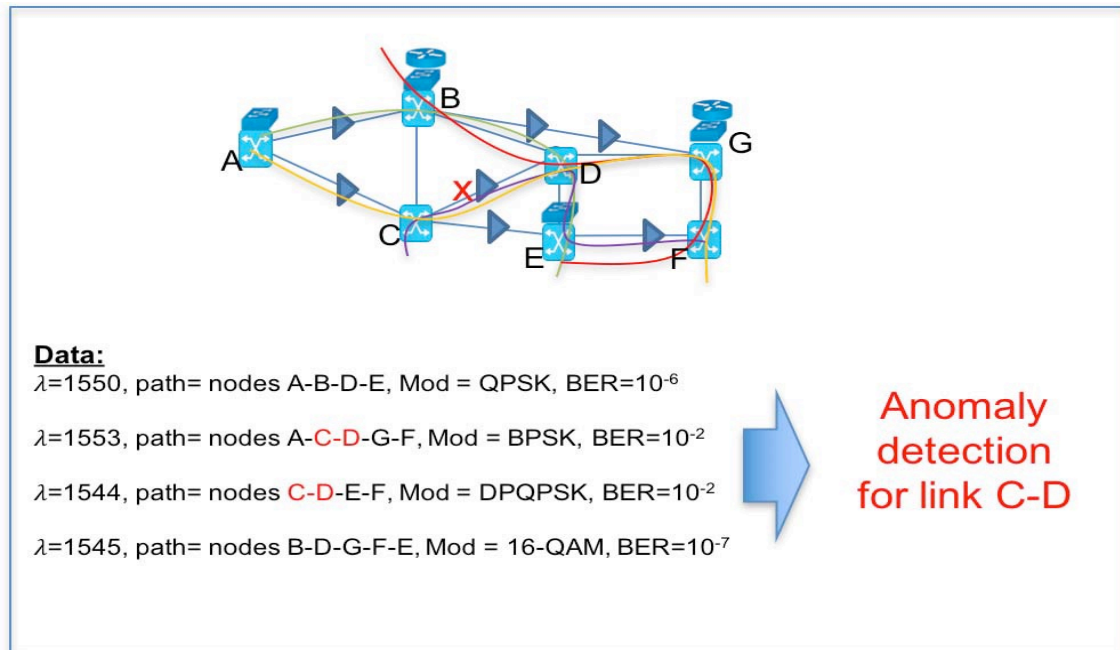
σιγμοειδούς και η συνάρτηση softmax και η υπερβολική εφαπτομένη για προβλήματα παλινδρόμησης, δυαδικής ταξινόμησης και ταξινόμησης πολλαπλών κλάσεων. Διαφορετικοί τύποι συνδέσεων μεταξύ των μονάδων έχουν ως αποτέλεσμα διαφορετικά NN με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Όλες οι μονάδες μεταξύ των εισόδων και των εξόδων του NN ονομάζονται κρυφές μονάδες. Στην περίπτωση NN, το δίκτυο είναι ένα κατευθυνόμενο ακυκλικό γράφημα. Συνήθως, τα NN οργανώνονται σε επίπεδα, με μονάδες σε κάθε ένα επίπεδο που λαμβάνει εισόδους μόνο από μονάδες στο αμέσως προηγούμενο επίπεδο και προωθεί τις εξόδους τους μόνο στο αμέσως επόμενο επίπεδο. Με δεδομένο ένα εκπαιδευτικό σύνολο, ένα NN εκπαιδεύεται ελαχιστοποιώντας μια συνάρτηση σφάλματος σε σχέση με το σύνολο παραμέτρων w . Ανάλογα με τον τύπο του προβλήματος και την αντίστοιχη επιλογή της λειτουργίας ενεργοποίησης των μονάδων εξόδου, χρησιμοποιούνται διαφορετικές λειτουργίες σφάλματος. Για ένα NN, ο αλγόριθμος backpropagation σφάλματος, ο οποίος παρέχει μια αποτελεσματική μέθοδο για την αξιολόγηση των παραγώγων της λειτουργίας σφάλματος σε σχέση με το w , είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος.

✓ ΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Στα μη παραμετρικά μοντέλα ο αριθμός των παραμέτρων εξαρτάται από το σετ εκπαίδευσης. Αυτά τα μοντέλα διατηρούν ένα υποσύνολο ή το σύνολο των εκπαιδευτικών δεδομένων και τα χρησιμοποιούν κατά τη διάρκεια της πρόβλεψης. Οι πιο χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις είναι τα k -πλησιέστερα γειτονικά μοντέλα και τα Support Vector Machines (SVMs), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προβλήματα παλινδρόμησης και ταξινόμησης. Στην περίπτωση των μεθόδων k -πλησιέστερου γείτονα, αποθηκεύονται όλα τα δείγματα δεδομένων εκπαίδευσης (φάση εκπαίδευσης). Κατά τη διάρκεια της πρόβλεψης, ανακτώνται τα k -πλησιέστερα δείγματα στη νέα τιμή εισαγωγής. Για πρόβλημα ταξινόμησης, χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός ψηφοφορίας, για προβλήματα παλινδρόμησης ο mean ή ο median όρος των k πλησιέστερων δειγμάτων που παρέχει κάθε φορά την πρόβλεψη. Για να επιλέξουμε την καλύτερη τιμή του k , μπορεί να χρησιμοποιηθεί διασταυρούμενη επικύρωση. Ανάλογα με τη διάσταση του σετ προπόνησης, η επανάληψη όλων των δειγμάτων για τον υπολογισμό των πλησιέστερων k γειτόνων ενδέχεται να μην είναι εφικτή. Σε αυτήν την περίπτωση, τα δέντρα k -d ή οι πίνακες κατακερματισμού που είναι ευαίσθητοι στην τοποθεσία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των k -πλησιέστερων γειτόνων. Στα SVM, οι βασικές συναρτήσεις επικεντρώνονται σε δείγματα εκπαίδευσης. η διαδικασία εκπαίδευσης επιλέγει ένα υποσύνολο των βασικών συναρτήσεων. Ο αριθμός των επιλεγμένων βασικών συναρτήσεων και ο αριθμός των εκπαιδευτικών δειγμάτων που πρέπει να αποθηκευτούν, είναι συνήθως πολύ μικρότερος από τον βασικό χαρακτήρα του εκπαιδευτικού συνόλου δεδομένων. Οι SVM δημιουργούν ένα γραμμικό όριο αποφάσεων με τη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση από τα δείγματα εκπαίδευσης. Αποθηκεύονται μόνο τα πιο κοντινά σημεία προς τα διαχωριστικά, τα διανύσματα υποστήριξης. Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των SVM, πρέπει να λυθεί ένα μη

γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης με μια κυρτή αντικειμενική συνάρτηση, για την οποία υπάρχουν αποτελεσματικοί αλγόριθμοι.

Στο επίπεδο της Μη Επιτηρούμενης Μάθησης(Un-Supervised Learning) το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης αποτελείται μόνο από ένα σύνολο διανυσμάτων εισόδου x και μπορεί να αντιμετωπίσει διαφορετικές εργασίες όπως τη συστάδα ή την ανάλυση συστάδων που είναι η πιο κοινή. Η ομαδοποίηση είναι η διαδικασία ομαδοποίησης δεδομένων έτσι ώστε η ομοιότητα ενδοκλεισμάτων να είναι υψηλή, ενώ η ομοιότητα μεταξύ συστάδων να είναι χαμηλή. Η ομοιότητα εκφράζεται συνήθως ως συνάρτηση απόστασης, η οποία εξαρτάται από τον τύπο των δεδομένων. Υπάρχει μια ποικιλία προσεγγίσεων ομαδοποίησης όπου εδώ εστιάζουμε σε δύο αλγόριθμους: k -means και Gaussian mix model ως παραδείγματα προσεγγίσεων διαμέρισης και προσεγγίσεων βασισμένων σε μοντέλα, αντίστοιχα, δεδομένης της ευρείας περιοχής εφαρμογής τους. Ο k -means είναι ίσως ο πιο γνωστός αλγόριθμος ομαδοποίησης που ξεκινά με ένα αρχικό διαμέρισμα των δεδομένων σε k clusters. Στη συνέχεια υπολογίζεται το κέντρο κάθε συμπλέγματος και τα σημεία δεδομένων αντιστοιχίζονται στο σύμπλεγμα με το πλησιέστερο κέντρο. Η διαδικασία - κεντρικός υπολογισμός και εκχώρηση δεδομένων - επαναλαμβάνεται έως ότου η εκχώρηση δεν αλλάξει ή ξεπεραστεί ο προκαθορισμένος μέγιστος αριθμός επαναλήψεων. Με αυτόν τον τρόπο, ο αλγόριθμος μπορεί να τερματιστεί σε ένα τοπικό βέλτιστο διαμέρισμα. Στη συνέχεια το GMM, μια γραμμική υπέρθεση των Gaussian διανομών, είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες πιθανολογικές προσεγγίσεις για την ομαδοποίηση. Οι παράμετροι του μοντέλου είναι ο συντελεστής ανάμιξης κάθε Gaussian συστατικού, ο μέσος όρος και η συνδιακύμανση κάθε Gaussian κατανομής. Για να μεγιστοποιήσουμε τη συνάρτηση πιθανότητας καταγραφής σε σχέση με τις παραμέτρους που δίνονται σε ένα σύνολο δεδομένων, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος μεγιστοποίησης προσδοκίας, καθώς δεν υπάρχει λύση κλειστής φόρμας σε αυτήν την περίπτωση. Η αρχικοποίηση των παραμέτρων μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας k -mean. Συγκεκριμένα, ο μέσος όρος και η συνδιακύμανση κάθε Gaussian συστατικού μπορούν να αρχικοποιηθούν σε δείγματα μέσων και συνδιακυμάνσεων του συμπλέγματος που λαμβάνονται με k -mean, και οι συντελεστές ανάμιξης μπορούν να ρυθμιστούν στο κλάσμα των σημείων δεδομένων που αντιστοιχούν με k -mean σε κάθε σύμπλεγμα. Μετά την αρχικοποίηση των παραμέτρων και την αξιολόγηση της αρχικής τιμής της πιθανότητας καταγραφής, ο αλγόριθμος εναλλάσσεται μεταξύ δύο βημάτων. Στο βήμα προσδοκίας, οι τρέχουσες τιμές των παραμέτρων χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της «ευθύνης» κάθε στοιχείου για τα παρατηρούμενα δεδομένα ενώ στο βήμα μεγιστοποίησης χρησιμοποιεί αυτές τις ευθύνες για να υπολογίσει τη μέγιστη εκτίμηση πιθανότητας των παραμέτρων του μοντέλου. Παρακάτω παρουσιάζεται η μη επιτηρούμενη μάθηση με τους αλγόριθμους που αναγνωρίζουν μοτίβα στα δεδομένα, αποτελούμενα από μήκη κύματος, διαδρομές, BER και διαμόρφωση:

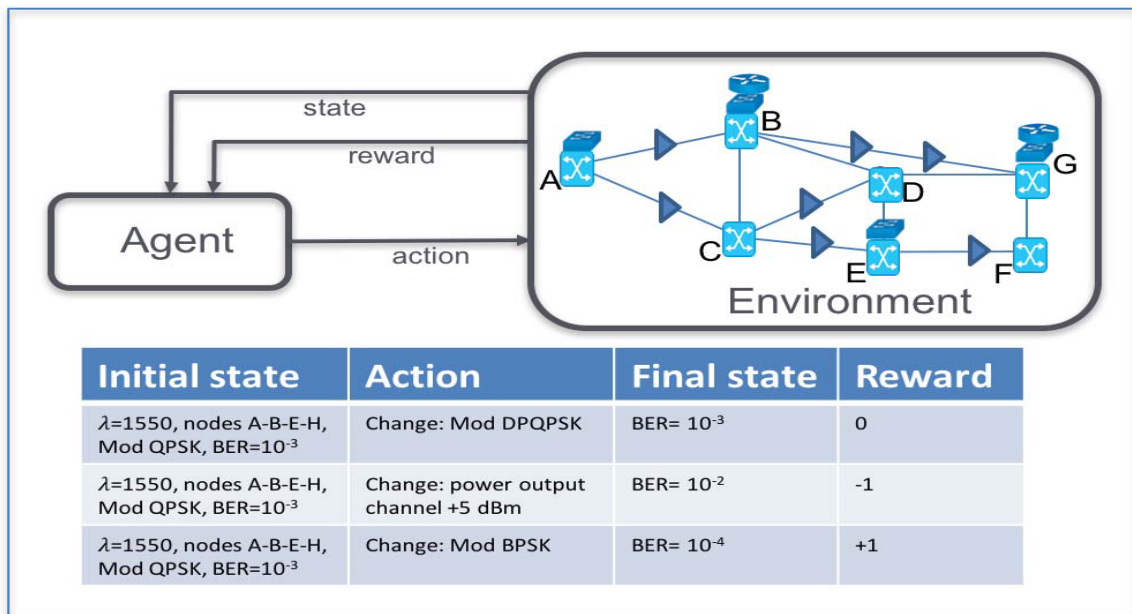


Εικόνα 25: Η Μη-Επιτηρούμενη Μάθηση στα οπτικά δίκτυα

Στο επίπεδο της Ημι-Επιτηρούμενης Μάθησης (Semi-Supervised Learning) χρησιμοποιούνται οι ίδιοι τύποι εφαρμογών με την Επιτηρούμενη Μάθηση (Supervised Learning) και αντιμετωπίζουν προβλήματα στα οποία τα περισσότερα από τα δείγματα εκπαίδευσης δεν φέρουν ετικέτα, ενώ μόνο λίγα σημεία με ετικέτα είναι διαθέσιμα. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν τα σημεία με ετικέτα δεν είναι τόσο συνηθισμένα ή πολύ ακριβά για λήψη και η χρήση διαθέσιμων δεδομένων χωρίς ετικέτα μπορεί να βελτιώσει την απόδοση. Η self-training είναι μια επαναληπτική διαδικασία ως η παλαιότερη μορφή ημι-επιτηρούμενης μάθησης όπου τα σημειωμένα σημεία δεδομένων χρησιμοποιούνται από έναν αλγόριθμο της επιτηρούμενης μάθησης. Στη συνέχεια, σε κάθε βήμα, ορισμένα από τα σημεία χωρίς σήμανση επισημαίνονται σύμφωνα με την πρόβλεψη που προκύπτει για τη λειτουργία της εκπαιδευμένης απόφασης και αυτά τα σημεία χρησιμοποιούνται μαζί με τα αρχικά δεδομένα με ετικέτα για επανεκπαίδευση χρησιμοποιώντας τον ίδιο επιτηρούμενο αλγόριθμο μάθησης.

Στο επίπεδο της Ενισχυμένης Μάθησης (Reinforcement Learning) είναι μια χαρτογράφηση μεταξύ των καταστάσεων του περιβάλλοντος σε δράσεις που πρέπει να εκτελεστούν, ενώ αλληλεπιδρά άμεσα με το περιβάλλον. Η RL εκτελείται συνήθως στο πλαίσιο των διαδικασιών απόφασης Markov (MDP) όπου η αντίληψη του πράκτορα τη στιγμή k αντιπροσωπεύεται ως κατάσταση $s_k \in S$, όπου το S είναι το πεπερασμένο σύνολο καταστάσεων περιβάλλοντος. Ο πράκτορας αλληλεπιδρά με το περιβάλλον εκτελώντας ενέργειες. Τη στιγμή k ο πράκτορας επιλέγει μια ενέργεια $a_k \in A$, όπου A είναι το πεπερασμένο σύνολο ενεργειών του πράκτορα, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει μετάβαση σε μια νέα κατάσταση. Ο πράκτορας θα λάβει μια ανταμοιβή ως αποτέλεσμα

της μετάβασης, σύμφωνα με τη συνάρτηση επιβράβευσης $\rho: S \times A \times S \rightarrow R$. Ο στόχος των πρακτόρων είναι να βρουν την ακολουθία ζευγών κατάστασης-δράσης που μεγιστοποιεί την αναμενόμενη έκπτωση ανταμοιβής, δηλαδή, τη βέλτιστη πολιτική. Στο πλαίσιο του MDP, έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει μια βέλτιστη ντετερμινιστική και σταθερή πολιτική. Υπάρχει ένας αριθμός αλγορίθμων που μαθαίνουν τη βέλτιστη πολιτική τόσο σε περίπτωση που οι λειτουργίες μετάβασης κατάστασης όσο και οι λειτουργίες ανταμοιβής είναι γνωστές (μάθηση βάσει μοντέλου) αλλά και στην περίπτωση που δεν είναι (μάθηση χωρίς μοντέλα). Ο πιο χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος RL είναι η Q-learning, ένας αλγόριθμος χωρίς μοντέλο που εκτιμά τη βέλτιστη συνάρτηση τιμής-δράσης. Μια συνάρτηση τιμής-ενέργειας, που ονομάζεται Qfunction, είναι η αναμενόμενη απόδοση ενός ζεύγους κατάστασης-δράσης για μια δεδομένη πολιτική. Η βέλτιστη συνάρτηση τιμής-ενέργειας, Q^* , αντιστοιχεί στη μέγιστη αναμενόμενη απόδοση για ένα ζεύγος κατάστασης. Μετά τη μάθηση της συνάρτησης Q^* , ο πράκτορας επιλέγει τη δράση με την αντίστοιχη υψηλότερη τιμή Q σε αντιστοιχία με την τρέχουσα κατάσταση. Οι μέθοδοι RL μπορούν να συνδυαστούν με υπάρχουσες μεθόδους προσέγγισης λειτουργιών, π.χ. νευρωνικά δίκτυα[32]. Παρακάτω παρουσιάζεται η ενισχυμένη μάθηση όπου οι αλγόριθμοι μαθαίνουν λαμβάνοντας σχόλια σχετικά με την επίδραση της τροποποίησης ορισμένων παραμέτρων όπως της δύναμης και τη διαμόρφωσης:



Εικόνα 26: Η Ενισχυμένη Μάθηση στα οπτικά δίκτυα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι τα συμπεράσματα από αυτή την διπλωματική εργασία είναι να παρουσιάσει τον τρόπο εισαγωγής της μηχανικής μάθησης στα οπτικά δίκτυα επικοινωνιών αλλά και στο δίκτυο 5G. Στην αρχή παρουσιάζονται βασικές έννοιες, τις δυνατότητες, τον σκοπό, την σχεδίαση και τις υπηρεσίες του 5G καθώς και τις προκλήσεις που καλείται να επιλύσει αυτή η νέα ταχέως αναπτυσσόμενη τεχνολογία και πως θα μας καθορίσει στην ζωή μας και στους καθημερινούς τομείς τα επόμενα χρόνια εισάγοντας νέες δυνατότητες και τεχνολογίες κάνοντας τη ζωή μας καλύτερη και ποιοτικότερη. Στην συνέχεια είδαμε τι είναι τα οπτικά δίκτυα, που ταξινομούνται και τι επιδόσεις και προκλήσεις καλούνται να αντιμετωπίσουν χωρίς αλλά και με την εισαγωγή της μηχανικής μάθησης σε αυτά αλλά και στα δίκτυα 5G. Επίσης, η μηχανική μάθηση μπορεί να αξιοποιήσει τη διαθεσιμότητα δεδομένων και πόρων υπολογιστών σε πολλούς τομείς μηχανικής, συμπεριλαμβανομένων των σύγχρονων συστημάτων επικοινωνίας. Είδαμε τα είδη της που είναι τα εποπτευόμενα, μη εποπτευόμενα και ενισχυτικά μαθησιακά πρότυπα που προσφέρονται σε διαφορετικές εργασίες ανάλογα με τη διαθεσιμότητα παραδειγμάτων επιθυμητής συμπεριφοράς ή ανατροφοδότησης. Η εφαρμοσιμότητα των μεθόδων μάθησης εξαρτάται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη προβλήματος, συμπεριλαμβανομένης της χρονικής μεταβλητότητάς του και της ανοχής του σε σφάλματα. Θα πρέπει να αναφερθούμε στο γεγονός ότι οι προηγμένοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να κάνουν χρήση της μεγάλης ποσότητας δεδομένων που διατίθεται από στοιχεία παρακολούθησης δικτύου για να τα κάνουν να «μάθουν» από την εμπειρία και να κάνουν τα δίκτυα πιο ευέλικτα και προσαρμοστικά. Όμως, είδαμε και πως η μηχανική μάθηση μπορεί να προσαρμοστεί για χρήση σε λειτουργίες δικτύου 5G για να προβλέψει τη συμπεριφορά του χρήστη και να αυτοματοποιήσει τη διαχείριση δυναμικών πόρων δικτύου, αλλά και πως θα εισβάλει στα υπάρχοντα οπτικά δίκτυα για να τα αναπτύξει και να τα εξελίξει με βάση τη νέα τεχνολογία. Έγινε και μια αναφορά στον ορισμό του cloud computing και στην αρχιτεκτονική του που σε συνεργασία με την τεχνολογία 5G και την μηχανική μάθηση θα βοηθήσει να αποθηκεύουν και να επεξεργάζονται τα δεδομένα τους απομακρυσμένα και διαδικτυακά με μεγάλη ταχύτητα και ασφάλεια. Τέλος θα πρέπει να πούμε ότι τα επόμενα χρόνια η μηχανική μάθηση θα εξελίξει και θα οδηγήσει στην ταχύτερη και απλούστερη εξέλιξη της τεχνολογίας των κινητών τηλεφώνων όπου θα γίνουν όμοια με έναν υπολογιστή αλλά θα βοηθήσουν και στην ανάπτυξη και άλλων τομέων της ζωής μας όπως τις συγκοινωνίες, την μεταφορά, τις πόλεις, την βιομηχανία, την ιατρική κ.ά.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] S. Marsland, *Machine Learning: An Algorithmic Perspective*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2015.
- [2] D. Zibar, M. Piels, R. Jones, and C. G. Schaeffer, "Machine learning techniques in optical communication," *IEEE/OSA J. Lightw. Technol.*, vol. 34, no. 6, pp. 1442–1452, Mar. 15, 2016.
- [3] I. de Miguel *et al.*, "Cognitive dynamic optical networks," *IEEE/OSA J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 5, no. 10, pp. A107–A118, Oct. 2013.
- [4] X. Wu, J. A. Jargon, R. A. Skoog, L. Paraschis, and A. E. Willner, "Applications of artificial neural networks in optical performance monitoring," *IEEE/OSA J. Lightw. Technol.*, vol. 27, no. 16, pp. 3580–3589, Aug. 15, 2009.
- [5] M. E. M. Cayamcela and W. Lim, "Artificial intelligence in 5G technology: A survey," in *Proc. Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Conver. (ICTC)*, vol. 1, Oct. 2018, pp. 860_865.
- [6] A. Osseiran, J. F. Monserrat, and P. Marsch, *5G Mobile and Wireless Communications Technology*, 1st ed. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2017.
- [7] R. El Hattachi and J. Erfanian, "Next generation mobile networks alliance 5G initiative," Berkshire, U.K., 5G White Paper 1.0, 2015.
- [8] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S.V. Hanly, A. Lozano, A. C. K. Soong, and J. C. Zhang, "What will 5G be?" *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1065_1082, Jun. 2014.
- [9] M. Sha, A. F. Molisch ; P. J. Smith, T. Haustein, P. Zhu, P. De Silva, F. Tufvesson, A. Benjebbour, and G. Wunder, "5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 35, no. 6, pp. 1201_1221, Jun. 2017.
- [10] F. Musumeci *et al.*, "A survey on application of machine learning techniques in optical networks," *arXiv preprint arXiv:1803.07976*, 2018.
- [11] J. Mata *et al.*, "Artificial intelligence (AI) methods in optical networks: A comprehensive survey," *Opt. Switching Netw.*, vol. 28, pp. 43–57, Apr. 2018.
- [12] <https://el.wikipedia.org/wiki/5G>
- [13] https://el.wikipedia.org/wiki/Μηχανική_μάθηση
- [14] Y. Wang, M. Martonosi, and L.-S. Peh, "A supervised learning approach for routing optimizations in wireless sensor networks," in *Proc. ACM Int. Workshop Multi Hop Ad Hoc Netw.*, 2006, pp. 79–86.
- [15] D. Wang and G. Hinton, "Unsupervised learning: Foundations of neural computation," *Comput. Math. Appl.*, vol. 38, nos. 5_6, p. 256, 2003.
- [16] L. P. Kaelbling, M. L. Littman, and A. W. Moore, "Reinforcement Learning: A Survey," *J. Artif. Intell. Res.*, vol. 4, pp. 237_285, May 1996.
- [17] G. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*, 4th ed επμ., Wiley, 2010.
- [18] K. S. G. S. R. Ramaswami, *Optical Networks: A Practical Perspective*, 3rd Edition, Morgan Kaufmann, 2009.
- [19] Martin Arjovsky, Soumith Chintala, and Léon Bottou. Wasserstein generative adversarial networks. In *Proc. International Conference on Machine Learning*, pages 214–223, 2017.
- [20] N. Panwar, S. Sharma, A.K. Singh., A Survey on 5G: The Next Generation of Mobile Communication. Special Issue on Radio Access Network Architectures and Resource Management for 5G, Elsevier Physical Communication, November 6, 2015.

- [21] METIS, Deliverable 1.5 Version 1, ICT-317669 , “Updated scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system with recommendations for future investigations”, April 2015.
- [22] A. Gupta and R.K., «A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies» IEEE Access 3, 2015.
- [23] Mohsen Nader Tehrani, Murat Uysal, Halim Yanikomeroglu, «Device-to-Device Communication in 5G Cellular Networks: Challenges, Solutions, and Future Directions, IEEE Communications Magazine, Volume:52, Issue: 5» May 2014.
- [24] https://el.wikipedia.org/wiki/Υπολογιστικό_νέφος
- [25] W. Xia, Y. Wen, C. H. Foh, D. Niyato, and H. Xie, “A survey on software-defined networking,” *IEEE Commun. Surv. Tuts.*, vol. 17, no. 1, pp. 27–51, First Quart. 2015.
- [26] Z. Mayer, J. Li, A. Papadogiannis, and T. Svensson, “On the impact of control channel reliability on coordinated multi-point transmission,” *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.*, vol. 1, no. 2014, pp. 1–30, 2014.
- [27] S. Sutton and A. G. Barto, Reinforcement Learning: An Introduction. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- [28] F. N. Khan, Q. Fan, C. Lu, A. P. T. Lau, An Optical Communication's Perspective on Machine Learning and Its Applications, *Journal of Lightwave Technology* 37 (2) (2019) 493{516 doi:{10.1109/JLT.2019.2897313}}.
- [29] A. Caballero, R. Borkowski, I. de Miguel, R. J. Durn, J. C. Aguado, N. Fernandez, T. Jimnez, I. Rodriguez, D. Snchez, R. M. Lorenzo, D. Klonidis, E. Palkopoulou, N. P. Diamantopoulos, I. Tomkos, D. Siracusa, A. Francescon, E. Salvadori, Y. Ye, J. Lpez Vizcano, F. Pittal, A. Tymecki, I. Tafur Monroy, Cognitive, Heterogeneous and Recon_gurable Optical Networks: The CHRON Project, *Journal of Lightwave Technology* 32 (13) (2014) 2308{2323. doi:{10.1109/JLT.2014.2318994}}.
- [30] A. Sgambelluri, J. . Izquierdo-Zaragoza, A. Giorgetti, L. Gifre, L. Velasco, F. Paolucci, N. Sambo, F. Fresi, P. Castoldi, A. C. Piat, R. Morro, E. Riccardi, A. D'Errico, F. Cugini, Fully Disaggregated ROADM White Box with NETCONF/YANG Control, Telemetry, and Machine Learning-based Monitoring, 2018 Optical Fiber Communications Conference and Exposition (OFC) (2018) 1-3
- [31] Paper: Machine learning fo 5G/B5G Mobile and Wireless Communications: Potential, Limitations, and Future Directions
- [32] Paper: An Overview on Application of Machine Learning Techniques in Optical Networks