

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης
Βιομηχανικής Επανάστασης**

Γουργολίτσα Αικατερίνη

A.M. 711171193

Επιβλέπων καθηγητής: Αντώνης Μπόγρης

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2023

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης

Γουργολίτσα Αικατερίνη

A.M. 711171193

Επιβλέπων καθηγητής: Αντώνης Μπόγρης

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Μπόγρης Αντώνης

Καθηγητής

Καρκαζής Παναγιώτης

Αναπληρωτής Καθηγητής

Ψαρράς Νικόλαος

Λέκτορας Εφαρμογών

Ημερομηνία Εξέτασης 19/07/2023

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Γουργολίτσα Αικατερίνη του Ηλία , με αριθμό μητρώου 711171193 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής 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 διπλώματός μου.»

Η Δηλούσα

Γουργολίτσα Αικατερίνη



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κύριο Μπόγγρη Αντώνιο για όλες τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου έδωσε καθ' όλη την διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που ήταν δίπλα μου, με στήριξαν και με ενθάρρυναν σε όλη την διάρκεια της φοίτησής μου.

Περίληψη

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0) κυριαρχεί στην σύγχρονη ζωή και ανοίγει τον δρόμο σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, όπως τα αυτοκινούμενα οχήματα, τα έξυπνα εργοστάσια, τα έξυπνα δίκτυα διανομής ενέργειας, κ.α. Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας θα μελετηθούν οι σύγχρονες απαιτήσεις των εφαρμογών της 4ης Βιομηχανικής επανάστασης σε ότι αφορά τη χρονική καθυστέρηση και την ευαισθησία στον χρόνο και πώς αυτές καλύπτονται από την ευρεία χρήση συστημάτων οπτικών επικοινωνιών και δικτύων.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή σε όλες τις Βιομηχανικές Επαναστάσεις ,ενώ δίνεται έμφαση στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση και στις ευκαιρίες και τις προκλήσεις που αυτή εμφανίζει.

Στην συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι δικτυακές καινοτομίες που έχουν εμφανιστεί, το edge computing , το δίκτυο 5G, καθώς και η σχέση του και η συμβολή του στο edge computing. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα data centers και η σχέση τους με το cloud computing.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα οπτικά δίκτυα και την δομή τους ,αλλά και στα δημόσια και ιδιωτικά οπτικά δίκτυα. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι εφαρμογές των οπτικών δικτύων, αλλά και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχουν. Στην συνέχεια, γίνεται αναφορά στα δίκτυα πρόσβασης FTTx.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι δικτυακές απαιτήσεις της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης και κυρίως σε σχέση με την χρονική καθυστέρηση και την ευαισθησία στον χρόνο , ενώ αναλύονται και οι τρέχουσες λύσεις θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μελλοντικές τάσεις, όπως το 800 G Ethernet, το 1.6 Tb/s Ethernet και το 6G. Το κεφάλαιο κλείνει με τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

Λέξεις -κλειδιά : Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, ευαισθησία στο χρόνο, χρονική καθυστέρηση, οπτικά δίκτυα, Edge Computing, Cloud Computing

Abstract

The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0) dominates modern life and paves the way for a wide range of applications, such as self-driving vehicles, smart factories, smart energy distribution networks, etc. In the context of the thesis, the modern requirements of the applications of the 4th Industrial revolution will be studied in terms of time delay and time sensitivity and how these are covered by the wide use of optical communication systems and networks.

More specifically, in the first chapter there is a historical review of all Industrial Revolutions, while emphasis is placed on the Fourth Industrial Revolution and the opportunities and challenges it presents.

Then, in the second chapter, the network innovations that have appeared, edge computing, the 5G network, as well as its relationship and contribution to edge computing are analyzed. In addition, data centers and their relationship with cloud computing are presented.

In the third chapter, reference is made to optical networks and their structure, but also to public and private optical networks. In addition, the applications of optical networks are presented, as well as their advantages and disadvantages. Then, reference is made to FTTx access networks.

The fourth chapter presents the network requirements of the Fourth Industrial Revolution and mainly in relation to time delay and time sensitivity, while analyzing the current solutions that could be used.

Finally, the fifth chapter presents the future trends, such as 800 G Ethernet, 1.6 Tb/s Ethernet and 6G. The chapter closes with the conclusions of the thesis.

Keywords: Industry 4.0 , time sensitivity, time latency, optical networks, Edge Computing, Cloud Computing

Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή	11
1.1 Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση	11
1.2 Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση	12
1.3 Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση	13
1.4 Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση.....	14
1.5 Ευκαιρίες της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης	15
1.6 Προκλήσεις της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης.....	17
2. Δικτυακές καινοτομίες	19
2.1 Edge Computing.....	19
2.2 Δίκτυο 5G.....	20
2.3 Βασικές απαιτήσεις του Edge Computing στο 5G.....	21
2.4 Εφαρμογές του Edge Computing στο 5G	22
2.5 Κύριοι στόχοι του Edge Computing στο 5G	23
2.6 Συμβολή του Edge Computing στο 5G	24
2.7 Ασφάλεια και απόρρητο στο edge Computing	25
2.8 Internet of Things.....	26
2.9 Data Centers	27
2.9.1 Data center και cloud computing.....	28
2.9.2 Data Center Network	28
2.9.3 Κύριες απαιτήσεις και προκλήσεις της χρήσης του DCN για δραστηριότητες cloud	29
2.9.4 Το DCN ως μοντέλο ανάπτυξης cloud	30
3.Οπτικά δίκτυα	32
3.1 Δημόσια και Ιδιωτικά δίκτυα	32
3.2 Οπτικά δίκτυα	32
3.2.1 Πομπός	34
3.2.2 Οπτική ίνα.....	35
3.2.3 Δέκτης.....	39
3.2.4 Υπόλοιπα στοιχεία:	39
3.3 Εφαρμογές οπτικών δικτύων	39
3.4 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί οπτικών δικτύων.....	40
3.5 Δίκτυα πρόσβασης FTTH	42
3.5.1 Τύποι FTTH δικτύων	42
3.5.2 Δομή FTTH Δικτύων	45

4. Απαιτήσεις Industry 4.0 και τρέχουσες λύσεις	47
4.1 Industry 4.0 - ειδικές δικτυακές απαιτήσεις	47
4.2 Επισκόπηση της επικοινωνίας δεδομένων στο Industry 4.0.....	49
4.3 Απαιτήσεις των ευαίσθητων στον χρόνο εφαρμογών	50
4.4 Τρέχουσες λύσεις	51
4.4.1 Ethernet.....	52
4.4.2 Industrial Ethernet.....	53
4.4.3 Οπτικό Δίκτυο Μεταφορών- OTN	54
4.4.4 TimeSensitiveNetworking.....	54
4.4.5Ντετερμινιστικά Δυναμικά Δίκτυα - DDN	56
4.5.6 Παθητικά Οπτικά Δίκτυα: PON.....	57
5. Συμπεράσματα - Μελλοντικές τάσεις.....	58
5.1 800 G Ethernet, 1.6 Tb/s Ethernet.....	58
5.2 6G	59
5.3 Συμπεράσματα	61
Βιβλιογραφία	63

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Τα στάδια της βιομηχανικής ανάπτυξης (πηγή : OxfordAnalytica)	15
Εικόνα 2: Οπτική μετάδοση (Πηγή: Sura, 2002)	34
Εικόνα 3: Δομή οπτικής ίνας (Πηγή: Naval, 1998)	37
Εικόνα 4: Κατηγορίες οπτικής ίνας (Πηγή: Sura, 2002).....	38
Εικόνα 5: Τύποι Δικτύων FTTx (Πηγή: Keiser, 2006)	44
Εικόνα 6: Τυπική διάταξη της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης (Πηγή : Dynamic Deterministic Digital Infrastructure for Time-Sensitive Applications in Factory Floors , 2021).....	49
Εικόνα 7: Έλλειψη ντετερμινισμού με το Ethernet (Δείγμα πειράματος Yvan Pointurier).....	52
Εικόνα 8: (α) Έλλειψη ντετερμινισμού στο Ethernet από ασύγχρονες αφίξεις πλαισίων εισόδου, (β) Ύπαρξη ντετερμινισμού στο Ethernet από τις τέλεια συγχρονισμένες και τακτικά παρεμβαλλόμενες αφίξεις πακέτων (Πηγή : End-to-End Time-Sensitive Optical Networking:Challenges and Solutions) 53	
Εικόνα 9: Εκτίμηση κίνησης της κινητής τηλεφωνίας από το 2020 έως το 2030. (Πηγή: Έκθεση ITU-R M.2370-0).....	60

1.Εισαγωγή

1.1 Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση

Για αρκετούς αιώνες τα αγαθά, όπως τα τρόφιμα, τα ρούχα και οι κατοικίες κατασκευάζονταν από τα ανθρώπινα χέρια ή με τη βοήθεια εργατικών ζώων. Ωστόσο, με την είσοδο της Βιομηχανικής Επανάστασης άλλαξε ριζικά η μέχρι τότε ζωή και η καθημερινότητα των ανθρώπων. Η Βιομηχανική Επανάσταση είναι μία ιστορική περίοδος έντονων μεταβολών και αλλαγών. Η οικονομία, η καθημερινότητα και η ζωή των πολιτών άλλαξαν ραγδαία και οι αλλαγές αυτές επηρέασαν και συνεχίζουν να επηρεάζουν όλο τον κόσμο σε κάθε γωνιά της γης.

Η πρώτη βιομηχανική επανάσταση ξεκίνησε το 1760 στην Αγγλία και εξαπλώθηκε με γρήγορους ρυθμούς σε ολόκληρη την Ευρώπη και την Αμερική. Η αύξηση του πληθυσμού είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των αναγκών για περισσότερα αγαθά με το μικρότερο δυνατό κόστος, κάτι που δημιούργησε την ανάγκη για την κατασκευή μηχανημάτων, που θα μεγάλωναν την παραγωγική διαδικασία.

Εκείνη την περίοδο, οι μεγάλοι γαιοκτήμονες είχαν συσσωρεύσει μεγάλο αριθμό γης και κεφαλαίων στα χέρια τους και αυτό διευκόλυνε την μετακίνηση των χρημάτων σε νέες καινοτόμες επενδύσεις και κατάφεραν να εδραιώσουν τη δύναμή τους ύστερα από τον αγροτικό μετασχηματισμό. Αυτός ο μετασχηματισμός επιτεύχθηκε με νόμους, που θεσπίστηκαν από το κοινοβούλιο της χώρας και με αυτούς δινόταν το δικαίωμα της περιφράξης της γης τους. Αυτό είχε ως αντίκτυπο την διακοπή της κοινής χρήσης της γης από τους απλούς ανθρώπους της υπαίθρου, αλλά, παράλληλα, συνέβαλε στην αποδοτικότερη χρήση της γης, μέσα από τη βελτίωση και επίβλεψη των καλλιεργειών. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος ήταν η έντονη αστικοποίηση, με τη μετάβαση των κατοίκων της υπαίθρου και ιδίως των νέων στις μεγάλες πόλεις με σκοπό την εύρεση εργασίας και δημιουργώντας, έτσι, ένα νέο και δυναμικό εργατικό δυναμικό.

Βασικό χαρακτηριστικό της Πρώτης Βιομηχανικής Επανάστασης ήταν η εφεύρεση της ατμομηχανής. Έτσι, οι μέχρι τότε μαζικές παραγωγές που στηρίζονταν στο ανθρώπινο δυναμικό έδωσαν την θέση τους στις μηχανές που χρησιμοποιούσαν τη δύναμη του ατμού για να λειτουργήσουν. Η χρήση του ατμού έθεσε τα θεμέλια για την μετάβαση από την αγροτική κοινωνία στην νέα κοινωνία όπου κυριαρχούν οι μηχανές και η βιομηχανία.

Παράλληλα, εκείνη την περίοδο η Βρετανία είχε παράδοση στην παραγωγή υφασμάτων από κάθε είδους πρώτη ύλη, κάτι που είχε ως αποτέλεσμα την συνεχή αναζήτηση νέων μηχανών, που θα βοηθούσαν την παραγωγή. Έτσι, δόθηκε η ευκαιρία να δημιουργηθεί η κλωστική μηχανή, η οποία

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε εργοστάσια κλωστοϋφαντουργίας, η εκκοκκιστική μηχανή βαμβακιού και άλλα παρόμοια μηχανήματα, που αύξησαν με μεγάλο ρυθμό την παραγωγή. Επίσης, η χρήση του άνθρακα ως κύρια πηγή ενέργειας άρχισε να εξαπλώνεται γρήγορα και να χρησιμοποιείται τόσο στις θαλάσσιες μεταφορές, όσο και στις χερσαίες. Το πρώτο τρένο κυκλοφόρησε το 1830 στη Μεγάλη Βρετανία κάνοντας το τρένο το κύριο μέσο μεταφοράς στην ξηρά. Αντίστοιχα, στις θαλάσσιες μεταφορές την επανάσταση έφερε η χρήση ατμόπλοιου, που έκανε τις μεταφορές ασφαλέστερες και ταχύτερες.

1.2 Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση

Το τέλος της πρώτης βιομηχανικής επανάστασης στα μέσα του 19ου αιώνα ακολούθησε η Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση. Ονομάστηκε και Τεχνολογική Επανάσταση και ξεκίνησε το 1870. Βασικό χαρακτηριστικό της ήταν η ευρεία χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας και του πετρελαίου. Η εφεύρεση του ηλεκτρικού ρεύματος είχε ως αποτέλεσμα να εμφανιστούν οι ηλεκτρικοί κινητήρες, οι ηλεκτρικές γεννήτριες και το τηλέφωνο. Με αυτόν το τρόπο δόθηκε η έναρξη για την ηλεκτροδότηση. Η ηλεκτροδότηση ήταν η έναρξη για μία ζωή πιο εύκολη και πιο παραγωγική.

Παράλληλα, εκείνη την περίοδο έγινε και η ανακάλυψη του πετρελαίου. Έτσι, εμφανίστηκαν και οι μηχανές εσωτερικής καύσης, οι οποίες σε συνδυασμό με τον ηλεκτρισμό άλλαξαν την μετέπειτα ζωή του ανθρώπου. Η Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση δηλαδή βασίστηκε στην έντονη παρουσία της μηχανής που λειτουργούσε μέσω του ηλεκτρισμού.

Η ραγδαία επέκταση των σιδηροδρομικών και τηλεγραφικών γραμμών μετά το 1870 έδωσε την ώθηση για μία μεγάλη και ανεξέλεγκτη μετακίνηση των ανθρώπων και των ιδεών. Αποτέλεσμα αυτών ήταν ένα νέο κύμα παγκοσμιοποίησης. Η αύξηση της παραγωγής χάλυβα από τη δεκαετία του 1860 οδήγησε στο γεγονός ότι οι σιδηρόδρομοι θα μπορούσαν να κατασκευαστούν με ανταγωνιστικό κόστος από χάλυβα. Ο χάλυβας ήταν ένα ανθεκτικό υλικό που στη συνέχεια αντικατέστησε το σίδηρο στις σιδηροδρομικές ράγες και έδωσε την ευκαιρία για μεγαλύτερες σιδηροδρομικές γραμμές. Ακόμη, το 1913 ο Αμερικανός βιομήχανος Henry Ford, δημιούργησε την πρώτη κινητή γραμμή συναρμολόγησης μαζικής παραγωγής, κάτι που υιοθετήθηκε και εφαρμόζεται ακόμη και σήμερα από όλη την παγκόσμια βιομηχανία, ενώ το 1896 κατασκευάστηκε το πρώτο βενζινοκίνητο αυτοκίνητο.

1.3 Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση

Η Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση ονομάστηκε και Ψηφιακή και ξεκίνησε το 1960 από τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία και άλλαξε οριστικά ,τόσο τις διαδικασίες της βιομηχανικής παραγωγής, όσο και την καθημερινότητα ολόκληρης της ανθρωπότητας.

Χαρακτηρίστηκε από την τεχνολογία των πληροφοριών και την πληροφορικής που οδήγησαν στην αυτοματοποίηση της παραγωγής. Την περίοδο αυτή εμφανίστηκαν αμέτρητες δυνατότητες σε πολλές ηλεκτρονικές εφαρμογές με την εφεύρεση και τη χρήση του τρανζίστορ, της λυχνίας και των μικροτσίπ.

Η εφεύρεση του τρανζίστορ το 1947 έκανε τους υπολογιστές πιο μοντέρνους. Η πληροφορική, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα ηλεκτρονικά κυκλώματα, και γενικά η νέα ηλεκτρονική εποχή, που αρχίζει να γίνεται ψηφιακή, εισβάλλει δυναμικά σε κάθε παραγωγική διαδικασία, επιταχύνοντας ακόμη περισσότερο τον αυτοματισμό της μαζικής παραγωγής. Η δεκαετία του '80 χαρακτηρίστηκε από την εμφάνιση και την χρήση των υπολογιστών από απλούς ανθρώπους στις χώρες που ήταν πιο ανεπτυγμένες. Οι υπολογιστές είχαν εγκατασταθεί σε εκατομμύρια σπίτια και χρησιμοποιούνταν πλέον από απλούς χρήστες . Αυτό είχε ως αποτέλεσμα και την χρήση των υπολογιστών στην εργασία του ανθρώπου.

Παράλληλα, έγινε η αρχή για την αυτοματοποίηση και την εφεύρεση των πρώτων ρομπότ. Επιπρόσθετα, έγιναν ευρέως γνωστές οι προηγμένες τηλεπικοινωνίες, η εφεύρεση του internet, τα έξυπνα λογισμικά, οι υπηρεσίες του Web και το ασύρματο internet (Wi-Fi). Το 1992 ο παγκόσμιος ιστός έκανε την αρχή του και έως το 1996 χρησιμοποιούνταν πλήρως από το κοινό. Έτσι αρκετά γρήγορα το 1999 σχεδόν κάθε χώρα είχε μία σύνδεση στο διαδίκτυο .

Η Ψηφιακή Επανάσταση δηλαδή ήταν η αρχή για τη μαζική παραγωγή υπολογιστών, ενώ αναπτύχθηκαν οι τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες ,όπως το διαδίκτυο και η ψηφιακή αναμετάδοση και παράλληλα έκαναν την εμφάνιση τους τα πρώτα κινητά τηλέφωνα (3G) .Τα κινητά έγιναν αναπόσπαστο κομμάτι στη ζωή κάθε ανθρώπου, καθώς τον εξυπηρετούν στην επικοινωνία, στην σύνδεση με το διαδίκτυο, στην διασκέδαση, στην πληροφόρηση και γενικότητα στην καθημερινότητά του.

Η ψηφιακή επανάσταση είχε αμέτρητα οφέλη στην κοινωνία ωστόσο υπήρξαν ορισμένες ανησυχίες γύρω από αυτήν. Η ευκολία με την οποία μπορεί να υπάρξει επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών και ιδεών μεταξύ των ανθρώπων έδωσε ευκαιρία για εκμετάλλευση από διάφορους επιτήδειους. Έτσι , η Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση έγινε η αρχή για μία εποχή μαζικής επιτήρησης και έτσι αυτό οδήγησε στην δημιουργία νέων πολιτικών και ανθρωπίνων δικαιωμάτων. Επιπλέον, οι

πληροφορίες που διακινούνταν ήταν εύκολο να αντιγραφούν ή να παραποιηθούν χωρίς ωστόσο να υπάρχει μέριμνα για να εκλεχθούν και να επαληθευθούν. Τέθηκε επομένως το ζήτημα της αξιοπιστίας και της εγκυρότητας σε σχέση με τις πληροφορίες που κυκλοφορούσαν .

1.4 Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση

Απόγονος της τρίτης βιομηχανικής επανάστασης είναι η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση ,η οποία ξεκίνησε το 2000 στην Γερμανία. Βασικό χαρακτηριστικό της είναι ο συνδυασμός πολλών τεχνολογιών μαζί που έρχονται να ταράξουν όλη την ανθρωπότητα.

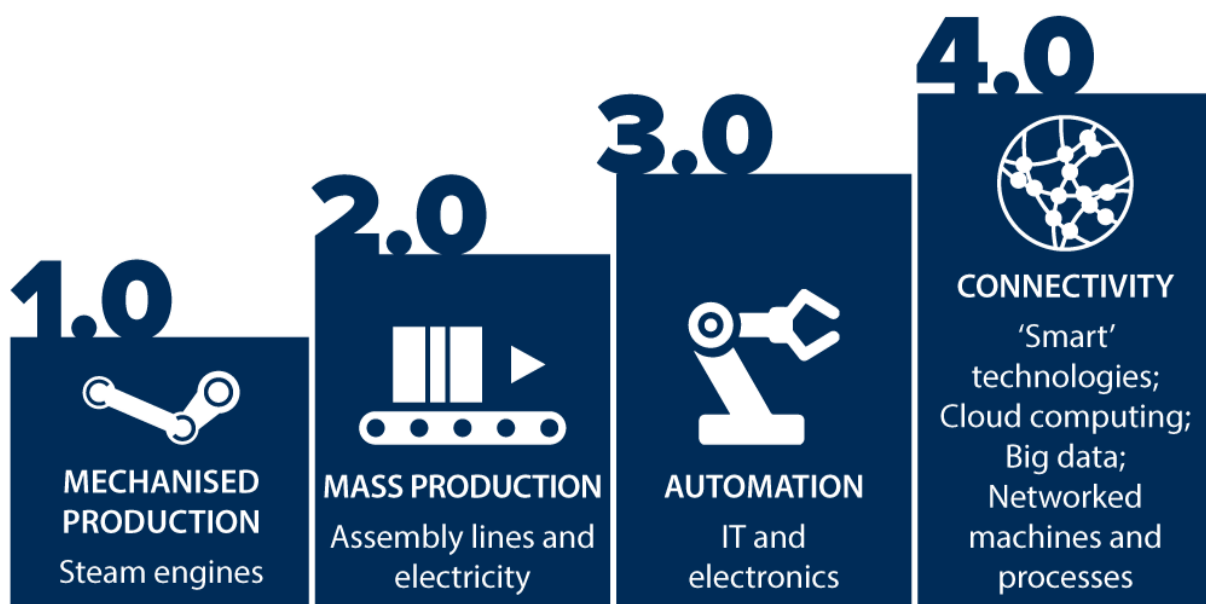
Η χρήση του Internet και των smartphones ,οι ηλεκτρονικές αγορές και πληρωμές έχουν γίνει στοιχεία της καθημερινότητας του ανθρώπου και χωρίς αυτά δυσκολεύεται να ανταπεξέλθει στις ανάγκες του. Η τεχνητή νοημοσύνη επομένως είναι παρούσα στην ζωή του ανθρώπου και αυτό φαίνεται από την συνεχή χρήση των drones, των συστημάτων εντοπισμού και πλοήγησης (GPS) ή και της τρισδιάστατη εκτύπωσης (3D printing), η οποία μπορεί να δημιουργήσει στερεά αντικείμενα με τη δημιουργία διαδοχικές στρώσεις υλικών.

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση χαρακτηρίζεται από την συγχώνευση πολλών τεχνολογιών μαζί. Σε σύγκριση με τις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις, είναι αυτή που εξελίσσεται με ταχύτατους ρυθμούς κάνοντας έτσι αισθητή την παρουσία της σε κάθε κλάδο. Ακολουθούν κάποια βασικά χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση.

- Η διασύνδεση: Η ικανότητα δηλαδή των μηχανών, των συσκευών και των ανθρώπων να συνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του Ίντερνετ των πραγμάτων (IoT)
- Η διαφάνεια πληροφοριών: Η διαφάνεια που υπάρχει δίνει την δυνατότητα σε όλους να διαθέτουν τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται για τη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων. Η διασύνδεση επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης να συλλέγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων και πληροφοριών από όλα τα σημεία της παραγωγικής διαδικασίας, βοηθώντας έτσι τη λειτουργικότητα και εντοπίζοντας βασικούς τομείς που μπορούν να επωφεληθούν από την καινοτομία και τη βελτίωση.

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

- Η τεχνική βοήθεια: Η ικανότητα των συστημάτων υποστήριξης να υποστηρίζουν το εργατικό προσωπικό, συγκεντρώνοντας και οπτικοποιώντας τις πληροφορίες εκτενώς για λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και επίλυση επειγόντων προβλημάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα στα κυβερνο-φυσικά συστήματα να υποστηρίζουν τον άνθρωπο διεξάγοντας μια σειρά καθηκόντων που είναι δυσάρεστες, υπερβολικά εξαντλητικές ή μη ασφαλείς για τους ανθρώπινους «συνεργάτες» τους.
- Οι αποκεντρωμένες αποφάσεις: Η ικανότητα των κυβερνο-φυσικών συστημάτων να λαμβάνουν αποφάσεις από μόνα τους και να εκτελούν τα καθήκοντά τους όσο το δυνατόν πιο αυτόνομα είναι αρκετά σημαντική για την ζωή των πολιτών.



Εικόνα 1: Τα στάδια της βιομηχανικής ανάπτυξης (πηγή : OxfordAnalytica)

1.5 Ευκαιρίες της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

Η εποχή της πληροφορίας αντικατέστησε τις θέσεις εργασίας που είχαν δημιουργηθεί από τη βιομηχανική εποχή. Οι εργαζόμενοι που δούλευαν και παρήγαγαν τα περισσότερα αγαθά με τα χέρια τους πλέον έχουν αντικατασταθεί από τους εργαζόμενους που χρησιμοποιούν το πνεύμα και το μυαλό τους. Οι ίδιοι διαθέτουν δημιουργικότητα και επιτυγχάνουν τους στόχους τους πιο αποτελεσματικά και πιο γρήγορα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της βιομηχανικής εποχής ήταν οι μηχανές και το κεφάλαιο, ενώ οι άνθρωποι ήταν απαραίτητοι αλλά αντικαταστάσιμοι. Κορυφαίοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση θα διαμορφώσει το μέλλον μέσω των επιπτώσεών της, τόσο στις επιχειρήσεις όσο και σε όλο τον κόσμο. Επιπλέον, είναι φανερό οι άνθρωποι δεν θα έχουν κανέναν έλεγχο ούτε στην τεχνολογία ούτε στις αλλαγές που αυτή θα επιφέρει.

Ωστόσο, με την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση παρουσιάζονται ευκαιρίες όπως η απουσία πολλών εμποδίων μεταξύ των εφευρετών και των αγορών. Ο Chris Anderson προβλέπει ότι η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση είναι πιθανό να μειώσει τα πιθανά εμπόδια που υπήρχαν μεταξύ των εφευρετών και των αγορών λόγω των νέων τεχνολογιών που έχουν ανακαλυφθεί, όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση. Η τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης επιτρέπει σε επιχειρηματίες με νέες ιδέες να ιδρύσουν μικρές εταιρείες με χαμηλότερο κεφάλαιο. Έτσι, οι επιχειρηματίες για παράδειγμα μπορούν να αναπαραστήσουν το προϊόν τους σε πραγματικό επίπεδο με τρισδιάστατη εκτύπωση, χωρίς τους χρονικούς περιορισμούς που συχνά συναντώνται με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Ακόμη, με την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση δόθηκε έμφαση στην τεχνητή νοημοσύνη. Οι αυξανόμενες τάσεις στην τεχνητή νοημοσύνη φέρνουν σημαντικές εξελίξεις και αλλαγές, όπως για παράδειγμα η παρουσία αυτοκινήτων στους δρόμους χωρίς οδηγούς.

Επιπλέον, με την ρομποτική υπάρχει η δυνατότητα να βελτιωθεί η ποιότητα της καθημερινής ζωής στο σπίτι, στην εργασία και στον δρόμο. Τα ρομπότ θα δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας, ενώ παράλληλα βελτιώνουν την ποιότητα των ήδη υπάρχουσών θέσεων εργασίας δίνοντας έτσι την ευκαιρία για περισσότερο και πιο ποιοτικό ελεύθερο χρόνο στους ανθρώπους. Έτσι, ο εργαζόμενος έχει πιο πολύ ελεύθερο χρόνο να ασχοληθεί με την προσωπική του ζωή και τον κοινωνικό του περίγυρο. Ακόμη, με την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) προσφέρει προηγμένη συνδεσιμότητα μεταξύ των συσκευών και των υπηρεσιών. Αυτή η σύνδεση αναμένεται να οδηγήσει στην αυτοματοποίηση σχεδόν σε όλα τα πεδία, δημιουργώντας έτσι έξυπνα δίκτυα και έξυπνες πόλεις.

1.6 Προκλήσεις της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση έχει την δυνατότητα να αυξήσει το βιοτικό και εισοδηματικό επίπεδο των ανθρώπων. Έτσι, η ποιότητα της ζωής βελτιώνεται ενώ παρουσιάζονται ευκαιρίες για επενδύσεις σε νέες καινοτόμες ιδέες . Ενώ υπάρχουν πολλά οφέλη, με την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση παρουσιάζονται και τεράστιες προκλήσεις που ο άνθρωπος κρίνεται να αντιμετωπίσει.

Η καθημερινή ζωή του ανθρώπου θα αλλάξει με την τρισδιάστατη εκτύπωση, το IoT και τη συγχώνευση των τεχνολογιών. Επιπλέον, παρουσιάζονται μεγάλες ανισότητες στην αγορά εργασίας, καθώς ο αυτοματισμός και οι μηχανές παραγκωνίζουν τον εργαζόμενο και τον καθιστούν υποχείριό τους. Σε μια εποχή καθοδηγούμενη από τις ψηφιακές τεχνολογίες και ενώ υπάρχουν τα κεφάλαια και οι επενδυτές αυτό που σπανίζει είναι οι άνθρωποι με ιδέες και όνειρα. Οι άνθρωποι δηλαδή πάνω στους οποίους θα μπορούν να επενδύσουν οι επιχειρηματίες για την ανάδειξη νέων ιδεών και καινοτομιών.

Επιπλέον, υπάρχουν ποικίλες προκλήσεις που αφορούν την κυβερνοασφάλεια και την αξιολόγηση κινδύνου που μπορεί να υπάρχει. Οι άνθρωποι συνδέονται συνεχώς σε συσκευές, όπως τα κινητά τηλέφωνα, οι έξυπνες τηλεοράσεις, τα αυτοκίνητα και οι κάμερες ασφαλείας. Βρίσκονται συνεχώς , αν όχι όλο το εικοσιτετράωρο συνδεδεμένοι με οποιαδήποτε συσκευή και αυτό μπορεί να επιφέρει τρομερές συνέπειες στην ασφάλεια τους. Επομένως ,υπάρχει η ανάγκη για την δυνατότητα επεξεργασίας και κατάργησης των προσωπικών δεδομένων του χρήστη που μπορεί να υπάρχουν στο διαδίκτυο. Καθώς ο χρήστης μπορεί να μην επιθυμεί πλέον να μοιράζεται προσωπικά στοιχεία με άλλους χρήστες.

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση επομένως απαιτεί μεγαλύτερη ασφάλεια στον κυβερνοχώρο. Οι άνθρωποι αναγκάζονται πλέον να είναι καχύποπτοι και διστακτικοί. Οι εταιρείες θα πρέπει να χαρτογραφούν τα δίκτυα τους και να αξιολογούν τους κινδύνους που παρουσιάζονται και σχετίζονται με την ασφάλεια των χρηστών τους. Με αυτή την αξιολόγηση θα γίνονται εμφανείς οι πιθανές απειλές που ενδέχεται να υπάρχουν στα συστήματα και έτσι οι εταιρίες θα καθορίζουν εάν αυτοί οι κίνδυνοι είναι αποδεκτοί ή αν πρέπει να μειωθούν και να ενδεχομένως να εξαφανιστούν. Παράλληλα, τα δεδομένα μπορούν να χαθούν ή να κλαπούν από τους υπαλλήλους, είτε ακούσια ή εκούσια, ωστόσο οι πιο μεγάλες επιθέσεις των τελευταίων ετών ήταν εξωτερικές κακόβουλες επιθέσεις δηλαδή το γνωστό hacking .

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση δεν επιφέρει αλλαγές μόνο στην τεχνολογία. Αντίθετα, επηρεάζει θετικά την βιομηχανία ,την υγεία και την εκπαίδευση. Η καινοτομία ανοίγει τον δρόμο της στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, όπου επαναπροσδιορίζει τους συμβατικούς τρόπους που τα πανεπιστήμια προσφέρουν γνώση και ιδέες στους φοιτητές.

Προκύπτουν συνεχώς νέα προγράμματα σπουδών και διδασκαλίας και έτσι οι φοιτητές δεν μένουν εγκλωβισμένοι στον πιο παλιό τρόπο μετάδοσης της γνώσης. Το ίδιο ισχύει και στις επιχειρήσεις ,όπου η καινοτομία έχει πρωταγωνιστικό ρόλο στις κερδοφόρες επιχειρήσεις δημιουργώντας έτσι νέα προϊόντα και νέες αγορές. Ωστόσο, σε μία εποχή που χαρακτηρίζεται από τον αυτοματισμό, την τεχνική νοημοσύνη και τα ρομπότ αναδύονται νέες ηθικές ανησυχίες. Με τεχνητή νοημοσύνη και ικανότητα μηχανικής μάθησης, τα ρομπότ έχουν γίνει πιο έξυπνοι και πιο αυτόνομα. Ωστόσο, εξακολουθούν να έχουν την έλλειψη τη ικανότητας του ηθικού συλλογισμού. Αυτό περιορίζει την ικανότητά τους να λαμβάνουν καλές ή ηθικές αποφάσεις σε περίπλοκες καταστάσεις. Από την άλλη, υπάρχει το πιο κρίσιμο ερώτημα το οποίο αφορά το ποιο θα είναι το ηθικό πρότυπο που θα πρέπει να ακολουθήσουν τα ρομπότ. Οι ηθικές αξίες δηλαδή διαφέρουν από άτομο σε άτομο ,από χώρα σε χώρα και από κουλτούρα σε κουλτούρα. Έτσι, υπάρχουν διλήμματα και αβεβαιότητα σχετικά με το ποιο ηθικό πρότυπο θα πρέπει να υιοθετηθεί.

Η είσοδος του Industry 4.0 έχει και κάποιες επιπτώσεις στην ψυχολογία και την ψυχοσύνθεση του ανθρώπου. Ο άνθρωπος σαν ελεύθερο όν έχει την ανάγκη να αλληλοεπιδρά με άλλους ανθρώπους ,να εργάζεται και να διασκεδάζει. Ωστόσο, με την επαυξημένη πραγματικότητα η επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων έχει καταλήξει να είναι περισσότερο εικονική παρά φυσική. Αυτό μπορεί να αυξήσει τα αισθήματα απομόνωσης και εγκατάλειψης που νιώθει το άτομο, καθώς θα υπάρχει έλλειψη επικοινωνίας, συντροφικότητας και κοινωνικοποίησης.

Επιπλέον, η άφιξη του IOT θα επηρεάσει την ιδιωτική ζωή των ανθρώπων. Στα σπίτια θα κυριαρχήσει η παρουσία των έξυπνων συσκευών ,οι οποίες θα προβλέπουν και θα ικανοποιούν τις ανάγκες των μελών μιας οικογένειας . Αυτό συνεπάγεται ότι οι συσκευές αυτές θα παρακολουθούν και θα αναλύουν την καθημερινότητα των ατόμων και ενδέχεται να υπάρχει και κίνδυνος για εγκλήματα στον κυβερνοχώρο. Επιπλέον, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της ρομποτικής υπάρχει η δυνατότητα να αποκαθίστανται νευρολογικές βλάβες ή άλλες ασθένειες και έτσι να παρατείνεται η διάρκεια ζωής.

Επομένως, η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση θα πρέπει να είναι προσανατολισμένη στην πρόοδο που αντανακλά τις υψηλότερες αξίες του ανθρώπου και κάνει την καθημερινή ζωή του πιο εύκολη. Με αυτό τον τρόπο ο άνθρωπος και η κοινωνία θα επωφελούνται από αυτή την ανάπτυξη.

2. Δικτυακές καινοτομίες

2.1 Edge Computing

Edge Computing ονομάζεται η αποκεντρωμένη επεξεργασία δεδομένων στα όρια του δικτύου , δηλαδή στα άκρα. Στο Edge computing η πηγή δεδομένων βρίσκεται πιο κοντά στην τοποθεσία του χρήστη δίνοντας έτσι πιο γρήγορη και αξιόπιστη εξυπηρέτηση στο χρήστη. Οι πόροι μπορούν να διανεμηθούν σε διαφορετικές φυσικές τοποθεσίες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η κλιμάκωση της κεντρικής υποδομής για την κάλυψη της ανάγκης για αυξανόμενη ζήτηση για συσκευές και δεδομένα. Στα πλαίσια του Edge Computing τα δεδομένα επεξεργάζονται κατευθείαν σε μία συσκευή ή στο Server, χωρίς να απαιτείται η μεταφορά τους σε κέντρο υπολογιστών.

Παράλληλα, η ανάγκη για να βελτιωθούν οι πόροι που σχετίζονται με τον χρόνο και τα δεδομένα οδήγησε στην δημιουργία του Edge Computing. Με αυτό τον τρόπο , τα δεδομένα δεν χρειάζεται να μεταφέρονται από συσκευές IoT στο Cloud και οι απαντήσεις τους να μεταφέρονται ξανά στο τοπικό δίκτυο. Έτσι, για παράδειγμα είναι εφικτή η επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να υπάρχουν καθυστερήσεις.

Το edge computing είναι μια τεχνολογία που εστιάζει στην αποθήκευση, την επεξεργασία και την ανάλυση δεδομένων γρήγορα σύμφωνα με το αίτημα του χρήστη για να αποφευχθεί η καθυστέρηση. Αντίστοιχα οι συσκευές και έξυπνες εφαρμογές μπορούν να αντιδρούν σε δεδομένα ακόμα και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας δημιουργίας. Το Edge computing μπορεί να τοποθετηθεί σε επιχειρήσεις, σε εργοστάσια , σε σπίτια σε οχήματα, σε αεροπλάνα ακόμη και σε αυτοκίνητα χωρίς οδηγό που έχουν κάνει την εμφάνισή τους τα τελευταία χρόνια.

Με το edge computing επιτυγχάνεται η γρήγορη επεξεργασία δεδομένων καθώς δεν υπάρχει αυξημένη κίνηση στο δίκτυο. Οι συνδεδεμένες συσκευές εξακολουθούν να είναι σε λειτουργία στο Internet of Things ακόμα και αν υπάρχουν βλάβες στο διαδίκτυο ή καθυστερήσεις σε σχέση με την σύνδεση με το Cloud. Παράλληλα, δεν χρειάζεται να μεταφέρονται ευαίσθητα δεδομένα των χρηστών ή μιας εταιρείας στο Cloud, καθώς παραμένουν τοπικά.

Ωστόσο, το edge computing έχει και ορισμένα μειονεκτήματα που πρέπει να αναφερθούν. Ένα από αυτά είναι η δυσκολία που εμφανίζεται σχετικά με την χωρητικότητα. Όταν για παράδειγμα χρειαστεί να γίνει επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων είναι δύσκολο να ανταποκριθεί επιτυχώς. Επιπλέον, ενδέχεται να υπάρχει και δυσκολία στην αποθήκευση. Ακόμη, για να αποφευχθεί μια πιθανή διακοπή της λειτουργίας είναι απαραίτητος ο συνεχής έλεγχος και η καλύτερη προστασία τελικών συσκευών.

Το Edge computing έχει τρία κύρια χαρακτηριστικά ως εξής:

1. Η χαμηλή καθυστέρηση επιτρέπει στο edge computing να μειώνει την καθυστέρηση απόκρισης που υφίστανται οι εφαρμογές κατά την πρόσβαση τους στο cloud. Στο cloud computing, η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο είναι μεγαλύτερη από 80 ms. Κάτι τέτοιο δεν είναι ανεκτό για εφαρμογές ευαίσθητες στην καθυστέρηση, όπως η εξ αποστάσεως χειρουργική και η εικονική πραγματικότητα, που απαιτούν μεγάλη ταχύτητα και καθυστέρηση απόκρισης το πολύ 1 ms.
2. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό του edge computing είναι η δυνατότητα επίγνωσης της τοποθεσίας. Η γνώση αυτή επιτρέπει στους edge servers να συλλέγουν και να επεξεργάζονται δεδομένα που δημιουργούνται με βάση τη γεωγραφική θέση των χρηστών. Αυτό επιτρέπει την παροχή υπηρεσιών με βάση την τοποθεσία. Οι edge servers μπορούν να συλλέγουν δεδομένα που δημιουργούνται από πηγές που βρίσκονται κοντά τους χωρίς να τα στέλνουν στο cloud.
3. Ακόμη, η επίγνωση του περιβάλλοντος του δικτύου επιτρέπει στους edge servers να αποκτούν επιπλέον πληροφορίες σε σχέση με το δίκτυο. Οι πληροφορίες δηλαδή επιτρέπουν στους edge servers να προσαρμόζονται κατάλληλα και να ανταποκρίνονται στις ποικίλες συνθήκες δικτύου και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να βελτιστοποιούν τη χρήση των πόρων του δικτύου. Αυτό δηλαδή τους βοηθά να χειρίζονται ένα τεράστιο όγκο επισκεψιμότητας προκειμένου να βελτιώσουν την απόδοση του δικτύου. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν συγκεκριμένες υπηρεσίες στις ροές κυκλοφορίας προκειμένου να καλυφθούν ορισμένες απαιτήσεις που ενδέχεται να έχουν οι χρήστες.

2.2 Δίκτυο 5G

Το 5G χαρακτηρίζεται ως το ασύρματο δίκτυο της επόμενης γενιάς. Το 5G διαθέτει αρκετά κύρια χαρακτηριστικά που δεν παρατηρήθηκαν σε δίκτυα προηγούμενης γενιάς. Αρχικά, με αυτό δημιουργείται ένας τεράστιος όγκος δεδομένων, ενώ παράλληλα επιβάλλονται αυστηρές απαιτήσεις για την υποστήριξη εξαιρετικά διαδραστικών εφαρμογών, που απαιτούν εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή απόδοση.

Τα δεδομένα 5G μπορούν να οργανωθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες ανάλογα με τα χρονικά τους χαρακτηριστικά ως εξής:

- Τα Hard real-time data, τα οποία έχουν αυστηρά προκαθορισμένη καθυστέρηση. Για παράδειγμα, εφαρμογές που δημιουργούν αυτά τα δεδομένα είναι το βίντεο streaming και τα video games.
- Τα Soft real-time data, τα οποία έχουν έναν προκαθορισμένο λανθάνοντα χρόνο, ωστόσο μπορούν να ανεχθούν μια μικρή προκαθορισμένη και περιορισμένη καθυστέρηση χωρίς να δημιουργηθούν μεγάλα προβλήματα.
- Τα Non-real-time data, τα οποία δεν είναι ευαίσθητα στον χρόνο και μπορούν να ανεχθούν και την καθυστέρηση.

Το Edge computing μπορεί να διαχειρίζεται εφαρμογές και υπηρεσίες με Hard real-time απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας edge servers εξαιτίας της γειτονικής τους παρουσίας καταφέροντας έτσι αρκετά σημαντική μείωση της καθυστέρησης. Για εφαρμογές και υπηρεσίες με soft-real-time απαίτηση χρόνου ή περιορισμένη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, οι εργασίες διεκπεραιώνονται από edge servers. Για εφαρμογές με απαίτηση Non-real-time, δηλαδή για εφαρμογές που δεν είναι τόσο ευαίσθητες στον χρόνο οι εργασίες μπορούν να μεταφορτωθούν στο cloud για εξισορρόπηση φορτίου.

2.3 Βασικές απαιτήσεις του Edge Computing στο 5G

Στην συνέχεια θα αναφερθούν οι βασικές απαιτήσεις που χρειάζεται να υπάρχουν για να είναι εφικτή η επιτυχής ανάπτυξη και λειτουργία του edge computing στο 5G.

- Αρχικά, η αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο, είναι το βασικό πλεονέκτημα για την χρήση του edge computing σε υπολογιστικό νέφος. Αυτή η αλληλεπίδραση διασφαλίζει την χαμηλή καθυστέρηση για την υποστήριξη εφαρμογών και υπηρεσιών ευαίσθητων σε καθυστερήσεις, όπως για παράδειγμα της εξ αποστάσεως χειρουργικής ή της πρόληψης των τροχαίων ατυχημάτων.
- Επιπλέον, αρκετά σημαντική είναι η τοπική επεξεργασία που μπορεί να γίνει. Τα δεδομένα και τα διάφορα αιτήματα των χρηστών μπορούν να τεθούν σε επεξεργασία από edge servers και όχι από το cloud. Αυτό σημαίνει ότι αφού υπάρχει μειωμένη κίνηση στη σύνδεση μεταξύ μιας μικρής κυψέλης και του δικτύου πυρήνα το εύρος ζώνης της σύνδεσης μπορεί να

αυξηθεί για να αποφευχθεί η συμφόρηση ,ενώ παράλληλα περιορίζεται η κίνηση στο κεντρικό δίκτυο.

- Επιπρόσθετα, αναγκαία είναι η υψηλή διαθεσιμότητα. Αυτή η διαθεσιμότητα διασφαλίζει και τη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών cloud στην άκρη. Αφού το edge computing οδηγεί τα δεδομένα στα edge clouds , γίνεται κατανοητό ότι η διαθεσιμότητα αυτών των edge clouds είναι απαραίτητη.
- Τέλος, απαραίτητος είναι και ο υψηλός ρυθμός δεδομένων σε ότι αφορά τη μετάδοση του μεγάλου όγκου δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα παράγονται από αρκετές εφαρμογές ,όπως για παράδειγμα από την εξ αποστάσεως χειρουργική ή την εικονική πραγματικότητα.

2.4 Εφαρμογές του Edge Computing στο 5G

Για αρκετές εφαρμογές είναι αναγκαία η αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο και η μείωση της καθυστέρησης. Κάποιες από αυτές τις εφαρμογές του 5G βασίζονται στο edge computing θα αναφερθούν στην συνέχεια.

Αρχικά, αρκετές τέτοιες εφαρμογές σχετίζονται με την υγειονομική περίθαλψη, όπως για παράδειγμα η εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση ,η εξέταση και η διάγνωση των ασθενών. Για παράδειγμα, οι γιατροί μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια απομακρυσμένη πλατφόρμα για να χειριστούν τα χειρουργικά εργαλεία και να πραγματοποιήσουν μία εγχείρηση.

Επιπλέον, διάφορες εφαρμογές διασκέδασης και πολυμέσων, όπως το video streaming ή η 3D τηλεόραση, η εικονική πραγματικότητα, η επαυξημένη πραγματικότητα και η ροή περιεχομένου βίντεο σε γυαλιά εικονικής πραγματικότητας βασίζονται στην αλληλεπίδραση του 5G με το edge computing. Τέλος , μία ακόμη εφαρμογή της σύνδεσης του 5G και του edge computing είναι το έξυπνο σύστημα μεταφοράς. Με αυτό το σύστημα οι οδηγοί μπορούν να μοιράζονται με άλλους οδηγούς ή να συλλέγουν πληροφορίες από κέντρα πληροφοριών κυκλοφορίας με σκοπό να αποφεύγουν οχήματα που βρίσκονται σε κίνδυνο ή οδηγούν επικίνδυνα. Με αυτό τον τρόπο θα μειωθούν και γιατί όχι θα εξαλειφθούν τα ατυχήματα στους δρόμους. Έτσι λειτουργούν και τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγούς, καθώς αφουγκράζονται το περιβάλλον τους και κινούνται με ασφάλεια.

Επιπλέον , η σύνδεση του edge computing και του 5G είναι εμφανής και σε διάφορα παραδείγματα της καθημερινής ζωής του ατόμου. Όπως για παράδειγμα, σε μια εταιρεία τυχερών παιχνιδιών η οποία θέλοντας να δημιουργήσει μία μοναδική εμπειρία στους χρηστές της χρειάζεται GPU υψηλής

τεχνολογίας που βρίσκονται κυρίως σε τηλέφωνα 5G. Ωστόσο, κάτι τέτοιο είναι δύσκολο να έχει μεγάλη ανταπόκριση καθώς υπάρχουν λίγες υπάρχουσες συσκευές 5G.

Ωστόσο, χρησιμοποιώντας το edge computing μπορεί να απευθυνθεί πιο εύκολα σε συσκευές 4G έως ότου επιτευχθεί η ευρύτερη υιοθέτηση συσκευών.

Ένα ακόμη παράδειγμα που μπορεί να παρουσιαστεί είναι το γεγονός ότι ένας κατασκευαστής σε ένα εργοστάσιο χρειάζεται αισθητήρες 5G IoT για να παρακολουθεί τις μηχανές σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, ο κατασκευαστής πρέπει να τυποποιήσει τις διαδικασίες σε άλλες εγκαταστάσεις, ωστόσο αυτές οι εγκαταστάσεις ενδέχεται να βρίσκονται σε πιο απομακρυσμένες περιοχές οι οποίες δεν έχουν κάλυψη 5G. Ωστόσο με την συμβολή του Edge computing η επεξεργασία των δεδομένων θα μπορούσε να γίνει σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας συσκευές σε δίκτυα 4G και στη συνέχεια αυτές οι συσκευές θα μπορούσαν να αντικατασταθούν από συσκευές σε δίκτυο 5G.

Γίνεται κατανοητό ότι το 5G και το edge computing είναι δύο άρρηκτα συνδεδεμένες τεχνολογίες. Τόσο το 5G όσο και το edge computing μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την απόδοση των εφαρμογών και να επιτρέψουν την επεξεργασία πολλών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο χωρίς καθυστερήσεις. Το 5G αυξάνει τις ταχύτητες έως και δέκα φορές από το 4G, ενώ mobile edge computing μειώνει την καθυστέρηση φέρνοντας τις υπολογιστικές δυνατότητες στο δίκτυο, πιο κοντά στον τελικό χρήστη.

Με το edge computing μπορεί να επιτευχθούν οι στόχοι της χρονικής καθυστέρησης που έχουν τεθεί στο 5G και είναι περίπου 1ms. Οι πάροχοι των τηλεπικοινωνιών αναφέρουν ότι στο εργαστήριο το 5G μπορεί να προσφέρει ταχύτητες δικτύου που είναι είκοσι φορές πιο γρήγορες. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί και στο σπίτι ενός μέσου χρήστη.

2.5 Κύριοι στόχοι του Edge Computing στο 5G

Βασικός στόχος του edge computing στο 5G είναι η βελτίωση της διαχείρισης δεδομένων που αφορά τη διαχείριση των δεδομένων που είναι ευαίσθητα στην καθυστέρηση. Η πρόσβαση στο cloud απαιτεί υψηλό λανθάνοντα χρόνο, ενώ τα δεδομένα μπορούν να αντιμετωπιστούν τοπικά από edge servers.

Επιπλέον, αναγκαία είναι η δυνατότητα να προβλέπεται η ζήτηση του δικτύου για να μπορούν να εκτιμηθούν οι απαιτούμενοι πόροι με σκοπό την κάλυψη της ζήτησης του δικτύου. Αυτή η πρόβλεψη είναι αρκετά σημαντική, καθώς έτσι μπορεί να ληφθεί η απόφαση εάν μια ζήτηση δικτύου πρέπει να αντιμετωπιστεί τοπικά στην άκρη ή στο νέφος, και έτσι οι πόροι κατανέμονται

αποτελεσματικά και γρήγορα . Ένας ακόμη στόχος του edge computing στο 5G είναι η διαχείριση της γνώσης της τοποθεσίας. Με αυτόν τον τρόπο οι edge servers συνάγουν τις δικές τους τοποθεσίες χωρίς καθυστέρηση. Για παράδειγμα, οι χρήστες των κινητών μπορούν να αναζητούν πληροφορίες ή καταστάματα με βάση την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται κάθε φορά, χωρίς να χρειαστεί να τα αναζητούν αμέτρητα λεπτά στο διαδίκτυο.

Γίνεται κατανοητό ότι υπάρχουν κάποιοι κύριοι παράγοντες που επιτρέπουν την παρουσία του υπολογισμού αιχμής (edge computing) στο 5G, όπως αυτοί θα αναλυθούν στη συνέχεια.

1. Το SDN (Software-defined network) ορίζει μια αρχιτεκτονική δικτύου που διαχωρίζει ένα δίκτυο σε επίπεδα ελέγχου και δεδομένων με σκοπό να υπάρχουν ευέλικτα δίκτυα, τα οποία βοηθούν στην πιο εύκολη και επομένως πιο γρήγορη διαχείριση και ανάπτυξη του δικτύου. Το επίπεδο ελέγχου διαχειρίζεται την πολιτική στο cloud και παράλληλα το επίπεδο δεδομένων μετακινεί την κυκλοφορία με βάση τις αποφάσεις που παίρνονται από το επίπεδο ελέγχου. Διάφορες λειτουργίες του δικτύου, όπως η δρομολόγηση, μπορούν να διαχειριστούν από τους edge servers καθώς απαιτούν απάντηση σε πραγματικό χρόνο χωρίς καθυστερήσεις.
2. Επιπλέον ,με το edge computing εκτελούνται και εικονικές λειτουργίες .Λειτουργίες δηλαδή σε εικονικές μηχανές και σε servers που μπορούν να διαχειριστούν έναν μεγάλο όγκο δεδομένων με σκοπό να υπάρχουν ευέλικτα δίκτυα. Αυτές οι απαιτήσεις δικτύου μπορούν να επεξεργαστούν είτε στο cloud είτε στο edge, πράγμα που σημαίνει ότι εμποδίζεται η αποστολή όλων των δεδομένων στο cloud.

2.6 Συμβολή του Edge Computing στο 5G

Στην συνέχεια θα αναλυθεί η συμβολή του edge computing σε σχέση με την υποστήριξη των εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο .

1. Η τοπική αποθήκευση είναι αρκετά σημαντική στο edge computing. Το Edge computing εκφορτώνει μεγάλο όγκο δεδομένων των εφαρμογών στα edge clouds. Οι edge servers δίνουν την δυνατότητα για κατανεμημένη τοπική αποθήκευση για αρκετά δεδομένα, ωστόσο η αποθήκευσή τους είναι πιο χαμηλή σε σχέση με το cloud, το οποίο έχει την δυνατότητα για απεριόριστη χωρητικότητα αποθήκευσης. Οι edge servers έχουν αρκετές κατηγορίες

αποθήκευσης με σκοπό την κάλυψη διαφορετικών ειδών δεδομένων, όπως για παράδειγμα, η εφήμερη αποθήκευση η οποία προσφέρει προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων.

2. Το Edge computing εκφορτώνει διεργασίες από πιο απλές εφαρμογές, όπως το έξυπνο τηλέφωνο ή από ακόμη πιο σύνθετες, όπως για παράδειγμα τα έξυπνα εργοστάσια ή χειρουργικά εργαλεία. Το edge computing παρέχει τοπικούς υπολογισμούς και επιπλέον δίνει την δυνατότητα τα δεδομένα να επεξεργάζονται κοντά σε εφαρμογές αυτόνομα. Επομένως, τα edge clouds εκτελούν μικρές διεργασίες και δίνουν τις απαντήσεις που χρειάζονται σε πραγματικό χρόνο και τοπικά. Επομένως, αυτό βοηθά στην μείωση του κόστους και το πιο σημαντικό στην μείωση της καθυστέρησης για την αποστολή των απαιτούμενων δεδομένων στο cloud.
3. Στο edge computing τα χιλιάδες δεδομένα επεξεργάζονται και αναλύονται σε πραγματικό χρόνο αφού πρώτα συγκεντρωθούν από διαφορετικές εφαρμογές σε κοντινή απόσταση με σκοπό την παροχή πληροφοριών. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την λήψη αποφάσεων. Επομένως, αυτή η ανάλυση των δεδομένων τοπικά ελαχιστοποιεί τον λανθάνοντα χρόνο που θα χρειαζόταν για να αποσταλούν τα δεδομένα στο cloud. Επιπλέον, δεν υπάρχει η αναμονή για τις απαντήσεις από το cloud.
4. Επιπλέον, το Edge computing συμβάλλει έτσι ώστε οι αποφάσεις να λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο και έτσι να γίνονται οι αντίστοιχες ενέργειες με αυτοματοποιημένο τρόπο. Αυτή η λήψη των αποφάσεων σε τοπικό επίπεδο ελαχιστοποιεί τη συμμετοχή από περισσότερα στοιχεία και την ανταλλαγή δεδομένων. Παράλληλα, το Edge computing δίνει την δυνατότητα για απομακρυσμένο έλεγχο και επομένως παρακολούθηση από απόσταση.
5. Τέλος, με το edge computing βελτιώνεται η τοπική ασφάλεια. Το Edge computing λειτουργεί ως ένα επιπλέον επίπεδο μεταξύ του cloud και των συσκευών που είναι συνδεδεμένες με σκοπό να καλυτερεύσει η ασφάλεια του δικτύου. Παράλληλα, βοηθά στην ελαχιστοποίηση των διαταραχών που ενδέχεται να παρουσιαστούν. Τα edge clouds λειτουργούν ως ασφαλείς κατακευματισμένες πλατφόρμες που μπορούν να προσφέρουν διαχείριση των διαπιστευτηρίων ασφαλείας και ανίχνευση των κακόβουλων λογισμικών. Παρέχουν δηλαδή αξιόπιστες πληροφορίες για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση πιθανών επιθέσεων. Αυτό σημαίνει ότι οι κακόβουλες παρουσίες μπορούν να εντοπιστούν και να απομακρυνθούν γρήγορα, ενώ παράλληλα μπορεί να γίνει προσπάθεια σε πραγματικό χρόνο για την βελτίωση των επιπτώσεων που μπορεί να έχουν οι επιθέσεις.

2.7 Ασφάλεια και απόρρητο στο edge Computing

Στο edge computing τα δεδομένα δεν αναγκάζονται να ταξιδεύουν στο δίκτυο επομένως ενισχύεται η ασφάλεια και το απόρρητο . Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα προβλήματα που μπορούν να αυξήσουν τον κίνδυνο ευπάθειας του δικτύου. Αρχικά, το περιβάλλον ωθεί τα δεδομένα να αλλάζουν γρήγορα.

Επιπλέον, ο όλο και περισσότερο αυξανόμενος αριθμός συσκευών που επικοινωνούν μεταξύ τους χρειάζεται μια επεκτάσιμη λύση. Επομένως, είναι απαραίτητη η αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων για να αντιμετωπιστεί η ευπάθεια του δικτύου. Αρχικά, οι εφαρμογές που εκτελούνται στο edge cloud θα πρέπει να αγνοούν τα μη επεξεργασμένα δεδομένα. Αυτό μπορεί να γίνει εάν οι πληροφορίες περάσουν πρώτα από κρυπτογράφηση. Επιπλέον, οι πληροφορίες που δεν έχουν επεξεργαστεί μπορούν μην προστεθούν πριν φτάσουν στο edge cloud. Με αυτόν τον τρόπο θα εξασφαλιστεί το απόρρητο.

Συνοψίζοντας, κατανοούμε ότι οι βασικές απαιτήσεις του edge computing είναι να δίνει την δυνατότητα για αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο, να παρέχει τοπική επεξεργασία και υψηλό ρυθμό δεδομένων. Είναι φανερό ότι το Edge computing συμβάλει στην αποδοτικότερη επίδοση του δικτύου και υποστηρίζει διάφορες καταστάσεις , όπως η εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση. Ακόμη, υπάρχει επιτυχής ανάπτυξη του edge computing στο 5G, ενώ παράλληλα βελτιώνονται οι υπηρεσίες, καθώς και η αντιμετώπιση των σημείων που δεν είναι τόσο ασφαλή.

2.8 Internet of Things

Το Edge Computing αποτελεί τη βάση για τις τεχνολογίες του Internet of Things (IoT). Το Διαδίκτυο των πραγμάτων(IoT), είναι μια διαδικασία σύνδεσης φυσικών συσκευών με τον server για την επεξεργασία των δεδομένων μέσω του δικτύου. Όλη αυτή η διαδικασία δεν χρειάζεται καμία ανθρώπινη συμμετοχή και η εργασία επαναλαμβάνεται συνεχώς στον βρόχο αποστολής, λήψης και ανάλυσης των δεδομένων όποτε ζητήσει ο χρήστης. Είναι μια έξυπνη τεχνολογία που χρησιμοποιεί τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση σε πραγματικό χρόνο για να κάνει τις συσκευές αυτόνομες. Η σύγχρονη εποχή που διανύουμε είναι μια εποχή με αυτόνομα αυτοκίνητα και έξυπνα σπίτια. Με το IoT πολλά έργα βιομηχανιών, νοσοκομείων και εργοστασίων έχουν γίνει τόσο απλά και ικανά να χειριστούν δύσκολες καταστάσεις.

Όλες οι εφαρμογές IoT, όπως για παράδειγμα στην επικοινωνία ενός οχήματος με ένα άλλο όχημα, της δημόσιας ασφάλειας και των δικτύων αισθητήρων στις έξυπνες πόλεις (Smart Cities) χρειάζονται μια πιο αξιόπιστη και επεκτάσιμη συνδεσιμότητα των συσκευών.

Αυτό δείχνει ότι για το δίκτυο 5G κυρίως το Edge Computing θα παίζει σημαντικό ρόλο για να διευκολυνθεί η λειτουργία του δικτύου της πέμπτης γενιάς. Αυτό συμβαίνει γιατί στο Edge Computing τα δεδομένα που δημιουργούνται από τις αμέτρητες συνδεδεμένες συσκευές (IoT) επεξεργάζονται άμεσα και χωρίς καθυστέρηση στα όρια του δικτύου. Επομένως, η επεξεργασία γίνεται απευθείας στον τόπο της δημιουργίας των δεδομένων και έτσι δεν είναι αναγκαία η μεταφορά τους μέσω ενός απομακρυσμένου κέντρου υπολογιστών. Με αυτόν το τρόπο το Edge Computing μειώνει σημαντικά τον χρόνο καθυστέρησης και συμβάλλει στην επιτυχία των σεναρίων στα δίκτυα 5G.

Για παράδειγμα, με αυτόν το τρόπο μπορεί να λειτουργήσει ένα όχημα χωρίς οδηγό και η επεξεργασία των δεδομένων να γίνει σε πραγματικό χρόνο και με χρόνο καθυστέρησης μικρότερο του ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα και καθυστερήσεις.

Το Edge Computing βρίσκεται ακόμη στην αρχή της λειτουργίας του σε μαζικό επίπεδο αγοράς. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματά του, όπως οι μικροί χρόνοι καθυστέρησης και η μεγάλη επεκτασιμότητα που προσφέρει είναι σημαντικά και εμφανή και συμβάλλουν αρκετά σε νέες τεχνολογίες του μέλλοντος, όπως για παράδειγμα στο 5G. Παράλληλα, η κατάλληλη παρακολούθηση δικτύου και της κίνησής του είναι πολύ σημαντική με σκοπό να μπορεί να υπάρχει απρόσκοπτη λειτουργία των νέων και ολοένα και πιο περίπλοκων δικτύων και συσκευών.

2.9 Data Centers

Το κέντρο δεδομένων (Data center) είναι ένας χώρος και πιο συχνά ένα κτήριο που χρησιμοποιείται και παρέχει την δυνατότητα στέγασης υπολογιστών, συσκευών αποθήκευσης, διακομιστών (servers), τροφοδοτικών, συσκευών επικοινωνίας και συσκευών ασφαλείας. Το κέντρο δεδομένων είναι δηλαδή ένα σύνολο servers, συσκευών αποθήκευσης και δικτύου και συστημάτων ψύξης. Παρέχει έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο για τις εταιρείες και τους προσωπικούς ενοικιαστές να νοικιάσουν ένα κομμάτι υπολογιστικού και επικοινωνιακού πόρου για να ανταποκριθούν σε διάφορες απαιτήσεις. Ένα DC συνήθως ασχολείται με την αποθήκευση, την επεξεργασία και τον διαμοιρασμό μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων σε πελάτες με την λογική client-server.

Ένα τυπικό κέντρο δεδομένων περιέχει δεκάδες έως εκατοντάδες χιλιάδες servers. Για παράδειγμα, το κέντρο δεδομένων της Google έχει αναφερθεί το 2011 ότι φιλοξενούσε περισσότερους από

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

900.000 servers χαμηλού κόστους , ενώ έχει γίνει γνωστό ότι υπάρχουν περίπου 33 εκατομμύρια φυσικοί servers που αναπτύσσονται σε κέντρα δεδομένων σε όλο τον κόσμο μέχρι το 2015.

Ένα Data Center είναι υπεύθυνο για τα αντίγραφα ασφαλείας των δεδομένων που φιλοξενεί αλλά και για την πρόληψη κάποιου ανεπιθύμητου γεγονότος. Τέτοια γεγονότα μπορεί να είναι μια φωτιά , μια πλημμύρα ή η διακοπή του ρεύματος .Έτσι, τα data centers παρέχουν τα απαραίτητα συστήματα προστασίας. Επίσης , ένα data center εφαρμόζει διάφορες πολιτικές σε σχέση με την ασφάλεια που αφορά τους εργαζόμενους, οι οποίοι μπορούν να έχουν πρόσβαση στους χώρους εάν έχουν πρώτα εξουσιοδοτηθεί και εάν χρησιμοποιήσουν διαπιστευτήρια όπως για παράδειγμα ηλεκτρονικές κάρτες που επιτρέπουν την πρόσβαση. Επιπλέον, σε ένα data center υπάρχει συνεχής και γρήγορη σύνδεση με το διαδίκτυο.

2.9.1 Data center και cloud computing

Τα τελευταία χρόνια, η εκθετική αύξηση της κίνησης στο διαδίκτυο, που προέρχεται κυρίως από αναδυόμενες εφαρμογές όπως η ροή βίντεο, η κοινή χρήση εικόνων και βίντεο, η κοινωνική δικτύωση και το cloud computing, έχουν δημιουργήσει την ανάγκη για πιο ισχυρά κέντρα δεδομένων. Οι εφαρμογές που φιλοξενούνται στους servers ενός κέντρου δεδομένων (π.χ. εφαρμογές υπολογιστικού νέφους, μηχανές αναζήτησης κ.λπ.) απαιτούν υψηλή αλληλεπίδραση μεταξύ των servers στο κέντρο δεδομένων.

Τα data centers είναι η υποδομή του cloud, το οποίο βρίσκεται στην καρδιά της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης. Τα data centers επιτρέπουν την αποθήκευση και την ανταλλαγή του τεράστιου όγκου πληροφοριών, δεδομένων και εφαρμογών που χρησιμοποιούν καθημερινά επιχειρήσεις κάθε μεγέθους, αλλά και τα κράτη , ώστε να παρέχουν καλύτερες υπηρεσίες στους πολίτες, με όλο και μεγαλύτερη ταχύτητα.

2.9.2 Data Center Network

Το Data Center Network (DCN) περιλαμβάνει το κέντρο δεδομένων και παρέχει τις συνδέσεις με το κέντρο δεδομένων, το οποίο περιγράφεται από την τοπολογία δικτύου του, τον εξοπλισμό δρομολόγησης/ μεταγωγής και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιεί.

Για το cloud computing, τα δίκτυα κέντρων δεδομένων (DCN) είναι μια βασική υποδομή. Ένα επεκτάσιμο και αποτελεσματικό κέντρο δεδομένων έχει μεγάλη σημασία τόσο για την κατασκευή όσο και για τη λειτουργία σταθερών υπηρεσιών cloud.

Τα τελευταία χρόνια, η αυξανόμενη σημασία της δικτύωσης των κέντρων δεδομένων έχει επιστήσει την προσοχή σε σχετικά ζητήματα, όπως η απλοποίηση της σύνδεσης και η σταθερότητα των υπηρεσιών. Το DCN παίζει σημαντικό ρόλο στην οργάνωση του cloud computing.

Αρχικά, το DCN επιτρέπει τη σύνδεση χιλιάδων server των κέντρων δεδομένων με αποτελεσματικό τρόπο, έτσι ώστε το cloud computing να μπορεί να επεκτείνει την υπηρεσία του ακολουθώντας την τοπολογία DCN. Συμβάλλει στην δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας στο κέντρο δεδομένων. Επιπλέον, προσφέρει αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα σε μαζικές επικοινωνίες από μηχανή με μηχανή.

2.9.3 Κύριες απαιτήσεις και προκλήσεις της χρήσης του DCN για δραστηριότητες cloud

Τα κέντρα δεδομένων παρέχουν φυσικές και εικονικές υποδομές σε ένα σύστημα υπολογιστικού νέφους. Τα DCN είναι υπεύθυνα για την συνδεσιμότητα και την επικοινωνία στο σύστημα υπολογιστικού νέφους. Οι δραστηριότητες στο cloud έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις δικτύωσης που διευκολύνουν και προκαλούν τον υπάρχοντα σχεδιασμό DCN.

Μία βασική περίπτωση χρήσης των DCN στο cloud computing είναι ότι παρέχουν την υποδομή για τα μοντέλα υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους. Οι τρεις πιο διάσημες κατηγορίες υπηρεσιών είναι το Infrastructure as a Service (IaaS), το Platform as a Service (PaaS) και το Software as a Service (SaaS). Και τα τρία έχουν αναπτυχθεί στα σημερινά κέντρα δεδομένων.

Σε σχέση με το μοντέλο IaaS, το DCN αρχικά εικονικοποιεί μεγάλες ποσότητες πόρων με σκοπό την χρήση στο cloud. Επιπλέον, το DCN είναι υπεύθυνο για να συντηρεί, να διορθώνει και εγκαταστεί ξανά εικονικούς πόρους σε μια virtual machine.

Στο μοντέλο PaaS, πραγματοποιείται αφαίρεση των βιβλιοθηκών από τις εικονικές μηχανές, ενώ παράλληλα το DCN εκτελεί συντήρηση και εξισορρόπηση του φορτίου.

Τέλος, στο μοντέλο SaaS, ο τελικός χρήστης δεν αναγκάζεται να κάνει αυτόματη λήψη, να εκτελεί εκτέλεση ή να χρησιμοποιεί εφαρμογές λογισμικού στο δικό του υπολογιστικό περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει γιατί οι παραπάνω εργασίες εκτελούνται από το σύστημα υπολογιστικού νέφους.

Στην συνέχεια θα αναφερθούν κάποιες προκλήσεις που αφορούν το μοντέλο DCN και τις υπηρεσίες cloud.

- Αρχικά, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το cloud computing παρέχει ευελιξία σε ότι έχει να κάνει με την διαχείριση των πόρων και των υπηρεσιών. Κάθε πρόγραμμα cloud είναι αναγκαίο να έχει την δυνατότητα να ξεκινά και να διακόπτει την κατανομή πόρων ή υπηρεσιών όσο βρίσκεται εν κινήσει. Ωστόσο, αυτό μπορεί να προκαλέσει μια χρονικά μεταβαλλόμενη ζήτηση που απαιτεί από το DCN να εκχωρεί δυναμικά και να χρησιμοποιεί πόρους και υπηρεσίες υλικού. Είναι γεγονός ότι το DCN στη σύγχρονη εποχή συχνά επεκτείνει την κλίμακα για το cloud computing ,έτσι η κεντρική διαχείριση για την κατ' απαίτηση κατανομή μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα που έχει η υπηρεσία cloud.
- Επιπλέον, στο cloud υπάρχουν πολλά συστήματα που και είναι υπεύθυνα για τον υπολογισμό της τιμολόγησης των υπηρεσιών. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετά προβλήματα που αφορούν την κυκλοφορία στο DCN και συχνά επηρεάζουν τον εντοπισμό του υπολογισμού της τιμής. Έτσι, για παράδειγμα, ένα όχι και τόσο πλούσιο περιβάλλον DCN , όπου συνήθως παρουσιάζει συμφόρηση , θα δημιουργήσει χρονικές καθυστερήσεις που αυτές με την σειρά τους θα χαλάσουν χρήματα και πόρους.

2.9.4 Το DCN ως μοντέλο ανάπτυξης cloud

Το cloud computing έχει την δυνατότητα να προσφέρει διαφορετικά μοντέλα ανάπτυξης με σκοπό την υλοποίηση των υπηρεσιών του cloud. Υπάρχουν τρία μοντέλα που θα αναλυθούν στη συνέχεια και αυτά είναι : το public (δημόσιο), το private (ιδιωτικό) και το hybrid (υβριδικό).

- DCN και δημόσιο cloud: Σε αυτό το μοντέλο ανάπτυξης, όλοι οι δημόσιοι χρήστες πληρώνουν με βάση την χρήση των υπηρεσιών. Σε αυτό το μοντέλο δεν υπάρχουν αυστηρές απαιτήσεις σε σχέση με τον συντονισμό της ασφάλειας, της εξισορρόπησης φορτίου και της δρομολόγησης στο DCN. Συχνά, οι απαιτήσεις πελατών για υπηρεσίες cloud αλλάζουν, έτσι το DCN πρέπει να μπορεί να είναι ευέλικτο σε ότι αφορά την παροχή υπηρεσιών.
- DCN και ιδιωτικό cloud: Με αυτό το μοντέλο οι χρήστες του cloud έχουν έλεγχο της απόδοσης ενώ παράλληλα έχουν υψηλή αξιοπιστία και ασφάλεια . Το DCN θα πρέπει να

δημιουργήσει ένα εικονικό και αξιόπιστο private δίκτυο για να μπορεί να εγκαταστήσει το ιδιωτικό μοντέλο cloud για κάθε χρήστη.

- DCN και υβριδικό cloud: Όπως είναι κατανοητό το υβριδικό μοντέλο είναι ένας συνδυασμός του δημόσιου και του ιδιωτικού cloud. Σε αυτό το μοντέλο, οι χρήστες διατηρούν τα ευαίσθητα δεδομένα τους στο ιδιωτικό cloud ενώ επεξεργάζονται διάφορα δεδομένα στο δημόσιο cloud. Σε ένα υβριδικό cloud πρέπει να μπορεί να οριστεί το βέλτιστο όριο μεταξύ του δημόσιου και ιδιωτικού cloud και αυτό θέλει να κάνει το DCN. Για παράδειγμα, το DCN είναι αναγκαίο να εμποδίζει την απώλεια δεδομένων όταν ένας χρήστης αναθέτει σε τρίτους μη ευαίσθητα δεδομένα στο δημόσιο νέφος και παράλληλα να μπορεί να εξασφαλίζει την αξιοπιστία του ιδιωτικού cloud.

3. Οπτικά δίκτυα

3.1 Δημόσια και Ιδιωτικά δίκτυα

Τα Δημόσια Δίκτυα προσφέρουν εκτεταμένη γεωγραφική κάλυψη και διαχειρίζονται από δικτυακούς παρόχους ή φορείς. Επιπλέον, παρέχουν υπηρεσίες και υποδομές σε δίκτυα εναλλακτικών παρόχων, όπως είναι οι πάροχοι του διαδικτύου και της κινητής τηλεφωνίας.

Από την άλλη πλευρά, τα Ιδιωτικά Δίκτυα είναι ανήκουν σε διάφορους οργανισμούς, όπως για παράδειγμα σε μεγάλες εταιρίες, σε οργανισμούς ή σε πανεπιστήμια. Επομένως, τα ιδιωτικά δίκτυα κατασκευάζονται για να καλύψουν τις εσωτερικές τηλεπικοινωνιακές ανάγκες τους.

Τα ιδιωτικά δίκτυα χωρίζονται όπως παρουσιάζεται στην συνέχεια με βάση τη γεωγραφική περιοχή που μπορούν να καλύψουν σε :

1. Local Area Networks : Δίκτυα που καλύπτουν μια έκταση μερικών χιλιομέτρων
2. Metropolitan Area Networks : Δίκτυα που καλύπτουν μια έκταση δεκάδων ή εκατοντάδων χιλιομέτρων
3. Wide Area Networks : Δίκτυα που καλύπτουν μια έκταση εκατοντάδων ή ακόμα και χιλιάδων χιλιομέτρων

Στη σύγχρονη εποχή η γρήγορη μετάδοση των δεδομένων αποτελεί μια επιτακτική ανάγκη, τόσο σε μια σύνδεση Internet υψηλής ταχύτητας, όσο και για την υλοποίηση των τηλεφωνικών συνδέσεων Voice over IP. Αυτή η ανάγκη οδηγεί στην χρήση ενός δικτύου οπτικών ινών.

3.2 Οπτικά δίκτυα

Τα δίκτυα στα οποία το μέσο μετάδοσης είναι η οπτική ίνα ονομάζονται οπτικά δίκτυα (Optical Networks). Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν φωτεινά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις με μηδενικές σχεδόν απώλειες, ενώ η ταχύτητα μετάδοσης πλησιάζει αυτή με την οποία διαδίδεται το φως.

Οι οπτικές ίνες είναι ειδικά νήματα που είναι κατασκευασμένα από γυαλί με πολύ μικρή διάμετρο. Το γυαλί επιτρέπει τη μετάδοση φωτός από το εσωτερικό τους. Οι οπτικές ίνες, οι οποίες είναι συγκεντρωμένες σε δέσμες σχηματίζουν τα οπτικά καλώδια.

Στα οπτικά δίκτυα η μετάδοση γίνεται μέσω οπτικών καλωδίων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω σε ένα οπτικό καλώδιο, η δεσμίδα των οπτικών ινών περικλείεται σε ειδικό υλικό που αντανακλά εσωτερικά όλο το φως. Το φως διοχετεύεται στο εσωτερικό της οπτικής ίνας υπό συγκεκριμένη

γωνία, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη αντανάκλαση η οποία θα αποτρέψει την διαρροή της φωτεινής ενέργειας. Μέχρι να φθάσει στον προορισμό της, η φωτεινή δέσμη πραγματοποιεί χιλιάδες αντανακλάσεις στο εσωτερικό της οπτικής ίνας.

Οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγάλη αξιοπιστία και υψηλό βαθμό ασφάλειας. Η οπτική ίνα είναι ένα γρήγορο μέσο μετάδοσης ,καθώς έχει αρκετά μεγάλο εύρος ζώνης, καλύπτει μεγάλες αποστάσεις, έχει μικρή απώλεια ισχύος και επιπλέον έχει την ικανότητα να μην επηρεάζεται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Η δομή ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι τέτοια, ώστε να αποτρέπει τις εξωτερικές φθορές, αλλά και την απώλεια σήματος, που θα προέκυπτε κατά τη διαρροή της φωτεινής ακτινοβολίας στο εξωτερικό του. Αν κόψουμε στη μέση ένα οπτικό καλώδιο, θα συναντήσουμε, από το κέντρο προς το εξωτερικό του, τα εξής τμήματα:

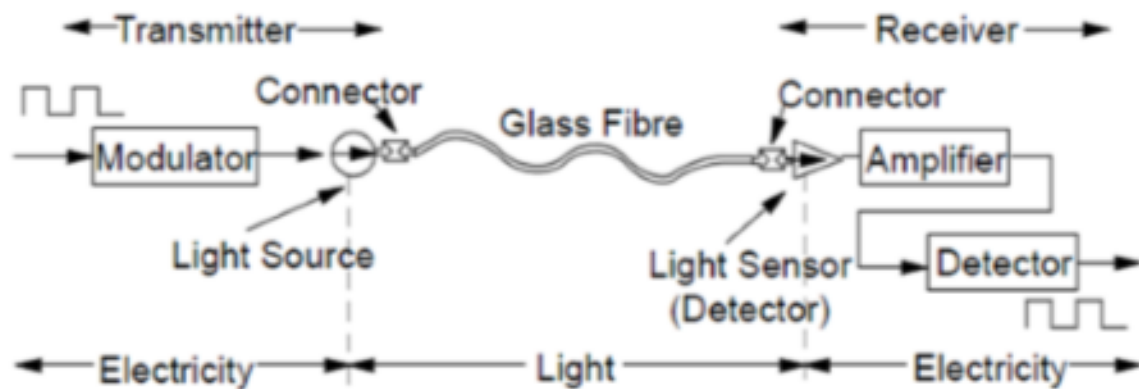
1. Πυρήνας: Αποτελείται από δέσμες οπτικών ινών, που αναλαμβάνουν τη μετάδοση των φωτεινών σημάτων και βρίσκονται τοποθετημένα ακριβώς στο κέντρο του καλωδίου.
2. Εσωτερική επένδυση: Είναι το υλικό που αντανακλά εσωτερικά το φως, εκμηδενίζοντας παράλληλα το ποσοστό διαφυγής του στο εξωτερικό του καλωδίου.
3. Εξωτερική επένδυση: Είναι ένα ανθεκτικό υλικό, που αποτελείται από καουτσούκ για μικρά καλώδια οικιακής χρήσης, ή από ατσάλι για μεγαλύτερα, που χρησιμοποιούν οι εταιρείες σε εξωτερικό περιβάλλον. Προστατεύει το καλώδιο από ζημιές που θα προέκυπταν από τους διάφορους εξωτερικούς παράγοντες.

Τα βασικά συστατικά που διαμορφώνουν το οπτικό σύστημα είναι τα παρακάτω :

- Πομπός (transmitter): Ο πομπός μετατρέπει τις αρχικές πληροφορίες, όπως για παράδειγμα την φωνή, την εικόνα , ή το βίντεο σε σήματα φωτός και στη συνέχεια τα στέλνει μέσω της οπτικής ίνας.

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

- Καλώδιο οπτικής ίνας: Πρόκειται για το μέσο στο οποίο μεταδίδεται το σήμα.
- Δέκτης (receiver): Ο δέκτης δέχεται το οπτικό σήμα και το μετασχηματίζει πάλι σε διαμορφωμένο ηλεκτρικό σήμα.
- Υπόλοιπα στοιχεία: Πρόκειται για συσκευές που είναι παθητικές οπτικές ή ενεργητικές και χρησιμοποιούνται στην διαδικασία αποστολής και λήψης ενός οπτικού σήματος.



Εικόνα 2: Οπτική μετάδοση (Πηγή: Sura, 2002)

3.2.1 Πομπός

Ο πομπός (transmitter) είναι το μέρος εκείνο που πηγαίνουν τα κωδικοποιημένα ηλεκτρικά σήματα και στη συνέχεια προωθούνται σαν οπτικά σήματα μέσω της οπτικής ίνας. Οι οπτικοί πομποί μπορεί να είναι Light Emitting Diodes (LEDs) ή διοδικά lasers. Τα LEDs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή των οπτικών σημάτων, καθώς χρησιμοποιώντας ένα φακό, τα οπτικά σήματα διοχετεύονται μέσα στο καλώδιο της οπτικής ίνας. Μετατρέπουν το ρεύμα φως σε ετεροεπαφές ημιαγωγό και είναι αρκετά οικονομικά, ωστόσο έχουν χαμηλή παραγόμενη οπτική ισχύ. Από την άλλη πλευρά, τα διοδικά lasers έχουν υψηλή παραγόμενη οπτική ισχύς. Επιπλέον, τα διοδικά lasers κατανεμημένης ανάδρασης (Distributed Feedback Lasers - DFBs) έχουν μικρό φασματικό εύρος και γι' αυτό το λόγο υπάρχει περιορισμένο εύρος ζώνης άμεσης διαμόρφωσης.

3.2.2 Οπτική ίνα

Η οπτική ίνα είναι κατασκευασμένη από γυαλί. Όπως αναφέρθηκε σε ένα οπτικό καλώδιο, η δεσμίδα των οπτικών ινών περικλείεται σε ειδικό υλικό που αντανάκλα εσωτερικά όλο το φως. Η οπτική ίνα λειτουργεί βάση της αρχής της ολικής εσωτερικής αντανάκλασης. Πιο αναλυτικά, στην οπτική ίνα το φως ανακλάται ή διαθλάται ,αλλάζει δηλαδή κατεύθυνση διαπερνώντας ένα διαφορετικό μέσο και έτσι δημιουργείται μια γωνία . Η διεύθυνση μετάδοσης της ενέργειας του φωτός μπορεί να είναι ευθυγραμμισμένη εφόσον δεν υπάρχουν διάφορα εμπόδια.

Η πληροφορία που μεταφέρεται από την ακτίνα φωτός μεταδίδεται μέσω του πυρήνα της οπτικής ίνας. Αυτή η ακτίνα φωτός υπόκειται σε συνεχείς ανακλάσεις μέσα στην ίνα. Για να είναι επιτυχής η μετάδοση αυτή πρέπει το σήμα να υφίσταται ολικές ανακλάσεις έτσι ώστε η ενέργεια της φωτεινής δέσμης να παραμένει παγιδευμένη στην οπτική ίνα.

Η οπτική ίνα βρίσκεται μέσα σε ένα καλώδιο ώστε να της προστατεύεται, καθώς είναι αρκετά ευαίσθητη και συχνά υπάρχει κίνδυνος να φθαρεί και να καταστραφεί. Το πλήθος των ινών σε ένα καλώδιο οπτικής ίνας εξαρτάται από τις εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθούν και επομένως από την χωρητικότητα που απαιτούν οι εφαρμογές αυτές.

Η οπτική ίνα δημιουργείται αφού πρώτα πραγματοποιηθούν τρία βήματα. Τα τρία αυτά βήματα είναι ο σχηματισμός του γυάλινου κυλίνδρου, η τομή των ινών από τον κύλινδρο και τέλος η δοκιμή για την σωστή λειτουργία τους και την αντοχή τους.

Στο πρώτο στάδιο της δημιουργίας μιας οπτικής ίνας πραγματοποιείται ο σχηματισμός του γυάλινου κυλίνδρου, ενώ παράλληλα απομακρύνονται όλα τα ξένα σωματίδια που θα μπορούσαν να μειώσουν την απόδοση της οπτικής ίνας ή να την βλάψουν.

Στο δεύτερο στάδιο, αφού έχει δημιουργηθεί δηλαδή ο αρχικός κύλινδρος, τοποθετείται σε μια συσκευή στην οποία δημιουργούνται οι ίνες. Αυτή η συσκευή λιώνει το γυαλί σε αρκετά μεγάλη θερμοκρασία .Στη συνέχεια αυτό ψύχεται σταδιακά μέχρι να πάρει την τελική μορφή μιας οπτικής ίνας. Ειδικοί μηχανισμοί ελέγχουν το σχήμα της έτσι ώστε να είναι το επιθυμητό , ενώ παράλληλα ελέγχουν και την διάμετρό της για να μην είναι αρκετά μεγάλη, Η ίδια συσκευή αναλαμβάνει και το τύλιγμα της οπτικής ίνας σε κυλίνδρους.

Στο τρίτο και τελικό στάδιο της δημιουργίας της οπτικής ίνας, γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι που εξασφαλίζουν ότι η οπτική ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος από την χρήση της. Σε αυτούς τους ελέγχους περιλαμβάνεται ο έλεγχος αντοχής σε περίπτωση θραύσης, ο έλεγχος

του σχήματός της. Επιπλέον, σε αυτό το στάδιο γίνεται και η καταγραφή της συμπεριφοράς της οπτικής ίνας στα διάφορα μήκη κύματος. Επιπλέον, ελέγχονται οι θερμοκρασίες στις οποίες μπορεί να λειτουργήσει σωστά χωρίς προβλήματα και τέλος η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων.

Όταν ολοκληρωθούν όλα τα παραπάνω βήματα με επιτυχία, η οπτική ίνα μπορεί να διατεθεί στο εμπόριο προς πώληση και χρήση.

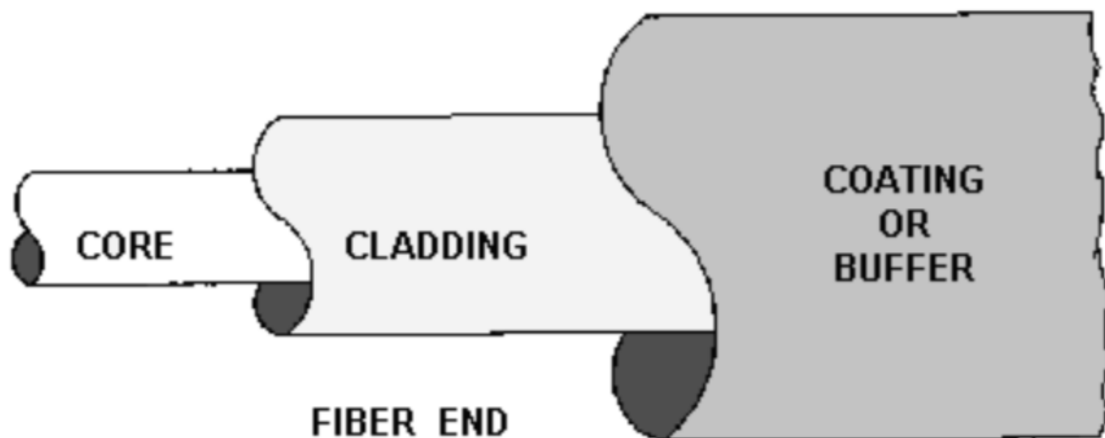
3.2.2.1 Δομή οπτική ίνας

Η οπτική ίνα αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

Πυρήνα (core): Ο πυρήνας αποτελεί την κεντρική περιοχή της οπτικής ίνας στην οποία ταξιδεύει το φως και μεταφέρει την πληροφορία. Ο πυρήνας είναι κατασκευασμένος από γυαλί, το οποίο είναι ικανό να μεταφέρει την φωτεινή δέσμη συγκεκριμένου μήκους κύματος με ελάχιστες απώλειες.

Επένδυση (cladding ή buffer): Η οπτική ίνα περιβάλλεται από μία ειδική επίστρωση υλικού, η οποία ονομάζεται cladding ή buffer. Η επένδυση κατασκευάζεται μαζί με τον πυρήνα ως ένα ενιαίο κομμάτι γυαλιού με λίγες διαφορετικές συνθέσεις και δεν μπορούν να ξεκολλήσουν. Αυτή η επένδυση δηλαδή είναι κατασκευασμένη από γυαλί και έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα. Αυτό είναι κάτι που αναγκάζει το φως να μην μπορεί να διαπεράσει την επένδυση αυτή και να μένει στο εσωτερικό, στον πυρήνα δηλαδή, καθώς το υλικό αυτό βοηθά στην ανάκλαση της φωτεινής δέσμης.

Επίστρωμα (coating): Το επίστρωμα είναι το εξωτερικό μέρος της οπτικής ίνας. Το επίστρωμα εσωκλείει την δέσμη των συνθετικών ινών και κατασκευάζεται από πλαστικό. Έτσι, προστατεύει την οπτική ίνα από τις διάφορες φθορές που μπορούν να προκαλέσουν το σπάσιμο του γυαλιού της ίνας. Είναι ένα υπεριώδες (UV) ακρυλικό υλικό και δημιουργείται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής της οπτικής ίνας για να διασφαλιστεί η αναγκαία προστασία που χρειάζεται η οπτική ίνα.



Εικόνα 3: Δομή οπτικής ίνας (Πηγή: Naval, 1998)

3.2.2.2 Βασικές κατηγορίες οπτικών ινών

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες οπτικών ινών : οι πολύτροπες (multimode) και οι μονότροπες (single-mode). Οι πολύτροπες και οι μονότροπες ίνες ενεργούν σαν μέσο μετάδοσης για το φως, ωστόσο έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, λειτουργούν με διαφορετικούς τρόπους και επομένως χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές εφαρμογές.

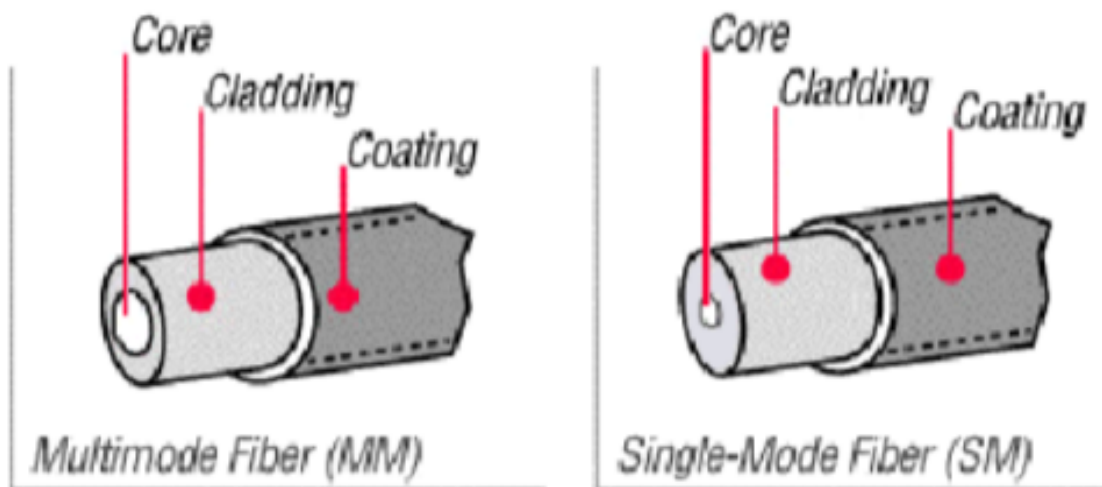
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μονότροπες και οι πολύτροπες οπτικές ίνες.

- Μονότροπες ίνες : Οι μονότροπες ίνες (Single Modes) έχουν διάμετρο πυρήνα περίπου 10 μm . Εξαιτίας του μικρού τους πυρήνα τους ο τρόπος μετάδοσης του οπτικού σήματος είναι αξονικός. Η ακτίνα δηλαδή ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή και φτάνει σε μεγάλες αποστάσεις, με τη μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα. Οι μονότροπες ίνες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που έχουν μικρές απώλειες σήματος και πιο υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, όπως για παράδειγμα σε μεγάλες εκτάσεις. Μεταδίδουν τα δεδομένα με ταχύτητα 50 Gbps και είναι κίτρινες στο χρώμα για να ξεχωρίζουν. Επιπλέον, η μονότροπη ίνα τείνει να είναι ακριβότερη από την πολύτροπη.
- Πολύτροπες (Multi Modes) έχουν διάμετρο πυρήνα 50-100 μm και είναι πορτοκαλί χρώμα. Σε αυτές μπορούν να περάσουν ταυτόχρονα πολλές ακτίνες φωτός και με διαφορετική γωνία πρόσπτωσης η καθεμία, αυξάνοντας έτσι τον όγκο των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν. Το φως, δηλαδή, μπορεί να χωριστεί σε πολλαπλά μονοπάτια, ενώ ο ρυθμός της διαμόρφωσης μπορεί να φτάσει μέχρι 200 Mb/s. Κατά συνέπεια, οι πολύτροπες οπτικές ίνες

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα μετάδοσης για μικρές αποστάσεις, όπως για παράδειγμα σε τοπικά δίκτυα και δίκτυα πρόσβασης. Ένα ακόμη πλεονέκτημα των πολύτροπων ινών σε σχέση με τις μονότροπες είναι ότι οι πολύτροπες είναι πολύ οικονομικές, αφού χρησιμοποιούνται με φθηνούς connectors και LED πομπούς.

Συνοψίζοντας, οι μονότροπες οπτικές ίνες έχουν μικρότερο πυρήνα συγκριτικά με τις πολύτροπες και επιτρέπουν την μετάδοση ενός μόνο ρυθμού ταλάντωσης στον πυρήνα της οπτικής ίνας. Έτσι, έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σχέση με τις πολύτροπες. Παράλληλα, οι μονότροπες ίνες μεταδίδουν όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ευθύγραμμα το οπτικό σήμα και γι' αυτό χρησιμοποιούνται ευρέως σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο, οι μονότροπες ίνες είναι ακριβότερες σε σχέση με τις πολύτροπες ίνες, καθώς οι δεύτερες χρησιμοποιούν πιο φθηνά εξαρτήματα.



Εικόνα 4: Κατηγορίες οπτικής ίνας (Πηγή: Sura, 2002)

3.2.3 Δέκτης

Ο δέκτης (receiver) βρίσκεται απέναντι από τον πομπό και χρησιμοποιεί έναν φωτοανιχνευτή. Αυτός ο φωτοανιχνευτής παίρνει το φωτεινό σήμα που εισέρχεται και το μεταμορφώνει και πάλι σε ψηφιακά δεδομένα, όπως ήταν αρχικά δηλαδή. Επιπλέον, ο δέκτης είναι σε άμεση επαφή με το καλώδιο των οπτικών ινών και χρησιμοποιεί φωτοδιόδους με σκοπό να ανιχνεύει το σήμα που εισέρχεται. Όπως είναι κατανοητό, το μήκος κύματος που αναγνωρίζει ο δέκτης θα πρέπει να είναι παρόμοιο με από που έχει στείλει ο πομπός. Επιπλέον, η ισχύς που λαμβάνει δεν θα πρέπει να είναι υψηλή, καθώς η υψηλή ισχύς οδηγεί σε παραμορφωμένο σήμα.

3.2.4 Υπόλοιπα στοιχεία:

Τα υπόλοιπα στοιχεία που ολοκληρώνουν τα οπτικά συστήματα είναι:

Οι οπτικοί ενισχυτές : Οι οπτικοί ενισχυτές ενισχύουν το σήμα και έτσι δεν υπάρχουν μεγάλες απώλειες. Το οπτικό σήμα κατά μήκος της ίνας μπορεί να εξασθενήσει λόγω απώλειας της ισχύος του. Γι' αυτό το λόγο ,είναι η απαραίτητη η ενίσχυση του σήματος. Συνήθως το οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και στη συνέχεια ενισχύεται από τους οπτικούς ενισχυτές και γίνεται ξανά οπτικό.

Οι παθητικές συσκευές: Οι παθητικές συσκευές συνδέουν τους connectors και βοηθούν στην συγκόλληση των ινών. Παράλληλα, συμβάλλουν στην απομάκρυνση οπτικών σημάτων που δεν είναι χρήσιμα , ενώ παράλληλα ελέγχουν τα επιθυμητά σήματα.

Οι ενεργές συσκευές: Ενεργές συσκευές είναι αρκετές συσκευές, όπως για παράδειγμα, οι συσκευές λέιζερ, οι οπτικοί εξασθενητές, οι διαμορφωτές του οπτικού σήματος και τα switches.

3.3 Εφαρμογές οπτικών δικτύων

Τα οπτικά δίκτυα είναι αρκετά διαδεδομένα καθώς λειτουργούν ως μέσο τηλεπικοινωνιών, ενώ τα τελευταία χρόνια η χρήση των οπτικών καλωδιώσεων είναι σε άνοδο. Αυτό συμβαίνει γιατί τα οπτικά δίκτυα είναι αρκετά ευέλικτα και χρήσιμα για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, καθώς το φως περνά μέσα από την οπτική ίνα με μικρότερη εξασθένηση σε σχέση με τα σήματα που περνούν μέσα από τα ηλεκτρικά καλώδια.

Τα οπτικά δίκτυα βοηθούν σημαντικά στις συνδέσεις των βιομηχανικών περιοχών. Αυτό συμβαίνει γιατί οι οπτικές ίνες δεν μπορούν να επηρεαστούν από τις ηλεκτρικές παρεμβολές. Επιπλέον, είναι αρκετά δύσκολο να υποκλαπούν πληροφορίες σε σχέση με τις ηλεκτρικές συνδέσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί οι οπτικές ίνες είναι συγκεντρωμένες κοντά στον πυρήνα και έτσι δεν επιτρέπουν την διαρροή δεδομένων. Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι τα δίκτυα οπτικών ινών μπορούν να φανούν χρήσιμα σε περιπτώσεις που είναι αναγκαία η ασφάλεια, όπως για παράδειγμα σε στρατιωτικές επιχειρήσεις ή σε κρατικές υπηρεσίες πληροφοριών.

Παράλληλα, τα τοπικά δίκτυα (LANs) χρησιμοποιούν τις οπτικές ίνες για να επιτύχουν την επικοινωνία με υψηλές ταχύτητες. Τα τοπικά δίκτυα συνδέουν τους χρήστες που βρίσκονται σε κοντινές περιοχές και επομένως σε μικρές αποστάσεις, όπως για παράδειγμα σε δωμάτια, σε γραφεία στις εταιρίες ή στα εργοστάσια. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους χώρους, καθώς αυτές δεν σπαταλούν τόσο χώρο, γιατί μια οπτική ίνα μπορεί να μεταφέρει πολύ πιο πολλά δεδομένα από τι ένα κοινό ηλεκτρικό καλώδιο.

Επιπλέον, η χρήση τους είναι αρκετά διαδεδομένη και στα Αστικά Δίκτυα (Metropolitan Area Networks - MANs). Τα MANs αναπτύσσονται ραγδαία τον τελευταίο καιρό και μπορούν να καλύψουν περιοχές με μεγαλύτερα χιλιόμετρα απ' ό,τι ένα LAN. Τα MANs δηλαδή μπορούν να ανταποκριθούν σε μία απόσταση αρκετών χιλιομέτρων, όπως για παράδειγμα μια περιοχή σε μια ολόκληρη πόλη ή μια ολόκληρη γειτονιά.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί και η χρήση των οπτικών δικτύων σε υποθαλάσσιες ζεύξεις. Κάτι τέτοιο είναι αρκετά διαδεδομένο στην σύγχρονη εποχή και χρησιμοποιείται συχνά σε απομακρυσμένες περιοχές, αντικαθιστώντας έτσι τα απλά καλώδια. Επιπλέον, αφού τα καλώδια των οπτικών ινών δεν είναι ηλεκτρικά, έχουν την δυνατότητα να συνδέσουν περιοχές με μεγάλη διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού ή περιοχές με εύφλεκτα αέρια χωρίς να κινδυνεύουν από ανάφλεξη.

3.4 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί οπτικών δικτύων

Τα τελευταία χρόνια η χρήση των δικτύων οπτικών ινών έχει ιδιαίτερη άνοδο και όλο και πιο συχνά τα οπτικά δίκτυα κερδίζουν την προτίμηση των χρηστών. Η χρήση τους, όπως αναλύθηκε και παραπάνω, προσφέρει μεγάλη χωρητικότητα, ενώ προσφέρει και αρκετά πλεονεκτήματα όπως αυτά παρουσιάζονται παρακάτω :

- Δυνατότητα μεγάλης απόστασης μετάδοσης: Η μεγάλη απόσταση μετάδοσης που προσφέρουν τα οπτικά δίκτυα είναι ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους. Τα δεδομένα μπορούν να αποσταλούν σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις χωρίς την παρέμβαση

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

άλλων συσκευών. Με αυτό τον τρόπο τα καλώδια οπτικών ινών έχουν ελάχιστες απώλειες σε αντίθεση με τα καλώδια χαλκού που έχουν αρκετές.

- Υψηλό εύρος ζώνης (bandwidth) : Στα οπτικά δίκτυα το εύρος ζώνης είναι αρκετά υψηλό σε σχέση με τα δίκτυα χαλκού. Τα δεδομένα που μεταδίδονται με υψηλές ταχύτητες προσφέρουν αξιόπιστες υπηρεσίες τηλεφωνίας μέσω πρωτοκόλλου IP.
- Μικρό μέγεθος και μικρό βάρος: Τα οπτικά καλώδια είναι πολύ πιο ελαφριά και πιο μικρά σε σχέση με ηλεκτρικά καλώδια. Δηλαδή ένα σύστημα με χάλκινα καλώδια είναι μεγαλύτερο και πιο βαρύ. Έτσι, για την υλοποίηση του δικτύου οπτικών ινών απαιτείται πολύ λιγότερος χώρος ,κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις αστικές περιοχές όπου υπάρχει η ανάγκη για κάλυψη όλο και περισσότερων πελατών σε μικρό χώρο.
- Χαμηλό κόστος : Τα οπτικά καλώδια είναι πιο οικονομικά σε σχέση με τα χάλκινα καλώδια. Επομένως ,είναι πιο ωφέλιμο για τους παρόχους των τηλεπικοινωνιών να τα χρησιμοποιούν, καθώς με μικρότερο κόστος παρέχουν πιο ποιοτικές υπηρεσίες στον καταναλωτή.
- Μεγάλη ασφάλεια και υψηλή ανθεκτικότητα: Οι οπτικές συνδέσεις είναι πιο ασφαλείς και τα οπτικά καλώδια δεν εμφανίζουν βλάβες. Η κατασκευή των οπτικών καλωδίων είναι ιδιαίτερα ανθεκτική επομένως δεν υπάρχουν μεγάλοι κίνδυνοι για εξωτερικές βλάβες.
- Ελάχιστες απαιτήσεις σε ενέργεια και απλή αναβάθμιση δικτύων: Τα οπτικά συστήματα έχουν ελάχιστες απαιτήσεις σε ενέργεια ,καθώς οι φωτεινές δέσμες που χρησιμοποιούνται έχουν πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με το ηλεκτρικό σήμα. Επιπλέον, η αναβάθμισή τους είναι αρκετά εύκολη ,καθώς δεν απαιτείται να αλλάξουν οι οπτικές ίνες. Ωστόσο, αυτά που πρέπει να αναβαθμίζονται είναι τα LEDs και τα lasers.

Στον αντίποδα, υπάρχουν και ορισμένες δυσκολίες σε σχέση με την χρήση των οπτικών δικτύων, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:

- Μικρή ανάπτυξη των δικτύων: Καθώς ανήκουν στην πιο σύγχρονη τεχνολογία δεν έχουν εδραιωθεί ακόμη σε μεγάλο βαθμό.
- Υψηλό κόστος πομπών και δεκτών: Το κόστος ορισμένων εξαρτημάτων, όπως των πομπών και των δεκτών είναι ιδιαίτερα υψηλό στα οπτικά δίκτυα.
- Δύσκολη συγκόλληση καλωδίων: Τα καλώδια συγκολλούνται με ειδικό εξοπλισμό, ο οποίος απαιτεί μεγάλη ακρίβεια και λεπτομέρεια, για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο της απώλειας των σημάτων.

3.5 Δίκτυα πρόσβασης FTTX

Είναι γνωστό ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλη αύξηση της κίνησης στο διαδίκτυο ,καθώς υπάρχουν περισσότεροι χρήστες που το χρησιμοποιούν καθημερινά και με μεγαλύτερες ταχύτητες και χωρητικότητες. Επιπρόσθετα, παρατηρείται μία μεγάλη ανάπτυξη των δικτύων πρόσβασης εξαιτίας της αύξησης του εύρους ζώνης που παρέχεται στους χρήστες.

Μέχρι πριν λίγα χρόνια η DSL (Digital Subscriber line) ,η Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή δηλαδή , και τα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης ήταν οι πιο κοινές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνταν. Η VDSL, η οποία είναι η πιο πρόσφατα αναπτυγμένη τεχνολογία DSL προσφέρει υψηλές ταχύτητες έως και 52 Mbps, ωστόσο έχει ένα μειονέκτημα. Το μειονέκτημα αυτό είναι ο περιορισμός που οφείλεται στην απόσταση, καθώς σε μεγάλες αποστάσεις η ταχύτητα ελαχιστοποιείται δραματικά. Τα καλωδιακά μόντεμ προσφέρουν ταχύτητες έως 40 Mbps. Στα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης η ταχύτητα είναι έως περίπου 134 Mbps, ωστόσο απαραίτητη είναι η οπτική επαφή.

Επιπρόσθετα, εκτός από τις μεγάλες ταχύτητες και το μεγαλύτερο εύρος ζώνης υπάρχουν και ακόμη κάποιοι παράγοντες που βοήθησαν έτσι ώστε να προχωρήσουμε στην χρήση και ανάπτυξη των οπτικών δικτύων.

Ένας από αυτούς είναι το υψηλό κόστος του χαλκού. Σε αντίθεση με τα καλώδια του χαλκού, τα καλώδια των οπτικών ινών είναι πιο οικονομικά και έχουν μεγαλύτερη προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβάσεις. Επομένως, η παγκόσμια υποδομή τηλεπικοινωνιών είχε ανάγκη από συστήματα που θα μπορούσαν να συνδέσουν όλο τον κόσμο.

Έτσι έκαναν την εμφάνισή τους τα FTTx δίκτυα (Fiber to the x), δηλαδή τα δίκτυα πρόσβασης των πελατών με χρήση οπτικών ινών. Το 'x' δηλώνει το τελευταίο σημείο που μπορεί να φτάσει η οπτική ίνα. Αυτό το σημείο μπορεί να είναι μια επιχείρηση μια γειτονιά και άλλα. Αυτά τα δίκτυα παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες σε μεγάλες αποστάσεις και γι' αυτό παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη.

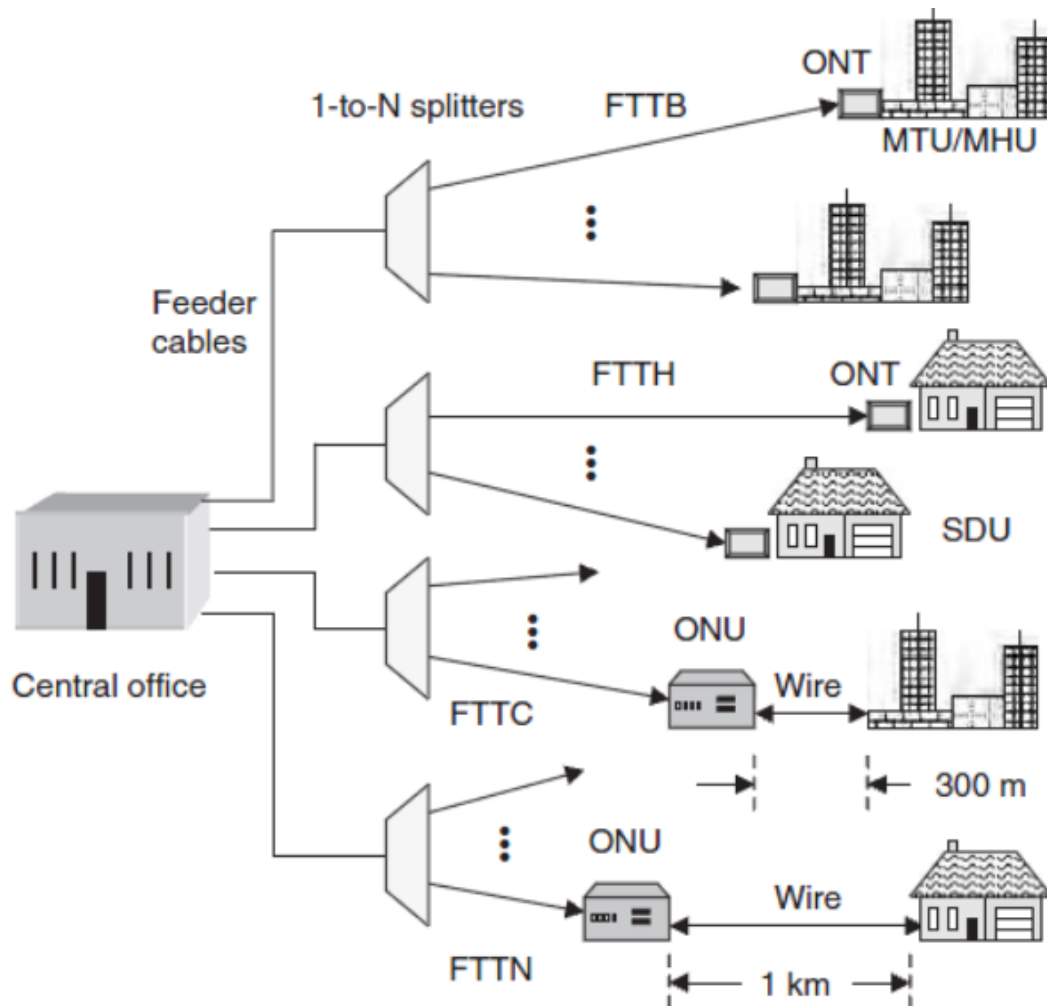
3.5.1 Τύποι FTTx δικτύων

Παρακάτω αναφέρονται οι τύποι των FTTx δικτύων που υπάρχουν ανάλογα με το τελικό σημείο όπου μπορεί να καταλήξει η οπτική ίνα :

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

- FTTB (Fiber To The Building – Οπτική ίνα μέχρι το κτίριο): Η οπτική ίνα καταλήγει έως τα όρια του κτιρίου ,στο οικοδομικό τετράγωνο, αλλά όχι σε κάθε όροφο, γραφείο ή διαμέρισμα. Η τελική σύνδεση των διαφορετικών κατοικιών γίνεται με άλλους τρόπους.
- FTTO (Fiber To The Office – Οπτική ίνα μέχρι το γραφείο): Η οπτική ίνα φτάνει έως το γραφείο μιας επιχείρησης.
- FTTB (Fiber To The Business – Οπτική ίνα μέχρι την επιχείρηση): Η οπτική ίνα φτάνει έως την επιχείρηση.
- FTTN (Fiber To The Node - Οπτική ίνα μέχρι τον κόμβο): Η οπτική ίνα φτάνει έως κάποιον κόμβο ,ο οποίος βρίσκεται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από μια κατοικία.
- FTTC (Fiber To The Cabinet – Οπτική ίνα μέχρι την καμπίνα) : Αποτελεί υποπερίπτωση του FTTN και η καμπίνα είναι πιο κοντά προς το συνδρομητή.
- FTTH (Fiber To The Home – Οπτική ίνα μέχρι το σπίτι): Η οπτική ίνα τερματίζει στο σπίτι του συνδρομητή. Δηλαδή σε ένα τερματικό σημείο το οποίο είναι τοποθετημένο σε ένα κουτί στον εξωτερικό τοίχο της οικίας. Το δίκτυο του συνδρομητή παραμένει χάλκινο.
- FTTP (Fiber To The Premises – Οπτική ίνα μέχρι τα όρια ενός κτηρίου) : Η οπτική ίνα φτάνει σε κάθε τύπο κτηρίου.
- FTTD (FiberTo The Desktop): Η οπτική ίνα φτάνει μέχρι το τερματικό του συνδρομητή.

Επομένως, οι παραπάνω αρχιτεκτονικές διαφέρουν ως προς το σημείο τερματισμού της οπτικής ίνας. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο κοντά πλησιάζει η οπτική ίνα στο συνδρομητή, τόσο πιο πολύ αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματά της.



Εικόνα 5: Τύποι Δικτύων FTTx (Πηγή: Keiser, 2006)

Η αρχιτεκτονική FTTx χωρίζεται σε δίκτυα ενεργού εξοπλισμού, Active Optical Network (AON) και δίκτυα Παθητικού εξοπλισμού, Passive Optical Network (PON).

Στα ενεργά οπτικά δίκτυα (AONs – active optical networks) στα σημεία όπου οι οπτικές ίνες διακλαδώνονται υπάρχει ενεργός εξοπλισμός, δηλαδή router ή switch. Κάθε χρήστης διαθέτει οπτική ίνα έως το σημείο όπου βρίσκεται εγκατεστημένος ενεργός εξοπλισμός που μεταφέρει από εκεί την κίνηση των χρηστών προς το δίκτυο.

Στα παθητικά οπτικά δίκτυα (PONs - passive optical networks) τα δεδομένα ανταλλάσσονται μεταξύ του OLT (Optical Line Termination) και του ONU (Optical Network Termination) ή με το OTN (Optical Network Termination). Στα PONs δεν πραγματοποιείται αλλαγή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό από την πηγή μέχρι τον τελικό προορισμό. Επιπλέον, στα PONs στα σημεία διακλάδωσης χρησιμοποιείται παθητικός εξοπλισμός, σε αντίθεση με τα AONs όπως couplers και splitters. Επομένως, δεν χρησιμοποιείται εξοπλισμός που απαιτεί τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος.

Το κοινό χαρακτηριστικό που έχουν οι τεχνολογίες AON και PON είναι η κατασκευή της υποδομής πρόσβασης. Ενώ, η διαφορά τους φανερώνεται στον τρόπο υλοποίησης της διάταξης όπου ξεκινούν οι συνδέσεις και καταλήγουν μέχρι το συνδρομητή. Επιπλέον, το AON είναι πιο ακριβό και πιο αναξιόπιστο σε σχέση με το PON. Ωστόσο, το ενεργό οπτικό δίκτυο καλύπτει αποστάσεις έως και 85 χλμ., σε αντίθεση με το παθητικό οπτικό δίκτυο που καλύπτει μια μικρή απόσταση έως 20 χλμ, πράγμα που σημαίνει ότι οι συνδρομητές των παθητικών δικτύων θα πρέπει να βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το σήμα προέλευσης.

3.5.2 Δομή FTTx Δικτύων

Ένα δίκτυο FTTx απαρτίζεται από τα στοιχεία που έχουν σχέση με τον τύπο και την κατανομή των καλωδίων στο δίκτυο. Ένα δίκτυο FTTx έχει τα εξής τμήματα:

- α) Τμήμα Τροφοδοσίας (Feeder Segment)
- β) Δίκτυο Διανομής (Distribution Network)
- γ) Τμήμα Καλωδίων Πρόσβασης των Συνδρομητών (Drop Cable Segment)
- δ) Τμήμα ανάμεσα στην οπτική ίνα που υπάρχει ήδη και το συνδρομητή (Lead In)

Πιο αναλυτικά, στο τμήμα τροφοδοσίας οι οπτικές ίνες αρχίζουν την πορεία τους από το Κεντρικό Γραφείο (CO) μέχρι να καταλήξουν στο Δίκτυο Διανομής. Δηλαδή, το κεντρικό γραφείο (CO) είναι το σημείο όπου ξεκινούν οι οπτικές ίνες μέχρι να καταλήξουν στους συνδρομητές. Έχει ως αρμοδιότητα την φιλοξενία των ενεργών εξοπλισμών μετάδοσης, τη διαχείριση των γραμμών τερματισμού των οπτικών ινών και έχει ως στόχο την πιο εύκολη διασύνδεση μεταξύ των οπτικών ινών και του ενεργού εξοπλισμού. Το CO είναι ένα μέρος που υπάρχει ήδη ή που μπορεί να κατασκευαστεί. Τα καλώδια που φτάνουν στο CO πηγαίνουν έως τον ενεργό εξοπλισμό που υπάρχει εκεί και στη συνέχεια κατευθύνονται προς το δίκτυο FTTH.

Στο Δίκτυο Διανομής (Distribution Network) το οπτικό σήμα υπόκειται σε κάποια επεξεργασία πριν μεταφέρει τις υπηρεσίες προς τους συνδρομητές. Το δίκτυο διανομής μπορεί να καλύψει μια απόσταση αρκετών χιλιομέτρων ενώ περιέχει πολλά καλώδια οπτικών ινών και έτσι παρέχει μεγάλη χωρητικότητα. Τα καλώδια αυτά χωρίζονται σε πιο μικρά καλώδια, τα οποία ξεκινούν την πορεία τους προς τους τελικούς συνδρομητές. Επιπλέον, τα καλώδια διανομής έχουν ως στόχο να καλύψουν συγκεκριμένους συνδρομητές και όχι όλες τις κατοικίες.

Στο τμήμα Καλωδίων Πρόσβασης Συνδρομητών (Drop Cable Segment) πηγαίνουν οι οπτικές ίνες όταν χωρίζονται σε τμήματα πριν καταλήξουν στον συνδρομητή. Τοποθετούνται σε σημεία που επιτρέπουν τον χωρισμό των καλωδίων πρόσβασης και τη γρήγορη σύνδεση των οπτικών κυκλωμάτων στα καλώδια των τελικών συνδρομητών. Εκεί τα καλώδια διανομής χωρίζονται το ένα από το άλλο και συνδέονται με τα τελικά καλώδια με σκοπό να εξυπηρετήσουν πολλούς και όχι ίδιους συνδρομητές. Ένα τμήμα Καλωδίων Πρόσβασης Συνδρομητών μπορεί να είναι ένα υπόγειο.

Τέλος, το τμήμα ανάμεσα στην οπτική ίνα που υπάρχει ήδη και στο Lead In είναι το τελευταίο σημείο της ίνας προς τα κτίρια των συνδρομητών ενός δικτύου FTTx. Δηλαδή αρχίζουν από τους κόμβους πρόσβασης και φτάνουν έως τις κατοικίες των συνδρομητών σε απόσταση το πολύ έως 400 μέτρα. Στην συνέχεια, τα καλώδια πρόσβασης φτάνουν έως τα κτίρια των συνδρομητών και από εκεί κατευθύνονται στο κουτί τερματισμού, το οποίο συνήθως είναι τοποθετημένο στην είσοδο των κατοικιών.

4. Απαιτήσεις Industry 4.0 και τρέχουσες λύσεις

4.1 Industry 4.0 - ειδικές δικτυακές απαιτήσεις

Οι ειδικές δικτυακές απαιτήσεις που προέρχονται από το Industry 4.0, όπως για παράδειγμα η ευαισθησία στο χρόνο και η χρονική καθυστέρηση ενθάρρυναν την ανάπτυξη βελτιωμένων υποσυστημάτων επικοινωνίας.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι προκλήσεις της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

- **Χωρητικότητα :** Σε ένα σύγχρονο εργοστάσιο υπάρχει η ανάγκη για υποστήριξη πολλών διαφορετικών εφαρμογών. Επομένως, είναι αυξημένες οι απαιτήσεις για μεγάλη χωρητικότητα. Για παράδειγμα, τα ρομπότ χρειάζεται να στέλνουν μηνύματα παρακολούθησης κάθε δευτερόλεπτο για να βοηθήσουν τα αυτόνομα οχήματα. Επομένως, σε λίγα χρόνια η ζήτηση της χωρητικότητας μπορεί να είναι από λίγα kb/s έως Tb/s. Ένα κέντρο δεδομένων σε ένα εργοστάσιο είναι υπεύθυνο να επεξεργάζεται την ευαίσθητη στην καθυστέρηση κίνηση. Γι' αυτό το λόγο, είναι αναγκαίο να έχει τουλάχιστον την ίδια χωρητικότητα με το δίκτυο.
- **Καθυστέρηση :** Μία ακόμη απαίτηση της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης είναι η μείωση της καθυστέρησης. Πιο αναλυτικά, τα μηνύματα που για κάποιο λόγο δεν προλαβαίνουν την προθεσμία παράδοσης μπορεί να οδηγήσουν στην διακοπή λειτουργίας για λόγους ασφαλείας των μηχανημάτων ή των ρομπότ. Ακόμη, η απόδοση των μηχανών εξαρτάται από την πιθανή καθυστέρηση του δικτύου. Για παράδειγμα, στα συστήματα ελέγχου κίνησης η απαίτηση καθυστέρησης είναι 100 μ s, ενώ στον έλεγχο αυτοματισμού υψηλής ταχύτητας, η απαίτηση καθυστέρησης κυμαίνεται από δεκάδες νανοδευτερόλεπτα έως δεκάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου. Επομένως, είναι γεγονός ότι αρκετές βιομηχανικές εφαρμογές απαιτούν πολύ πιο γρήγορο χρόνο απόκρισης και παράλληλα χαμηλή καθυστέρηση δικτύου.

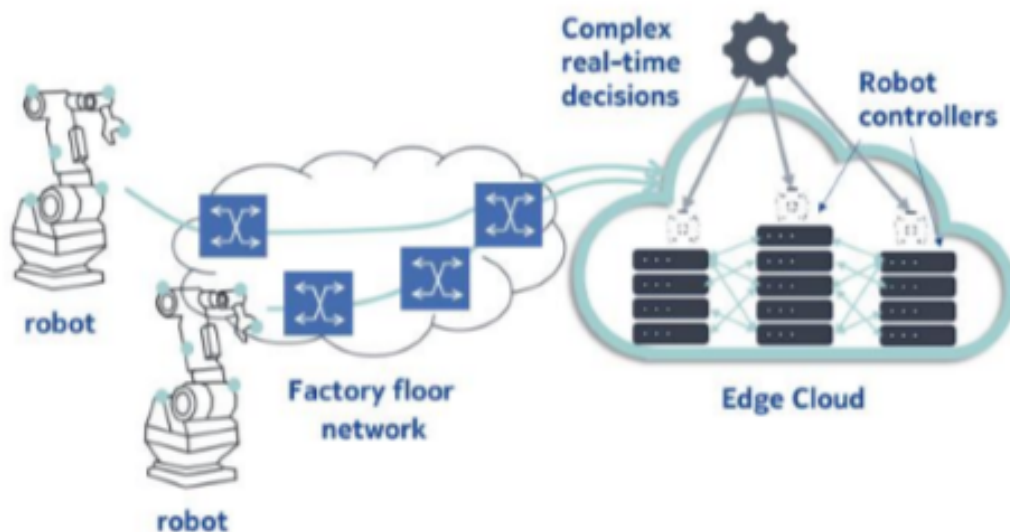
- **Εγγυημένη παράδοση :** Σε ένα εργοστάσιο ένα μηχάνημα μπορεί να σταματήσει όταν η παράδοση του μηνύματος διαρκέσει αρκετό χρόνο για λόγους ασφαλείας και γιατί ενδεχομένως μπορεί να έχει υπάρξει απώλεια πακέτων. Επομένως, είναι αναγκαία η εγγυημένη παράδοση των πακέτων με μηδαμινό ή μικρό σφάλμα για την ομαλή λειτουργία ενός ,για παράδειγμα, εργοστασίου.
- **Έλεγχος jitter :** Επιπλέον, απαραίτητος είναι ο έλεγχος του Jitter, δηλαδή ο έλεγχος των διακυμάνσεων που υπάρχουν. Με τον όρο Jitter εννοούμε την εκτροπή του λανθάνοντος χρόνου , δηλαδή την απόκλιση της καθυστέρησης που είναι ικανή να επιφέρει ανεπιθύμητες ενέργειες κατά την διάρκεια μετάδοσης των δεδομένων. Όσο πιο χαμηλό είναι το jitter τόσο πιο σταθερή σύνδεση επιτυγχάνεται. Ενώ, το υψηλό jitter μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις ,όπως απώλεια δεδομένων ή υψηλές καθυστερήσεις. Το jitter μεταβάλλεται από τη διαδρομή που αλλάζει κατά τη διάρκεια της ροής των πακέτων. Επιπλέον, ο χρόνος αναμονής που μπορεί να υπάρχει στις ουρές αλλάζει ως αποτέλεσμα συμφόρησης, όταν πολλές ροές διεκδικούν την ίδια έξοδο. Στο jitter είναι επιθυμητό τα δεδομένα από την ίδια ροή να ταξιδεύουν στην ίδια διαδρομή . Γενικότερα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω , το jitter θα έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο γίνεται. Όσο πιο μεγάλο είναι το jitter τόσο μεγαλύτερες καθυστερήσεις παρουσιάζονται. . Ο έλεγχος Jitter πρέπει να έχει κοινή χρήση ή μεταφορά μιας χρονικής αναφοράς από την πηγή στον προορισμό .Τέλος, οι πιο πολλές βιομηχανικές εφαρμογές έχουν υψηλές και αυστηρές απαιτήσεις για το jitter, μέχρι το εύρος των νανοδευτερόλεπτων.
- **Ευελιξία και δυναμική :** Ακόμη, τα δίκτυα πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτα και δυναμικά. Με αυτό τον τρόπο, για παράδειγμα ο επαναπρογραμματισμός ενός ρομπότ σε μια γραμμή παραγωγής ενός εργοστασίου να μην απαιτεί χειροκίνητο επαναπρογραμματισμό όλου του εξοπλισμού μεταγωγής. Η δυναμική δηλαδή παίζει αρκετά σημαντικό ρόλο στο Industry 4.0.
- **Τεμαχισμός:** Για παράδειγμα σε ένα εργοστάσιο η αύξηση της κυκλοφορίας σε ένα μηχάνημα, δεν θα πρέπει να επηρεάζει τα υπόλοιπα μηχανήματα και επομένως να επηρεάζεται ολόκληρη η λειτουργία του εργοστασίου. Επομένως, ο τεμαχισμός είναι μία ακόμη απαίτηση που υπάρχει στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση.

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

- Αξιοπιστία : Η αξιοπιστία είναι μία ακόμη σημαντική απαίτηση των εφαρμογών της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης .Εάν το δίκτυο δεν είναι αξιόπιστο τότε διάφορες μετρήσεις που μπορεί να γίνουν, όπως ο λανθάνοντας χρόνος και το jitter χάνουν την πραγματική τους αξία, καθώς μπορεί να αποδειχθούν λανθασμένες.

4.2 Επισκόπηση της επικοινωνίας δεδομένων στο Industry 4.0

Οι χρονικά ευαίσθητες εφαρμογές στο Industry 4.0 αναφέρονται στη συνέχεια και αναλύονται οι απαιτήσεις τους και το πως επηρεάζουν τον σχεδιασμό ενός δικτύου. Οι εφαρμογές αυτές απαιτούν να επικοινωνούν από άκρο σε άκρο. Έχουν ως στόχο την συνεργασία μεταξύ μηχανών έτσι ώστε να μπορούν να ανταλλάσσουν μηνύματα με αξιοπιστία σε όλο το δίκτυο του εργοστασίου και στο edge DC ,όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.



Εικόνα6: Τυπική διάταξη της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης (Πηγή : *Dynamic Deterministic Digital Infrastructure for Time-Sensitive Applications in Factory Floors* , 2021)

Ακόμη, ακολουθεί διαχωρισμός μεταξύ των μηχανημάτων στο εργοστάσιο (ρομπότ, αυτοματοποιημένα κατευθυνόμενα οχήματα , κ.λπ.) και των servers. Αναφέρονται τέσσερις

κατηγορίες επικοινωνιών από μηχανή σε μηχανή, από μηχανή σε server και από server σε server ως εξής:

1. Control loops (Βρόχοι ελέγχου) , όπου τα δεδομένα ελέγχου που ανταλλάσσονται μεταξύ ενός controller και των αισθητήρων ή των ενεργοποιητών ενός μηχανήματος γυρίζουν πάλι πίσω στον controller. Έτσι ,όταν ο controller είναι στον server του edge DC, η επικοινωνία μεταξύ του controller και του μηχανήματος θα πρέπει να έχει ντετερμινισμό απόδοσης , ενώ οι βρόχοι απαιτούν μικρή καθυστέρηση.
2. Οι βρόχοι συνεργατικού ελέγχου οι οποίοι εμφανίζονται στον έλεγχο ενεργειών μεταξύ των μηχανών που είναι συντονισμένες. Οι συντονισμένες αυτές ενέργειες γίνονται στο edge DC. Οι controllers οφείλουν να ανταλλάσσουν δεδομένα για να υπάρξει συντονισμός μεταξύ των μηχανών, πριν κάθε controller στείλει την εντολή πίσω στο μηχανήμά του. Εδώ, απαιτούνται χαμηλή καθυστέρηση και επομένως συγχρονισμός.
3. Η ροή δεδομένων απαιτείται για να μπορούν τα μηχανήματα να στέλνουν μια σταθερή ροή δεδομένων από τους controllers στους servers για εφαρμογές ,όπως είναι η ανίχνευση μιας σύγκρουσης. Όπως είναι κατανοητό σε τέτοιες περιπτώσεις ,τα δεδομένα πρέπει να λαμβάνονται από τα μηχανήματα σε πραγματικό χρόνο για να αποφεύγονται λάθη και προβλήματα.
4. Οι ροές δεδομένων για υπηρεσίες που απαιτούν τα δεδομένα να μοιράζονται μεταξύ των μηχανών και των servers αρκετών χρηστών για εφαρμογές που χρειάζεται να έχουν ένα κοινό περιβάλλον, όπως είναι τα meetings μέσω βίντεο . Αυτές οι εφαρμογές δεν επηρεάζονται από πιθανές απώλειες πακέτων και από την καθυστέρηση, αλλά χρειάζονται χαμηλό jitter ενώ θα πρέπει να υπάρχει περιορισμός στο Jitter από άκρο σε άκρο σε ένα εργοστάσιο.

4.3 Απαιτήσεις των ευαίσθητων στον χρόνο εφαρμογών

Οι εφαρμογές που είναι χρονικά ευαίσθητες και έχουν σχέση με τον ντετερμινισμό έχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά, ωστόσο διαφέρουν σε σχέση με το jitter, τον ρυθμό δεδομένων και την αξιοπιστία που παρέχουν.

Παρακάτω αναφέρονται οι κατηγορίες που ανήκουν οι εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στον χρόνο :

- Τα μηνύματα ελέγχου, που χρησιμοποιούνται στους βρόχους ελέγχου, όπου τα δεδομένα ελέγχου που ανταλλάσσονται μεταξύ ενός controller και των αισθητήρων ή των ενεργοποιητών ενός μηχανήματος γυρίζουν πάλι πίσω στον controller και στους βρόχους συνεργατικού ελέγχου χρειάζονται εγγύηση καθυστέρησης και αξιοπιστίας. Τα μηνύματα ελέγχου μπορούν να ενεργοποιούνται περιοδικά και να παράγονται συνέχεια ή να είναι πιο αραιά και να δημιουργούνται μετά από κάποιο γεγονός. Επιπλέον, είτε είναι μονής κατεύθυνσης και δεν επηρεάζονται από την ανάδραση είτε αμφίδρομης κατεύθυνσης, όπου επηρεάζονται από την ανάδραση. Στην αμφίδρομη κατεύθυνση οι απαντήσεις πρέπει να φτάνουν πριν έρθει η σειρά που επόμενου μηνύματος.
- Η ροή δεδομένων που απαιτείται για να μπορούν τα μηχανήματα να στέλνουν μια σταθερή ροή δεδομένων από τους controllers στους servers και οι ροές δεδομένων για υπηρεσίες που απαιτούν τα δεδομένα να μοιράζονται μεταξύ των μηχανών και των servers αρκετών χρηστών έχουν καθυστέρηση και αξιοπιστία και απαιτούν υψηλούς ρυθμών δεδομένων. Για παράδειγμα στις εφαρμογές στις οποίες συνδυάζεται ο ήχος και η εικόνα και υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των χρηστών είναι απαραίτητο να υπάρχει συγχρονισμός και να μην υπάρχει απώλεια ούτε ενός καρέ. Επιπλέον, υπάρχει η ανάγκη να προσαρμόζονται σε συνθήκες μη εγγυημένης παράδοσης των δεδομένων μέσω της κυκλοφορίας ελέγχου χαμηλού εύρους ζώνης στην αντίστροφη διαδρομή, που απαιτεί λιγότερο ρυθμό jitter. Οι συνθήκες διαδρομής των δεδομένων είναι εγγυημένες, ωστόσο με τις συμπληρωματικές ροές δεδομένων χαμηλότερου εύρους ζώνης μπορεί να επιτευχθεί ο συγχρονισμός.

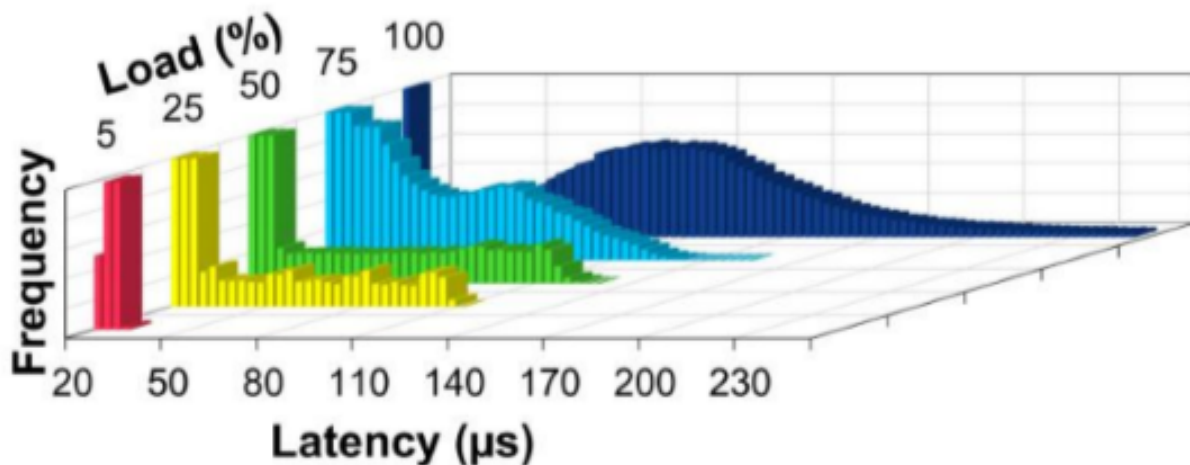
4. 4 Τρέχουσες λύσεις

Η δυναμική και ο ντετερμινισμός είναι αρκετά σημαντικά στοιχεία. Το Ethernet είναι αρκετά ευέλικτο, ωστόσο δεν είναι ντετερμινιστικό. Το Industrial Ethernet βέβαια προσφέρει ντετερμινισμό ωστόσο ο στατικός προγραμματισμός δεν βοηθά την δυναμική τους. Επιπλέον, παρακάτω αναφέρονται τα Optical Transport Networks και τα παθητικά οπτικά δίκτυα (PONS). Ακόμη,παρα πρόσφατη εισαγωγή των Time Sensitive Networks η αντιστάθμιση μεταξύ ευελιξίας και ντετερμινισμού εξακολουθεί να υπάρχει.

4.4.1 Ethernet

Ένα δίκτυο Ethernet ελαφρά φορτωμένο θα ήταν ιδανικό για να προσφέρει χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και χαμηλό jitter. Στην ιδανική περίπτωση, το jitter, η μέτρηση των διακυμάνσεων, θα έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη γίνεται. Για παράδειγμα, εάν οι χρόνοι μεταξύ των πακέτων είναι μεγάλοι, τότε το Jitter είναι μεγάλο και υπάρχουν καθυστερήσεις, ωστόσο εάν τα πακέτα μεταδίδονται γρήγορα και ο χρόνος μεταξύ των πακέτων είναι μικρός, τότε το Jitter είναι μικρό και δεν υπάρχουν καθυστερήσεις. Αυτό ωστόσο δεν συμβαίνει στο Ethernet, όπως φαίνεται και από το πείραμα του Yvan Pointurier που περιγράφεται παρακάτω. Στο πείραμα αυτό ο ερευνητής εισήγαγε πολλές ροές, με σταθερό ρυθμό μετάδοσης bit, σε ένα Ethernet switch 10G και κατέγραψε την καθυστέρηση για μία από αυτές τις ροές στην έξοδο ενός δεύτερου ίδιου switch το οποίο ήταν άμεσα συνδεδεμένο με το πρώτο switch.

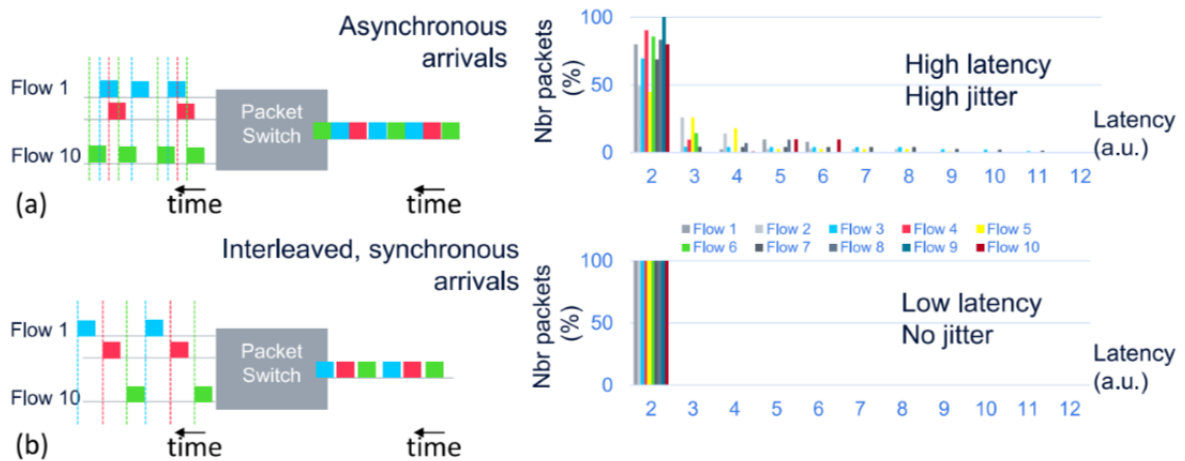
Η εικόνα 7 δείχνει την καθυστέρηση που προκύπτει για ένα μεταβαλλόμενο φορτίο. Επιπλέον, περιορίστηκε ο άξονας λανθάνοντος χρόνου, καθώς η καθυστέρηση ήταν μεγάλη για φόρτωση 100%. Ο ερευνητής παρατήρησε ότι ακόμη και για ένα φορτίο 25%, το jitter (το οποίο ορίζεται από την εκτροπή της καθυστέρησης) είναι ίδιο με την καθυστέρηση.



Εικόνα 7: Έλλειψη ντετερμινισμού με το Ethernet (Δείγμα πειράματος Yvan Pointurier)

Αυτό γίνεται γιατί οι ροές υποστηρίζουν την ίδια θύρα εξόδου και επομένως έρχονται αντιμέτωπες με τον τυχαίο λανθάνοντα χρόνο και με το jitter, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8 (α). Θα υπήρχε ντετερμινισμός της καθυστέρησης εάν οι αφίξεις πακέτων ήταν σύγχρονες και τακτικά

παρεμβαλλόμενες ,όπως φαίνεται στην Εικόνα 8 (β) , αλλά αυτό θα απαιτούσε τον συγχρονισμό των πελατών με το δίκτυο. Επομένως, το Ethernet δεν μπορεί να προσφέρει ντετερμινισμό.



Εικόνα 8: (α) Έλλειψη ντετερμινισμού στο Ethernet από ασύγχρονες αφίξεις πλαισίων εισόδου, (β) Ύπαρξη ντετερμινισμού στο Ethernet από τις τέλεια συγχρονισμένες και τακτικά παρεμβαλλόμενες αφίξεις πακέτων (Πηγή : End-to-End Time-Sensitive Optical Networking:Challenges and Solutions)

4.4.2 Industrial Ethernet

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το Ethernet δεν προσφέρει ντετερμινισμό , γι' αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί πρωτόκολλα τα οποία μπορούν να το βελτιώσουν .Μπορούν δηλαδή να μεταφέρουν κρίσιμα μηνύματα μέσω ενός δικτύου Ethernet και να το κάνουν έτσι πιο βιομηχανικό. Για παράδειγμα, το TCP υποστηρίζει εφαρμογές που δεν είναι κρίσιμες για το χρόνο. Το jitter συγχρονίζει τα ρολόγια του εξοπλισμού ενός δικτύου και μπορεί να είναι έως και 1 μs. Το Industrial Ethernet πρωτόκολλο μπορεί να προσφέρει ντετερμινισμό , ωστόσο ο στατικός προγραμματισμός δεν βοηθά την δυναμική του.

4.4.3 Οπτικό Δίκτυο Μεταφορών- OTN

Το Οπτικό Δίκτυο Μεταφορών (Optical Transport Network) -OTN δίνει την δυνατότητα για πολυπλεξία πολλών κυκλωμάτων στον τομέα του μήκους κύματος και του χρόνου μέσω μιας υποδομής οπτικής μεταφοράς.

Το OTN μπορεί να καλύψει αρκετές τοπολογίες δικτύου ,όπως επίσης και το ενδεχόμενο αποκατάστασης. Ένα κύκλωμα δηλαδή που μπορεί να εγκατασταθεί σε περίπτωση αστοχίας, χωρίς να υπάρχει σπατάλη πόρων και επιπλέον καθυστέρηση. Το OTN παρέχει περιορισμένο αριθμό δυναμικών δικτύου και η εγκατάσταση μπορεί να διαρκέσει λίγα λεπτά. Εξαιτίας των ασυμμετριών που υπάρχουν στα μήκη συνδέσεων και στον εξοπλισμό του δικτύου, είναι δύσκολο να επιτευχθεί η ακρίβεια που απαιτείται σε σχέση με τον χρόνο.

Επομένως, το OTN έχει περιορισμένη δυναμική και αρκετά υψηλό κόστος εγκατάστασης επομένως δεν συνίσταται για επιλογή στα τοπικά δίκτυα εργοστασίων. Το OTN είτε συνδυάζεται με FlexE είτε όχι, έχει κυριαρχήσει τα τελευταία χρόνια ως εργαλείο που παρέχει ντετερμινισμό και μάλιστα σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Σε μια ροή δεδομένων εκχωρείται ένα σύνολο πόρων δικτύου, ακόμη και σε περίπτωση που η ροή διακόπτεται, αλλά μπορεί εύκολα να διαχωριστεί από την άλλη ροή με κίνδυνο βέβαια να επηρεαστεί. Επομένως, το OTN έχει το πλεονέκτημα της διατήρησης του ντετερμινισμού από άκρο σε άκρο.

4.4.4 TimeSensitiveNetworking

Τα έξυπνα εργοστάσια απαιτούν ολοκληρωμένα συστήματα μέτρησης, τα οποία μπορούν να επικοινωνούν στις περιοχές διαχείρισης μιας βιομηχανικής μονάδας. Τα τελευταία χρόνια, το Time Sensitive Networking (TSN) έχει ως στόχο να αναδιαμορφώσει το πρότυπο Ethernet ,ώστε να παρέχει κρίσιμους χρόνους αποστολής και ασφάλειας της κίνησης ,καθώς το Ethernet δεν προσφέρει ντετερμινισμό.

Το TSN δηλαδή μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία εξέλιξη του παραδοσιακού Ethernet .Το TSN παρέχει ντετερμινιστικές μεταδόσεις με απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο και με μεγάλη αξιοπιστία. Τα πρότυπά του είναι επιπέδου 2 και καθορίζονται από το IEEE 802.1. Ένα δίκτυο TSN αποτελείται από τερματικούς σταθμούς και από γέφυρες που είναι Ethernet switches. Οι τερματικοί σταθμοί είναι η πηγή και ο προορισμός των ροών TSN, ενώ οι διακόπτες είναι ικανοί να μεταδίδουν και να λαμβάνουν πλαίσια Ethernet μιας ροής TSN. Επομένως, το TSN επεκτείνει το πρότυπο Ethernet με

δυνατότητες σε πραγματικό χρόνο. Οι βασικές λειτουργίες είναι ο χρονικός συγχρονισμός, η πρόληψη, η διαμόρφωση της κυκλοφορίας και οι μηχανισμοί που διαμορφώνουν τον αυστηρό σχεδιασμό πόρων των συσκευών.

Το TSN στοχεύει να παρέχει τις δυνατότητες για τη διαχείριση της κρίσιμης για το χρόνο κυκλοφορίας σε διαφορετικά σενάρια. Αυτό οδήγησε σε ένα σύνολο πρωτοκόλλων που μπορούν να υιοθετηθούν σωστά και έτσι να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις. Επιπλέον, ένα βιομηχανικό δίκτυο επικοινωνίας πρέπει να μπορεί να διαχειριστεί πολλές και διαφορετικές ροές δεδομένων, με διαφορετικές απαιτήσεις. Στο πλαίσιο αυτό, οι μετρήσεις που προέρχονται από αισθητήρες επηρεάζουν πολλές ροές δεδομένων. Τα δεδομένα των αισθητήρων πρέπει να εγγυώνται την ακρίβεια μέτρησης και να επιτρέπουν τον έλεγχο των διαδικασιών ή τον χειρισμό κρίσιμων καταστάσεων.

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση έχει ανάγκη για όλο και περισσότερα ολοκληρωμένα αι τυποποιημένα δίκτυα. Έτσι, το Time Sensitive Networking (TSN) μπορεί να βοηθήσει επικουρικά στην ανάπτυξη των νέων έξυπνων εργοστασίων. Σε αυτό το πρότυπο γίνεται τροποποίηση του προτύπου Ethernet και εισαγωγή των μηχανισμών που απαιτούνται για την υποστήριξη ενός εφαρμογών κρίσιμες στον χρόνο και την ασφάλεια.

Τα δύο πιο σημαντικά πρότυπα στα οποία βασίστηκε το TSN για να προσφέρει υψηλή και ντετερμινιστική ταχύτητα ήταν το 802.1Qbu και 802.1Qbv.

Με το πρότυπο 802.1Qbu, μια διεπαφή του κόμβου υποστηρίζει ελάχιστο αριθμό κλάσεων υπηρεσιών. Όταν ένα frame υψηλής προτεραιότητας φτάνει σε ένα switch TSN, σε περίπτωση που ένα frame χαμηλότερης προτεραιότητας έχει ήδη προωθηθεί στην ίδια θύρα προορισμού με το προηγούμενο frame υψηλής προτεραιότητας, η προώθηση του frame που είχε την χαμηλή προτεραιότητα σταματά πλέον να την έχει.

Αυτή η διαδικασία δεν γίνεται γρήγορα και επομένως προκαλεί καθυστέρηση. Σε περίπτωση που η καθυστέρηση εμφανίζεται σε εκείνα τα switches που ανταγωνίζονται για την χαμηλή και την υψηλή προτεραιότητα, τότε αυτή η καθυστέρηση γίνεται jitter. Αυτός ο περιορισμός του προτύπου 802.1Qbu δεν υπάρχει στο πρότυπο 802.1Qbv, καθώς σε αυτό δεν μειώνονται δραματικά η καθυστέρηση και το Jitter. Το 802.1Qbv βελτιώνει το 802.1Qbu, ωστόσο έχει δύο περιορισμούς σε σχέση με την επεκτασιμότητα. Αρχικά, έχει 8 κατηγορίες υπηρεσιών που έχουν καθοριστεί, έτσι εάν κάποια διεπαφή κριθεί αναγκαίο να επεξεργαστεί περισσότερες από 8 ροές, τότε τουλάχιστον δύο από τις ροές θα είναι στην ίδια κατηγορία. Με αυτό τον τρόπο ο ντετερμινισμός της καθυστέρησης ενδέχεται να χαθεί. Δεύτερον, στο 802.1Qbv το χρονοδιάγραμμα στο δίκτυο δεν ορίζεται στο πρότυπο, καθιστώντας έτσι το δίκτυο στατικό.

Το TSN δεν μπορεί να επεκταθεί σε όλη την ψηφιακή υποδομή. Έτσι, οι άλλες τεχνολογίες δικτύου που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να συνυπάρχουν με το TSN και να εγγυώνται την απόδοση από άκρο σε άκρο. Τα τμήματα δικτύου θα πρέπει να υποστηρίζουν την ευαισθησία στο χρόνο. Έτσι, όταν πραγματοποιείται η μεταφορά από το ένα τμήμα στο άλλο, οι πύλες θα πρέπει να χρησιμοποιούν μηχανισμούς αντιστάθμισης jitter και ουρές προτεραιότητας της ροής. Αυτό θα πρέπει να γίνεται για να περιέχουν τυχόν επιπλέον λανθάνοντα χρόνο και jitter. Επιπλέον, το επίπεδο ελέγχου του δικτύου ,από άκρο σε άκρο ,θα πρέπει είναι ιεραρχικό, με controllers ανά τμήμα.

Κάποιοι από τους πρώτους διακόπτες TSN που κυκλοφόρησαν χρησιμοποιούσαν προτεραιότητα για την προστασία μιας κατηγορίας ροών έναντι μιας άλλης, αλλά δεν απέφευγαν τις συγκρούσεις σε μια κρίσιμης κατηγορία κυκλοφορία . Ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί το IEEE 802.1Qbv είναι επίπεδο και πρέπει να παρέχει συγχρονισμό. Ωστόσο, η διασύνδεση χιλιάδων συσκευών και πολλών εφαρμογών με αυστηρές και ταυτόχρονα διαφορετικές απαιτήσεις σε σχέση με τον χρονισμό οδηγεί σε αδυναμία του συγχρονισμού και σε προβλήματα προγραμματισμού.

4.4.5 Ντετερμινιστικά Δυναμικά Δίκτυα - DDN

Τα ντετερμινιστικά δυναμικά δίκτυα DDN (Deterministic Dynamic Networks) είναι βασισμένα σε δραστηριότητες μεταγωγής οπτικών θυρίδων. Αυτές οι δραστηριότητες επεκτείνονται σε ένα οπτικό δίκτυο από άκρο σε άκρο. Η κύρια πρόκληση ενός δυναμικού ντετερμινιστικού δικτύου (DDN) είναι να μπορέσει να προσφέρει ντετερμινισμό και δυναμική. Το ντετερμινιστικό δυναμικό δίκτυο δημιουργεί ένα δίκτυο μεταγωγής εικονικού οπτικού κυκλώματος από άκρο σε άκρο για να παρέχει χαμηλό ντετερμινιστικό λανθάνοντα χρόνο και εύρος ζώνης σε περίπτωση που ζητηθεί.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου επιτυγχάνει για τις ροές ντετερμινιστική καθυστέρηση και δίνει την δυνατότητα εύρους ζώνης .Τα δυναμικά ντετερμινιστικά δίκτυα χρειάζονται έναν νέο διαχωρισμό μεταξύ των λειτουργιών που μπορούν να συγκεντρωθούν και να έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα και των λειτουργιών που πρέπει να παραμείνουν τοπικές, ενεργώντας απευθείας σε bit και πακέτα. Η διαχείριση χρονισμού και η αντιστάθμιση του jitter είναι επιθυμητό να γίνονται από το φυσικό επίπεδο. Επομένως, αυτό που κάνει το DDN να ξεχωρίσει είναι το γεγονός ότι μπορεί να προσφέρει βελτιστοποίηση του ντετερμινισμού και της δυναμικής.

4.5.6 Παθητικά Οπτικά Δίκτυα: PON

Τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (PON) μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια ενός εργοστασίου. Ο πολυπλέκτης διαίρεσης μήκους κύματος WDM-PON σπαταλά ένα μήκος κύματος για κάθε τοποθεσία κυψέλης, με αποτέλεσμα ένα δίκτυο αποκλειστικών συνδέσμων από σημείο σε σημείο. Έτσι, καθώς η χωρητικότητα κάθε μήκους κύματος έχει χρησιμοποιηθεί σε μια θέση κυψέλης, υπάρχει ντετερμινιστική καθυστέρηση που οφείλεται στη διάδοση των δεδομένων, ενώ η παράδοση των δεδομένων είναι εγγυημένη. Το μειονέκτημα δηλαδή είναι η έλλειψη στατιστικής πολυπλεξίας με κίνηση από άλλες τοποθεσίες κινητής τηλεφωνίας, αυξάνοντας έτσι το κόστος. Επομένως, ένα τέτοιο δίκτυο είναι στατικό. Έτσι, τα PONs θα μπορούσαν να προσφέρουν ντετερμινιστική απόδοση, αλλά η συνδεσιμότητα θα είναι στατική.

5. Συμπεράσματα - Μελλοντικές τάσεις

5.1 800 G Ethernet, 1.6 Tb/s Ethernet

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής και οι καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου οδηγούν σε νέες απαιτήσεις για πιο γρήγορα δίκτυα Ethernet. Ειδικότερα, η ανάπτυξη του Cloud, οι εφαρμογές που κάνουν χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης AI, καθώς και η αυξανόμενη επικράτηση της εργασίας από το σπίτι οδηγούν σε αύξηση του εύρους ζώνης.

Το πρωτόκολλο Ethernet ανταποκρίνεται σε αυτές τις αυξανόμενες απαιτήσεις. Σύντομα θα υποστηρίζει ταχύτητες 800 Gbit/s. Επιπλέον, γίνονται ήδη διεργασίες για το ρυθμό μετάδοσης που θα ακολουθήσει από τα 800 Gbit/s, δηλαδή 1,6 TBit/s.

Όπως είναι κατανοητό, λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων εύρους ζώνης έχει αυξηθεί και η ζήτηση για τους οπτικούς πομποδέκτες 800G. Αυτή η ζήτηση θα επικρατήσει τα επόμενα χρόνια. Οι ερευνητές πιστεύουν ότι το 800G επεκταθεί από το 2025 και μετά. Ωστόσο, η ανάπτυξη αυτή θα καθυστερήσει περισσότερο μέχρι να φτάσει στους απλούς χρήστες ή στα πιο μικρά κέντρα δεδομένων.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στην έννοια του short reach και το πως θα επηρεάσει το 800 G. Με το short reach εννοούμε το ευρύ φάσμα οπτικών ζεύξεων, οι οποίες μπορούν να καλύψουν αποστάσεις κάτω από 100-120 km. Αυτό που χαρακτηρίζει αυτές τις οπτικές ζεύξεις μικρής απόστασης είναι η υψηλή ευαισθησία στο κόστος και την κατανάλωση ενέργειας. Έτσι, η τεχνολογία Intensity Modulation / Direct Detection (IM/DD)-Διαμόρφωση έντασης/άμεση ανίχνευση εξακολουθεί να παραμένει η τυπική μέθοδος επικοινωνίας. Οι πομποδέκτες IM/DD είναι οι οπτικές μονάδες για επικοινωνίες μικρής απόστασης και αποδίδουν ρυθμούς 100 Gbps για έως και 80 km και 800 Gbps για έως και 10 km. Ωστόσο, αυτό που εμποδίζει την επεκτασιμότητα των συστημάτων IM/DD είναι η εξασθένιση της ισχύος που προκαλείται.

Η μετάβαση λοιπόν στο 800G μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Πρώτον, είτε με 8x100G κάτι που διπλασιάζει την κατανάλωση χωρίς να μεταβάλλει τη διακοπή ρεύματος, είτε με 4x200G κάτι που φαίνεται να είναι πιο αποδοτικό σε σχέση με το κόστος και την κατανάλωση.

Ωστόσο, η επεκτασιμότητα των πομποδεκτών IM/DD σε σχέση με την απόσταση και τους ρυθμούς συμβόλων δεν είναι ευοίωνη και για αυτό κάνουν την εμφάνισή τους και οι σύμφωνοι πομποδέκτες. Οι σύμφωνοι πομποδέκτες θα μπορούσαν να είναι η λύση ωστόσο έχουν πολύ υψηλό κόστος και

απαιτήσεις σε σχέση με την κατανάλωση κάτι που φαίνεται ότι θα τους κάνει να επικρατήσουν στις εφαρμογές 800G και 1,6 Tb/s.

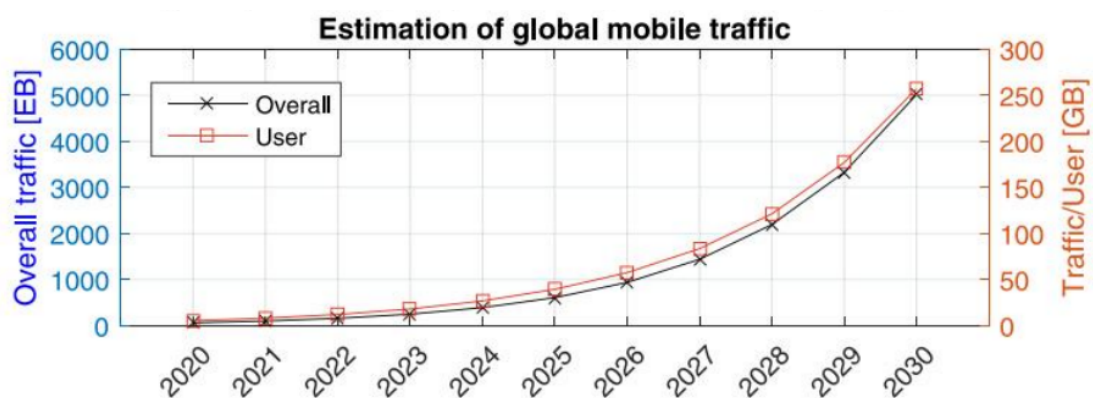
Επιπλέον, αρκετά σημαντικό για την εξέλιξη του 800G-1.6T είναι η ψηφιακή επεξεργασία του σήματος - DSP (digital signal processor). Η εφαρμογή περισσότερων βρόχων ανατροφοδότησης στον ψηφιακό τομέα δεν είναι εύκολη. Επιπλέον, οι πληροφορίες καναλιού πρέπει να είναι γνωστές στην πλευρά του πομπού. Αρκετοί ισοσταθμιστές είναι αρκετά περίπλοκοι και πιο σπάταλοι σε σχέση με την ενέργεια. Ωστόσο, μπορεί να αποδειχθούν απαραίτητοι για συστήματα επόμενης γενιάς με μεγαλύτερες απαιτήσεις. Επομένως, η προσεκτική επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου εξισορρόπησης είναι αρκετά σημαντική.

5.2 6G

Είναι ευρέως γνωστό ότι την σημερινή εποχή το σύστημα κινητής επικοινωνίας πέμπτης γενιάς (5G) έχει κυκλοφορήσει σε πολλές χώρες και έχει πλέον αρκετούς συνδρομητές. Ένα αρκετά μεγάλο μερίδιο της κοινωνίας δηλαδή έχει πρόσβαση στο 5G. Ωστόσο, οι ανάγκες ολοένα και μεγαλώνουν και υπάρχει ανάγκη για να ικανοποιηθούν. Έτσι, η βιομηχανία θα πρέπει να στραφεί σε νέες τεχνολογίες για να καλύψει τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες της.

Η ανάπτυξη ενός συστήματος επόμενης γενιάς είναι αναγκαία καθώς υπάρχει εκθετική αύξηση της επισκεψιμότητας από κινητά και tablets και από την ανάπτυξη νέων εφαρμογών. Επιπλέον, αυτή η ανάπτυξη καθοδηγείται επίσης από την ανάγκη της κοινωνίας να βελτιωθούν η επικοινωνία, η αποδοτικότητα του δικτύου, το κόστος και η απόδοση των δικτύων. Σε αυτό το σημείο κάνει την εμφάνιση του το 6G.

Τα τελευταία χρόνια, ο αριθμός των smartphones και των tablets έχει αυξηθεί ραγδαία καθώς ο κάθε χρήστης έχει τουλάχιστον δύο τέτοιες συσκευές. Η κίνηση που προέρχεται από εφαρμογές, όπως το YouTube ή το Netflix αντιπροσωπεύει ήδη τα δύο τρίτα της συνολικής κίνησης από κινητές συσκευές σήμερα και εκτιμάται ότι στο μέλλον θα επεκταθεί περαιτέρω. Σε ορισμένες ανεπτυγμένες χώρες δηλαδή, μια ισχυρή αύξηση της κυκλοφορίας πριν από το 2025 οφείλεται στις υπηρεσίες εμπλουτισμένων βίντεο και στην μεγάλη ανάπτυξή τους. Όπως φαίνεται και στη Εικόνα 8, η μέση κατανάλωση δεδομένων για κάθε χρήστη κινητής τηλεφωνίας θα εκτοξευτεί από περίπου 5 GB το 2020 σε πάνω από 250 GB το 2030.



Εικόνα 9: Εκτίμηση κίνησης της κινητής τηλεφωνίας από το 2020 έως το 2030. (Πηγή: Έκθεση ITU-R M.2370-0)

Επιπλέον, με την είσοδο των νέων τεχνολογιών και τη συνεχή εξέλιξη των υπάρχουσών τεχνολογιών, όπως για παράδειγμα η ρομποτική, η μικροηλεκτρονική, η τεχνητή νοημοσύνη, μπορούν να προωθηθούν πολλές εφαρμογές στα δίκτυα κινητήρων τηλεφωνίας.

Για να περιοριστούν οι αυστηροί περιορισμοί υπολογισμού, της αποθήκευσης και του απορρήτου στις κινητές συσκευές, τα δίκτυα 6G έρχονται για να δώσουν διάχυτη νοημοσύνη χρησιμοποιώντας καταναμημένους υπολογιστικούς πόρους σε όλο το νέφος, το κινητό άκρο και τις τελικές συσκευές.

Οι παλαιότερες γενιές κινητών επικοινωνιών συγκεντρώνονταν στις πυκνοκατοικημένες μητροπολιτικές περιοχές. Το σύστημα 6G σχεδιάζεται να κάνει χρήση της συνέργειας επίγειων δικτύων και του δορυφορικού αστερισμού για να πραγματοποιήσει την παρούσα συνδεσιμότητα για εφαρμογές IoT ευρείας περιοχής. Ωστόσο, όπως είναι γνωστό υπάρχει και μία αρκετά μεγάλη μερίδα του πληθυσμού, η οποία ζει απομακρυσμένα. Ζει σε απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές με ελάχιστη έως και καθόλου πρόσβαση σε βασικές υπηρεσίες. Ωστόσο, η ολοκληρωμένη κάλυψη σε όλο τον πλανήτη με επαρκή χωρητικότητα, αποδεκτή ποιότητα υπηρεσιών και προσιτό κόστος είναι έτοιμη να κυριαρχήσει τα επόμενα χρόνια. Από τη μια είναι τεχνικά αδύνατο για τα επίγεια δίκτυα να καλύψουν απομακρυσμένες περιοχές όπως έρημους και ψηλά δυσπρόσιτα βουνά. Παράλληλα, το γεγονός ότι θα προσφερθούν επίγειες υπηρεσίες επικοινωνίας για αραιοκατοικημένες περιοχές θα κοστίζει αρκετά.

Επιπλέον, τα επόμενα χρόνια τα αυτόνομα οχήματα και τα drones θα κυριαρχήσουν στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου. Θα παρέχουν μια ασφαλή, αποτελεσματική και οικολογική μετακίνηση. Ωστόσο, αυτά τα οχήματα έχουν αυστηρές απαιτήσεις αξιοπιστίας και καθυστέρησης καθώς θα πρέπει να εγγυηθούν την ασφάλεια των επιβατών τους. Παράλληλα, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα και τα drones έχουν αρκετές απαιτήσεις για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Ακόμη, με την συνεχή ανάπτυξη της οικονομίας, οι δραστηριότητες και οι μετακινήσεις των ανθρώπων θα αυξηθούν πολύ περισσότερο. Ο αριθμός των επιβατών που ταξιδεύουν με αεροπλάνα, ελικόπτερα, τρένα υψηλής ταχύτητας ή πλοία κρουαζιερόπλοια θα είναι τεράστιος. Αυτό θα δημιουργήσει την ανάγκη για επικοινωνία υψηλής ποιότητας. Παρά τις προσπάθειες των προηγούμενων γενιών έως το 5G, είναι γεγονός ότι η ενσωματωμένη συνδεσιμότητα απέχει πολύ από το να είναι ικανοποιητική στις περισσότερες περιπτώσεις εξαιτίας της υψηλής κινητικότητας, του περιορισμένου εύρους ζώνης και του υψηλού κόστους δορυφορικών επικοινωνιών.

Από τα παραπάνω κατανοούμε ότι οι απαιτήσεις για χαμηλή καθυστέρηση είναι αρκετά υψηλές, ακόμη περισσότερο σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα περασμένων γενιών. Οι νέες εφαρμογές όπως αυτόματα οχήματα και το Industry 4.0 έχουν αυστηρές απαιτήσεις σε σχέση με την αξιοπιστία, την καθυστέρηση και την εγγυημένη παράδοση. Το 6G υποστηρίζει την πυκνή συνδεσιμότητα με αρκετές συνδεδεμένων συσκευών. Οι συσκευές αυτές έχουν μικρό κόστος, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, αλλά συχνά μεταδίδουν ελάχιστο όγκο δεδομένων με ανοχή καθυστέρησης.

Όπως προβλέπουν οι ερευνητές από το 2030 και μετά, το σύστημα 6G θα παρέχει εξαιρετική χωρητικότητα, αξιοπιστία, αποτελεσματικότητα κ.λπ. ενώ παράλληλα θα κυριαρχήσει και θα καλύψει τις ατέλειες του 5G.

5.3 Συμπεράσματα

Είναι φανερό ότι η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0) έχει κυριαρχήσει στην σύγχρονη καθημερινή ζωή των ανθρώπων και είναι δίνει το έναυσμα για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, όπως τα αυτοκινούμενα οχήματα και τα έξυπνα εργοστάσια. Οι εφαρμογές αυτές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης έχουν δικτυακές απαιτήσεις, όπως για παράδειγμα η ευαισθησία στο χρόνο και η χρονική καθυστέρηση.

Τα δίκτυα Edge cloud τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στα δίκτυα Industry 4.0, θα έχουν πολύ αυστηρές απαιτήσεις σε σχέση με τη χωρητικότητα, την καθυστέρηση, το jitter, τη δυναμική, και την εγγυημένη παράδοση των δεδομένων. Επιπλέον, εξετάστηκαν οι τρέχουσες και τις μελλοντικές τεχνολογίες δικτύου που είναι επιρρεπείς στην ικανοποίηση των αυτών αλλά και των μελλοντικών απαιτήσεων.

Το 6G αναμένεται να κάνει την δυναμική του εμφάνιση το 2030 στην βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό κόσμο. Το 6G θα φιλοξενήσει νέες εφαρμογές του Industry 4.0., όπως η εικονική

Η χρήση των οπτικών δικτύων σε εφαρμογές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

πραγματικότητα, η αυτόματη οδήγηση και τα έξυπνα εργοστάσια δίνοντας έτσι την ευκαιρία για ποιοτικότερη, οικονομικότερη και αποδοτικότερη ποιότητα εμπειρίας.

Βιβλιογραφία

1. Anderson, C. (2012). *Makers: The New Industrial Revolution*. New York: Crown Publishing.
2. Xu, Min; David, Jeanne M.; Kim, Suk Hi (2018). The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges. *International Journal of Financial Research*, 9(2), 90
3. Al-Rodhan, N. (2015). The Moral Code: How to Teach Robots Right and Wrong. Retrieved from <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-08-12/moral-code>
4. Brynjolfsson, E., McAfee, A., & Spence, M. (2014). *New World Order: Labor, Capital, and Ideas in the Power Law Economy*. Retrieved from <https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2014-06-04/new-world-order>
5. Covey, S. (2005). *The 8th Habit: From Effectiveness to Greatness* (1st Free Press trade). New York: Free Press.
6. Schwab, K. (2015). *The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond*. Retrieved from <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>.
7. Munoz, Raul; Manges-Bafalluy, Josep; Vilalta, Ricard; Verikoukis, Christos; Alonso-Zarate, Jesus; Bartzoudis, Nikolaos; Georgiadis, Apostolos; Payaro, Miquel; Perez-Neira, Ana; Casellas, Ramon; Martinez, Ricardo; Nunez-Martinez, Jose; Requena Estes, Manuel; Pubill, David; Font-Bach, Oriol; Henarejos, Pol; Serra, Jordi; Vazquez-Gallego, Francisco (2016). The CTTC 5G End-to-End Experimental Platform : Integrating Heterogeneous Wireless/Optical Networks, Distributed Cloud, and IoT Devices. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 11(1)
8. Wang, Bin; Qi, Zhengwei; Ma, Ruhui; Guan, Haibing; Vasilakos, Athanasios V. (2015). A survey on data center networking for cloud computing. *Computer Networks*

9. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2015). Will Humans Go the Way of Horses: Labor in the Second Machine Age. Retrieved from <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-06-16/will-humans-go-way-horses>
10. Θεματική ενημέρωση 3: EdgeComputing 5G Πηγή http://digit-project.eu/fileadmin/documents/Workshops/April_2019/GR_Themen-Info_3_Edge_Computing_5G_gre.pdf
11. Li, Shancang; Xu, Li Da; Zhao, Shanshan (2018). 5G Internet of Things: A Survey. Journal of Industrial Information Integration
12. Skouby, K E; Lynggaard, P (2014). [IEEE 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I) - Mysore, India (2014.11.27-2014.11.29)] 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I) - Smart home and smart city solutions enabled by 5G, IoT, AAI and CoT services.
13. Tilly Gilbert. <https://stlpartners.com/articles/edge-computing/5g-edge-computing/>
14. [COLLINS AYUYA](#) (2022). Understanding the Relationship Between 5G and Edge Computing from <https://www.itbusinessedge.com/networking/5g-and-edge-computing/>
15. Virtual Machine based energy-efficient data center architecture for cloud computing : a Performance Perspective ,Kejiang Ye, Dawei Huang, Xiaohong Jiang ,Huajun Chen, Shuang Wu, China
16. NAJMUL HASSAN 1 , KOK-LIM ALVIN YAU 1 , AND CELIMUGE WU 2 (2019) . Edge Computing in 5G: A Review
17. Premsankar, Gopika; Di Francesco, Mario; Taleb, Tarik (2018). Edge Computing for the Internet of Things: A Case Study. IEEE Internet of Things Journal

18. Giannakas Ioannis. (2020). 4η Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0): Τι είναι και τι πρέπει να γνωρίζουμε γενικότερα from <https://ewood.gr/>
19. Giannakas Ioannis (2020) . Μια ιστορική αναδρομή στις 4 βιομηχανικές επαναστάσεις from <https://ewood.gr/>
20. Giannakas Ioannis. (2020). Industry 4.0 και οι θεμελιώδεις τεχνολογίες που το συνθέτουν σήμερα from <https://ewood.gr/>
21. Pointurier, Yvan; Benzaoui, Nihel; Lautenschlaeger, Wolfram; Dembeck, Lars (2019). End-to-End Time Sensitive Optical Networking: Challenges and Solutions. Journal of Lightwave Technology
22. Παπαδόπουλος Δημήτριος, Διεθνές Πανεπιστήμιο Της Ελλάδος, Εργασία Οπτοηλεκτρονικής, Εναλλακτικές Αρχιτεκτονικές Οπτικών Δικτύων
23. K. Kontodimas, K. Christodouloupoulos, E. Zahavi, and E. Varvarigos, (2018). Resource allocation in slotted optical data center networks,” in Proc. Int. Conf. Opt. Netw. Des. Model.,
24. Tilden, M. W. Robotics Can - And Will - Change Our Lives In The Near Future. Retrieved from <https://www.theguardian.com/zurichfutures/story/0,,1920335,00.html>
guardian.co.uk
25. Wolf, M. (2015, Jul./Aug.). Same as It Ever Was: Why the Techno-optimists Are Wrong. In The Fourth Industrial Revolution. Foreign Affairs
26. Βενιέρης, Ι., Δίκτυα Ευρείας Ζώνης, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2003.
27. Littman M. Kemper,(2022), Building Broadband Networks, CRC Press, Florida.,
28. Μπούρας Χ., Ευρυζωνικές Τεχνολογίες, Ψηφιακό μάθημα, Πανεπιστήμιο Πατρών

29. Βλάχος Κυριάκος, Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών, Ψηφιακό μάθημα, Πανεπιστήμιο Πατρών
30. Talha Rahman, Md. Sabbir Hossain, Nebojsa Stojanovic , Stefano Calabrò, Jinlong Wei , Changsong Xie , Maxim Kuschnerov .(2020) . 1.6Tb/s Transmission Feasibility Employing IM/DD for Datacentre Networks
31. Tommaso Fedullo , Alberto Morato , Federico Tramarin , Luigi Rovati and Stefano Vitturi .(2022). A Comprehensive Review on Time Sensitive Networks with a Special Focus on Its Applicability to Industrial Smart and Distributed Measurement Systems
32. Ana Larrañaga , M. Carmen Lucas-Estañ , Imanol Martinez , Iñaki Val , Javier Gozalvez HW and Communication Systems Area, Ikerlan Technology Research Centre, Mondragón 20500, Spain 2UWICORE Laboratory, Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), Elche 03202, Spain. (2020) Analysis of 5G-TSN Integration to Support Industry 4.0
33. Yvan Pointurier , Senior Member, IEEE, Nihel Benzaoui, Wolfram Lautenschlaeger , and Lars Dembeck (2019). End-to-End Time-Sensitive Optical Networking: Challenges and Solutions
34. WEI JIANG, BIN HAN , MOHAMMAD ASIF HABIBI ,HANS DIETER SCHOTTEN. (2021) The Road Towards 6G: A Comprehensive Survey
35. N. G. Nayak, F. Durr, and K. Rothermel, (2016) .Time-sensitive software defined networks (TSSDN) for real-time applications, in Proc. 24th Int. Conf. Real-Time Netw. Syst.
36. M. Bennis, M. Debbah, and H. V. Poor,(2018). Ultrareliable and low-latency wireless communication: Tail, risk and scale, Proc. IEEE

37. R. Jurdi, S. R. Khosravirad, and H. Viswanathan, (2018) Variable-rate ultrareliable and low-latency communication for industrial automation, in Proc. 52nd Annu. Conf. Inf. Sci. Syst.,
38. Q. Qiu, “Future industrial network requirement—Discussion for TSN,” IEEE 802.1 interim meeting, Sep. 2017. [Online]. Available: http://iee802.org/1/files/public/docs2017/new-qiu-future-industrial-network_requirement-0917-v01.pdf
39. Kostas Sozos, Stavros Deligiannidis, George Sarantoglou, Charis Mesaritakis and Adonis Bogris (2022). Recurrent Neural Networks and Recurrent Optical Spectrum Slicers as Equalizers in High Symbol Rate Optical Transmission Systems
40. Sébastien Bigo , Fellow, IEEE, Nihel Benzaoui , Konstantinos Christodoulopoulos, Ray Miller, Wolfram Lautenschlaeger , Florian Frick .(2021) Dynamic Deterministic Digital Infrastructure for Time-Sensitive Applications in Factory Floors
41. E. Oztemel and S. Gursev, Literature review of Industry 4.0 and related technologies, J. Intell. Manuf.
42. N. G. Nayak, F. Durr, and K. Rothermel, (2016). Time-sensitive software defined networks (TSSDN) for real-time applications,” in Proc. 24th Int. Conf. Real-Time Netw. Syst.
43. S. S. Craciunas, R. S. Oliver, M. Chmel'ik, and W. Steiner, (2016) . Scheduling real-time communication in IEEE 802.1Qbv time sensitive networks,” in Proc. Int. Conf. Real-Time Netw. Syst
44. Κάτσινος Απόστολος (2018), Τεχνοοικονομική ανάλυση έργου NGA Εκάλης, Διπλωματική Εργασία , Πανεπιστήμιο Πειραιώς

45. N. Benzaoui et al., (2018) .DDN: Dynamic deterministic networks, in Proc. Eur. Conf. Opt. Commun.
46. Χρήστος Μπούρας (2017), Ευρυζωνικές Τεχνολογίες. Δίκτυα FTTx (Μέρος 1) ,Έκδοση: 2.0, Πανεπιστήμιο Πατρών
47. H. Zeng, X. Liu, S. Mageed, A. Shen, and F. Effenberger, (2019) Digital signal processing for high-speed fiber-wireless convergence,” IEEE/OSA J. Opt. Commun. Netw.
48. J. Perello’ et al., (2013) All-optical packet/circuit switching-based data center network for enhanced scalability, latency, and throughput .
49. Zhou, Z.; Shou, G.(2019) An Efficient Configuration Scheme of OPC UA TSN in Industrial Internet. In Proceedings of the 2019 Chinese Automation Congress (CAC), Hangzhou, China
50. Pop, P.; Raagaard, M.L.; Gutierrez, M.; Steiner, W. (2018) Enabling Fog Computing for Industrial Automation Through Time-Sensitive Networking (TSN). IEEE Commun. Stand.
51. Monteiro, K.; Rocha, E.; Silva, E.; Santos, G.L.; Santos, W.; Endo, P.T. (2018) Developing an e-Health System Based on IoT, Fog and Cloud Computing. In Proceedings of the 2018 IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing Companion (UCC Companion), Zurich, Switzerland
52. Ma, J.; Feng, S.; Li, X.; Zhang, X.; Zhang, D. (2019) Research on the Internet of Things Architecture for Intelligent Passenger Transportation Services and its Application. In Proceedings of the 2019 4th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT)

53. Trilles, S.; González-Pérez, A.; Huerta, J.(2020) An IoT Platform Based on Microservices and Serverless Paradigms for Smart Farming Purposes. Sensors
54. Ooi, B.Y.; Shirmohammadi, S. (2020) The potential of IoT for instrumentation and measurement. IEEE Instrum. Meas. Mag.
55. Lu, Y. (2017) Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. J. Ind. Inf. Integr.
56. Ghazivakili, M.; Demartini, C.; Zunino, C. (2018) Industrial data-collector by enabling OPC-UA standard for Industry 4.0. In Proceedings of the 2018 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS)
57. Lambert, L. (2017). The Four Challenges of the Fourth Industrial Revolution. Market Mogul. Retrieved from <https://themarketmogul.com/industry-4-0-challenges/?hvid=2Gt2CE>
58. Gershenfeld, N., & Vasseur, J. P. (2014). As Objects Go Online: The Promise (and Pitfalls) of the Internet of Things. Retrieved from <https://www.foreignaffairs.com/articles/2014-02-12/objects-go-online>
59. Goode, L. (2018). Everything Is Connected, And There's No Going Back. The Verge. Retrieved from <https://www.theverge.com/2018/1/17/16898728/ces-2018-tech-trade-shows-gadgets-iot>
60. Höller, J., et al.. (2014). From Machine-to-Machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence (1 st ed.). Amsterdam: Elsevier.
61. Jee, Y.-S. (2017). Exercise rehabilitation in the fourth industrial revolution. Journal of Exercise Rehabilitation, 13(3), 255-256. <https://doi.org/10.12965/jer.1735012.506>

62. Jules, T. D. (Ed.) (2017). *Public Policy and Governance. The Global Educational Policy Environment in the Fourth Industrial Revolution: Gate, Regulated and Governed.* United Kingdom: Emerald Group Publishing Limited.
63. Δημήτρης Φιλίππου (2019) Τοπολογίες AON/PON οπτικών δικτύων FTTH Fiber to the Home ή Fear to the Haul
64. Kejiang Ye, Dawei Huang, Xiaohong Jiang, Huajun Chen, Shuang Wu (2010). *Virtual Machine Based Energy-Efficient Data Center Architecture for Cloud Computing: A Performance Perspective*
65. Gopika Premsankar, Mario Di Francesco, and Tarik Taleb (2018) . *Edge Computing for the Internet of Things: A Case Study*
66. Bin Wang, Zhengwei Qi, Ruhui Ma, Haibing Guan, Athanasios V. Vasilakos. (2015) *A survey on data center networking for cloud computing, Computer Networks*
67. Shancang Li, Li Da Xu, Shanshan Zhao (2018) . *5G Internet of Things: A Survey, Journal of Industrial Information Integration*
68. K E Skouby CMI, P Lynggaard . *Smart Home and Smart City Solutions enabled by 5G, IoT, AAI and CoT Services*
69. Raul Muñoz, Josep Manges Bafalluy, Ricard Vilalta, Christos Verikoukis, Jesus Alonso-Zarate, Nikolaos Bartzoudis, Apostolos Georgiadis, Miquel Payaró, Ana Perez-Neira, Ramon Casellas, Ricardo Martínez, José Núñez-Martínez, Manuel Requena Estesó, David Pubill, Oriol Font-Bach, Pol Henarejos, Jordi Serra, and Francisco Vazquez-Gallego (2016) *The CT TC 5G End-to-End Experimental Platform*
70. Ψηφιακή Επανάσταση Πηγή :
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A8%CE%B7%CF%86%CE%B9%CE%B1%CE>

https://www.ip.gr/el/dictionary/402-Data_Center

71. Data Center πηγή : https://www.ip.gr/el/dictionary/402-Data_Center
72. A. Ahmed and E. Ahmed, (2016) A survey on mobile edge computing, in Proc. 10th Int. Conf. Intell. Syst. Control (ISCO)
73. Q. V. Pham , F. Fang, V. N. Ha, M. Le, Z. Ding, L. B. Le, and W. J. Hwang, “A survey of multi-access edge computing in 5G and beyond: Fundamentals, technology integration, and state-of-the-art, 2019, arXiv:1906.08452. <https://arxiv.org/abs/1906.08452>
74. A comprehensive review on time sensitive networks with a special focus on its applicability to Industrial smart and Distributed measurement Systems , Tommaso Fedullo, Alberto Morato, Federico Tramarin, Luig Rovati, Stefano Vitturi
75. K. Antonakoglou, X. Xu, E. Steinbach, T. Mahmoodi, and M. Dohler, (2018) Toward haptic communications over the 5G tactile Internet,” IEEE Commun. Surveys Tuts.
76. T. Taleb, S. Dutta, A. Ksentini, M. Iqbal, and H. Flinck, (2017) Mobile edge computing potential in making cities smarter, IEEE Commun. Mag.
77. Y. Yu, “Mobile edge computing towards 5G: Vision, recent progress, and open challenges,” China Commun.
78. S. Raza, S. Wang, M. Ahmed, and M. R. Anwar, ‘(2019) A survey on vehicular edge computing: Architecture, applications, technical issues, and future directions, Wireless Commun. Mobile Comput.
79. S. York and R. Poynter, (2017) Global mobile market research in 2017, in Mobile Research. New York, NY, USA: Springer,

80. Z. Cui and J. Wang, (2018) Enhanced software-defined network controller to support ad-hoc radio access networks,U.S. Patent
81. The path to 800G – new Ethernet standards for higher speeds from <https://osi.rosenberger.com/news-media/800g-ethernet-standards/>
82. I. A. Ridhawi, M. Aloqaily, Y. Kotb, Y. A. Ridhawi, and Y. Jararweh, (2018)A collaborative mobile edge computing and user solution for service composition in 5G systems, Trans. Emerg. Telecommun. Technol
83. B. Yang, Z. Yu, J. Lan, R. Zhang, J. Zhou, and W. Hong, (2018) Digital beamforming-based massive MIMO transceiver for 5G millimeter-wave communications, IEEE Trans. Microw. Theory Techn
84. Edge Computing 5G Πηγή [:http://digit-project.eu/fileadmin/documents/Workshops/April_2019/GR_Themen-Info_3_Edge_Computing_5G_gre.pdf](http://digit-project.eu/fileadmin/documents/Workshops/April_2019/GR_Themen-Info_3_Edge_Computing_5G_gre.pdf)
85. N. C. Luong, P. Wang, D. Niyato, Y.-C. Liang, Z. Han, and F. Hou, “Applications of economic and pricing models for resource management in 5G wireless networks: A survey,” IEEE Commun. Surveys Tuts.
86. E. K. Markakis, K. Karras, A. Sideris, G. Alexiou, and E. Pallis, (2017) Computing, caching, and communication at the edge: The cornerstone for building a versatile 5G ecosystem, IEEE Commun. Mag.
87. K. Zhang, Y. Mao, S. Leng, Q. Zhao, L. Li, X. Peng, L. Pan, S. Maharjan, and Y. Zhang, (2016) Energy-efficient offloading for mobile edge computing in 5G heterogeneous networks,IEEE Access.
88. Y. Ai, M. Peng, and K. Zhang, (2018) Edge computing technologies for Internet of Things: A primer, Digit. Commun. Netw.

