



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ : ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**  
**Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και**  
**των Υπολογιστών**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Δίκτυα ευαίσθητα στον χρόνο και εφαρμογές τους στην 4η**  
**βιομηχανική επανάσταση**

**Ιωάννης Βλαχώνης**

**A.M. 20021**

**Επιβλέπων καθηγητής: Δρ Αντώνης Μπόγρης, Καθηγητής**

**Αθήνα, 2022**

**(Κενό φύλλο)**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Δίκτυα ευαίσθητα στον χρόνο και εφαρμογές τους στην 4η βιομηχανική  
επανάσταση**

**Ιωάννης Βλαχώνης**

**A.M. 20021**

**Εισηγητής:**

**Δρ Αντώνης Μπόγρης, Καθηγητής**

**Εξεταστική Επιτροπή: Νικόλαος Ψαρράς  
Νικόλαος Μυριδάκης**

**Ημερομηνία εξέτασης: 13/04/2022**

**(Κενό φύλλο)**

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Βλαχώνης Ιωάννης** του **Γεωργίου** με αριθμό μητρώου **mcse20021** φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών **Επιστήμη & Τεχνολογία της Πληροφορικής & των Υπολογιστών** του Τμήματος **Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών** της Σχολής **Μηχανικών** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Βλαχώνης Ιωάννης

**(Κενό φύλλο)**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Αντώνιο Μπόγρη κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την υπομονή την συμπαράσταση και την ενθάρρυνση που μου έδινε καθ' όλη την διάρκεια υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, την γυναίκα μου και το παιδί μου οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

**(Κενό φύλλο)**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται σε Δίκτυα ευαίσθητα στο χρόνο (Time Sensitive Networking - TSN). Θα διερευνηθούν οι απαιτήσεις τέτοιων δικτύων και η επεκτασιμότητά τους.

Ακόμα, θα εξεταστούν οι περιπτώσεις χρήσης τους με έμφαση στις βιομηχανικές εφαρμογές. Θα αναλυθούν τα 5G ιδιωτικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας τα οποία είναι αναπόσπαστο στοιχείο της 4<sup>ης</sup> βιομηχανικής επανάστασης, καθώς και τα πλεονεκτήματα του μηδενικού χρόνου απόκρισης, της μεγαλύτερης χωρητικότητάς τους και των υψηλών ταχυτήτων.

## ABSTRACT

This thesis refers to Time Sensitive Networking (TSN). The requirements of such networks and their scalability will be investigated.

Also, their use cases will be examined with emphasis on industrial applications. The 5G private mobile networks that are an integral part of the 4th industrial revolution will be analyzed, as well as the advantages of zero response time, their larger capacity and high speeds.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Δίκτυα ευαίσθητα στο χρόνο (TSN), 5G, 4<sup>η</sup> βιομηχανική επανάσταση

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : Η 4 <sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση “Industry 4.0” .....	13
1.1 Βασικές Έννοιες .....	13
1.2 Ιστορική Αναδρομή (Από την 1 <sup>η</sup> στην 4 <sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση)....	14
1.2.1 Η 1 <sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση (1760-1840).....	14
1.2.2 Η 2 <sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση (1870 – 1914).....	14
1.2.3 Η 3 <sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση (1950 – 1970).....	15
1.2.4 Η 4 <sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση (έως σήμερα).....	16
1.3 Πλεονεκτήματα του Industry 4.0 .....	16
1.4 Προκλήσεις του Industry 4.0 .....	17
1.5 Βασικά στοιχεία του Industry 4.0 .....	18
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> Το δίκτυο 5G.....	22
2.1 Ορισμός του 5G.....	22
2.2 Σκοπός του 5G .....	22
2.3 Ιστορική εξέλιξη του 5G .....	23
2.4 Πλεονεκτήματα 5G.....	25
2.5 Απαιτήσεις τεχνικής απόδοσης 5G .....	26
2.6 Σύγκριση 4G με 5G.....	28
2.7 Τεχνολογίες 5G.....	29
2.7.1 Διπλή συνδεσιμότητα LTE -NR.....	29
2.7.2 Εικονικοποιημένη λειτουργία δικτύου (Network Function Virtualization-NFV) .....	30
2.7.3 Δίκτυο καθοριζόμενο από το λογισμικό (SDN) .....	31
2.7.4 Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου (Multi-access edge computing) .....	31
2.7.5 Συνάθροιση φορέων και χιλιοστό-μετρικά κύματος (mm Wave) .....	32
2.7.6 Ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων-εξόδων.....	32

2.8 Αρχιτεκτονική δικτύου 5G .....	33
2.9 Επιθέσεις στο δίκτυο 5G.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> Εφαρμογές 5G στην 4 <sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση .....	37
3.1 Εισαγωγή.....	37
3.2 Περιπτώσεις Χρήσης .....	38
3.2.1 Ενισχυμένες κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας .....	38
3.2.2 Συνδεδεμένα οχήματα .....	38
3.2.3 Ενισχυμένα πολυμέσα.....	39
3.2.4 Μαζικό Διαδίκτυο των πραγμάτων .....	39
3.2.5 Εξαιρετικά αξιόπιστες εφαρμογές χαμηλής καθυστέρησης.....	40
3.3 Κλάδοι εφαρμογών .....	41
3.3.1 Κλάδος υγείας .....	41
3.3.2 Κλάδος Αυτοκινητοβιομηχανίας.....	43
3.3.3 Κλάδος Ενέργειας.....	44
3.3.4 Κλάδος Βιομηχανίας.....	47
3.3.5 Κλάδος Ψυχαγωγίας και ενημέρωσης .....	49
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> Διαδίκτυο των Πραγμάτων .....	52
4.1 Ορισμός του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) .....	52
4.2 Χαρακτηριστικά και Απαιτήσεις IoT .....	52
4.3 Αρχιτεκτονική του IoT .....	53
4.4 Μοντέλα επικοινωνίας στο IoT .....	55
4.5 Πρωτόκολλα επικοινωνίας .....	59
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> Δίκτυα ευαίσθητα στο χρόνο (TSN-Time Sensitive Networking) 60	
5.1 Ορισμός TSN.....	60
5.2 Ανάλυση TSN .....	64
5.2.1 Συγχρονισμός ροών .....	66
5.2.2 Διαχείριση ροών .....	67

5.2.3 Διαμόρφωση ροών .....	72
5.2.4 Ακεραιότητα ροών .....	74
5.3 PROFINET, OPC UA μέσω TSN .....	75
5.4 Διαφορές TSN και IEEE 1588 .....	76
5.5 Οφέλη του TSN.....	78
5.6 Σύγκλιση IT και OT μέσω TSN .....	79
5.7 Εφαρμογές TSN .....	80
5.7.1 Εισαγωγή .....	80
5.7.2 Απαιτήσεις των TSN εφαρμογών.....	80
5.7.3 Επίδραση TSN στις βιομηχανικές εφαρμογές .....	86
5.7.4 TSN και 5G.....	87
Βιβλιογραφία.....	88

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Η 4<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση “Industry 4.0”

## 1.1 Βασικές Έννοιες

Τα ραγδαία επιτεύγματα στις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (Information & Communication Technologies, ICT) επηρεάζουν δραστικά τους περισσότερους κλάδους βιομηχανικής παραγωγής. Ωστόσο, αυτή η ταχεία εξέλιξη απαιτεί μια σωστή κατανόηση αλλά και ορισμό, τόσο από τους ερευνητές όσο και από τους επαγγελματίες, προκειμένου να επιτευχθεί μια ευρεία διάδοση της τεχνολογικής προόδου. Σήμερα, η τάση προς μια ψηφιακή επανάσταση στον τομέα της βιομηχανικής παραγωγής είναι γνωστή ως 4η Βιομηχανική Επανάσταση (“Industry 4.0”). Το “Industry 4.0” σαν έννοια χρησιμοποιείται ευρέως στην Ευρώπη και κυρίως στο βιομηχανικό τομέα της Γερμανίας. Στις Η.Π.Α. και σε άλλες αγγλόφωνες χώρες μερικοί σχολιαστές χρησιμοποιούν εναλλακτικά τους όρους «Ίντερνετ των Πραγμάτων» (Internet of Things, IoT), «Ίντερνετ των Όλων» (Internet of Everything, IoE), ή «Βιομηχανικό Ίντερνετ» (Industrial Internet) [1]. Το κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των εννοιών είναι η αναγνώριση ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι βιομηχανικής παραγωγής βρίσκονται υπό τη δίνη επιρροής ενός ψηφιακού μετασχηματισμού. Η πραγματική καινοτομία δεν προκύπτει τόσο από την ύπαρξη μίας νέας τεχνολογίας όσο από το συνδυασμό διαθέσιμων τεχνολογιών αλλά με ένα διαφορετικό τρόπο, παρέχοντας έτσι μία πληθώρα από νέες δυνατότητες. Έτσι στο πλαίσιο του Industry 4, εξαρτήματα, προϊόντα, μηχανές, ανταλλακτικά και άλλες φυσικές οντότητες, αποκτούν τη δική τους ταυτότητα στο δίκτυο. Μπορούν να διαπραγματεύονται μεταξύ τους ή να είναι διασυνδεδεμένα και η αλληλεπίδρασή τους να μπορεί να προσομοιωθεί. Τα διάφορα συστήματα μπορούν εικονικά να ολοκληρωθούν, να δοκιμασθούν και να βελτιστοποιηθούν. Το ψηφιακό εργοστάσιο και η εικονική ανάθεση είναι προσβάσιμη σε οποιονδήποτε εξουσιοδοτημένο. Αλγόριθμοι που παρέχουν τη δυνατότητα για αυτόνομη βελτιστοποίηση πρόκειται να φέρουν επανάσταση στον προγραμματισμό παραγωγής. Η πραγματική επανάσταση δεν προκύπτει κατ’ ανάγκη από την τεχνική υλοποίηση αλλά από τους ορίζοντες που ανοίγονται για νέα επιχειρησιακά μοντέλα, υπηρεσίες και εξατομικευμένα προϊόντα [2].

## **1.2 Ιστορική Αναδρομή (Από την 1<sup>η</sup> στην 4<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση)**

Παρουσιάζονται χρονολογικά, τα τέσσερα στάδια της βιομηχανικής παραγωγής.

### **1.2.1 Η 1<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση (1760-1840)**

Γίνεται η ανακάλυψη της ατμομηχανής και η εισαγωγή της στην παραγωγική διαδικασία μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα. Αυτό συμπεριλάμβανε τη μετάβαση από τη χειροκίνητη παραγωγή στη χρήση ατμοκίνητων κινητήρων και στη χρήση νερού ως πηγή ενέργειας. Αυτό οδήγησε στον εκ-μηχανισμό της παραγωγικής διαδικασίας. Ο όρος "εργοστάσιο" άρχισε να γίνεται γνωστός. Μία από τις βιομηχανίες που πρώτη υιοθέτησε τέτοιες μεθόδους παραγωγής και που επωφελήθηκε από αυτές τις αλλαγές είναι η βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας [1], [3], [4].

Η ζήτηση για βιομηχανικά προϊόντα είχε μόνο μία διάσταση, τον όγκο παραγωγής [5].

### **1.2.2 Η 2<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση (1870 – 1914)**

Παρατηρούμε τη χρήση νέων πηγών ενέργειας όπως είναι ο ηλεκτρισμός. Η ηλεκτρική ενέργεια, εκτός από την ηλεκτροδότηση των σπιτιών (εφεύρεση λαμπτήρα πυρακτώσεως σύρματος από τον Θωμά Έντισον), είχε αυξανόμενη ζήτηση και στον βιομηχανικό τομέα. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες, άρχισαν να κινούν υπόγειους σιδηροδρόμους, τραμ, και σιδηροδρόμους μεγάλων αποστάσεων. Ο ηλεκτρισμός κατέστησε δυνατή την ανάπτυξη νέων τεχνικών μεθόδων στις χημικές και μεταλλουργικές βιομηχανίες. Ακόμη, ο ηλεκτρισμός συντέλεσε στην αλλαγή των προτύπων εργασίας στο εργοστάσιο, έτσι οδηγούμαστε πλέον στην εισαγωγή της μαζικής παραγωγής [1], [3], [4]. Η εναλλαγή μεταξύ των εξαρτημάτων καθώς και οι κινούμενες γραμμές συναρμολόγησης (χρήση μεταφορικών ταινιών) επέτρεψαν την ανάπτυξή της

παρέχοντας τη δυνατότητα για προϊόντα χαμηλού κόστους μέσω της κατασκευής σε μεγάλη κλίμακα [2], [5], [6]. Ωστόσο, ο αριθμός των παραλλαγών που προσφέρονταν από αυτή την παραγωγή ήταν πολύ περιορισμένος, όπως αποδεικνύεται από τη διάσημη δήλωση του Henry Ford «κάθε πελάτης μπορεί να έχει ένα αυτοκίνητο βαμμένο σε οποιοδήποτε χρώμα όσο αυτό είναι μαύρο». Η ζήτηση κατά τη διάρκεια του “Industry 2.0” είχε δύο διαστάσεις, τον όγκο και την ποικιλία. Δύο καινοτόμοι ο Henry Ford και ο Taiichi Ohno αντιμετώπισαν ο πρώτος την έλλειψη προσφοράς σε όγκους προϊόντων χρησιμοποιώντας γραμμές συναρμολόγησης μαζικής παραγωγής, ενώ ο δεύτερος την απαίτηση των πελατών σε ποικιλίες προϊόντων, αναπτύσσοντας το σύστημα παραγωγής της Toyota [5].

### **1.2.3 Η 3<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση (1950 – 1970)**

Γνωστή και ως ψηφιακή επανάσταση σχετίζεται με την αντικατάσταση των αναλογικών και μηχανικών συστημάτων από ψηφιακά. Συνοδεύεται επίσης από τη ραγδαία εξέλιξη των υπολογιστών καθώς και της τεχνολογίας πληροφοριών [4]. Τεχνολογίες αυτοματισμού αλλά και μικρο-ηλεκτρονικών χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική παραγωγή. Το 1969 η εταιρία Modicon παρουσίασε τον πρώτο προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (Programmable Logical Controller, PLC) ο οποίος επέτρεπε τον ψηφιακό προγραμματισμό συστημάτων αυτοματισμού. Η μίξη των τεχνολογιών αυτών οδηγεί στην αυτοματοποιημένη παραγωγή. Αυτές οι εξελίξεις στις τεχνολογίες παραγωγής ήταν πολύ στενά συνδεδεμένες με τα ICT.

Κατά την 3 η Βιομηχανική Επανάσταση οι εξελίξεις των ICT αποτέλεσε τον πυρήνα σε κάθε αλλαγή των μοντέλων παραγωγής. Έτσι για παράδειγμα η ευρεία υιοθέτηση του αριθμητικού ελέγχου με υπολογιστή (Computer Numerical Control, CNC) και των βιομηχανικών ρομπότ κατέστησε δυνατή τη δημιουργία των ευέλικτων συστημάτων παραγωγής (Flexible Manufacturing Systems, FMSs). Επιπλέον η σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer-Aided Design CAD), η κατασκευή με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer-Aided Manufacturing CAM) καθώς και ο σχεδιασμός διεργασιών με τη βοήθεια

υπολογιστή (Computer-Aided Processing Planning CAPP) κατέστησε δυνατή την ολοκληρωμένη κατασκευή με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer Integrated Manufacturing CIM). Η ζήτηση προϊόντων καθορίζεται πλέον από τρεις διαστάσεις όγκο, ποικιλία και χρόνο παράδοσης [5].

#### **1.2.4 Η 4<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση (έως σήμερα)**

Αποτελεί την επόμενη μεγάλη «διασπαστική τεχνολογία» στη βιομηχανική παραγωγή. Η αυτοματοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας οδηγείται σε ένα νέο επίπεδο με την εισαγωγή εξατομικευμένων και ευέλικτων μεθόδων μαζικής παραγωγής. Το εργοστάσιο του παρελθόντος βασίστηκε στην παραγωγή χιλιάδων πανομοιότυπων αντίτυπων, όπως καταδεικνύεται και από την περίφημη δήλωση του Henry Ford. Το εργοστάσιο του μέλλοντος όμως θα επικεντρωθεί στη «μαζική εξατομίκευση». Αυτό σημαίνει ότι οι μηχανές θα λειτουργούν ανεξάρτητα ή θα συνεργάζονται με τους ανθρώπους για τη δημιουργία ενός συστήματος παραγωγής προσαρμοσμένου στις ανάγκες του πελάτη [1].

Συνοψίζοντας, η βασική ιδέα του Industry 4.0 είναι η χρησιμοποίηση της «αναδυόμενης» τεχνολογίας πληροφοριών για την εφαρμογή του Ίντερνετ των πραγμάτων & υπηρεσιών (IIoT), έτσι ώστε οι επιχειρηματικές διαδικασίες και οι μηχανολογικές διαδικασίες να είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους, δίνοντας τη δυνατότητα στην παραγωγή να λειτουργεί με έναν ευέλικτο, αποδοτικό και οικολογικό τρόπο, παρέχοντας σταθερά υψηλή ποιότητα σε χαμηλό κόστος [7].

### **1.3 Πλεονεκτήματα του Industry 4.0**

**Βελτιστοποίηση:** η βελτιστοποίηση της παραγωγής θα βελτιωθεί με ένα "έξυπνο εργοστάσιο" που περιέχει εκατοντάδες ή χιλιάδες Smart Devices που είναι σε θέση να αυτο-βελτιστοποιήσουν την παραγωγή τους. Αυτό θα οδηγήσει σε σχεδόν μηδενική, μείωση του χρόνου. Έτσι η παραγωγή γίνεται συνεχής και σταθερή κι αυτό ωφελεί τις βιομηχανίες - εταιρείες.



**Προσαρμογή:** η δημιουργία μιας ευέλικτης αγοράς προσανατολισμένης στον πελάτη θα βοηθήσει στην ικανοποίηση των αναγκών του πληθυσμού γρήγορα και ομαλά. Με αυτόν τον τρόπο θα εξαφανιστεί κι το χάσμα μεταξύ του κατασκευαστή και του πελάτη.

**Ενθάρρυνση της έρευνας:** Η υιοθέτηση των τεχνολογιών του Industry 4.0 θα προωθήσει την έρευνα σε διάφορους τομείς και θα έχει επιπτώσεις και στην εκπαίδευση. Μια νέα βιομηχανία τύπου 4.0 θα απαιτεί ένα νέο σύνολο δεξιοτήτων το οποίο θα οδηγήσει την εκπαίδευση και την κατάρτιση σε νέο πρόγραμμα έτσι ώστε να χαρίζουν στη βιομηχανία την εξειδίκευση που χρειάζεται.

## 1.4 Προκλήσεις του Industry 4.0

Μερικές από τις προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει το Industry 4.0 είναι οι παρακάτω:

**Ασφάλεια:** Αυτή η ηλεκτρονική ενσωμάτωση θα δώσει χώρο για παραβιάσεις της ασφάλειας και διαρροές δεδομένων. Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η κλοπή του κυβερνοχώρου. Σε αυτή τη περίπτωση το πρόβλημα δεν είναι ατομικό και μπορεί να κοστίζει στους παραγωγούς αρκετά χρήματα αλλά κι δυσφήμιση.

**Κεφάλαιο:** Μια τέτοια μετατροπή θα απαιτήσει τεράστια επένδυση σε μια νέα τεχνολογία που δεν ακούγεται φθηνή. Επιπλέον, ένας τέτοιος μετασχηματισμός θα απαιτήσει ένα τεράστιο κεφάλαιο, το οποίο αποξενώνει τις μικρότερες επιχειρήσεις και μπορεί να τους κοστίζει το μερίδιο αγοράς τους στο μέλλον.

**Απασχόληση:** Οι εργαζόμενοι θα πρέπει να αποκτήσουν διαφορετικά ή ολοκαίνουργια προσόντα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τα ποσοστά απασχόλησης να ανεβαίνουν, αλλά θα αποξενώσει και τους εργαζόμενους του ήδη υπάρχοντος τομέα. Έτσι θα πρέπει οι εργαζόμενοι της "παλαιάς κοπής" να αποκτήσουν νέα εξειδίκευση έτσι ώστε να διατηρήσουν την εργασία τους. Με λίγα λόγια θα ανοίξουν νέες θέσεις εργασίας για τους νέους

εργαζόμενους ενώ οι παλαιοί θα πρέπει να εκπαιδευτούν εκ νέου σύμφωνα με τις ανάγκες της νέας τους εργασίας.

**Προστασία προσωπικών δεδομένων:** Σε μια τέτοια διασυνδεδεμένη βιομηχανία, οι παραγωγοί πρέπει να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα. Για τον πελάτη, αυτό μπορεί να μοιάζει με απειλή για την ιδιωτική του ζωή. Την ίδια ανησυχία, φυσικά θα αντιμετωπίσουν και οι μικρές ή μεγάλες εταιρείες που δεν έχουν μοιραστεί τα δεδομένα τους στο παρελθόν θα πρέπει να εργαστούν για ένα πιο διαφανές περιβάλλον [3].

## **1.5 Βασικά στοιχεία του Industry 4.0**

Εννέα τεχνολογικές τάσεις έχουν προσδιοριστεί ως κύρια εργαλεία για τη διαμόρφωση της βιομηχανικής παραγωγής [8]. Αυτές είναι:

### **Ανάλυση Μεγάλου Όγκου Δεδομένων (Big Data Analytics)**

Ο τομέας της σύγχρονης μεταποίησης βρίσκεται αντιμέτωπος με την αύξηση του όγκου των δεδομένων από διάφορες πηγές και υπάρχει ανάγκη να συγκεντρωθούν όλα αυτά τα δεδομένα, να ταξινομηθούν και οργανωθούν με συνεκτικό τρόπο και να γίνει χρήση εργαλείων ανάλυσης για την υποστήριξη των διαφόρων αποφάσεων της διοίκησης. Οι επιχειρήσεις δεν έχουν πλέον την πολυτέλεια να αγνοούν τα δεδομένα που εισέρχονται, καθώς θα μπορούσαν να αποδειχθούν πολύ χρήσιμα για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, της ποιότητας και της εξυπηρέτησης, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της παραγωγικής διαδικασίας. Για παράδειγμα, τα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν από τις διάφορες φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας. Οι μεγάλοι όγκοι δεδομένων θα αναλυθούν σε συσχέτιση μεταξύ τους, προκειμένου να προσδιοριστούν οι φάσεις με περιττές διαδικασίες που μπορούν να εξορθολογιστούν.

Οι συσχετίσεις αυτές είναι:

- Συνδέσεις που σχετίζονται με αισθητήρες και δίκτυα
- Υπηρεσίες του υπολογιστικού νέφους (cloud computing)
- Εικονικό μοντέλο παραγωγής
- Περιεχόμενο / πλαίσιο παραγωγής
- Κοινή χρήση και συνεργασία μεταξύ ενδιαφερομένων
- Προσαρμογή βάσει κριτηρίων

### **Ρομποτική**

Η χρήση ρομπότ στη παραγωγική διαδικασία δεν είναι κάτι το καινοτόμο. Ωστόσο, τα ρομπότ υπόκεινται επίσης σε βελτιώσεις και εξέλιξη. Οι δημιουργοί τους τα σχεδιάζουν να είναι αυτόνομα και διαδραστικά, έτσι ώστε να μην είναι πλέον απλά εργαλεία που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο, αλλά να είναι ήδη ενσωματωμένες μονάδες εργασίας που λειτουργούν μαζί με τους ανθρώπους.

### **Προσομοίωση**

Σε προηγούμενες φάσεις, αν οι κατασκευαστές ήθελαν να ελέγξουν εάν μια διαδικασία λειτουργεί αποδοτικά και αποτελεσματικά, απαιτούνταν δοκιμές και σφάλματα. Το Industry 4.0 χρησιμοποιεί μηχανισμούς αποαύλοποίησης για τη δημιουργία ψηφιακών δίδυμων που χρησιμοποιούνται για προσομοίωση μοντέλων και δοκιμών. Οι μηχανισμοί προσομοίωσης θα διαδραματίσουν σημαντικότερους ρόλους στη βελτιστοποίηση της παραγωγής, καθώς και τη ποιότητα των μελλοντικών προϊόντων.

## **Οριζόντια και κάθετη ολοκλήρωση συστημάτων**

Το να υπάρχουν ολοκληρωμένα λειτουργικά/παραγωγικά και πληροφοριακά συστήματα είναι κάτι στο οποίο στοχεύει το Industry 4.0. Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα σενάριο όπου η μηχανική, η παραγωγή, η εμπορία, και η εξυπηρέτηση μετά την πώληση θα είναι στενά συνδεδεμένα. Ομοίως, οι εταιρείες στην αλυσίδα εφοδιασμού επίσης, να είναι πιο ολοκληρωμένες, δημιουργώντας δίκτυα ενσωμάτωσης δεδομένων, συνεργασίες σε επίπεδα αυτοματοποίησης και αλυσίδες αξίας που είναι πλήρως αυτοματοποιημένες.

## **Βιομηχανικό Διαδίκτυο Αντικειμένων**

Οι ενσωματωμένοι μικρο-υπολογιστές και η επέκταση των δικτύων υπολογιστών επιτρέπουν τη σύνδεση μορφοτροπέων (transducers) και συσκευών καθώς αυτό αποτελεί ουσιαστικό μέρος του Industry 4.0. Το βιομηχανικό Διαδίκτυο των Αντικειμένων (Industrial IoT) θα το καταστήσει εφικτό, καθώς οι μορφοτροπείς και οι νέες συσκευές στο παραγωγικό πεδίο έχουν σχεδιαστεί να είναι συμβατές με το IoT. Είναι εξοπλισμένες με ασύρματη δικτύωση χαμηλής ισχύος για να τους επιτρέψουν να αλληλοεπιδρούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους, ενώ ταυτόχρονα συνδέονται μέσω πύλης σε ένα επίπεδο ελέγχου και διαχείρισης. Με τον τρόπο αυτό θα γίνει πανταχού παρούσα σε όλο το Έξυπνο Εργοστάσιο και την αλυσίδα εφοδιασμού.

## **Κυβερνο-ασφάλεια**

Τα βιομηχανικά συστήματα γίνονται όλο και πιο ευάλωτα σε απειλές, όπως αυτό προέκυψε από τις πρόσφατες επιθέσεις κατά βιομηχανικών στόχων τα τελευταία τρία χρόνια. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, πρέπει να θεσπιστούν μέτρα για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο που να αναγνωρίζουν τα νέα τρωτά σημεία και τις προκλήσεις που φέρνει στον βιομηχανικό έλεγχο, διαδικασίες και συστήματα, η σύνδεση με το Διαδίκτυο.

## **Υπολογιστικό Νέφος (CloudComputing)**

Οι μεγάλοι όγκοι δεδομένων που εμπλέκονται στο Industry 4.0 σημαίνουν ότι η ανταλλαγή δεδομένων δεν θα είναι μόνο επιθυμητή αλλά επιτακτική ανάγκη για να αξιοποιηθούν οι πλήρεις δυνατότητες του μέσα στην αξιακή αλυσίδα. Ωστόσο, λίγες μονάδες παραγωγής θα έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης και ανάλυσης τεράστιου όγκου δεδομένων που συλλέγονται. Παρόλα αυτά, οι πάροχοι υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους έχουν την ικανότητα και μπορούν να δημιουργήσουν ιδιωτικά δίκτυα υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους κατάλληλα για την αποθήκευση και επεξεργασία παραγωγικών δεδομένων.

## **Προσθετική Κατασκευή**

Η προσθετική κατασκευή όπως η εκτύπωση τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων επιτρέπει στους κατασκευαστές να σχεδιάζουν πρωτότυπα και μοντέλα νέων ιδεών, τα οποία μειώνουν σημαντικά τον σχεδιαστικό χρόνο και προσπάθεια. Η προσθετική κατασκευή επιτρέπει επίσης την παραγωγή σε μικρές παρτίδες προϊόντων που είναι προσαρμοσμένα σε ομάδες προτιμήσεων και προσφέρουν περισσότερη αξία στους πελάτες ή τους τελικούς χρήστες, μειώνοντας παράλληλα το κόστος και την αναποτελεσματικότητα του κατασκευαστή.

## **Επαυξημένη Πραγματικότητα (AugmentedReality)**

Οι επιχειρήσεις προσπαθούν όλο και περισσότερο να μειώσουν τα έξοδα συντήρησης και κατάρτισης που σχετίζονται με την παραγωγή, το μάρκετινγκ και την υποστήριξη μετά την πώληση. Οι κατασκευαστές στρέφονται προς συστήματα που βασίζονται στην επαυξημένη πραγματικότητα για να βελτιώσουν τις διαδικασίες συντήρησής τους, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται το κόστος της παρουσίας ειδικών συμβούλων στο χώρο τους.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Το δίκτυο 5G

### 2.1 Ορισμός του 5G

Τα δίκτυα 5G αποτελούν την επόμενη γενιά σύνδεσης κινητών συσκευών στο διαδίκτυο, προσφέροντας πιο γρήγορες από ποτέ ταχύτητες αλλά και πιο αξιόπιστες συνδέσεις σε smartphones και άλλες συσκευές. Σύμφωνα με τις τελευταίες έρευνες, το 5G δίκτυο θα μπορεί να προσφέρει συνδέσεις έτη φωτός πιο γρήγορες από τις τρέχουσες συνδέσεις, με τις μέσες ταχύτητες λήψης (περίπου 1GBps) να θεωρούνται ο κανόνας.

### 2.2 Σκοπός του 5G

Το 5G δίκτυο έχει ως κύριο σκοπό να συνδυάσει δραστικές λύσεις για να διασφαλίσει περισσότερη χωρητικότητα ,χαμηλότερη καθυστέρηση και περισσότερη εμπιστευτικότητα. Τέτοιες λύσεις συμπεριλαμβάνουν πολλές αναδυόμενες τεχνολογίες όπως Network Function Virtualization(NFV), Software-Defined Networking(SDN), massive MIMO και Device-to Device επικοινωνία(όπως θα αναλύσουμε παρακάτω). Το 5G έχει και αρκετούς άλλους στόχους. Αρχικά, το 5G έχει ως πρωταρχικό του στόχο να αυξηθεί ο βαθμός των δεδομένων το οποίο σημαίνει ότι μια ελάχιστη προσδοκία των 5G υπηρεσιών είναι να γίνουν δέκα φορές ταχύτερα από ότι το 4G. Επιπλέον, το 5G δεν στοχεύει μόνο στο χαμηλό κόστος αλλά και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπροσθέτως, το 5G θα μειώσει τη καθυστέρηση και θα αυξήσει τη χωρητικότητα του συστήματος. Ένα παράδειγμα για τη μείωση της καθυστέρησης είναι, όταν έχεις τελειώσει με το να εισάγεις ένα URL στον ιστότοπο του κινητού σου, η σελίδα θέλει μερικά δευτερόλεπτα για να φορτώσει εξαιτίας δύο παραγόντων. Πρώτον, ο χρόνος που χρειάζεται για να αναγνωρισθεί το αίτημα και δεύτερον ο χρόνος που χρειάζεται για να σταλούν όλα τα κείμενα , οι εικόνες και τα βίντεο στο κινητό σου. Τελευταίο αλλά όχι λιγότερο σημαντικό είναι ότι με το 5G θα δίνει την ευκαιρία μαζικής σύνδεσης των συσκευών. Με άλλα λόγια, το 5G ισχυρίζεται ότι θα μπορεί να υποστηρίξει πρώτα οποιαδήποτε ώρα και στιγμή πολλές ευρυζωνικές συνδέσεις οι οποίες μεταφέρουν gigabytes ενός ζητούμενου εύρους ζώνης και

κρίσιμου τύπου μηχανής (critical-machine type communication, MTC) όπου απαιτεί άμεση ανατροφοδότηση για εικονικής πραγματικότητας εφαρμογές και μαζική MTC που συνδέουν ένα μεγάλο εύρος από αισθητήρες και μηχανήματα.

## **2.3 Ιστορική εξέλιξη του 5G**

Η εξέλιξη από το 1G στο 5G είναι:

### **1<sup>η</sup> Γενιά (1G - Αναλογική)**

Η 1η γενιά κινητών συστημάτων(1G) χρησιμοποιούσε αναλογική μετάδοση για υπηρεσίες ομιλίας.

### **2<sup>η</sup> Γενιά (2G - Ψηφιακή)**

Η 2η γενιά κινητών συστημάτων(2G) ξεκίνησε στα τέλη του 1980. Συγκριτικά με τη 1η γενιά συστημάτων, η 2η γενιά χρησιμοποιούσε τεχνολογία πολλαπλής ψηφιακής πρόσβασης όπως το TDMA (time division multiple access) και το CDMA (code division multiple access). Συνεπώς, συγκριτικά με τη 1η γενιά συστημάτων, υψηλότερη αποδοτικότητα φάσματος, καλύτερες υπηρεσίες δεδομένων και πιο ανεπτυγμένη περιαγωγή παρέχεται με το 2G.

### **3<sup>η</sup> Γενιά (3G)**

τηλεπικοινωνιακών δικτύων υποστηρίζουν υπηρεσίες ένα ποσοστό μεταφοράς πληροφοριών τουλάχιστον 2Mbps. Επιπλέον, τα πρότυπα για την ανάπτυξη των δικτύων ήταν διαφορετικά από διάφορα μέρη του κόσμου. Έτσι, αποφασίστηκε να υπάρξει ένα δίκτυο το οποίο παρέχει υπηρεσίες ανεξάρτητα από την τεχνολογική πλατφόρμα και που τα δικτυακά σχεδιαστικά πρότυπα είναι τα ίδια παγκοσμίως. Έτσι, δημιουργήθηκε το 3G , το οποίο δεν είναι ένα πρότυπο αλλά πολλά πρότυπα που δουλεύουν μαζί.

## **4<sup>η</sup> Γενιά (4G)**

Για να χρησιμοποιηθεί η 4η γενιά (4G) τερματικών πολυτροπικών χρηστών θα πρέπει να είναι σε θέση να επιλέγουν τα ασύρματα συστήματα προορισμού. Στα τωρινά GSM συστήματα, οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν περιοδικά signaling μηνύματα σε υπηρεσία συνδρομής στους mobile stations. Από την άλλη, αυτή η διαδικασία έχει γίνει περισσότερο πολύπλοκη στα 4G ετερογενή συστήματα εξαιτίας των διαφορών τους στις ασύρματες τεχνολογίες και στην πρόσβαση πρωτοκόλλων. Για την παροχή ασύρματων επικοινωνιών σε οποιοδήποτε και οποιαδήποτε χρονική στιγμή, τα τερματικά κινητικότητας πρέπει να έχουν 4G υποδομή. Η κινητικότητα τερματικών επιτρέπει στους πελάτες κινητών επικοινωνιών να περιφέρονται σε γεωγραφικά όρια των ασύρματων δικτύων.

## **5<sup>η</sup> Γενιά (5G)**

Το 5G μπορεί να είναι μια ολοκληρωμένη ασύρματη επικοινωνία χωρίς περιορισμούς, που μας φέρνουν τον τέλειο ασύρματο κόσμο. Το 5G υποδηλώνει την επόμενη μεγάλη κίνηση των κινητών επικοινωνιών προτύπων πέραν από το 4G/IMT-Advanced πρότυπα. Κάθε νέα έκδοση θα ενισχύει περισσότερο τις επιδόσεις συστήματος και θα προσθέτει νέες ικανότητες με νέους τομείς εφαρμογής. Μερικές από τις πρόσθετες εφαρμογές, που επωφελούνται από τη κινητή συνδεσιμότητα είναι ο οικιακός αυτοματισμός, η έξυπνη μεταφορά, η ασφάλεια και τα e-books. Η 5G κινητή επικοινωνία έχει αλλάξει τον τρόπο που χρησιμοποιούνται τα κινητά μεταξύ πολύ υψηλού εύρους ζώνης. Ο χρήστης δεν έχει ξαναβιώσει πριν τέτοια υψηλή τεχνολογία. Οι 5G τεχνολογίες συμπεριλαμβάνουν όλους τους τύπους ανεπτυγμένων χαρακτηριστικών το οποίο κάνει τη 5G κινητή τεχνολογία πιο ισχυρή και με μεγάλη ζήτηση στο κοντινό μέλλον.



## 2.4 Πλεονεκτήματα 5G

Καθώς όλο και περισσότεροι χρήστες ασχολούνται με το στο διαδίκτυο, το 4G φτάνει στα όρια του κάνοντας αναγκαία την ανάπτυξη του 5G. Η μαζικότητα των χρηστών, η ταχύτητα και η λειτουργικότητα παράλληλα με την ασφάλεια και την αξιοπιστία θα φέρουν την ανάπτυξη σε πολλούς τομείς της ζωής και της βιομηχανίας. Η μετάβαση στην Πέμπτη Γενιά θα προσφέρει:

**Εξατομίκευση χρήστη:** Οι υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και η πανταχού παρούσα κάλυψη των δικτύων 5G θα παρέχουν στους χρήστες πρόσβαση σε μεγάλο χώρο αποθήκευσης δεδομένων και υπηρεσιών. Οι χρήστες θα έχουν την ευελιξία να φιλτράρουν αυτά τα δεδομένα και τις υπηρεσίες σύμφωνα με τις προτιμήσεις του, διαμορφώνοντας τον τρόπο λειτουργίας των συσκευών τους, έτσι ώστε να μπορεί να προεπιλέξει την υπηρεσία χαρακτηριστικά που θέλει να χρησιμοποιήσει.

**Ετερογένεια τερματικών και δικτύων:** Η ετερογένεια των τερματικών αναφέρεται στους διάφορους τύπους τερματικών από άποψη μεγέθους, βάρους, χαρακτηριστικών προβολής, κατανάλωσης ενέργειας κλπ. Στο 5G, όλα αυτά τα τερματικά και τα δίκτυα θα παρέχουν κοινές υπηρεσίες ανεξάρτητες από τις δυνατότητές τους.

**Υψηλή απόδοση:** Το 5G αναμένεται να παρέχει ασύρματες ταχύτητες λήψης πάνω από 1Gbps σε τοπικό δίκτυο (LAN) και 500 Mbps σε δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN), περίπου 260 φορές μεγαλύτερη από τα ασύρματα δίκτυα 3G.

**Διαλειτουργικότητα:** Πολλαπλά πρότυπα 4G περιορίζουν την κινητικότητα και τη διαλειτουργικότητα του χρήστη σε διάφορα δίκτυα. Τα 5G συστήματα στοχεύουν στην παροχή ενιαίου παγκόσμιου προτύπου που θα διευκολύνει την παγκόσμια κινητικότητα και τη φορητότητα των υπηρεσιών [9].

## 2.5 Απαιτήσεις τεχνικής απόδοσης 5G

Οι ελάχιστες απαιτήσεις τεχνικής απόδοσης για το 5G όπως εγκρίθηκαν από την IMT2020 δίνονται στην Εικόνα 1 [10] και χωρίζονται με βάση τις απαιτήσεις των εφαρμογών σε:

**Βελτιωμένες κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας** (enhanced Mobile Broadband-eMMB). Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει περιπτώσεις χρήσης που θα βελτιώσουν την εμπειρία του χρήστη όπως την πρόσβαση σε περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας, υπηρεσίες και δεδομένα.

**Αξιόπιστες επικοινωνίες με χαμηλή καθυστέρηση** (Ultra Reliable Low Latency Communications-URLLC). Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν περιπτώσεις χρήσης που έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε ρυθμοαπόδοση, καθυστέρηση και διαθεσιμότητα.

**Επικοινωνίες μεταξύ τύπου μηχανής** (mMTC): Η συγκεκριμένη κατηγορία χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο διασυνδεδεμένο αριθμό συσκευών και αισθητήρων για τη μετάδοση μικρού όγκου ευαίσθητων δεδομένων. Δίνονται επίσης ορισμένοι βασικοί παράμετροι απόδοσης καθώς επίσης και οι τιμές τους μαζί με την περίπτωση χρήσης για την οποία είναι σχετικές [11].

Βασικός δείκτης απόδοσης	Περιπτώσεις Χρήσης	Απαιτήσεις
Μέγιστος ρυθμός δεδομένων	eMBB	Downlink peak data rate: 20 Gbit/s. Uplink peak data rate: 10 Gbit/s.
Μέγιστη φασματική απόδοση	eMBB	Downlink peak spectral efficiency: 30 bit/s/Hz. Uplink peak spectral efficiency: 15 bit/s/Hz.
Ρυθμός δεδομένων χρήστη	eMBB	Downlink user experienced data rate: 100 Mbit/s. Uplink user experienced data rate: 50 Mbit/s.
Φασματική απόδοση χρήστη	eMBB	Indoor hotspot: DL: 0.3 / UL: 0.21 Dense Urban: DL: 0.225 / UL: 0.15 Rural: DL: 0.12 / UL: 0.045 (all figures in bit/s/Hz)
Μέσος όρος φασματικής απόδοσης	eMBB	Indoor hotspot: DL: 9 / UL: 6.75 Dense Urban: DL: 7.8 / UL: 5.4 Rural: DL: 3.3 / UL: 1.6 (all figures in bit/s/Hz/TRxP)
Χωρητικότητα Περιοχής	eMBB	Downlink: 10 Mbit/s/m <sup>2</sup> in the Indoor Hotspot – eMBB test environment.
Καθυστέρηση στο επίπεδο του χρήστη	eMBB,U RLLC	4 ms for eMBB 1 ms for URLLC
Καθυστέρηση στο πλάνο έλεγχου	eMBBUR LLC	20 ms (10 ms encouraged)
Πυκνότητα συσκευών	eMBB	1 000 000 devices per km <sup>2</sup>
Ενεργειακή απόδοση	URLLC	a) Efficient data transmission in a loaded case: demonstrated by the average spectral efficiency b) Low energy consumption when there is no data: should support a high sleep ratio and long sleep duration
Αξιοπιστία	eMBB	1-10 <sup>-5</sup> success probability of transmitting a layer 2 PDU of 32 bytes within 1 ms in channel quality of coverage edge for Urban Macro-URLLC test environment, assuming small application data
Κινητικότητα	eMBB	Indoor hotspot: Stationary, Pedestrian* Dense Urban: Stationary, Pedestrian,
Διακοπή σύνδεσης	eMBB,U RLLC	0 ms

Εικόνα 1: Οι ελάχιστες απαιτήσεις τεχνικής απόδοσης IMT2020 [12]

Όλες αυτές οι γενιές διαφοροποιούνται μεταξύ τους μέσω των διαφορετικών ικανοτήτων τους, της κινητικότητας των χρηστών, της φορητότητας των συσκευών, της συμβατότητας, της συνδεσιμότητας και πολλών άλλων χαρακτηριστικών.

## 2.6 Σύγκριση 4G με 5G

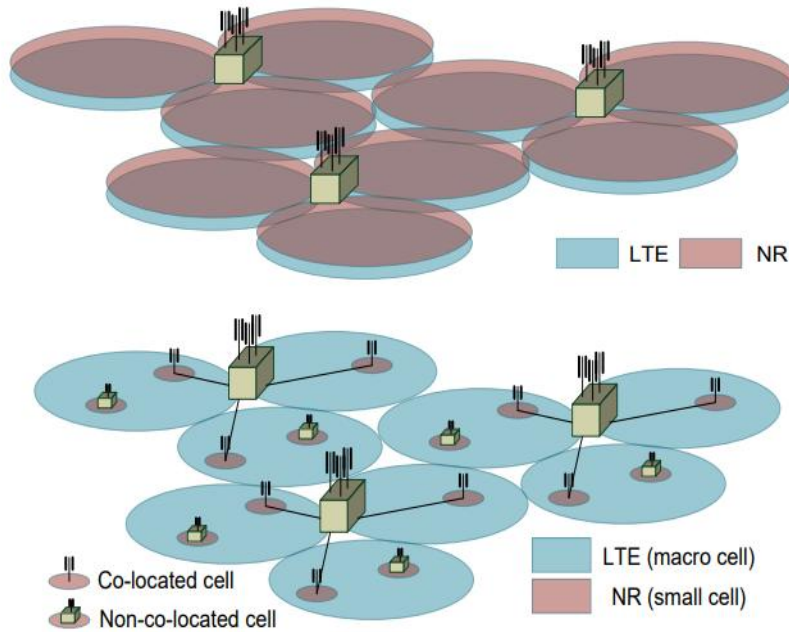
Τα υπάρχοντα δίκτυα 4G λειτουργούν σε συχνότητες κάτω των 6GHz. Η χαμηλή καθυστέρηση είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του 5G. Σε ιδανικές συνθήκες τα δίκτυα 5G είναι ικανά για χρόνους καθυστέρησης να φτάνουν λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η καθυστέρηση στο 4G δίκτυο ποικίλει μεταξύ των φορέων και των κυψελών. Ακόμα, τα βίντεο και οι ιστοσελίδες θα φορτώνονται πολύ πιο γρήγορα. Το 4G δεν έχει την ταχύτητα, την ικανότητα και την ευελιξία που απαιτούνται για την πλήρη υποστήριξη μιας ταχέως αναπτυσσόμενης σειράς κινητών και σταθερών συσκευών. Όμως το 5G υπόσχεται να συνεργαστεί άψογα με ασύρματους αισθητήρες, τεχνολογίες επικοινωνιών μεταξύ οχημάτων, έξυπνο φωτισμό, φορητές συσκευές, έξυπνες οικιακές συσκευές και άλλες προηγμένες τεχνολογίες. Το 5G αναμένεται επίσης να συμβάλει σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην τηλεϊατρική, όπως η απομακρυσμένη παρακολούθηση και η φροντίδα των ασθενών. Σε ένα νοσοκομειακό περιβάλλον, η τεχνολογία υπόσχεται ότι οι χειρουργοί μπορούν να πραγματοποιούν επεμβάσεις εξ' αποστάσεως σε ασθενείς οπουδήποτε στον κόσμο, κάτι που είναι τώρα αδύνατο λόγω της μεγάλης καθυστέρησης του 4G. Το 5G θα εξαλείψει την χαμηλή καθυστέρηση υπολογισμών μέσω cloud.

## 2.7 Τεχνολογίες 5G

Η δημιουργία μια κοινωνίας συνδεδεμένης στο διαδίκτυο με συνεχής πρόσβαση στην πληροφορία και στο διαμοιρασμό της μας οδηγεί σε νέες τεχνολογίες. Οι έρευνες στρέφονται στην βελτίωση των υφιστάμενων τεχνολογιών αλλά και στην ανάπτυξη νέων ώστε να ανταποκριθούν στις μελλοντικές απαιτήσεις.

### 2.7.1 Διπλή συνδεσιμότητα LTE -NR

Η έννοια της διπλής συνδεσιμότητας εισήχθη στο LTE, επιτρέποντας στη συσκευή του χρήστη να λαμβάνει δεδομένα από πολλαπλά κελιά. Στο 5G, η υποστήριξη διπλής συνδεσιμότητας είναι μεταξύ LTE και 5G New Radio (NR). Αυτό αναφέρεται ως διπλή συνδεσιμότητα (Dual Connectivity) LTE-NR. Η διπλή συνδεσιμότητα εξαρτάται από το γεγονός ότι θα υπάρχει κάλυψη LTE και NR σε μια γεωγραφική περιοχή. Παρόλο που αυτή επικαλύπτεται, τα LTE και τα NR κελιά (επομένως οι σταθμοί βάσης) μπορεί να είναι συντονισμένα ή μη. Η εικόνα 2 [11] δείχνει τρία σενάρια: στην κορυφή του σχήματος, το σενάριο 1) τα LTE και τα NR κύτταρα επικαλύπτονται και συν-τοποθετούνται παρέχοντας παρόμοια κάλυψη (τόσο τα LTE όσο και τα NR είναι μακρό-κύτταρα (macro cell)). Στο κάτω σχήμα, είναι τα σενάρια 2 και 3, με το NR να είναι ένα μικρό κύτταρο (small cell) και το LTE ένα μακρό-κύτταρο (macro cell). Στο σενάριο 2 τα LTE και τα NR κύτταρα επικαλύπτονται και συνυπάρχουν, αλλά παρέχουν διαφορετική κάλυψη και στο σενάριο 3 τα LTE και τα NR κύτταρα δεν συνδέονται με κάποιο κέντρο. Η τεχνολογία LTE-NR διπλής συνδεσιμότητας (DC) υποστηρίζει τόσο τα συνεργαζόμενα όσο και τα μη συνεργαζόμενα σενάρια (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Κυτταρική διάταξη με συνύπαρξη σε κάλυψη NR και LTE [13]

Η διπλή συνδεσιμότητα σημαίνει ότι ο χρήστης (User equipment-UE) είναι συνδεδεμένος ταυτόχρονα με τα δύο κελιά (LTE-NR) οπότε λαμβάνει και μεταδίδει δεδομένα σε καθένα από αυτά, επιτυγχάνοντας αύξηση στο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων στο δίκτυο.

### 2.7.2 Εικονικοποιημένη λειτουργία δικτύου (Network Function Virtualization-NFV)

Τα παραδοσιακά δίκτυα εκτελούνται μέσα από δρομολογητές και διακόπτες και είναι οι βασικές τεχνολογίες που επιτρέπουν την παροχή πληροφοριών, με τη μορφή ψηφιακών πακέτων, σε όλο τον κόσμο. Αν και χρησιμοποιούνται ευρέως τα παραδοσιακά δίκτυα IP είναι περίπλοκα και δύσκολα διαχωρίσιμα. Η Εικονικοποίηση δικτυακών λειτουργιών (NFV) είναι αρχιτεκτονική δικτύου που χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες εικονικοποίησης για να εξομοιώσει λειτουργίες κόμβων δικτύων σε δομικά στοιχεία που μπορούν να συνδεθούν μαζί για να δημιουργήσουν υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Οι οικονικοποιημένες πλατφόρμες προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και δυνατότητα επέκτασης, σε σχέση με το παραδοσιακό εξειδικευμένο υλικό που χρησιμοποιείται σε

προηγούμενες γενεές δικτύων. Οι λειτουργίες δικτύου μπορούν να εκτελεστούν σε οποιοδήποτε φυσικό υλικό και ως εκ τούτου η φυσική θέση μπορεί να μεταβληθεί δυναμικά με βάση την τρέχουσα ζήτηση και επίσης τις απαιτήσεις υπηρεσίας πχ την καθυστέρηση. Το γεγονός αυτό αναπτύσσει και την υπηρεσία νέφους, όπου οι κόμβοι δικτύου μοιράζονται υπολογιστικούς, αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους, δυναμικά και ανεξάρτητα από τη φυσική τους θέση [14].

### **2.7.3 Δίκτυο καθοριζόμενο από το λογισμικό (SDN)**

Ένα άλλο νέο χαρακτηριστικό των δικτύων 5G είναι αυτό που ονομάζεται δίκτυο καθοριζόμενο από το λογισμικό (Software Defined Network-SDN). Το SDN παρέχει το διαχωρισμό του επιπέδου ελέγχου από το επίπεδο χρήστη. Η χρήση του SDN επιτρέπει υψηλό επίπεδο προγραμματισμού, επιτρέποντας τον διαχωρισμό του δικτύου σε διαφορετικές φέτες μέσα στο ίδιο υλικό. Κάθε τεμάχιο μπορεί στη συνέχεια να αφιερωθεί σε διαφορετικό τύπο υπηρεσίας. Η χρήση του τεμαχισμού δικτύου (Network Slicing-NS) επιτρέπει τη δημιουργία πολλαπλών εικονικών δικτύων και ομάδων πόρων δικτύου μέσα στο ίδιο φυσικό δίκτυο. Κάθε φέτα μπορεί στη συνέχεια να βελτιστοποιηθεί με βάση τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών που παρέχονται σε αυτό το κομμάτι και τις εφαρμογές που μπορούν να παραδοθούν σε αυτό [15].

### **2.7.4 Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου (Multi-access edge computing)**

Η Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου (Multi-access edge computing MEC) θα χρησιμοποιηθεί επίσης σε συστήματα 5G. Τα συστήματα MEC φέρνουν την υπηρεσία κοντά στην άκρη του δικτύου και επομένως κοντά στο σημείο προσάρτησης της συσκευής. Αυτή η οντότητα περιέχει τις εφαρμογές και μια υποδομή εικονικοποίησης που παρέχει υπολογιστές, αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους, καθώς και τις λειτουργίες που απαιτούνται για τις εφαρμογές. Το MEC βοηθά να ικανοποιηθεί τις απαιτήσεις

για την εποχή 5G όσον αφορά την αναμενόμενη απόδοση, την καθυστέρηση και την αυτοματοποίηση. Το MEC επιτρέπει την εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και το υψηλό εύρος ζώνης, ενώ παράλληλα μπορεί να παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για το δίκτυο και το περιβάλλον [16].

### **2.7.5 Συνάθροιση φορέων και χιλιοστό-μετρικά κύματος (mm Wave)**

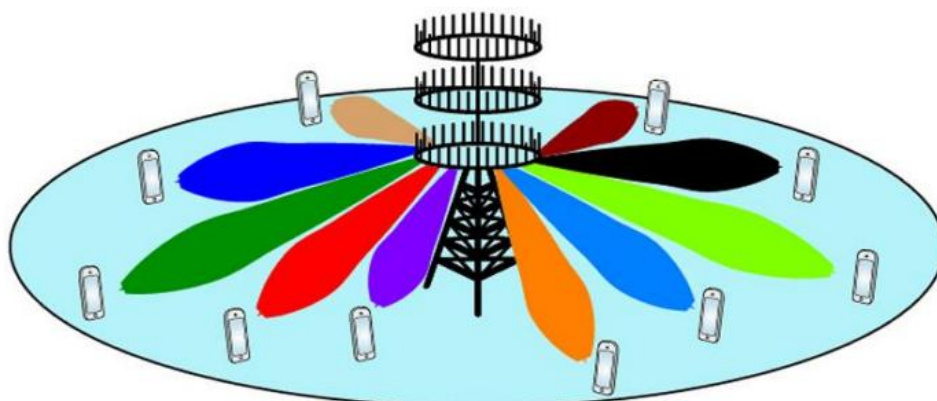
Κατά την τυποποίηση της 4G, αναγνωρίστηκε ήδη ότι για να αυξηθούν οι ρυθμοί δεδομένων, θα ήταν απαραίτητο περισσότερο φάσμα ή εύρος ζώνης. Η λύση που αναπτύχθηκε από το 3GPP LTE ονομαζόταν συνάθροιση φορέων (Carrier Aggregation-CA), οπότε συνδυάζονται πολλαπλές ζώνες σε διαφορετικές περιοχές του φάσματος, με αποτέλεσμα την ευρεία συνολική μετάδοση. Οι έννοιες συνάθροισης φορέων θα αναπτυχθούν ιδιαίτερα στο 5G. Επιπλέον με το τεράστιο εύρος ζώνης στη ζώνη χιλιοστομέτρου (mmWave) από 30 έως 300 GHz, οι επικοινωνίες mmWave θα αποτελέσουν σημαντικό μέρος του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G [17].

### **2.7.6 Ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων-εξόδων**

Τα ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων (Multiple Input Multiple Output -MIMO), επιτρέπουν την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου λόγω υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων και μεγαλύτερου αριθμού χρηστών που εξυπηρετούνται (εικόνα 3) . Όταν ο αριθμός των κεραιών στον σταθμό βάσης αυξηθεί σε εκατό ή χίλια στοιχεία, χρησιμοποιείται ο όρος μαζικός MIMO, αποκομίζει όλα τα οφέλη από το συμβατικό MIMO, αλλά σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα. Ο συνδυασμός μαζικών MIMO και mmWave επιτρέπει τη μείωση της συνολικής καθυστέρησης στο χρόνο μετάδοσης. Ο συνδυασμός μεγάλου εύρους ζώνης σε mmWave και του μαζικού MIMO συμβάλλει σημαντικά στην εκπλήρωση των απαιτήσεων 5G



όπως του υψηλού ρυθμού δεδομένων, της χωρητικότητας, της κυκλοφορίας και της χαμηλής καθυστέρησης [18], [19] [20].



Εικόνα 3 – Ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων [19]

## 2.8 Αρχιτεκτονική δικτύου 5G

Το δίκτυο πέμπτης γενιάς ξεκίνησε να αναπτύσσεται το 2016 από τη 3GPP και χωρίζεται σε τρία επίπεδα.

### 1<sup>ο</sup> Επίπεδο: Πόρων και Λειτουργιών (Resource & Functional Level)

Το πρώτο επίπεδο περιέχει φυσικούς πόρους που χρησιμεύουν για την επικοινωνία, την ανάπτυξη υλικού και λογισμικού, του αποθηκευτικού χώρου των Core Network κτλ. Αναλυτικότερα έχουμε :

**Wireless and fixedAccess – FWA:** Αυτή η τεχνολογία παρέχει πρόσβαση στο Internet, χρησιμοποιεί ασύρματο όπως και σταθερό δίκτυο. Ενώ η τεχνολογία FWA είναι πιο απλή και γρήγορη μειονεκτεί σε απόδοση στο ασύρματο δίκτυο. Αυτό όμως αντιμετωπίζεται με τη χρήση τεχνολογίας beamforming και των mmWaves.

**Edge Cloud:** Μ' αυτή τη τεχνολογία ένα μεγάλο μέρος των εργασιών επεξεργασίας μετατοπίζεται στη πλευρά πελάτη. Το οποίο δημιουργεί πολλές

ευκαιρίες σε επιχειρήσεις ειδικότερα στη παροχή υπηρεσιών χαμηλής καθυστέρησης απόκρισης καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης εφαρμογών.

**Wide Area Network (WAN):** Αποτελείται από το σύνολο υπολογιστών όπου δημιουργούν μεταξύ τους ένα δίκτυο επικοινωνίας. Τυπικά ένα WAN διασύνδεει τοπικά δίκτυα υπολογιστών, για τη διασύνδεση αυτή χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα μισθωμένες δημόσιες τηλεπικοινωνιακές γραμμές ή και δορυφορικές επικοινωνίες.

**Core Cloud:** Είναι η διαθεσιμότητα πόρων συστήματος υπολογιστών, ιδιαίτερα η αποθήκευση δεδομένων και η υπολογιστική ισχύς, χωρίς όμως άμεση ενεργή διαχείριση από τον χρήστη.

## **2<sup>ο</sup> Επίπεδο: Λειτουργικό σύστημα δικτύου και επίπεδο δικτύου (Network Operating System & Network level)**

Το Λειτουργικό σύστημα δικτύου μαζί με τις Προγραμματιζόμενες Μονάδες Ελέγχου Δικτύου (Programmable Network Control Units) συμβάλουν στην εικονικοποίηση του Φυσικού Δικτύου (virtualization of physical network). Με την εικονικοποίηση του Δικτύου δημιουργούνται τα διάφορα network slices που το καθένα εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία και εξυπηρετεί κάποιο σκοπό. Το network level φιλοξενεί όλα αυτά τα slices που το καθένα χρησιμοποιεί διαφορετικούς πόρους (υπολογιστικούς, δικτυακούς κτλ. ) για να παρέχει υπηρεσίες στους πελάτες.

## **3<sup>ο</sup> Επίπεδο: Επίπεδο Υπηρεσιών (Service Level)**

Είναι ένα από τα πιο σημαντικά επίπεδα στην αρχιτεκτονική του 5G. Μια από τις πιο σημαντικές δυνατότητες που μας παρέχει είναι η υποστήριξη μεγάλου ποσοστού υπηρεσιών ταυτόχρονα με δυναμικό τρόπο και είναι αυτό το στοιχείο που διαφοροποιεί το δίκτυο 5ης γενιάς από τα προηγούμενα ασύρματα δίκτυα. Τα slices στο επίπεδο αυτό είναι οργανωμένα και ακολουθούν έναν προκαθορισμένο μοτίβο συντονισμού μέσω της λειτουργίας διαχείρισης υπηρεσιών (service management function).

## 2.9 Επιθέσεις στο δίκτυο 5G

Η μετάδοση της πληροφορίας ασύρματα είναι ευάλωτη σε πολλές κακόβουλες απειλές. Οι επιθέσεις γίνονται στο PHY layer και στο MAC layer, όπου το κλειδί διαφοροποιείται στην ασφάλεια μεταξύ ασύρματου και ενσύρματου δικτύου. Οι πιο πιθανές απειλές είναι πέντε:

### **Eavesdropping**

Το eavesdropping είναι μια επίθεση η οποία χρησιμοποιείται από έναν ακούσιο δέκτη για να υποκλέψει ένα μήνυμα από τους άλλους. Το eavesdropping είναι μια παθητική επίθεση μιας και η κανονική επικοινωνία δεν επηρεάζεται. Όμως, εξαιτίας του ότι το eavesdropping είναι παθητικό, είναι δύσκολο να το ανιχνεύσουμε. Η κρυπτογράφηση των σημάτων πάνω από το radio link εφαρμόζεται περισσότερο για την αντιμετώπιση αυτής της απειλής. Μέσω της κρυπτογράφησης ο eavesdropper δεν μπορεί να παρακολουθήσει τα λαμβανόμενα σήματα.

### **Ανάλυση κίνησης (traffic analysis)**

Η ανάλυση κίνησης είναι μια άλλη παθητική επίθεση κατά την οποία ένας ακούσιος παραλήπτης το χρησιμοποιεί για να υποκλέψει πληροφορίες όπως η τοποθεσία και η ταυτότητα της επικοινωνίας με το να αναλύσει τη κίνηση του ληφθέντος σήματος χωρίς να αντιλαμβάνεται το περιεχόμενο του σήματος το ίδιο.

### **Jamming**

Σε αντίθεση με το eavesdropping και την ανάλυση κίνησης, η επίθεση jamming μπορεί να διακόψει εντελώς την επικοινωνία μεταξύ των νόμιμων χρηστών. Ο κακόβουλος κόμβος μπορεί να δημιουργήσει σκόπιμη παρεμβολή η οποία μπορεί να διακόψει τα δεδομένα επικοινωνίας μεταξύ των νόμιμων χρηστών. Η jamming επίθεση μπορεί, επίσης, να αποτρέψει τους εξουσιοδοτημένους χρήστες από την πρόσβαση σε radio πόρους. Οι λύσεις για ενεργή επίθεση βασίζονται συνήθως στην ανίχνευση.

## **DoS AND DDoS (Denial of Service and Distributed Denial of Service)**

Οι DoS επιθέσεις μπορούν να εξαντλήσουν τους πόρους του δικτύου από έναν αντίπαλο. Η DoS είναι μια επίθεση για την παραβίαση της ασφάλειας των διαθέσιμων δικτύων. Η jamming μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ξεκινήσει μια επίθεση DoS. Η DDoS μπορεί να σχηματιστεί όταν υπάρχουν περισσότεροι από έναν αντίπαλοι. Η ανίχνευση χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο για να αναγνωρίσει τις DoS και DDoS επιθέσεις. Με την υψηλή διείσδυση μαζικών συσκευών σε 5G ασύρματα δίκτυα, οι DoS και DDoS είναι πιθανόν να γίνει μια σοβαρή απειλή για τους operators. Οι DoS και DDoS επιθέσεις σε 5G ασύρματο δίκτυο μπορούν να επιτεθούν σε δίκτυο πρόσβασης μέσω ενός μεγάλου αριθμού συνδεδεμένων συσκευών. Βασιζόμενοι στον επιτιθέμενο στόχο, μια επίθεση DoS μπορεί να αναγνωριστεί είτε σαν δικτυακή υποδομή DoS επίθεσης είτε σαν συσκευή/χρήστη DoS επίθεσης. Μια επίθεση DoS ενάντια στη δικτυακή υποδομή μπορεί να “χτυπήσει” το επίπεδο σηματοδότησης, το επίπεδο χρήστη ,το επίπεδο διαχείρισης, τα συστήματα υποστήριξης, τους radio πόρους και τους λογικούς και φυσικούς πόρους. Ενώ μια DoS επίθεση ενάντια στη συσκευή/χρήστη μπορεί να στοχεύσει στη μπαταρία, στη μνήμη, στο δίσκο, στη CPU, στο radio, στον actuator και στους αισθητήρες.

## **MITM (Man-In-The Middle attack)**

Στην MITM επίθεση, ο επιτιθέμενος παίρνει κρυφά τον έλεγχο του επικοινωνιακού καναλιού μεταξύ των δύο νομίμων τμημάτων. Ο MITM επιτιθέμενος μπορεί να παρεμποδίσει , τροποποιήσει και να αντικαταστήσει τα επικοινωνιακά μηνύματα μεταξύ των δύο νομίμων τμημάτων. Η MITM επίθεση είναι μια ενεργή επίθεση η οποία μπορεί να ξεκινήσει σε διαφορετικά επίπεδα. Συγκεκριμένα, οι MITM επιθέσεις επιδιώκουν να θέσουν σε κίνδυνο την εμπιστευτικότητα των δεδομένων, την ακεραιότητα και την διαθεσιμότητα. Η MITM είναι από τις πιο γνωστές και συχνές επιθέσεις ασφάλειας. Στο κληροδοτημένο κυψελοειδές δίκτυο, ψευδής base station βασισμένο στο MITM είναι μια επίθεση όπου ο επιτιθέμενος αναγκάζει έναν νόμιμο χρήστη να δημιουργήσει μια σύνδεση με έναν ψεύτικο base station πομποδέκτη. Η αμοιβαία πιστοποίηση ταυτότητας μεταξύ των κινητών συσκευών και του base

station συνήθως χρησιμοποιείται για την αποφυγή ψευδούς base station βασισμένο στο MITM [21].

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> Εφαρμογές 5G στην 4<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση**

### **3.1 Εισαγωγή**

Η εκρηκτική αύξηση της ζήτησης για ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες που απαιτούν ταχύτερα δίκτυα υψηλότερης δυναμικότητας και το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) που τροφοδοτεί την ανάγκη για μαζική συνδεσιμότητα συσκευών, είναι οι δύο σημαντικές τάσεις στην εξέλιξη της τεχνολογίας που τροφοδοτούν την ανάπτυξη του 5G [22].

Ταυτόχρονα παρουσιάζεται η ανάπτυξη νέων περιπτώσεων χρήσης και εφαρμογών, όπως της επαυξημένης πραγματικότητας, της εικονικής πραγματικότητας, της απομακρυσμένης επικοινωνίας, των υπηρεσιών ηλεκτρονικής υγείας, της αυτοματοποιημένης οδήγησης και πολλών άλλων .

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές των δικτύων 5G. Αρχικά γίνεται αναφορά των περιπτώσεων χρήσης σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις τους. Στην συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά εφαρμογές των αναπτυσσόμενων δικτύων 5G στους κλάδους της κάθετης βιομηχανίας καθώς επίσης και τα οφέλη τους στον κάθε κλάδο ξεχωριστά. Με την σειρά περιλαμβάνονται: ο κλάδος της υγείας, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της ενέργειας, της βιομηχανίας, των μέσων επικοινωνίας και διασκέδασης.

## **3.2 Περιπτώσεις Χρήσης**

Τα δίκτυα 5G θα υποστηρίξουν ένα μεγάλο πλήθος περιπτώσεων χρήσης. Τα ποικίλα χαρακτηριστικά και οι διαφορετικές απαιτήσεις θα ξεχωρίσουν και τους τομείς ανάπτυξης. Αρχικά οι περιπτώσεις χρήσης του 5G έχουν ταξινομηθεί με βάση γενικότερες ομάδες. Διαπιστώθηκε όμως ότι ίσως πρέπει να βρεθεί κάποιος τρόπος ταξινόμησης στον οποίο θα καλύπτονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης. Σε αυτή την ενότητα παρέχεται μια πιο προσεκτική ματιά στις παραδοσιακές οικογένειες των περιπτώσεων χρήσης 5G και επισημαίνονται οι βασικές απαιτήσεις και οι τύποι αλληλεπιδράσεων στις οποίες θα βασίζονται. Τα ακόλουθα περιλαμβάνουν τις κύριες οικογένειες περιπτώσεων χρήσης 5G που βασίζονται σε πολλαπλές προηγούμενες προσπάθειες [23], [24].

### **3.2.1 Ενισχυμένες κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας**

Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει περιπτώσεις χρήσης που θα βελτιώσουν την εμπειρία του χρήστη όπως την πρόσβαση στα πολυμέσα (multimedia) περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας, υπηρεσίες και δεδομένα. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών και η χρήση ευρυζωνικών υπηρεσιών οδηγούν στην αύξηση του όγκου μετάδοσης δεδομένων. Τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι εξαιρετικά υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων με χαμηλή καθυστέρηση και με πολύ υψηλά επίπεδα κάλυψης.

### **3.2.2 Συνδεδεμένα οχήματα**

Η κατηγορία των περιπτώσεων χρήσης που αφορούν κινητές επικοινωνίες που σχετίζονται με Συνδεδεμένα Οχήματα θα αποτελέσει σημαντικό τομέα ανάπτυξης για το 5G.

Αυτή η κατηγορία περιπτώσεων χρήσης συνεπάγεται τη στήριξη προηγμένων εφαρμογών ασφάλειας που μετριάζουν τα τροχαία ατυχήματα, βελτιώνοντας την κυκλοφοριακή αποτελεσματικότητα και βελτιώνοντας την πρόσβαση των

οχημάτων έκτακτης ανάγκης. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν χαρακτηριστικά που υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης με πολύ χαμηλή καθυστέρηση για προειδοποιητικά σήματα, υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων για την ανταλλαγή δεδομένων αισθητήρων και πληροφοριών μεταξύ οχημάτων και υποδομών, υψηλή κινητικότητα και υψηλή αξιοπιστία. Η επικοινωνία οχήματος προς οτιδήποτε (V2X), όπως ορίζεται στο 3GPP, αποτελείται από τέσσερις τύπους περιπτώσεων χρήσης: οχήματος προς οχήματος (Vehicle to vehicle-V2V), οχήματος προς υποδομή (Vehicle to Infrastructure-V2I), οχήματος προς δίκτυο (Vehicle to Network-V2N) και από το όχημα προς το πεζοδρόμιο (Vehicle to Pedestrian-V2P).

### **3.2.3 Ενισχυμένα πολυμέσα**

Αυτή η κατηγορία περιπτώσεων χρήσης στοχεύει στην παροχή μιας υψηλής ποιότητας εμπειρίας μέσω. Οι χρήστες είναι ο τελικός θεατής, οι φορείς εκμετάλλευσης συνδρομητικής τηλεόρασης, οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς, οι συνδρομητές περιεχομένου και οι (Over The Top-OTT) πάροχοι. Οι πρόσφατες εξελίξεις της ανάλυσης βίντεο 4K και 8K, του 3D βίντεο, της εκτεταμένης χρήσης της τηλεόρασης HD, των υπηρεσιών ροής ήχου και εικόνας και του διαδραστικού βίντεο σε όλο και μεγαλύτερο αριθμό συσκευών με δυνατότητα βίντεο είναι βασικοί κινητήριοι παράγοντες για αυτή την οικογένεια περιπτώσεων χρήσης. Η μεγαλύτερη χωρητικότητα δεδομένων, οι ταχύτεροι ρυθμοί δεδομένων και βελτιωμένα χαρακτηριστικά μετάδοσης θα εξυπηρετήσουν αυτές τις περιπτώσεις χρήσης.

### **3.2.4 Μαζικό Διαδίκτυο των πραγμάτων**

Η κατηγορία των περιπτώσεων χρήσης στο Μαζικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Massive IoT) ασχολείται με τις αναδυόμενες ανάγκες χαμηλής ισχύος σε μεγάλες περιοχές (LPWA) για συσκευές χαμηλού κόστους, εκτεταμένης κάλυψης και μεγάλης διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Οι περιπτώσεις χρήσης αναμένεται να αποτελέσουν ένα μεγάλο μέρος των νέων

τύπων υπηρεσιών που θα αντιμετωπίσουν τα συστήματα 5G, συνδέοντας τον τεράστιο αριθμό συσκευών όπως αισθητήρες, κάμερες κ.λπ. Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης αναμένεται να είναι διαδεδομένες σε αστικές και αγροτικές περιοχές και να παρέχουν μετρήσεις, όπως διαχείριση φωτισμού σε κτίρια και πόλεις, παρακολούθηση του περιβάλλοντος (ρύπανση, θερμοκρασία, θόρυβος κλπ.), έλεγχος της κυκλοφορίας και πολλών άλλων εφαρμογών. Αυτές οι υπηρεσίες αναμένεται να απαιτούν την υποστήριξη μιας πολύ υψηλής πυκνότητας συσκευών με διαφορετικά χαρακτηριστικά σε ένα κοινό πλαίσιο επικοινωνίας. Η κατηγορία των περιπτώσεων χρήσης μεγάλου χρόνου χρήσης περιλαμβάνει εφαρμογές που χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών σε ολόκληρη την κοινωνία, συμπεριλαμβανομένης της αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπου-μηχανής και αλληλεπίδρασης μηχανής με μηχανή [25].

### **3.2.5 Εξαιρετικά αξιόπιστες εφαρμογές χαμηλής καθυστέρησης**

Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν περιπτώσεις χρήσης που έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε ρυθμό-απόδοση, καθυστέρηση και διαθεσιμότητα. Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης εμπίπτουν επίσης στην κατηγορία της κρίσιμης για την αποστολή επικοινωνίας τύπου μηχανής (MTC). Ορισμένα παραδείγματα περιπτώσεων χρήσης περιλαμβάνουν τον απομακρυσμένο έλεγχο της βιομηχανικής παραγωγής, την εξ' αποστάσεως ιατρική επέμβαση, ασφαλείς μεταφορές κ.α. [26]



### **3.3 Κλάδοι εφαρμογών**

#### **3.3.1 Κλάδος υγείας**

Τα δίκτυα 5G αναμένεται να συμβάλουν σημαντικά στην ανάπτυξη νέων και στη βελτίωση των υφισταμένων εφαρμογών του κλάδου υγείας. Εφαρμογές όπως η τηλεϊατρική και η ρομποτική θα επωφεληθούν σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη των συγκεκριμένων δικτύων. Η ανάπτυξη ασύρματων δικτύων αισθητήρων με τη χρήση των συσκευών που μπορούν να φορεθούν (wearables) και υπηρεσίες νέφους θα αποτελέσουν νέες περιπτώσεις χρήσης στον κλάδο της υγείας .

#### **Τηλεϊατρική**

Η υφιστάμενη εφαρμογή της τηλεϊατρικής στο κλάδο της υγείας παρέχει απομακρυσμένη υγειονομική περίθαλψη, στις μέρες μας, κυρίως στις αστικές περιοχές. Η ανάπτυξη των δικτύων 5G θα βελτιώσει στο μέγιστο βαθμό την πρόσβαση, παρέχοντας υγειονομική περίθαλψη ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές. Σημαντικός καταλύτης για την τηλεϊατρική θα αποτελέσει η ευρεία χρήση των ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων των ασθενών τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα σε περιβάλλον νέφους. Με την τεχνολογία 5G, αρχεία ασθενών, τα οποία περιέχουν υψηλής ανάλυσης ιατρικά δεδομένα όπως εικόνες και βίντεο, θα μπορούν να διατεθούν σε ιατρούς και σε επαγγελματίες υγείας ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε. Η βελτίωση των εφαρμογών της τηλεϊατρικής αναμένεται να συντελέσει στη μείωση του κόστους της υγειονομικής περίθαλψης και παράλληλα στη βελτίωση του κλάδου της υγείας [27].

#### **Συσκευές ελέγχου υγείας (wearables)**

Η χρήση φορητών συσκευών ελέγχου υγείας (wearables) θα αποτελέσουν βασικές συσκευές αισθητήρων στο κλάδο της υγείας για την παρακολούθηση, τη διάγνωση και τη θεραπεία σε άτομα με χρόνιες παθήσεις, παρέχοντας την δυνατότητα να στέλνουν ιατρικές προειδοποιήσεις σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μέσω των δικτύων 5G. Για

παράδειγμα, ένας αριθμός από ελαφρύς, χαμηλής ισχύος, αδιάβροχους αισθητήρες θα ενσωματωθούν στα ρούχα των ανθρώπων. Αυτοί οι αισθητήρες θα μπορούν να μετρήσουν διάφορα περιβαλλοντικά και υγειονομικά χαρακτηριστικά όπως πίεση, θερμοκρασία, τον καρδιακό ρυθμό, την πίεση του αίματος, τη θερμοκρασία του σώματος, ρυθμός αναπνοής κλπ. Μια βασική πρόκληση που θα επιλύσει η τεχνολογία 5G είναι η συνολική διαχείριση του αριθμού των συσκευών καθώς και των δεδομένων που συλλέγουν από τις εφαρμογές που σχετίζονται με αυτές τις συσκευές [26], [27].

### **Τηλεχειρουργική**

Οι χειρουργοί, με την επερχόμενη τεχνολογία 5G, θα μπορούν να χρησιμοποιούν εικονικά εργαλεία απομακρυσμένης αφής για ιατρικές επεμβάσεις οποιαδήποτε στιγμή τους ζητηθεί και από το μέρος στο οποίο βρίσκονται. Αυτό θα επιτρέψει έμπειρους χειρουργούς να πλαισιώσουν νέους γιατρούς από απόσταση με κατάλληλες τεχνικές. Επίσης απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές που στερούνται ιατρικών ειδικοτήτων θα επωφεληθούν από την τεχνολογία ιατρών των πιο πυκνοκατοικημένων περιοχών [28].

### **Διαχείριση νοσοκομειακού υλικού**

Η ανάπτυξη των δικτύων 5G θα συντελέσει στην καλύτερη διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων, των αναλώσιμων και του φαρμακευτικού υλικού των νοσοκομείων. Ένα σύνολο διασυνδεδεμένων αισθητήρων εντός του νοσοκομείου θα ανταλλάσσουν μικρού όγκου δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση των περιουσιακών στοιχείων μεγάλης αξίας (αξονικός τομογράφος, καρδιογράφος) και για την διαχείριση και παρακολούθηση του φαρμακευτικού υλικού και των αναλώσιμων [29].

### **3.3.2 Κλάδος Αυτοκινητοβιομηχανίας**

Η ανάπτυξη των δικτύων 5G θα αποτελέσει βασικό παράγοντα στο κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας με την δημιουργία πολλών περιπτώσεων χρήσης και εφαρμογών. Περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές όπως η αυτοματοποιημένη οδήγηση, η παροχή υπηρεσιών οδικής ασφάλειας, ο έλεγχος της κυκλοφορίας και η ψηφιοποίηση των μεταφορών αναλύονται στη παρακάτω ενότητα.

#### **Έλεγχος κυκλοφορίας και αυτοματοποιημένη οδήγηση**

Κατά τα προσεχή έτη, με την ανάπτυξη των δικτύων 5G, προηγμένες εφαρμογές ασφάλειας θα εμφανιστούν για την άμβλυνση των τροχαίων ατυχημάτων, τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της κυκλοφορίας, καθώς και για την υποστήριξη της κινητικότητας των οχημάτων έκτακτης ανάγκης (π.χ., ασθενοφόρα, πυροσβεστικά οχήματα). Αυτές οι εφαρμογές προβλέπουν επικοινωνία όχι μόνο μεταξύ των οχημάτων (όχημα με όχημα) ή οχήματος με υποδομή, αλλά και επικοινωνία με τους ευάλωτους χρήστες των δρόμων, όπως οι πεζοί και οι ποδηλάτες [26].

Στο πλαίσιο αυτό, Συνεταιριστικά Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) θα ανταλλάσουν πληροφορίες αξιόπιστα και σε πραγματικό χρόνο μέσω των δικτύων 5G και σε συνδυασμό με την αυτοματοποιημένη οδήγηση των οχημάτων θα συμβάλλουν στην μείωση του χρόνου ταξιδιού, την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, και στην αύξηση της οδικής ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας της κυκλοφορίας [30], [31].

#### **Ανίχνευση σύγκρουσης**

Η ανίχνευση σύγκρουσης επιτρέπει στα οχήματα να αισθανθούν επικείμενη σύγκρουση με την ανταλλαγή σχετικών δεδομένων μεταξύ των οχημάτων που εμπλέκονται, επιτρέποντας τα οχήματα και τους οδηγούς να λαμβάνουν αντίμετρα για την άμβλυνση των επιπτώσεων της σύγκρουσης. Συνεταιριστικά συστήματα ενεργητικής ασφάλειας θα προειδοποιούν τους οδηγούς για

επικίνδυνες καταστάσεις και μέσω της αυτόματης πέδησης θα μπορούν να συμβάλουν στην αποφυγή του ατυχήματος.

### **Υπηρεσίες Διαδικτύου εν κινήσει**

Η συνδεσιμότητα των οχημάτων με τα δίκτυα 5G σε συνδυασμό με το γρήγορο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που προσφέρουν θα επιτρέψει τους επιβάτες του οχήματος να απολαμβάνουν υπηρεσίες Διαδικτύου με ανάλογες επιδόσεις με του σπιτιού τους. Επιπλέον, σε συνδυασμό με την αυτοματοποιημένη οδήγηση και με την εξέλιξη των ταμπλό των οχημάτων θα επιτρέψει στον οδηγό να χρησιμοποιεί υπηρεσίες αναψυχής ενώ το αυτοκίνητο οδηγεί αυτόνομα.

### **Ψηφιοποίηση των μεταφορών και των logistics**

Τα μελλοντικά δίκτυα 5G αναμένεται να συμβάλουν με την ανάπτυξη νέων εφαρμογών στα δίκτυα μεταφορών όπως η ψηφιοποίηση των λειτουργιών τους. Η ψηφιοποίηση των λειτουργιών τους αφορά την ανταλλαγή μεγάλου όγκου δεδομένων κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας που παράγονται από τοποθετημένους αισθητήρες στα οχήματα με περιβάλλοντα νέφους για την άμεση ενημέρωση για στοιχεία που αφορούν τα εμπορεύματα, την ακριβή θέση και την κατάσταση των οχημάτων. Επίσης Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ITS) θα συμβάλουν σημαντικά στην βελτιστοποίηση των δρομολογίων, στη σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των δρομολογίων [32], [33].

### **3.3.3 Κλάδος Ενέργειας**

Η κατανάλωση και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της θερμότητας ή του φυσικού αερίου, σε συνδυασμό με την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική ή η ηλιακή ενέργεια δημιουργούν νέες περιπτώσεις χρήσης και την ανάγκη ανάπτυξης νέων εφαρμογών για αυτοματοποιημένο έλεγχο τις οποίες περιγράφουμε

στην παρακάτω ενότητα. Τα δίκτυα 5G αναμένεται να έχουν σημαντική συμβολή στην υλοποίησή τους [34].

### **Έξυπνο δίκτυο (Smart grid)**

Ένα έξυπνο δίκτυο διασύνδεει ένα μεγάλο αριθμό από αισθητήρες, χρησιμοποιώντας την ψηφιακή τεχνολογία της πληροφορίας και των επικοινωνιών για να συγκεντρώσει πληροφορίες. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν τις συμπεριφορές των προμηθευτών και των καταναλωτών, επιτρέποντας το έξυπνο δίκτυο για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, την αξιοπιστία, της οικονομίας, της βιωσιμότητας της παραγωγής και της διανομής ενέργειας με αυτοματοποιημένο τρόπο [26].

Οι αντιπροσωπευτικές μελλοντικές περιπτώσεις χρήσης των δικτύων 5G που σχετίζονται με το έξυπνο δίκτυο στα δίκτυα παραγωγής ενέργειας συνοψίζονται ως εξής [35]:

- Δίκτυα διάγνωσης για τον γρήγορο εντοπισμό σφαλμάτων, την διακοπή λειτουργίας και την άμεση αποκατάσταση είναι απαραίτητα τόσο για τα υφιστάμενα όσο και για τα μελλοντικά έξυπνα δίκτυα. Η γρήγορη απόκριση σε καταστάσεις σφάλματος στα δίκτυα παραγωγής ενέργειας απαιτούν επικοινωνία μεταξύ τους σε μικρό χρονικό διάστημα με αξιοπιστία.
- Η διακοπή λειτουργίας της παραγωγής θα ενεργοποιείται άμεσα και αυτόματα έτσι ώστε τα μηχανήματα να μην τροφοδοτούνται άσκοπα με ρεύμα.
- Η τοπολογία του δικτύου παραγωγής κατά τη διάρκεια της βλάβης θα μπορεί να αναδιαρθρωθεί εύκολα έτσι ώστε η αποκατάσταση να μπορεί να πραγματοποιηθεί το δυνατόν γρηγορότερα.
- Στα αυτοματοποιημένα συστήματα διανομής ενέργειας, οι διαδικασίες διακοπής λειτουργίας είναι ύψιστης σπουδαιότητας. Οι συγκεκριμένες διαδικασίες θα εκτελούνται στον κεντρικό υποσταθμό με καταμετρημένο τρόπο μέσω της ανταλλαγής μηνυμάτων. Η καλωδίωση μεταξύ των μονάδων ελέγχου θα αντικατασταθεί από την αξιόπιστη μετάδοση των μηνυμάτων ελέγχου μέσω των δικτύων 5G.

## **Έξυπνοι μετρητές**

Σε αυτή την περίπτωση χρήση χιλιάδες μετρητές θα είναι τοποθετημένοι σε σπίτια για την αποστολή πληροφοριών κατανάλωσης ενέργειας χωρίς την ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Κάθε νοικοκυριό αναμένεται να έχει τοποθετημένους τρεις έξυπνους μετρητές: ηλεκτρικό ρεύμα, νερό/θέρμανση και αέριο. Η εφαρμογή έξυπνων μετρητών στο δίκτυο διανομής ενέργειας, με την ανάπτυξη των δικτύων 5G, θα συμβάλει στη μετάδοση και επεξεργασία δεδομένων που διανέμονται όπως μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Η επίτευξη της μετάδοσης σε πραγματικό χρόνο θα βελτιστοποιήσει τα τμήματα υποδομών χαμηλής και μέσης τάσης ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Κοινές υποδομές προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν και στα δίκτυα της ύδρευσης και του φυσικού αερίου [35].

## **Ηλεκτρικά οχήματα**

Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στα ενεργειακά συστήματα είναι ένας άλλος λόγος για τον οποίο το 5G θα αποτελέσει σημαντικό καταλύτη στον τομέα της ενέργειας. Για παράδειγμα, σε περιοχές όπως στην Ιρλανδία η οποία έχει αφθονία της αιολικής ενέργειας, όπου ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι επιπτώσεις των μεταφορών στην παραγωγή CO<sub>2</sub> μειώνεται ριζικά. Για τον προσδιορισμό των αναγκών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, απαιτείται επικοινωνία των σταθμών φόρτισης με τα ηλεκτρικά οχήματα [35].

Τα δίκτυα 5G θα συμβάλλουν στην αξιόπιστη και χαμηλή καθυστέρηση επικοινωνίας επιτρέποντας ένα ευρύ φάσμα νέων επιλογών για την παροχή υπηρεσιών και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής υποδομής [36].

### 3.3.4 Κλάδος Βιομηχανίας

Οι τρεις βιομηχανικές επαναστάσεις του παρελθόντος προκλήθηκαν από τεχνικές καινοτομίες: την εισαγωγή μηχανολογικής παραγωγής νερού και ατμού στο τέλος του 18ου αιώνα, τον καταμερισμό της εργασίας στις αρχές του 20ου αιώνα και την εισαγωγή προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (Programmable logic controller-PLC) για σκοπούς αυτοματοποίησης στην κατασκευή τη δεκαετία του 1970. Η επερχόμενη βιομηχανική επανάσταση (Industry 4.0) θα ενεργοποιηθεί από το Διαδίκτυο, το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων και μηχανημάτων (Cyber Physical Systems-CPS) σε μεγάλα δίκτυα [37].

Οι ασύρματες και κινητές επικοινωνίες έχουν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία για τη βιομηχανική εφαρμογή που όμως προϋποθέτει ότι οι ασύρματες συνδέσεις λειτουργούν με χαμηλή καθυστέρηση και με αξιοπιστία. Χαμηλή καθυστέρηση και πολύ χαμηλές πιθανότητες λάθους είναι νέες απαιτήσεις που θα αντιμετωπιστούν με τα δίκτυα 5G. Σε αυτή την ενότητα περιγράφουμε περιπτώσεις χρήσης στον κλάδο της βιομηχανίας [26].

#### **Βιομηχανικός αυτοματισμός**

Ο βιομηχανικός αυτοματισμός ασχολείται κυρίως με την αυτοματοποίηση των διαδικασιών της αλυσίδας παραγωγής, της ποιότητας των διαδικασιών ελέγχου και επεξεργασίας των υλικών. Τα δίκτυα 5G αναμένεται να εξασφαλίσουν τη συνδεσιμότητα μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής και με περαιτέρω παράγοντες της βιομηχανικής αλυσίδας (π.χ. προμηθευτές, logistics) απρόσκοπτα και σε πραγματικό χρόνο. Θα επιτρέπουν την παρακολούθηση των οχημάτων που διανέμουν προϊόντα σε απομακρυσμένες περιοχές. Ο συντονισμός των οχημάτων θα βελτιστοποιήσει τις λειτουργικές ροές του εφοδιασμού [38].

Τα δίκτυα 5G θα συμβάλουν στην αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ όλων των συμμετεχόντων και των συστημάτων που εμπλέκονται στην αλυσίδα παραγωγής καταναμεμημένα σε πολλές περιοχές [39].

## **Επαυξημένη πραγματικότητα**

Με την ανάπτυξη συσκευών επαυξημένης πραγματικότητας (AR), νέες εξ αποστάσεως υπηρεσίες αναμένεται να προκύψουν και να διευκολύνουν τη δημιουργία εικονικών ομάδων υποστήριξης (back office). Σε αυτές τις απομακρυσμένες ομάδες θα παρέχεται η δυνατότητα να χρησιμοποιούν τα δεδομένα που προέρχονται από τις έξυπνες συσκευές για προληπτικούς ελέγχους και εύκολη πρόσβαση στις λειτουργίες των συστημάτων, π.χ. θα μπορούν να βλέπουν μέσω της κινητής συσκευής του εργαζομένου αυτό που βλέπει. Επιπλέον, η εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας στο εργοστάσιο θα διευκολύνει και στη απομακρυσμένη συντήρηση και επισκευή των μηχανημάτων.

## **Συνεργατικά ρομπότ**

Για να αυξηθεί η αποδοτικότητα των γραμμών παραγωγής, δημιουργείται η ανάγκη της άμεσης βελτιστοποίησης η οποία βασίζεται στην παρακολούθηση των επιδόσεων των επιμέρους συστατικών σε πραγματικό χρόνο, στις μετρούμενες διακυμάνσεις της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, στις αλληλεπιδράσεις των χειριστών και στους μεταβαλλόμενους παράγοντες στο περιβάλλον. Σε αντίθεση με τα κινητά ρομπότ τα οποία απαιτούν αξιόπιστη επικοινωνία με υψηλό ρυθμό μετάδοσης, οι αισθητήρες επικοινωνούν με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, αλλά με εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία. Εκτός από την επικοινωνία μεταξύ των μηχανών, νέα σενάρια χαμηλής καθυστέρησης στην επικοινωνία αναδύονται, με τις συλλογικές λειτουργίες που προσφέρονται από τη νέα γενιά ρομπότ, όπως η εισαγωγή των συσκευών ελέγχου (wearables) και της επαυξημένης πραγματικότητας. Οι περισσότερες συσκευές στο μέλλον θα είναι ασύρματες ή κινητές, και θα απαιτούν γρήγορη μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων (3D μοντέλων, μεγάλου όγκου δεδομένα) για γρήγορη παρέμβαση. Ο όγκος των πληροφοριών που πρέπει να μεταδοθεί και να επεξεργαστεί σε συνολικό επίπεδο, για να παρθούν γρήγορες αποφάσεις, είναι υψίστης σημασίας.



Τα συνεργατικά ρομπότ θα διευκολύνουν την περαιτέρω αυτοματοποίηση, αυξάνοντας τις ικανότητες των χειριστών, την απόδοση της παραγωγής και την ποιότητα της παραγωγής με ασφάλεια. Τα δίκτυα 5G θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο, παρέχοντας εξαιρετικά γρήγορη και εξαιρετικά αξιόπιστη πρόσβαση [40].

### **3.3.5 Κλάδος Ψυχαγωγίας και ενημέρωσης**

Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται τεράστιες μελέτες για την βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη αναπτύσσοντας νέες εφαρμογές τόσο για την ψυχαγωγία όσο και την ενημέρωση του. Σε αυτή την ενότητα περιγράφουμε περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές της τεχνολογίας 5G στον τομέα της ψυχαγωγίας και της ενημέρωσης των χρηστών.

#### **Έξυπνο γραφείο (Smart office)**

Η συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης χαρακτηρίζεται από τις εσωτερικές επικοινωνίες στα διαμερίσματα και σε κτίρια γραφείων με υψηλή πυκνότητα συσκευών. Στο μέλλον προβλέπεται ότι οι περισσότερες από τις συσκευές θα συνδέονται ασύρματα και οι χρήστες θα αλληλεπιδρούν μέσω αυτών. Αυτό υποδηλώνει ένα σενάριο στο οποίο εκατοντάδες χρήστες θα είναι συνδεδεμένοι και θα εκτελούν εφαρμογές οι οποίες απαιτούν εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης, υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, άμεση επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων στο νέφος, και άμεση επικοινωνία μέσω βίντεο. Οι κύριες προκλήσεις αντιπροσωπεύονται από το μεγάλο όγκο και τον υψηλό ρυθμό δεδομένων των χρηστών σε συνδυασμό με την πυκνότητα της κυκλοφορίας. Εκτιμάται πως ο ρυθμός δεδομένων θα φτάσει στο 1 Gbps και 15000 Gbps / km<sup>2</sup> [26].

#### **Διάχυτο βίντεο**

Μετά το 2020, οι επικοινωνίες μεταξύ των χρηστών με τη χρήση βίντεο υψηλής ανάλυσης θα έχουν μια πολύ ευρύτερη χρήση με πολύ πιο προηγμένες και ακραίες δυνατότητες. Οι χρήστες θα επικοινωνούν μέσω βίντεο ευρέως στην καθημερινή ροή της εργασίας τους. Παραδείγματα

περιλαμβάνουν την μετάδοση δεδομένων για οπτική απεικόνιση, τις απομακρυσμένες συνεδριάσεις στελεχών εταιρειών μέσω 3D απεικόνισης και την υποστήριξη των πελατών μέσω υπηρεσιών ολόγραμμα. Θα προκύψουν περιβάλλοντα κατά τα οποία το βίντεο θα είναι διαθέσιμο σε όλους, ανεξάρτητα από τη φυσική τοποθεσία, τη συσκευή που χρησιμοποιείται, και το δίκτυο σύνδεσης. Τα δίκτυα 5G θα αντιμετωπίσουν με επιτυχία τον μεγάλο αριθμό των ταυτόχρονων ενεργών συνδέσεων, σε συνδυασμό με την απόδοση που απαιτείται (Ρυθμός δεδομένων και ο λανθάνων χρόνος από άκρο σε άκρο) [27].

### **Μαζική συγκέντρωση**

Η προσωρινή μαζική συγκέντρωση πολλών ανθρώπων σε ένα στάδιο για την παρακολούθηση ενός γεγονότος αποτελεί ακόμη μια περίπτωση χρήσης. Κατά τη διάρκεια των εκδηλώσεων οι άνθρωποι μπορούν να παρακολουθούν βίντεο υψηλής ευκρίνειας και να ανταλλάσουν περιεχόμενο είτε στο εσωτερικό του σταδίου είτε για μετάδοση του γεγονότος προς το διαδίκτυο. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της περίπτωσης χρήσης είναι ο τεράστιος όγκος ανταλλαγής δεδομένων που δημιουργείται κατά τη διάρκεια μιας εκδήλωσης σε αρκετά σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ την υπόλοιπη χρονική περίοδο η κίνηση στην περιοχή είναι κανονική ή πολύ χαμηλή. Αυτές οι εφαρμογές θα απαιτούν ένα συνδυασμό σύνδεσης με υψηλό ρυθμό δεδομένων και χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση [40].

### **Εικονική πραγματικότητα**

Τα ηλεκτρονικά παιχνίδια εικονικής πραγματικότητας αποτελούν μια ακόμα περίπτωση χρήσης των δικτύων 5G. Τα μελλοντικά παιχνίδια θα έχουν αυξημένες απαιτήσεις. Δεν θα βασίζονται μόνο στην αλληλεπίδραση του χρήστη με την οθόνη αλλά πρόκειται να περιλαμβάνουν πολλαπλά συστατικά, όπως το GPS, κάμερα, επιταχυνσιόμετρα. Η χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση και η απόδοση του δικτύου είναι δύο σημαντικά στοιχεία τα οποία θα

υποστηρίζουν τα δίκτυα 5G με ταχύτητες μετάδοσης 50Mbit/s και καθυστέρηση 50 ms [26].

### **Παραγωγές ενημέρωσης**

Αυτό καλύπτει σημαντικές πτυχές της παραγωγής των μέσων ενημέρωσης. Το βιντεοσκοπημένο περιεχόμενο της είδησης θα μοιράζεται άμεσα σε περιβάλλον νέφους, αξιοποιώντας τις διασυνδεδεμένες κάμερες και μικρόφωνα με τα δίκτυα 5G από οπουδήποτε προς οπουδήποτε με επιπλέον αυτόματα προεπισυναπτόμενα δεδομένα. Το περιεχόμενο θα επεξεργάζεται από διαφορετικούς χρήστες σε πολλαπλές τοποθεσίες ταυτόχρονα και θα μπορεί να αναδιαμορφωθεί για διαφορετικές απαιτήσεις. Η αμεσότητα της πρόσβασης στο περιεχόμενο, όπως δημιουργείται, θα μειώσει σημαντικά τα χρονοδιαγράμματα παραγωγής των μέσων ενημέρωσης .

### **Βίντεο υψηλής ευκρίνειας**

Οι άνθρωποι στο μέλλον θα καταγράφουν μέσω των κινητών τους συσκευών όλο και περισσότερο περιεχόμενο (όπως βίντεο 4k) για να το μοιραστούν με άλλους σε περιβάλλον νέφους. Το μελλοντικό δίκτυο 5G θα είναι σε θέση να υποστηρίξει την υψηλή ζήτηση εύρους ζώνης και την συνεχή ροή από διάφορες συσκευές με σκοπό την αύξηση της εμπειρίας των χρηστών [41].

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Διαδίκτυο των Πραγμάτων

### 4.1 Ορισμός του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)

Το Internet of Things (IoT) ονομάζουμε ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων, συσκευών, οχημάτων, κτιρίων αλλά και άλλων αντικειμένων τα οποία περιέχουν ενσωματωμένα ηλεκτρονικά συστήματα, λογισμικά, αισθητήρες και διαδικτυακή δυνατότητα σύνδεσης, κάτι που επιτρέπει σε αυτά τα αντικείμενα να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Το IoT επιτρέπει στα αντικείμενα αυτά να ελέγχονται απομακρυσμένα μέσω μιας δικτυακής υποδομής δημιουργώντας ευκαιρίες αλληλεπίδρασης του φυσικού κόσμου με τα υπολογιστικά συστήματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των συσκευών αυτών, της ακρίβειας αλλά και τη μείωση του κόστους. Επιπλέον το IoT στηρίζεται σε τεχνολογία που συμπεριλαμβάνει αισθητήρες και ενεργοποιητές τα οποία αποτελούν μέρος των καθημερινών έξυπνων συστημάτων όπως τα έξυπνα σπίτια και τα έξυπνα οχήματα. Κάθε αντικείμενο αναγνωρίζεται ξεχωριστά από το ενσωματωμένο υπολογιστικό σύστημα και μπορεί να λειτουργεί τόσο αυτόνομα όσο και σε συνεργασία με την υπόλοιπη διαδικτυακή υποδομή [42].

### 4.2 Χαρακτηριστικά και Απαιτήσεις IoT

Οι γενικές απαιτήσεις του IoT [43] είναι:

**Heterogeneity** (ετερογένεια): Το IoT χαρακτηρίζεται από μεγάλη ανομοιογένεια, λόγω του μεγάλου αριθμού διαφορετικών συσκευών που είναι συνδεδεμένες. Η διαχείριση και η υποστήριξη διαφορετικών συσκευών/ τεχνολογιών/ υπηρεσιών/ περιβάλλοντων, αποτελεί βασική απαίτηση του IoT.

**Scalability** (Επεκτασιμότητα): Δισεκατομμύρια αντικειμένων επικοινωνούν μεταξύ τους. Η αποτελεσματική διαχείριση του μεγάλου όγκου των ανταλλασσόμενων δεδομένων, των πόρων και των λειτουργιών είναι απαραίτητη προϋπόθεση ορθής λειτουργίας του IoT.

**Cost minimization** (Ελαχιστοποίηση κόστους): Η ελαχιστοποίηση του κόστους ανάπτυξης/συντήρησης, καθώς και η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας αποτελούν βασικό μέλημα των σχεδιαστών μιας IoT αρχιτεκτονικής.

**Flexibility** (Ευελιξία): Απαιτείται δυναμική διαχείριση και επαναπρογραμματισμός των συσκευών, καθώς η κατάστασή τους μεταβάλλεται διαρκώς (π.χ. συνδεδεμένο/αποσυνδεδεμένο, ενεργοποίηση/απενεργοποίηση λειτουργίας ύπνου).

**Quality of Service** (QoS - Ποιότητα υπηρεσιών): Η εγγύηση υψηλής ποιότητας παρεχόμενων υπηρεσιών και εφαρμογών έχει μεγάλη σημασία, ιδιαίτερα όταν οι εφαρμογές αυτές πραγματεύονται real-time πληροφορίες.

**Secure environment** (Ασφάλεια): Το IoT πρέπει να εγγυηθεί ασφαλές περιβάλλον και αξιόπιστο δίκτυο, παρέχοντας ασφάλεια στις επικοινωνίες μέσω της ταυτοποίησης των συσκευών και των χρηστών, διατηρώντας την ακεραιότητα των δεδομένων και των συσκευών και προστατεύοντας τα προσωπικά δεδομένα.

### 4.3 Αρχιτεκτονική του IoT

Η επικρατέστερη IoT αρχιτεκτονική είναι η αρχιτεκτονική τριών επιπέδων [44]. Τα τρία αυτά επίπεδα είναι:

**Perception Layer (Επίπεδο Αντίληψης)** Σκοπός αυτού του επιπέδου είναι η αναγνώριση των αντικειμένων και η συλλογή πληροφοριών από αυτά. Στη βιβλιογραφία συναντάται συχνά και ο όρος 'επίπεδο έξυπνων αντικειμένων' ή 'επίπεδο αισθητήρων'. Το επίπεδο αντίληψης μπορεί να περιλαμβάνει κάμερες, αισθητήρες, ενεργοποιητές, ετικέτες RFID, GPS, τερματικά και δίκτυα αισθητήρων.

**Network Layer (Επίπεδο Δικτύου)** Βασική λειτουργία του επιπέδου δικτύου αποτελεί η ορθή και γρήγορη δρομολόγηση και μετάδοση των πακέτων σε ένα δίκτυο. Στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνονται τεχνολογίες δικτύων, όπως ασύρματα ή ενσύρματα δίκτυα και τοπικά δίκτυα (LAN). Τα κυριότερα μέσα,

για τη μετάδοση των πληροφοριών, είναι τα FTTx, 3G/4G, WiFi, ETHERNET, Bluetooth, ZigBee και η τεχνολογία υπερύθρων (infrared). Επιπλέον, στο επίπεδο αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί η αποθήκευση και η επεξεργασία ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων.

**Application Layer (Επίπεδο Εφαρμογής)** Το επίπεδο εφαρμογής είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των ληφθέντων δεδομένων από το επίπεδο δικτύου. Μέσω διαφόρων εφαρμογών, ο χρήστης μπορεί να έρθει σε επαφή με τα έξυπνα αντικείμενα που παρέχει το επίπεδο αντίληψης. Οι εφαρμογές αυτές έχουν επεκταθεί σε πολλούς τομείς, οι οποίοι παρουσιάζονται στην αμέσως επόμενη υποενότητα. Επιπλέον, το επίπεδο εφαρμογής περιλαμβάνει και το ενδιάμεσο λογισμικό (middleware), το οποίο αποτελεί τον ενδιάμεσο συνδετικό κρίκο μεταξύ των δύο επιπέδων, της εφαρμογής και του δικτύου. Το middleware μπορεί να αποτελέσει ξεχωριστό επίπεδο. Τα τρία επίπεδα που αναλύθηκαν είναι βασικά σε όλες τις αρχιτεκτονικές. Παρόλα αυτά, ορισμένοι προσθέτουν δύο επιπλέον επίπεδα: επίπεδο ενδιάμεσου λογισμικού και επίπεδο επιχείρησης [43] , [44].

**Middleware Layer (Επίπεδο Ενδιάμεσου Λογισμικού)** Το επίπεδο αυτό συνδέει το επίπεδο δικτύου με το επίπεδο εφαρμογής. Στην ουσία, αποτελεί το λογισμικό, το οποίο επιτρέπει στις εφαρμογές την πρόσβαση στα δεδομένα που παρέχουν τα έξυπνα αντικείμενα. Στο επίπεδο αυτό πραγματοποιούνται πολλές λειτουργίες επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων. Οι πλατφόρμες λογισμικού, αποτελούν ένα τμήμα αυτού του επιπέδου.

**Business Layer (Επίπεδο Επιχείρησης)** Το κέρδος πάντα αποτελούσε βασικό στόχο των εταιρειών. Το επίπεδο αυτό ασχολείται με την οικονομική διαχείριση των παρεχόμενων υπηρεσιών. Οι επιχειρήσεις, μέσω των εφαρμογών τους, παρέχουν πληροφορίες και δεδομένα, παίρνοντας ως αντάλλαγμα ένα χρηματικό αντίτιμο.

## 4.4 Μοντέλα επικοινωνίας στο IoT

Από λειτουργικής πλευράς, είναι χρήσιμο να αναφερθεί ο τρόπος με τον οποίο οι συσκευές του IoT συνδέονται και επικοινωνούν σε σχέση με τα τεχνικά μοντέλα επικοινωνίας. Τον Μάρτιο του 2015, το Συμβούλιο Αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου (Internet Architecture Board, IAB) κυκλοφόρησε ένα κατευθυντήριο αρχιτεκτονικό έγγραφο για τη δικτύωση των έξυπνων αντικειμένων, που περιγράφει ένα πλαίσιο τεσσάρων κοινών μοντέλων επικοινωνίας που χρησιμοποιείται από συσκευές IoT. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του κάθε μοντέλου ξεχωριστά [45] .

### Device-to-Device

Το μοντέλο επικοινωνίας device-to-device αντιπροσωπεύει δύο ή περισσότερες συσκευές που συνδέονται άμεσα και επικοινωνούν μεταξύ τους, χωρίς τη χρήση ενός ενδιάμεσου application server. Αυτές οι συσκευές επικοινωνούν σε πολλούς τύπους δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων IP ή το Internet. Συχνά, ωστόσο, αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν πρωτόκολλα όπως το Bluetooth, Z-Wave, ή ZigBee για την καθιέρωση της μεταξύ τους επικοινωνίας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4: Παράδειγμα Μοντέλου Επικοινωνίας Device-To-Device [45]

Αυτό το μοντέλο επιτρέπει σε συσκευές που συμμορφώνονται με ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν μηνύματα μεταξύ τους. Χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές που στέλνονται μικρά πακέτα δεδομένων πληροφορίας μεταξύ των

συσκευών, όπως σε συστήματα οικιακών αυτοματισμών (π.χ. οικιακές IoT συσκευές όπως λάμπες, διακόπτες, θερμοστάτες που επικοινωνούν μεταξύ τους).

## Device-to-Cloud

Στο μοντέλο επικοινωνίας device-to-cloud, η IoT συσκευή συνδέεται απευθείας σε μια διαδικτυακή υπηρεσία cloud, όπως ένας πάροχος υπηρεσιών εφαρμογής (application service provider), για την ανταλλαγή δεδομένων και τη διαχείριση της κίνησης των μηνυμάτων. Αυτή η προσέγγιση συχνά εκμεταλλεύεται τους υπάρχοντες μηχανισμούς επικοινωνίας, όπως το ενσύρματο Ethernet ή το ασύρματο Wi-Fi, για να δημιουργηθεί μια σύνδεση μεταξύ της συσκευής και του δικτύου IP, το οποίο τελικά θα συνδεθεί με την cloud υπηρεσία. Αυτό φαίνεται στην Εικόνα 5. Αυτό το μοντέλο επικοινωνίας χρησιμοποιείται από κάποια δημοφιλή καταναλωτικά προϊόντα (π.χ. η SmartTV της Samsung) Τα προϊόντα αυτά συνδέονται στο Internet και μεταξύ άλλων μεταδίδουν δεδομένα σε μια cloud υπηρεσία για ανάλυση ή/και αποθήκευση, παρέχουν στον χρήστη απόμακρο έλεγχο της συσκευής μέσω κάποιου smartphone ή web interface και κάνουν αναβαθμίσεις λογισμικού.



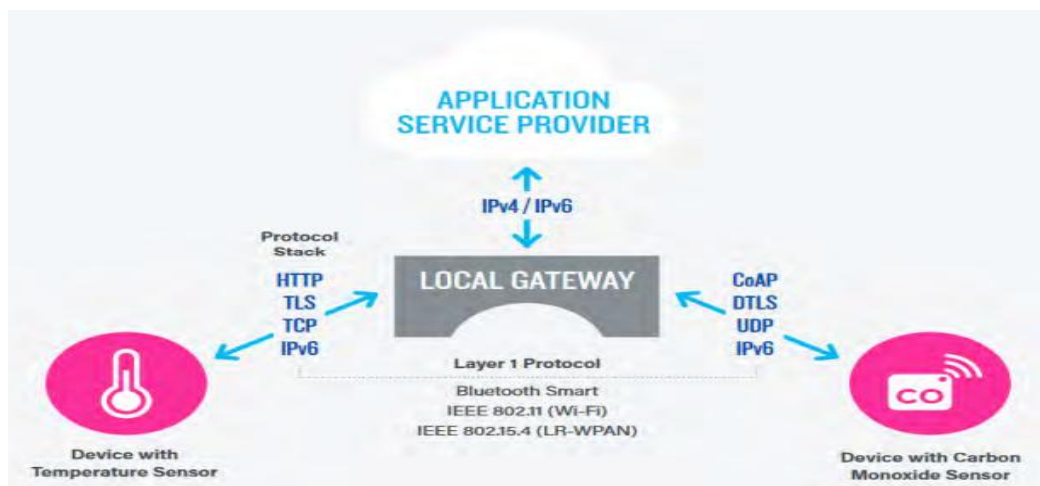
Εικόνα 5: Παράδειγμα Μοντέλου επικοινωνίας Device-To-Cloud [45]



## Device-to-Gateway

Στο μοντέλο device-to-gateway, ή αλλιώς device-to-application-layer-gateway (ALG), η συσκευή IoT συνδέεται με μια cloud υπηρεσία μέσω μιας ALG υπηρεσίας. Με πιο απλά λόγια, αυτό σημαίνει ότι μια τοπική gateway συσκευή με το κατάλληλο application software δρα ως μεσολαβητής μεταξύ της IoT συσκευής και της cloud υπηρεσίας και παρέχει ασφάλεια και άλλες λειτουργίες, όπως μετάφραση δεδομένων ή πρωτοκόλλων. Το μοντέλο αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 6.

Μια μορφή του μοντέλου device-to-gateway που συναντάται καθημερινά σε καταναλωτικές συσκευές είναι τα smartphones. Τα smartphones λειτουργούν ως gateways ώστε συσκευές που από μόνες δεν έχουν πρόσβαση στο Internet να μπορούν να συνδεθούν σε μια cloud υπηρεσία (π.χ. personal fitness trackers). Μια άλλη μορφή αυτού του μοντέλου είναι τα hub devices, τα οποία λειτουργούν ως local gateways και γεφυρώνουν το χάσμα που υπάρχει ανάμεσα σε συσκευές με διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας.



Εικόνα 6: Παράδειγμα μοντέλου επικοινωνίας Device-To-Gateway [45]

## Back-End Data-Sharing

Το back-end data-sharing μοντέλο αναφέρεται στην αρχιτεκτονική που επιτρέπει στους χρήστες να εξάγουν και να αναλύσουν τα δεδομένα που προέρχονται από smart objects από μια cloud υπηρεσία σε συνδυασμό με δεδομένα από άλλες πηγές. Η προσέγγιση αυτή αποτελεί μια προέκταση του μοντέλου επικοινωνίας device-to-cloud, στο οποίο οι IoT συσκευές ανεβάζουν τα δεδομένα μόνο σε έναν πάροχο υπηρεσιών. Το μοντέλο back-end data-sharing υποδηλώνει ότι χρειάζονται cloud APIs και μια πιο συνολική προσέγγιση των cloud υπηρεσιών για την επίτευξη της αμοιβαίας χρήσης των δεδομένων των smart devices που φιλοξενούνται στο cloud. Αυτό φαίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7: Παράδειγμα Μοντέλου Back-End Data-Sharing [45]

## 4.5 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Η απότομη εξέλιξη του διαδικτύου έφερε στην επιφάνεια μια νέα ανάγκη, την ανάγκη της επικοινωνίας μεταξύ εφαρμογών. Βασικές τεχνολογίες που διέπουν την επικοινωνία στο διαδίκτυο [46] είναι:

### TCP

Το **Transmission Control Protocol** (TCP) αποτελεί ένα από τα δυο βασικά πρωτόκολλα του επιπέδου μεταφοράς στο μοντέλο OSI. Παρέχει αξιόπιστη αμφίδρομη επικοινωνία, ενώ διέπεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Μεταφορά δεδομένων
- Σύνδεση δύο τερματικών (endpoints)
- Τα δεδομένα να παραλαμβάνονται όπως στάλθηκαν
- Αποστολή δεδομένων σε ακολουθία
- Αξιόπιστη εκκίνηση και τερματισμός

### UDP

Το **User Datagram Protocol** (UDP) είναι το άλλο βασικό πρωτόκολλο στο επίπεδο μεταφοράς που χρησιμοποιείται στο διαδίκτυο. Συγκρινόμενο με το TCP, το UDP είναι λιγότερο πολύπλοκο αλλά ταυτόχρονα και λιγότερο αξιόπιστο όσον αφορά τη λήψη των πακέτων που αποστέλλονται στο άλλο τερματικό. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου απαιτείται μεγάλη ταχύτητα στην αποστολή των δεδομένων, όπως η ζωντανή μετάδοση ομιλίας ή βίντεο, με στόχο να μην διακοπεί η συνεχή ροή των δεδομένων.

### IP

Το **Internet Protocol** (IP) παρέχει έναν μηχανισμό επικοινωνίας για υπολογιστές και συσκευές. Το πρωτόκολλο αυτό διαχωρίζει τον κάθε συνδεδεμένο στο διαδίκτυο υπολογιστή ή συσκευή μέσω ενός μοναδικού αριθμού γνωστού ως IP address (διεύθυνση IP). Τα TCP ή UDP πακέτα περικλείονται συνήθως σε πακέτα IP.

## Κεφάλαιο 5° Δίκτυα ευαίσθητα στο χρόνο (TSN-Time Sensitive Networking)

### 5.1 Ορισμός TSN

Τα περισσότερα βιομηχανικά δίκτυα Ethernet μπορούν να παρέχουν σκληρή επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο για έλεγχο συγχρονισμένης κίνησης πολλαπλών αξόνων . Αλλά το καθένα χρησιμοποιεί τις δικές του μεθόδους για συγχρονισμό χρόνου και μετάδοση δεδομένων για να εγγυηθεί χρόνους κύκλου, καθυστέρηση και jitter, καθιστώντας αυτά τα δίκτυα ασύμβατα μεταξύ τους.

Το Time-Sensitive Networking είναι ένα σύνολο προτύπων που έχουν σχεδιαστεί για τη βελτίωση των ιδιοτήτων σε πραγματικό χρόνο των τρεχόντων δικτύων Ethernet. Επομένως, αυτό περιλαμβάνει πολλά μεμονωμένα πρότυπα που επί του παρόντος ορίζονται στην ομάδα εργασιών TSN του οργανισμού τυποποίησης IEEE 802.1. Είναι η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο από τον αισθητήρα στο cloud. Είναι ένα αξιόπιστο πρότυπο στην εποχή του Industry 4.0.

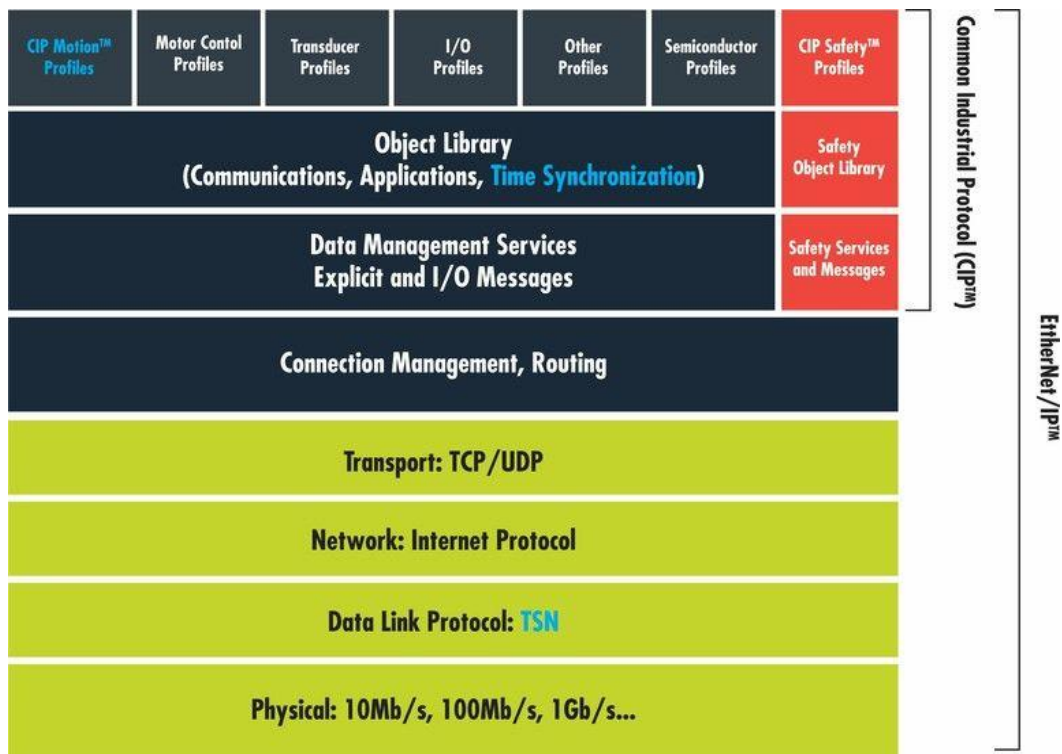
Ωστόσο, το Ethernet TSN δεν είναι ένα αυτόνομο πρωτόκολλο επικοινωνίας ορίζει λειτουργίες που μπορούν με τη σειρά τους να χρησιμοποιηθούν από διαφορετικά πρωτόκολλα όπως το OPC UA ή το PROFINET.

Οι μηχανισμοί Time-Sensitive Networking (TSN) επιτρέπουν τον έλεγχο και την ιεράρχηση των ροών δεδομένων σε δίκτυα Ethernet. Λαμβάνονται υπόψη μεμονωμένες απαιτήσεις όπως εγγυημένο εύρος ζώνης, συγχρονισμός χρόνου ή χαμηλή καθυστέρηση για μεμονωμένες εφαρμογές, ώστε να διασφαλίζεται η δυνατότητα του συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Αυτό διασφαλίζει ότι μια εφαρμογή δεν μπορεί να παρεμβαίνει στην επικοινωνία άλλων εφαρμογών και αντίστροφα, παρά την αυξημένη κίνηση δεδομένων στο δίκτυο.

Το Time-sensitive networking (TSN) έχει ως στόχο να λύσει το πρόβλημα συμβατότητας δικτύου παρέχοντας τυπικές μεθόδους για συγχρονισμό χρόνου και διαχείριση κίνησης, επιτρέποντας την ντετερμινιστική επικοινωνία μέσω τυπικών δικτύων Ethernet. Θα επιτρέψει επίσης τη «σύγκλιση IT και OT» καθιστώντας δυνατή τη διαχείριση μη κρίσιμων χρονικά ενημερωτικών δεδομένων (διαγνωστικά και στατιστικά δεδομένα, για παράδειγμα) και χρονικά κρίσιμων επιχειρησιακών δεδομένων (έλεγχος κίνησης και εντολές ασφαλείας, για παράδειγμα) στο ίδιο δίκτυο χωρίς συμβιβασμούς στην ποιότητα της υπηρεσίας (QoS). Το TSN επιτρέπει αυτό που συχνά περιγράφεται ως «σύγκλιση IT και OT».

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ευαίσθητη στο χρόνο δικτύωση δεν είναι μια ενιαία τεχνολογία – είναι ένα σύνολο προτύπων, που διατηρεί η ομάδα εργασιών IEEE 802.1, που καθορίζει τους μηχανισμούς για τη μετάδοση δεδομένων με ευαισθησία στο χρόνο.

Τα βιομηχανικά δίκτυα Ethernet βασίζονται στο φυσικό επίπεδο του Ethernet, αλλά προσθέτουν ιδιότητα πρωτόκολλα σε άλλα επίπεδα, συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου 2 (το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων), για την επίτευξη επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο. Η ευαίσθητη στον χρόνο δικτύωση τυποποιεί το επίπεδο 2, έτσι διαφορετικά πρωτόκολλα δικτύωσης μπορούν να παρέχουν ντετερμινιστική επικοινωνία ενώ μοιράζονται την ίδια υποδομή (Εικόνα 8). Για να γίνει αυτό, το TSN χειρίζεται τρεις κύριες λειτουργίες: τον **συγχρονισμό** όλων των ρολογιών στο δίκτυο, τον **προγραμματισμό** της πιο σημαντικής κίνησης (**χρονοδρομολόγηση**) και τη **διαμόρφωση** της υπόλοιπης κίνησης για την επίτευξη των επιθυμητών μοτίβων κίνησης.



Εικόνα 8: Η αρχιτεκτονική EtherNet/IP, με TSN στο επίπεδο 2 (επίπεδο σύνδεσης δεδομένων) [47].

## Συγχρονισμός

Για σκληρή επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, κάθε εξοπλισμός στο δίκτυο πρέπει να έχει την ίδια κατανόηση του χρόνου — δηλαδή, κάθε συσκευή πρέπει να είναι εξαιρετικά συγχρονισμένη. Το TSN το επιτυγχάνει μέσω του IEEE 1588 PTP (Precision Time Protocol). Σημειώστε ότι ορισμένα δίκτυα IEC, όπως το EtherNet/IP και το PROFINET, χρησιμοποιούν ήδη το IEEE 1588 PTP για συγχρονισμό χρόνου. Τα περισσότερα δίκτυα TSN θα χρησιμοποιήσουν ένα υποσύνολο του IEEE 1588, που αναφέρεται ως IEEE 802.1AS ή IEEE 802.1ASRev, για συγχρονισμό, αν και άλλα υποσύνολα του IEEE 1588 είναι επίσης πιθανές λύσεις για το TSN, ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογής. Ωστόσο, όλες οι συσκευές στο δίκτυο πρέπει να χρησιμοποιούν την ίδια μέθοδο συγχρονισμού.

## **Χρονοδρομολόγηση**

Για τον προγραμματισμό της κυκλοφορίας, το TSN χρησιμοποιεί τον προγραμματιστή με επίγνωση χρόνου του IEEE 802.1Qbv, ο οποίος επιτρέπει τη διαμόρφωση χρονικών τμημάτων στο δίκτυο για την εξυπηρέτηση διαφορετικών τύπων κίνησης. (Αυτή η διαδικασία αναφέρεται συχνά ως TDMA — πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου.) Κάθε χρονικό τμήμα, ή τμήμα, εκχωρείται σε διαφορετική κατηγορία κυκλοφορίας ή προτεραιότητα. Με το συγχρονισμό χρόνου μεταξύ όλων των συσκευών δικτύου, κάθε συσκευή γνωρίζει ακριβώς πότε πρέπει να μεταδοθεί και να υποβληθεί σε επεξεργασία κάθε κατηγορία κίνησης και μπορεί να κρατήσει άλλη κίνηση όπως απαιτείται για να διασφαλίσει ότι το εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο για δεδομένα κρίσιμα για τον χρόνο. Αυτή η μέθοδος χρονικού συγχρονισμού και προγραμματισμού κίνησης διασφαλίζει ότι το δίκτυο μπορεί να παρέχει ντετερμινιστική επικοινωνία όταν χρειάζεται.

## **Διαμόρφωση**

Η διαμόρφωση είναι η διαδικασία διαχείρισης της κυκλοφορίας για ήπια επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο ή για την επίτευξη προκαθορισμένων μοτίβων κυκλοφορίας. Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί σε δικτύωση ευαίσθητη στο χρόνο που διευκολύνουν τη διαμόρφωση της κυκλοφορίας με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις κυκλοφορίας και αυτοί οι μηχανισμοί διαμόρφωσης μπορούν να συνδυαστούν στο ίδιο δίκτυο. Ο συνδυασμός μηχανισμών διαμόρφωσης κίνησης και χρονοπρογραμματιστή με επίγνωση του χρόνου επιτρέπει σε διαφορετικούς τύπους δεδομένων — σκληρά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, μαλακά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και δεδομένα παρασκηνίου — να συνυπάρχουν στο ίδιο δίκτυο.

Το δίκτυο ευαίσθητο στον χρόνο είναι ένα εξελισσόμενο σύνολο προτύπων και ένα κοινό πρότυπο IEC-IEEE αναπτύσσεται για τον καθορισμό των προφίλ TSN για βιομηχανικούς αυτοματισμούς. Αυτό το κοινό πρότυπο, γνωστό ως IEC/IEEE 60802: TSN Profile for Industrial Automation (TSN-IA), θα διασφαλίσει τη συμβατότητα μεταξύ των διαφόρων βιομηχανικών

πρωτοκόλλων Ethernet, επιτρέποντάς τους να χρησιμοποιούνται στο ίδιο δίκτυο. Η πρώτη επίσημη έκδοση του IEC/IEEE 60802 αναμένεται το 2022.

## 5.2 Ανάλυση TSN

Το 802.1 WG έχει ως σκοπό την ανάπτυξη και συντήρηση προτύπων και συνιστομένων πρακτικών στις παρακάτω περιοχές:

- 802 LAN/MAN αρχιτεκτονικές,
- διασύνδεση μεταξύ LANs, MANs και άλλων δικτύων,
- ασφάλεια,
- ζητήματα διαχείρισης δικτύων 802,
- πρωτόκολλα πιο ψηλά από το data link layer.

Το 802.1 WG διαιρείται σε Task Groups και τη δεδομένη χρονική στιγμή υπάρχουν τρία ενεργά που έχουν ως κύριο θέμα ασχολίας την Ασφάλεια, τη Συντήρηση των προτύπων και τα Time Sensitive Networks αντίστοιχα. Το κύριο πρότυπο που απασχολεί το 802.1 WG, στο οποίο κάνει επεκτάσεις και ανανεώσεις, είναι το IEEE 802.1Q-2018 [46], το οποίο περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο MAC υποστηρίζονται από δίκτυα που χρησιμοποιούν γέφυρες, τις αρχές λειτουργίας αυτών των δικτύων, και την ίδια τη λειτουργία των γεφυρών (MAC και VLAN) συμπεριλαμβανομένων των αλγορίθμων, των πρωτοκόλλων και της διαχείρισής τους. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, ένα από τα Task Groups του IEEE 802.1 WG είναι και αυτό που πραγματεύεται με τα Time Sensitive Networks. Το Time-Sensitive Networking (TSN) είναι ένα σύνολο προτύπων που συγγράφονται και αναπτύσσονται από το TSN task group.



Όνομα	Τίτλος
IEEE 802.1QAS-Rev	Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications
IEEE Std 802.1Qbu	Frame Preemption.
IEEE Std 802.1Qbv	Enhancements for Scheduled Traffic
IEEE Std 802.1Qci	Per-Stream Filtering and Policing
IEEE Std 802.1Qat	Stream Reservation Protocol (SRP)
IEEE Std 802.1Qcr	Asynchronous Traffic Shaping

Εικόνα 9 Μερικά από τα πρότυπα του TSN

Το συγκεκριμένο task group απέκτησε την σημερινή του μορφή και όνομα το 2012 και αποτελεί την μετεξέλιξη του Audio Visual Bridging Task Group. Η αλλαγή του ονόματος ήταν αποτέλεσμα της αλλαγής του πεδίου εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας, αφού πλέον το ενδιαφέρον δεν επικεντρωνόταν μόνο σε περιπτώσεις δικτύων μεταφοράς ήχου και εικόνας αλλά σε όλες τις περιπτώσεις μετάδοσης χρονικά ευαίσθητης πληροφορίας σε Ethernet δίκτυα.

Το πρωτόκολλο περιγράφει με τον όρο «ροή» μια ομάδα δεδομένων που χαρακτηρίζεται από μία κλάση κίνησης (traffic class) με κοινές QoS ιδιότητες (π.χ. καθυστέρηση, εύρος ζώνης κτλ.). Το TSN ακολουθεί τον ορισμό του IEEE 802.1Q και καθορίζει τις κλάσεις σύμφωνα με το VID (VLAN ID) και PCP που βρίσκονται μέσα στο VLAN tag το οποίο με τη σειρά του υπάρχει μέσα στον header του Ethernet frame. Το PCP και το VID δίνονται σε κάθε περίπτωση με βάση την εφαρμογή για την οποία χρησιμοποιείται η εκάστοτε ροή.

Το TSN και σε αυτήν την περίπτωση ακολουθεί το IEEE 802.1Q στον καθορισμό κατηγοριών δικτυακής κίνησης με αντίστοιχες τιμές προτεραιότητας που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος κατά τη δρομολόγησης της κίνησης. Στις κλάσεις κίνησης η προτεραιότητα κυμαίνεται

από το 0 ( χαμηλότερη) έως το 7 (υψηλότερη) και το πρότυπο προτείνει τιμές για γνωστές κατηγορίες κίνησης.

### 5.2.1 Συγχρονισμός ροών

Πολλά πρότυπα του TSN βασίζονται σε μια κοινή αίσθηση του χρόνου κάτι που σημαίνει ότι θα πρέπει να υπάρχει ένας μηχανισμός που να μοιράζει ένα κοινό ρολόι σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη του συστήματος. Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω του IEEE 802.1AS-REV το οποίο χρησιμοποιεί ένα ειδικό προφίλ του IEEE 1588-2008, το gPTP (generic Precision Time Protocol).

Το δίκτυο που υλοποιεί το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, που ονομάζεται και gPTP domain, χρησιμοποιεί ειδικά μηνύματα για τον συγχρονισμό μεταξύ του Clock Master και των Clock Slaves. Σαν Grandmaster (GM) επιλέγεται ο κόμβος οποίος έχει το πιο ακριβές ρολόι σύμφωνα με τον αλγόριθμο BCMA [49] και αποτελεί τη ρίζα της ιεραρχικής δομής του δικτύου. Κατά κανόνα, τα gPTP domains, αποτελούνται από στοιχεία που υλοποιούν το πρωτόκολλο και στοιχεία που δεν το υλοποιούν. Το gPTP είναι ένα κατανεμημένο πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική master-slave για συγχρονισμό ρολογιών σε πραγματικό χρόνο για όλες τις συσκευές του gPTP domain χρησιμοποιώντας ως ρολόι αναφοράς το ρολόι ρίζας (root) του GM.

Κατά κανόνα, τα gPTP domains, αποτελούνται από στοιχεία που υλοποιούν το πρωτόκολλο και στοιχεία που δεν το υλοποιούν. Το gPTP είναι ένα κατανεμημένο πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική master-slave για συγχρονισμό ρολογιών σε πραγματικό χρόνο για όλες τις συσκευές του gPTP domain χρησιμοποιώντας ως ρολόι αναφοράς το ρολόι ρίζας (root) του GM. Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω μιας διαδικασίας που περιλαμβάνει δύο φάσεις:

1. Οι συσκευές gPTP δημιουργούν μια ιεραρχία master-slave και
2. εφαρμόζουν πράξεις συγχρονισμού του ρολογιού.

Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος καθιερώνει μία ιεραρχία master-slave χρησιμοποιώντας τον BMCA, πράξη η οποία αποτελείται από δύο

ξεχωριστούς αλγόριθμους, δηλαδή τη σύγκριση δεδομένων και την απόφαση κατάστασης. Κάθε συσκευή gPTP χρησιμοποιεί μια μηχανή κατάστασης gPTP και ύστερα από την ανταλλαγή αρκετών μηνυμάτων gPTP UDP IPv4 ή IPv6 καθορίζεται η σωστή ιεραρχία και επιτυγχάνεται ο σωστός συγχρονισμός. Οποιαδήποτε συσκευή που δεν μπορεί να αναμεταδώσει και να παράγει αυτά τα πακέτα δεν αποτελεί μέρος του πρωτόκολλου του BCMA ρολογιού.

### 5.2.2 Διαχείριση ροών

Με τη διαχείριση ροών δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ανακαλύπτει δυναμικά, να παραμετροποιεί, να παρακολουθεί και να καταγράφει τις δυνατότητες γεφυρών και τερματικών σταθμών. Το TSN TG έχει προτείνει το πρότυπο IEEE 802.1Qcp TSN [50] για να επιτύχει ένα πραγματικό Universal Plug-and-Play (UPnP) μοντέλο. Το πρότυπο IEEE 802.1Qcp χρησιμοποιεί την Unified Modeling Language (UML) και πιο συγκεκριμένα τα μοντέλα δεδομένων YANG. Το μοντέλο δεδομένων YANG παρέχει ένα πλαίσιο για την αναφορά περιοδικών καταστάσεων καθώς και για τη παραμετροποίηση γεφυρών και στοιχείων γέφυρας που υλοποιούν το 802.1, όπως γέφυρες ελέγχου πρόσβασης του μέσου (MAC), Two-port MAC Relays (TPMR), Customer Virtual Local Area Network (VLAN) Bridges, και Provider Bridges. Επιπλέον, το IEEE 802.1Qcp χρησιμοποιείται για την υποστήριξη άλλων TSN προδιαγραφών, όπως τα πρότυπα 802.1AX και 802.1X TG.

Η YANG είναι μια γλώσσα μοντελοποίησης δεδομένων για δεδομένα παραμετροποίησης, δεδομένα κατάστασης, κλήσεις απομακρυσμένης διαδικασίας και ειδοποιήσεις για πρωτόκολλα διαχείρισης δικτύου, π.χ. NETCONF και RESTCONF. Το NETCONF είναι το πρωτόκολλο παραμετροποίησης δικτύου που παρέχει μηχανισμούς για την εγκατάσταση, τη διαχείριση και τη διαγραφή των διαμορφώσεων των συσκευών δικτύου. Η υιοθέτηση της τυποποιημένης γλώσσας μοντελοποίησης δεδομένων YANG από τη βιομηχανία, όπως για παράδειγμα το IETF και το Metro Ethernet Forum (MEF), αποτελεί σημαντικό κίνητρο για την ενσωμάτωση, αυτοματοποίηση και την παροχή υποστήριξης για τη μοντελοποίηση

δεδομένων YANG σε γέφυρες 802.1 και συναφείς υπηρεσίες ανωτέρων στρωμάτων.

Το IEEE 802.1Qat Stream Reservation Protocol (SRP) [48], το οποίο έχει ενσωματωθεί στο 802.1Q, αποτελεί ένα θεμελιώδες μέρος του TSN. Συγκεκριμένα, το IEEE 802.1Qat καθορίζει το πλαίσιο ελέγχου εισαγωγής για την αποδοχή ή την απόρριψη ροών με βάση τις απαιτήσεις των πόρων ροής και τους διαθέσιμους πόρους δικτύου. Επιπλέον, το IEEE 802.1Qat καθορίζει το πλαίσιο για τη δέσμευση πόρων δικτύου και διαφήμισης ροών σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων μέσω αμφίδρομων Ethernet ζεύξεων. Τα περισσότερα πρότυπα που χρησιμοποιούν πρωτόκολλα προτεραιότητας, προγραμματισμού και διαμόρφωσης της κυκλοφορίας εξαρτώνται από το SRP, καθώς αυτά τα πρωτόκολλα λειτουργούν σωστά μόνο εάν οι πόροι του δικτύου που διατίθενται σε ολόκληρη τη διαδρομή από τον αποστολέα προς τους δέκτες (ακροατές) είναι διαθέσιμοι. Το IEEE 802.1Qat είναι ένα καταναμημένο πρωτόκολλο που εισήχθη από το AVB TG για να διασφαλίσει ότι ο ομιλητής AVB έχει εγγυημένα επαρκείς πόρους δικτύου κατά μήκος της διαδρομής μετάδοσης προς τους ακροατές. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση του Multiple Registration Protocol (MRP) [48], όπου τα ρεύματα (streams) κυκλοφορίας αναγνωρίζονται και καταχωρούνται με τη βοήθεια ενός μοναδικού αναγνωριστικού μήκους 48-bit (EUI-48). Το EUI48 είναι συνήθως η διεύθυνση προέλευσης MAC σε συνδυασμό με ένα επιπλέον αναγνωριστικό 16-bit για να διαφοροποιήσει διαφορετικά ρεύματα από την ίδια πηγή και αναφέρεται επίσης ως StreamID. Το SRP εξασφαλίζει πόρους για μία ροή που βασίζεται στην απαίτηση εύρους ζώνης και την κλάση της ροής χρησιμοποιώντας τρία πρωτόκολλα σηματοδότησης, δηλαδή:

1. το Multiple MAC Registration Protocol (MMRP),
2. το Multiple VLAN Registration Protocol (MVRP) και
3. το Multiple Stream Registration Protocol (MSRP).

Οι SRP ομιλητές ξεκινούν με την αποστολή ενός μηνύματος SRP "talker advertise". Αυτό το μήνυμα περιλαμβάνει το StreamID και τη διεύθυνση MAC του προορισμού ροής. Επιπλέον, το μήνυμα – διαφήμιση του ομιλητή

περιλαμβάνει απαιτήσεις QoS (π.χ. κλάση κίνησης TSN και πληροφορίες ρυθμού δεδομένων) και καθυστέρηση χειρότερης περίπτωσης. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

- StreamID
- Διεύθυνση προορισμού
- Αναγνωριστικό VLAN
- Προτεραιότητα
- Κατάταξη (έκτακτης ανάγκης ή μη επείγουσας ανάγκης)
- Προδιαγραφές κυκλοφορίας (μέγιστο μέγεθος πλαισίου και μέγιστος αριθμός πλαισίων ανά κατηγορία)
- Διάστημα μέτρησης
- Συσσωρευμένη καθυστέρηση

Το διάστημα μέτρησης είναι 125  $\mu$ s για κυκλοφορία AVB (Audio Video Bridging) κλάσης A και 250  $\mu$ s για την AVB (Audio Video Bridging) κλάση B. Παρόλο που οι απαιτήσεις QoS προέρχονται από τον ομιλητή, η καθυστέρηση επανυπολογίζεται σε κάθε γέφυρα, επιτρέποντας στον ακροατή να μεταδώσει αυτές τις πληροφορίες σε υψηλότερα επίπεδα εξυπηρετώντας συμφέροντα συγχρονισμού των μέσων.

Όλες οι ενδιάμεσες γέφυρες λαμβάνουν ένα μήνυμα "διαφήμισης ομιλητή" για έλεγχο της διαθεσιμότητας εύρους ζώνης στις θύρες εξόδου τους. Όταν η γέφυρα έχει επαρκείς διαθέσιμους πόρους στη συγκεκριμένη θύρα, τότε η διαφήμιση του ομιλητή μεταδίδεται στον επόμενο σταθμό. Όταν οι απαιτούμενοι πόροι δεν είναι διαθέσιμοι, η γέφυρα στέλνει μήνυμα "απέτυχε ο ομιλητής". Σε αυτό το μήνυμα περιλαμβάνεται ένας κωδικός βλάβης και η ταυτότητα της γέφυρας επιτρέποντας σε εφαρμογές υψηλότερου επιπέδου να παρέχουν έλεγχο σφαλμάτων ή ειδοποιήσεις. Μια ενδιάμεση γέφυρα που δέχτηκε έναν μήνυμα αποτυχίας θα πρέπει απλώς να μεταβιβάσει το μήνυμα προς τον ακροατή. Όταν ένας ακροατής πάρει ένα μήνυμα διαφήμισης από

έναν ομιλητή, θα πρέπει να γνωρίζει εάν οι πόροι είναι διαθέσιμοι και αν ναι, την καθυστέρηση της διαδρομής. Στη συνέχεια μπορεί να ανταποκριθεί με ένα μήνυμα ετοιμότητας για ακρόαση το οποίο προωθείται πίσω στο ομιλητή.

Οι ενδιάμεσες γέφυρες χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο μήνυμα για να κλειδώσουν τους πόρους που απαιτούνται από τη ροή και να πραγματοποιήσουν τις κατάλληλες καταχωρίσεις στη βάση δεδομένων προώθησης ώστε να επιτρέψουν στη ροή να αποσταλεί στη θύρα που έλαβε το μήνυμα "έτοιμο". Όταν ο ομιλητής λάβει το μήνυμα ετοιμότητας μπορεί να ξεκινήσει τη μετάδοση των δεδομένων. Η εξασφάλιση των πόρων για την ροή είναι επιτυχής μόνο όταν η προηγούμενη αλληλουχία ανάμεσα στον ομιλητή και τον ακροατή ολοκληρωθεί επιτυχώς.

Το SRP χρησιμοποιεί μια αποκεντρωμένη διαδικασία εγγραφής και κράτησης, με αποτέλεσμα να υπάρχει η περίπτωση πολλαπλά αιτήματα να κατακλύσουν το δίκτυο και να οδηγήσουν σε καθυστερήσεις στην κρίσιμη κυκλοφορία. Το IEEE 802.1Qcc-2018 [51] μειώνει το μέγεθος των μηνυμάτων κράτησης και προσδιορίζει κάποιους χρονοδιακόπτες, οι οποίοι ενεργοποιούν τις ενημερώσεις μόνο όταν αλλάζει κατάσταση σύνδεσης ή κράτησης. Για τη βελτίωση της διαχείρισης TSN σε δίκτυα μεγάλης κλίμακας, η διεπαφή χρήστη δικτύου (UNI) εφαρμόζει μια κοινή μέθοδο για την αίτηση υπηρεσιών του Layer 2, η οποία σε συνδυασμό με τον κεντρικό διαμορφωτή δικτύου (CNC), παρέχουν έναν απομακρυσμένο τρόπο κράτησης πόρων, προγραμματισμού και παραμετροποίησης μέσω ενός απομακρυσμένου πρωτοκόλλου διαχείρισης, όπως τα πρότυπα NETCONF / RESTCONF και IETF YANG / NETCONF για τη μοντελοποίηση δεδομένων.

Ο CNC εφαρμόζει ένα μοντέλο αίτησης-απόκρισης ανά stream, όπου η κλάση SR δεν χρησιμοποιείται απευθείας: οι τελικοί σταθμοί στέλνουν αιτήματα για ένα συγκεκριμένο stream χωρίς πρότερη γνώση της διάταξης του δικτύου και το CNC πραγματοποιεί την κράτηση κεντρικά. Το MSRP λειτουργεί μόνο για την παροχή πληροφοριών μεταξύ του CNC και των τερματικών σταθμών και όχι για κρατήσεις των streams. Ο Centralized User Configuration (CUC) είναι ένας προαιρετικός κόμβος που ανακαλύπτει τους τελικούς σταθμούς, τις δυνατότητές τους και τις απαιτήσεις των χρηστών και ρυθμίζει τις λειτουργίες

TSN βελτιστοποιημένες σχετικά με την καθυστέρηση (κυρίως για εφαρμογές IACS κλειστού βρόχου). Επικοινωνεί με τον CUC μέσω μιας API διεπαφής. Παρέχεται αρραγής επικοινωνία με πρωτόκολλα κράτησης κίνησης υψηλότερων επιπέδων, όπως το Resource Reservation Protocol (RSVP).

Η βάση δεδομένων του MRP για τις εγγραφές που σχετίζονται με τις καταστάσεις των ροών, περιορίζεται σε 1500 bytes. Με την αύξηση του μεγέθους του δικτύου και των ροών της δικτυακής κίνησης, η βάση δεδομένων αυξάνεται και αυτή με τη σειρά της αναλογικά με αποτέλεσμα οι ανανεώσεις MPR μεταξύ των γειτονικών κόμβων να γίνονται πολύ αργές αφού θα πρέπει να μετακινηθεί σημαντικός αριθμός δεδομένων. Το IEEE 802.2CS Link-Local Reservation Protocol (LRP) έχει αναπτυχθεί από το TSN TG για την αποδοτική αντιγραφή των MRP βάσεων δεδομένων μεταξύ δύο κόμβων που βρίσκονται στα άκρα ενός κοινού μονοπατιού, αλλά και για την επαυξητική ανανέωση των βάσεων σε περίπτωση αλλαγής των παρατηρούμενων δικτυακών συνθηκών.

Αν και τα πρωτόκολλα SRP και MSRP σχεδιάστηκαν για την κατανομημένη παραμετροποίηση ροών, περιορίζονται γενικά σε εφαρμογές εικόνας και ήχου με ένα περιορισμένο αριθμό κατηγοριών κράτησης, δηλαδή στις Stream Reservation (SR) κλάσεις A και B, όπως ορίζονται από τον Credit Based Shaper (CBS). Το IEEE P802.1Qdd επικαιροποιεί το μοντέλο κατανομημένης διαμόρφωσης ορίζοντας ένα νέο peer-to-peer, Resource Allocation Protocol (RAP) βασισμένο στο LRP. Το RAP θα βελτιώσει την επεκτασιμότητα και θα παρέχει δυναμική κράτηση για μεγαλύτερο αριθμό ροών με υποστήριξη για περιπτή μετάδοση μέσω πολλαπλών διαδρομών και αυτόματη διαμόρφωση ανάκτησης αλληλουχίας.

### 5.2.3 Διαμόρφωση ροών

Το κομμάτι της διαμόρφωσης ροών περιγράφει τον τρόπο διαχείρισης των δεδομένων που ανήκουν σε μια συγκεκριμένη κλάση κίνησης μέσα σε μία γέφυρα που υποστηρίζει το πρωτόκολλο TSN. Το IEEE 802.1Qav περιγράφει το Forwarding and Queueing of Time Sensitive Streams (FQTSS) το οποίο έχει ενσωματωθεί στο IEEE 802.1Q. Αποτελεί μια σημαντική πρόοδο στην δρομολόγηση και αποθήκευση σε ουρές σε σχέση με τα παραδοσιακά δίκτυα Ethernet. Στο πρότυπο ορίζονται λειτουργίες γεφυρών που προσφέρουν εγγυήσεις για χρονικά ευαίσθητα δεδομένα (π.χ. καθυστέρηση, jitter). Το IEEE 802.1Qav περιορίζει το απαιτούμενο μέγεθος αποθήκευσης στους παραλήπτες, μέσω του SRP και του Credit Based Shaper (CBS). Ο CBS αραιώνει κατά μια έννοια τα πλαίσια για να περιορίσει φαινόμενά ριπών (bursts) και συστάδων (bunches). Περιγράφει δύο κλάσεις κίνησης, την A και B από τις οποίες η A συμμορφώνεται σε πιο σκληρούς χρονικούς περιορισμούς. Η κάθε κλάση υπακούει σε ένα συγκεκριμένο μηχανισμό εκπομπής. Η κάθε κλάση έχει μία πίστωση (credit). Όταν δεν υπάρχει κάποιο πλαίσιο για κάποια κλάση προς εκπομπή, η πίστωση γίνεται 0. Μία ουρά είναι επιλέξιμη για εκπομπή όταν η πίστωση είναι θετική. Η πίστωση αυξάνεται κατά μία ποσότητα ίση με το  $idleSlope$  όταν υπάρχει τουλάχιστον ένα πλαίσιο στην ουρά και μειώνεται κατά ποσότητα ίση με  $sendSlope$  όταν ένα πλαίσιο εκπέμπεται. Ο αλγόριθμος φροντίζει ούτως ώστε η κάθε κλάση να μην ξεπερνούν τα προκαθορισμένα όρια εύρους ζώνης. Ο CBS σε συνδυασμό με τον SRP έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν φραγμένες καθυστερήσεις μέχρι 250μs για κάθε γέφυρα και κάτω από 2ms σύνολο. Όμως η μέση καθυστέρηση μπορεί να είναι 250μs ανά αναπήδηση κάτι που είναι απαγορευτικό για εφαρμογές ελέγχου.

Για την βελτίωση των παραπάνω προδιαγραφών το TSN TG πρότεινε τον IEEE 802.1Qbv Time Aware Shaper (TAS) [52] μαζί με τον IEEE 802.1Qbu που περιγράφει τον μηχανισμό της προεκτόπισης πλαισίου (frame preemption). Το TSN ενισχύει την τυπική επικοινωνία Ethernet προσθέτοντας μηχανισμούς για την έγκαιρη παράδοση πακέτων σε συστήματα που έχουν σκληρές ή μαλακές απαιτήσεις πραγματικού χρόνου. Ο μηχανισμός



αξιοποίησης των οκτώ διαφορετικών προτεραιοτήτων VLAN διατηρείται και με αυτόν τον τρόπο διατηρείται η συμβατότητα με τα συστήματα που δεν υλοποιούν το TSN. Αυτό ήταν πάντα μία από τις αρχές σχεδιασμού και μέσα στις στοχεύσεις του IEEE 802 WG κατά την περαιτέρω ανάπτυξη του Ethernet, δηλαδή η διατήρηση της συμβατότητας προς τα πίσω για να διατηρηθεί η διαλειτουργικότητα με την υπάρχουσα υποδομή και να επιτραπεί η ομαλή μετάβαση προς τις νέες τεχνολογίες. Με το TSN για κάθε μία από τις οκτώ ουρές που αντιστοιχούν σε διαφορετικές προτεραιότητες, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει διαφορετικούς μηχανισμούς για την επιλογή των πλαισίων. Αυτοί οι μηχανισμοί μπορεί να είναι να είναι είτε παλιοί (όπως ο προγραμματιστής αυστηρής προτεραιότητας του IEEE 802.1Q) ή καινούργιοι όπως ο Time Aware Scheduler που περιγράφεται στο IEEE 802.1Qbv. Ο TAS εισάγει μια καινούργια κλάση, την Stream Reservation Class (CDT) για δεδομένα ελέγχου ευαίσθητα στον χρόνο, με καθυστερήσεις των 100 μs για πάνω από πέντε αναπηδήσεις και μέγιστη περίοδο μετάδοσης 0,5 ms. Αυτή η κλάση συμπληρώνει το ήδη υπάρχον σύνολο των κλάσεων δηλαδή των κλάσεων A και B που ορίζονται στο IEEE 802.1Qav.

Ένα τυπικό σενάριο χρήσης για το TSN είναι η επικοινωνία ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή (PLC) με ένα βιομηχανικό ρομπότ μέσω ενός δικτύου Ethernet. Για να επιτευχθούν οι απαιτούμενοι χρόνοι μετάδοσης, δηλαδή να υπάρχει εγγυημένη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο και να είναι δυνατή η υποστήριξη επικοινωνίας για τον έλεγχο του κλειστού βρόγχου μεταξύ του PLC και του ρομπότ, μία ή περισσότερες από τις οκτώ προτεραιότητες Ethernet μπορούν να ανατεθούν στον TAS. Αυτός ο χρονοπρογραμματιστής έχει σχεδιαστεί για να διαχωρίζει την κίνηση του δικτύου σε καθορισμένου μήκους περιοδικώς επαναλαμβανόμενους κύκλους. Σε αυτούς τους κύκλους, μπορούν να διαμορφωθούν διαφορετικές χρονικές φέτες που μπορούν να αντιστοιχιστούν σε μία ή περισσότερες από τις οκτώ προτεραιότητες Ethernet. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η αποκλειστική χρήση, για περιορισμένο χρονικό διάστημα, του μέσου μετάδοσης για κλάσεις κυκλοφορίας των οποίων η μετάδοση χρειάζεται κάποιες χρονικές εγγυήσεις και δεν μπορεί να διακοπεί. Η βασική ιδέα είναι ένα σύστημα χρονικής πολύπλεξης. Με τη δημιουργία εικονικών καναλιών επικοινωνίας για

συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, η επικοινωνία που είναι κρίσιμη χρονικά μπορεί να διαχωριστεί από την μη κρίσιμη κίνηση. Με τη χορήγηση αποκλειστικής πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης των συσκευών και των κλάσεων κυκλοφορίας κρίσιμης σημασίας, μπορούν να αποφευχθούν οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής στις ουρές των γεφυρών και η κρίσιμη κίνηση να μπορεί να μεταδοθεί χωρίς μη ντετερμινιστικές παύσεις

#### **5.2.4 Ακεραιότητα ροών**

Ένα άλλο σημαντικό μέρος του TSN είναι η επίτευξη της σωστής αποστολής και λήψης των ροών ανεξαρτήτως των δυναμικών δικτυακών συνθηκών. Κινούμενο σε αυτήν την κατεύθυνση το WG έχει προτυποποιήσει αρκετές τεχνικές.

Το IEEE 802.1CB-2017 Frame Replication and Elimination for Reliability (FRER) [58] είναι ένα πρότυπο που διασφαλίζει την εύρωστη και αξιόπιστη επικοινωνία χρησιμοποιώντας προληπτικά μέτρα για εφαρμογές οι οποίες δεν έχουν καμία ανοχή στην απώλεια πακέτων όπως οι εφαρμογές αυτοματισμού στη βιομηχανία. Το πρότυπο εκμηδενίζει τον κίνδυνο απώλειας πακέτων λόγω κάποιας βλάβης του δικτύου αφού στέλνει αντίγραφα πλαισίων κρίσιμης κίνησης από διαφορετικά μονοπάτια. Αυτός ο πλεονασμός επιτρέπει στο σύστημα να είναι ικανό να ανταπεξέλθει στην απώλεια ορισμένων πακέτων αφού τα αντίγραφά του μπορούν να φτάσουν στον προορισμό ακολουθώντας ένα διαφορετικό μονοπάτι.

Ένα άλλο πρότυπο που συμβάλει προς αυτή την κατεύθυνση είναι και το IEEE 802.1Qci PerStream Filtering and Policing (PSFP) [59]. Το IEEE 802.1Qci αποτρέπει συνθήκες υπερφόρτωσης της κυκλοφορίας, οι οποίες προκαλούνται, για παράδειγμα, από λανθασμένη παράδοση λόγω δυσλειτουργίας του εξοπλισμού ή επιθέσεων Denial of Service (DoS).

Το IEEE 802.1Qci μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προστασία από σφάλματα λογισμικού σε τερματικά σημεία ή γέφυρες, αλλά και από εχθρικές συσκευές και επιθέσεις. Το IEEE 802.1Qci καθορίζει το φιλτράρισμα ανά ροή, προσδιορίζοντας μεμονωμένες ροές με ένα αναγνωριστικό ροής (StreamID), το οποίο χρησιμοποιεί την μέθοδο διαχείρισης ροών του 802.1CB. Οι

ταυτοποιημένες πλέον ροές μπορούν να υποστούν κάποια επεξεργασία και φιλτράρισμα προτού αποθηκευτούν σε μια ουρά στην θύρα εισόδου (Εικόνα 20). Το φίλτρο ροής (Stream Gate) του PSFP εκτελεί φιλτράρισμα ανά ροή με αντιστοίχιση των εισερχομένων πλαισίων με επιτρεπόμενα αναγνωριστικά ροής και επίπεδα προτεραιότητας και έπειτα εφαρμόζει προκαθορισμένες δράσεις. Οι πύλες ροής (Stream Gates) εξασφαλίζουν την ντετερμινιστική επεξεργασία των πλαισίων για κάθε ροή. Τέλος η μέτρηση ροής (Flow metering) επιβάλλει προκαθορισμένα προφίλ εύρους ζώνης για ροές. Η μέτρηση μπορεί, για παράδειγμα, να επιβάλει προκαθορισμένους μέγιστους ρυθμούς δεδομένων.

### **5.3 PROFINET, OPC UA μέσω TSN**

Το Time-Sensitive Networking επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών πρωτοκόλλων αυτοματισμού και IT σε ένα συγκλίνον δίκτυο.

Τα πρωτόκολλα που συζητούνται πιο συχνά εδώ είναι το PROFINET και το OPC UA. Ωστόσο, άλλα συστήματα όπως το CC-Link IE καθορίζονται επίσης για χρήση με το TSN. Για να διασφαλιστεί ότι αυτά τα πρωτόκολλα δεν προκαλούν αμοιβαία παρεμβολή σε ένα δίκτυο, πρέπει να συμφωνήσουν σε ένα κοινό προφίλ του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι μηχανισμοί TSN στο δίκτυο. Αυτό το προφίλ ορίζεται επί του παρόντος σε μια κοινή ομάδα εργασίας για τις IEC και IEEE υπό την ομπρέλα του IEC/IEEE 60802-1A.

Η χρήση των προτύπων TSN ("Ροές και διαμόρφωση", "Συγχρονισμός χρόνου και κύκλου" και "Προβολή πλαισίου") προσδιορίζεται ήδη στην έκδοση 2.4 ή μεταγενέστερη του προτύπου PROFINET. Τα αντίστοιχα πρότυπα IEEE έχουν χρησιμοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι θεμελιώδεις ιδιότητες του PROFINET να έχουν διατηρηθεί. Ως εκ τούτου, οι συσκευές αναπτύσσονται ήδη με το προφίλ PROFINET TSN και σύντομα θα είναι διαθέσιμες στην αγορά.

Η πρωτοβουλία Field Level Communication (FLC) του Ιδρύματος OPC εργάζεται επί του παρόντος για την τυποποίηση του OPC UA σε συνδυασμό

με το TSN. Μόλις ολοκληρωθεί η τυποποίηση, θα αναπτυχθούν και εδώ αντίστοιχες συσκευές που υποστηρίζουν το OPC UA PubSub σε συνδυασμό με το TSN.

Η Phoenix Contact συμμετέχει σε όλους τους σχετικούς οργανισμούς τυποποίησης, όπως το OPC Foundation και το PI International και εργάζεται ενεργά για την εφαρμογή των προτύπων που ορίζονται στο IEC/IEEE 60802. Επιπλέον, σχεδιάζει και αναπτύσσει τις δικές της συσκευές και λύσεις συστήματος προκειμένου να προσφερθεί ένα ολοκληρωμένο χαρτοφυλάκιο προϊόντων TSN για βιομηχανικούς αυτοματισμούς. Επιτρέπει έτσι τη συνεπή δικτύωση της πληροφορικής και του OT, καθώς και διαφορετικών τομέων της Εταιρείας All Electric Society.

Με τη νέα σειρά FL SWITCH TSN 2300, η Phoenix Contact προσφέρει τους πρώτους Managed Switches για χρήση σε δίκτυα TSN. Οι συσκευές υποστηρίζουν το προφίλ PROFINET TSN και συνεπώς αυξάνουν την απόδοση, την ευρωστία και τη διαθεσιμότητα των δικτύων αυτοματισμού σας.

#### **5.4 Διαφορές TSN και IEEE 1588**

Το IEEE 1588 εστιάζει στον συγχρονισμό χρόνου. Δεν αποτελεί μέρος της προδιαγραφής Ethernet αλλά αποτελεί ξεχωριστό πρότυπο. Το πρότυπο IEEE 1588 παρέχει σετ επιλογών. Υπάρχουν πολλά προφίλ στο 1588 όπου κάθε προφίλ επιλέγει ποιες επιλογές θα χρησιμοποιήσει. Αυτό επηρεάζει το υλικό και το λογισμικό που απαιτείται για την υποστήριξη του προφίλ και προκαλεί ασυμβατότητες μεταξύ των προφίλ. Για παράδειγμα, το προφίλ που χρησιμοποιεί η LXI είναι διαφορετικό από το προφίλ που χρησιμοποιεί η Siemens, το οποίο είναι διαφορετικό από αυτό που χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο είναι διαφορετικό από αυτό που χρησιμοποιείται από τις τηλεπικοινωνίες. Η υποστήριξη για καθένα από αυτά τα προφίλ απαιτεί διαφορετικούς διακόπτες δικτύου και διαφορετικές τελικές συσκευές.

Το TSN είναι μια σειρά λειτουργιών που προστίθενται στα πρότυπα Ethernet (IEEE 802). Αυτό περιλαμβάνει:

Μηχανισμούς για συγχρονισμό χρόνου (IEEE 802.1AS)  
Μηχανισμούς για τη χρήση συντονισμένου χρόνου για τον προγραμματισμό της κυκλοφορίας (IEEE 802.1 Qbv)

Μηχανισμούς για τη διασφάλιση της απλής/κλιμακούμενης διαμόρφωσης συστήματος (IEEE 802.1 Qcc)

Όταν η ομάδα IEEE 802 αποφάσιζε πώς να παρέχει συγχρονισμό χρόνου επέλεξε να χρησιμοποιήσει το 1588. Ωστόσο, χρειαζόταν να επιλέξετε και να τυποποιήσετε ένα προφίλ, έτσι ώστε το πυρίτιο και άλλα πρότυπα να μπορούν να βασιστούν σωστά στον παρεχόμενο χρόνο. Την εποχή που ξεκίνησε αυτή η προσπάθεια, η ομάδα IEEE 1588 δεν συνεδρίαζε ενεργά. Το IEEE 802 επέλεξε ένα προφίλ και το πρόσθεσε στην εργασία προτύπων απευθείας για να εξασφαλίσει την κατάλληλη επένδυση και έλεγχο. Αυτό είναι το πρότυπο IEEE 802.1AS.

Σήμερα η ομάδα IEEE 1588 είναι και πάλι ενεργή και η ομάδα IEEE 802 εργάζεται στενά για να ευθυγραμμιστεί. Το IEEE 802.1AS είναι πλέον ένα προφίλ του 1588. Είναι το προφίλ που θα χρησιμοποιηθεί για το TSN και έχει κάποια πλεονεκτήματα απόδοσης και επεκτασιμότητας σε σχέση με άλλα προφίλ. Πιστεύουμε με την πάροδο του χρόνου ότι το 802.1AS θα γίνει το κυρίαρχο προφίλ στη βιομηχανία.

Η NI συμμετέχει ενεργά τόσο στην ομάδα IEEE 802 όσο και στην ομάδα IEEE 1588. Επί του παρόντος, εκτός από την υποστήριξη για το προφίλ TSN, το NI υποστηρίζει προεπιλεγμένο προφίλ 1588 V2 με συγχρονισμό από άκρο σε άκρο σε όλους τους στόχους RT μας και σε επιλεγμένες κάρτες PXI χρονισμού/συγχρονισμού. Ξεκινώντας το 2017, η NI προσφέρει τη δυνατότητα «γέφυρας» μεταξύ των διαφορετικών προφίλ 1588 στα προϊόντα μας Industrial Controller (317x). Αυτό μπορεί να επιτρέψει το συγχρονισμό συσκευών που χρειάζονται προεπιλεγμένο προφίλ 1588 V2 και δίκτυα TSN με χρήση προφίλ 802.1AS. Ως συνηθισμένο παράδειγμα, μπορούμε να συγχρονίσουμε μια κάμερα GigE Vision που είναι συνδεδεμένη σε μία από τις θύρες του ελεγκτή στο δίκτυο TSN παρέχοντας στενά συγχρονισμένες εφαρμογές όρασης/κίνησης.

## 5.5 Οφέλη του TSN

Οι βελτιώσεις στο τυπικό Ethernet μέσω της υποστήριξης του Time Sensitive Networking θα παρέχουν νέες δυνατότητες που θα ωφελήσουν τις βιομηχανικές εφαρμογές. Αυτές είναι:

**Ανοιχτό πρότυπο μέσω του IEEE 802:** αυτό διασφαλίζει την ουδετερότητα του προμηθευτή και τη συνεχή επένδυση από προμηθευτές πυριτίου και υποδομής.

**Σύγκλιση:** Το βιομηχανικό IoT απαιτεί ότι οποιοδήποτε μέρος ενός κατακευματισμένου συστήματος μπορεί να έχει πρόσβαση σε δεδομένα. Δεδομένου ότι μεγάλο μέρος ενός συστήματος IoT υπάρχει εντός του IT (διακομιστές και το νέφος), αυτό δημιουργεί την ανάγκη για ένα συγκλίνον, συγχρονισμένο δίκτυο σε ενοποιημένους διαύλους. Με τα υπάρχοντα δίκτυα που χρησιμοποιούν διαφορετικούς διαύλους, είναι δύσκολο να μεταφερθούν δεδομένα στα συστήματα πληροφορικής με ευέλικτο, επεκτάσιμο τρόπο.

**Βελτιωμένη χρήση περιουσιακών στοιχείων:** ο χρόνος λειτουργίας παραγωγής μπορεί να αυξηθεί μέσω πληρέστερης κάλυψης παρακολούθησης συστήματος και παράδοσης σε πραγματικό χρόνο κατάστασης και συμβάντων συστημάτων.

**Μειωμένο κόστος υλοποίησης:** Το TSN υπόσχεται να μειώσει το κόστος υλοποίησης και να απλοποιήσει την υποδομή δικτύου. Ένας λόγος για αυτό είναι ότι το Ethernet χρησιμοποιείται τόσο ευρέως σε πολλές διαφορετικές αγορές. Αυτό εξασφαλίζει μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα πυριτίου, συνεχείς ενημερώσεις τεχνολογίας και αποσβεσμένο κόστος ανάπτυξης.

**Μειωμένος κύκλος ζωής ανάπτυξης:** Η υψηλότερη δυνατότητα σύνθεσης του συστήματος παρέχει τη δυνατότητα ευκολότερης αναβάθμισης των υποσυστημάτων διατηρώντας παράλληλα τα υπάρχοντα υποσυστήματα.

**Αυξημένη ευελιξία:** Η ικανότητα ενσωμάτωσης νέων χαρακτηριστικών και λειτουργιών για την ενίσχυση των υπάρχοντων συστημάτων.

**Ενισχυμένη ασφάλεια:** Ιστορικά δίκτυα ελέγχου είχαν ελάχιστη έως καθόλου ενσωματωμένη ασφάλεια. Αυτό δημιουργεί μια μεγάλη ευπάθεια, όπως έχει αποδειχθεί σε περιπτώσεις υψηλής δημοσιότητας, όπως το Stuxnet και η εισβολή εντός οχήματος. Επειδή το TSN χρησιμοποιεί τυπικό Ethernet, οι μηχανισμοί ασφαλείας που έχουν ήδη αναπτυχθεί σε δίκτυα πληροφορικής μπορούν να εφαρμοστούν για τον έλεγχο δικτύων με TSN.

Όλες οι κρίσιμες επικοινωνίες σε πραγματικό χρόνο στο δίκτυο οργανώνονται σε ροές, οι οποίες παρέχονται με μια συγκεκριμένη Ποιότητα Υπηρεσίας (εύρος ζώνης, καθυστέρηση κ.λπ.) με βάση τις απαιτήσεις και την ιεράρχηση του σχετικού πακέτου δεδομένων. Οι ροές πρέπει να δεσμεύονται πριν από τη χρήση, έτσι ώστε το διαθέσιμο εύρος ζώνης να μπορεί να ελεγχθεί σε σχέση με άλλες ροές. Μια μηχανή διαχείρισης δικτύου, γνωστή και ως κεντρικός ελεγκτής δικτύου ή CNC, (π.χ. στον ελεγκτή) διαβάζει την τοπολογία, υπολογίζει τις ροές και διαμορφώνει ανάλογα το δίκτυο.

## **5.6 Σύγκλιση IT και OT μέσω TSN**

Η μετάδοση δεδομένων κρίσιμων εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο (π.χ. γρήγοροι έλεγχοι, απόκτηση σήματος σε δίκτυα ισχύος ή έλεγχος κίνησης) και εφαρμογών έντασης δεδομένων (π.χ. ροές βίντεο ή συστήματα πληροφορικής) υλοποιείται επί του παρόντος σε ξεχωριστά δίκτυα για την αποτροπή αμοιβαίας παρέμβασης. Ωστόσο, η αυξανόμενη ευελιξία και ψηφιοποίηση των διαδικασιών εργασίας απαιτεί την αυξανόμενη σύγκλιση IT και OT, και συνεπώς την ενοποίηση προηγουμένως χωριστών συστημάτων.

Επεκτείνοντας και προσαρμόζοντας τα υπάρχοντα πρότυπα Ethernet, το TSN δημιουργεί μια σύγκλιση μεταξύ της τεχνολογίας πληροφοριών (IT) και της βιομηχανικής επιχειρησιακής τεχνολογίας (OT) στα βιομηχανικά δίκτυα. Αυτό σημαίνει ότι τόσο τα κρίσιμα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο όσο και οι εφαρμογές έντασης δεδομένων (π.χ. ροές βίντεο) μπορούν να υλοποιηθούν μέσω ενός κοινόχρηστου καλωδίου Ethernet, χωρίς παρεμβολές μεταξύ τους.

## 5.7 Εφαρμογές TSN

### 5.7.1 Εισαγωγή

Τα πεδία εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας δεν περιορίζονται μόνο στον βιομηχανικό χώρο αλλά σε οποιαδήποτε περιοχή όπου χρειάζεται να συνυπάρξουν δικτυακά δεδομένα διαφορετικών απαιτήσεων.

Κάποιες περιοχές εφαρμογής είναι τα δίκτυα ήχου και εικόνας (πρότυπο που αποτελεί εξέλιξη του προτύπου Audio Visual Bridging), τα δίκτυα επικοινωνίας M2M, τα δίκτυα αυτοκινήτων κτλ.

### 5.7.2 Απαιτήσεις των TSN εφαρμογών

Η παρούσα ενότητα παρέχει μια επισκόπηση των ευαίσθητων στον χρόνο εφαρμογών για τη Βιομηχανία 4.0 και πώς οι απαιτήσεις τους επηρεάζουν το σχεδιασμό δικτύου. Αυτές οι εφαρμογές έχουν ανάγκη να επικοινωνούν δεδομένα από άκρο σε άκρο και με συνέπεια, όπου η συνέπεια αξιολογείται από την άποψη σκληρών εγγυήσεων, για μία ή περισσότερες επιδόσεις μετρικές.

Στον επερχόμενο μετασχηματισμό στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, οι περισσότερες εφαρμογές απαιτούν συνεργασία μεταξύ μηχανών και ως εκ τούτου, πρέπει να ανταλλάσσουν αξιόπιστα δεδομένα σε όλο το εργοστάσιο αλλά και το δίκτυο ακραίων DC. Αντ' αυτής της ταξινόμησης των εφαρμογών ανά ομάδες περιπτώσεων χρήσης, αναζητήσαμε για κοινούς παρονομαστές στα πρότυπα ανταλλαγής δεδομένων τους. Στη συνέχεια διακρίνουμε μεταξύ των μηχανών στο εργοστάσιο (ρομπότ, μηχανές, αυτοματοποιημένα οχήματα καθοδήγησης (AGV), χρήστες τερματικών, κ.λπ.) και από τους διακομιστές στο κέντρο δεδομένων των άκρων. Εντοπίσαμε πέντε κατηγορίες μηχανής προς μηχανή, μηχανής προς διακομιστή και διακομιστή προς διακομιστή:

i) Βρόχοι ελέγχου όπου τα δεδομένα ελέγχου ανταλλάσσονται μεταξύ ενός ελεγκτή και των αισθητήρων και ενεργοποιητών της μηχανής, και επιστρέφουν



στον ελεγκτή. Οι βρόχοι απαιτούν εξαιρετικά χαμηλή και περιορισμένη καθυστέρηση. Όταν ο ελεγκτής φιλοξενείται σε ένα διακομιστή εντός του ακραίου DC, η επικοινωνία μεταξύ μηχανής και του ελεγκτή της απαιτεί ντετερμινισμό επίδοσης (performance determinism) τόσο στο δίκτυο του εργοστασίου όσο και στο τμήμα του δικτύου που συνδέεται με τον εξυπηρετητή εντός του ακραίου DC.

ii) Οι συνεργατικοί βρόχοι ελέγχου αναφέρονται στον έλεγχο των συντονισμένων ενεργειών μεταξύ δύο ή περισσότερων μηχανών. Αυτός ο συντονισμός λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό του ακραίου DC όπου οι ελεγκτές πρέπει να ανταλλάσσουν συγκεκριμένα δεδομένα για τον συνεπή συντονισμό των μηχανών, πριν κάθε ελεγκτής στείλει την εντολή πίσω στη μηχανή του. Η εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση επεκτείνεται στο δίκτυο DC άκρου. Πάνω από την λανθάνουσα κατάσταση, απαιτείται ακριβής συγχρονισμός.

iii) Ροή δεδομένων για τη λειτουργία εργοστασιακών χώρων όπου οι μηχανές στέλνουν μια περιοδική σταθερή ροή δεδομένων από αισθητήρες ή κάμερες σε διακομιστές για εφαρμογές όπως η ψηφιακή σπασσοκεφαλιά, ή η ανίχνευση συγκρούσεων. Επειδή λαμβάνονται αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται από τις μηχανές, αυτά τα δεδομένα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ενημερωμένα. Αυτό θέτει περιορισμούς στην καθυστέρηση στα δίκτυα εργοστασίου και στα δίκτυα διασυνδέσεων DC εντός της ακμής.

iv) Ροές δεδομένων για υπηρεσίες όπου τα δεδομένα μοιράζονται μεταξύ μηχανών και διακομιστών πολλαπλών χρηστών για συγκεκριμένες εφαρμογές που περιλαμβάνουν τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος κοινόχρηστων μέσων, όπως εικονικές συναντήσεις. Αυτές οι εφαρμογές είναι ανθεκτικές σε απώλειες πακέτων και απόλυτη καθυστέρηση, αλλά απαιτούν πολύ χαμηλό jitter για το συγχρονισμό της εμπειρίας για όλους τους μισθωτές (για όλους αυτούς που συμμετέχουν) της υπηρεσίας. Το τρεμόπαιγμα πρέπει να περιορίζεται από άκρο σε άκρο σε όλο το εργοστάσιο και την ακραία DC

v) Παραλληλοποιημένη επεξεργασία για εφαρμογές πραγματικού χρόνου που απαιτούν υπολογισμούς, π.χ., μια προσομοίωση που βασίζεται σε ψηφιακά δίδυμα για τη βελτίωση της λήψης κρίσιμων αποφάσεων σε κρίσιμο χρόνο.

Επεξεργασία δεδομένων πρέπει να παραλληλιστεί για να μειωθεί ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης. Επομένως, η καθυστέρηση και η αξιοπιστία είναι υψίστης σημασίας απαιτήσεις, ενώ η μείωση του τρεμούλιασματος θα καταστήσει δυνατή την εκτέλεση του κέντρου δεδομένων άκρων με σύγχρονο τρόπο, με αποτέλεσμα την μείωση περαιτέρω του χρόνου εκτέλεσης [61].

Η εξέταση της βιβλιογραφίας που παρέχεται από διάφορα πρότυπα οργανισμών και βιομηχανικών φόρουμ παρέχει ένα αρκετά μεγάλο σύνολο εφαρμογών και περιπτώσεων χρήσης που είναι ευαίσθητες στο χρόνο και συνεπώς σχετικές με τη συζήτηση για τον ντετερμινισμό. Ενώ οι εφαρμογές και οι περιπτώσεις χρήσης καλύπτουν πολυάριθμα βιομηχανικά τμήματα, υπάρχουν διαρθρωτικές ομοιότητες όσον αφορά τις συμπεριφορές των υπηρεσιών. Διαφέρουν κυρίως ως προς τις τιμές στόχου των παραμέτρων της υπηρεσίας: καθυστέρηση, τρεμούλιασμα, ρυθμός δεδομένων και αξιοπιστία, όπως αναφέρεται στους παρακάτω πίνακες. Όλες οι εξεταζόμενες χρονοευαίσθητες εφαρμογές εμπίπτουν σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

Μηνύματα ελέγχου, που χρησιμοποιούνται στις κατηγορίες επικοινωνίας i) και ii) χρειάζονται τις πιο αυστηρές εγγυήσεις καθυστέρησης και αξιοπιστίας (Εικόνα 9 ). Τα μηνύματα ελέγχου μπορεί να είναι περιοδικά χρονικά, δηλαδή να παράγονται συνεχώς, ή απεριοδικά, δηλαδή να παράγονται σποραδικά. Μπορεί να είναι μονοκατευθυντικά, όπου τα μηνύματα δεν εξαρτώνται αυστηρά από ανατροφοδότηση αντίστροφης διαδρομής, ή αμφίδρομα, όπου τα μηνύματα εξαρτώνται από την ανάδραση αντίστροφης διαδρομής. Συστήματα που απαιτούν αμφίδρομη περιοδική επικοινωνία πρέπει να λαμβάνουν απαντήσεις πριν από τη δημιουργία του επόμενου μηνύματος. Εναλλακτικά, τα συστήματα που απαιτούν αμφίδρομα μη περιοδικά μηνύματα ελέγχου χρησιμοποιούν ένα αυστηρό περιορισμό του χρόνου διαδρομής. Τα μηνύματα ελέγχου μπορούν επίσης να είναι μονόδρομες συνεργατικές πολλαπλών ροών, όπου ο ένας κόμβος ανταλλάσσει δεδομένα ελέγχου με πολλούς άλλους κόμβους σε κοντινή απόσταση.

**TABLE I**  
**CONTROL MESSAGES REQUIREMENTS**

<i>Applications</i>	<i>Latency</i>	<i>Jitter</i>	<i>Data rate</i>	<i>Reliable (%)</i>
<b>UNIDIRECTIONAL CONTROL</b>				
Periodic smart grid distance protection and intra-substation process bus communication	5ms	NA	64kbps	99.999
periodic smart grid inter-substation protection signaling	5ms	NA	64kbps	99.999
smart ambulance -data	5ms	NA	1Mbps	99.999
periodic wind turbine monitoring and control	16ms	NA	75kbps	99.99
critical short-range road safety	20ms	NA	60kbps	99.999
aperiodic tactile interaction	0.5ms to 1ms	NA	100kbps	NA
aperiodic smart grid inter-trip protection	5ms	NA	NA	99.9999
smart factory massive wireless sensor networks (for safety)	5ms to 10ms	NA	NA	up to 99.99999
building monitor and control – alarms, controls	< 10ms to 100ms	< 1ms	NA	NA
<b>BIDIRECTIONAL CONTROL</b>				
Critical smart factory control/data streams (e.g., safety heartbeat)	100μs to 50ms	NA	NA	99.999
periodic smart factory motion control	< 500μs to < 2ms	= one-way latency	10kbps	99.999999
periodic smart factory control to control	4ms	2ms	1kbps	up to 99.99999
periodic smart factory mobile control panels with safety functions	4ms to 8ms	<½ latency	NA	up to 99.999999
periodic smart grid current differential protection	5ms	<250μs	64kbps	99.9999
aperiodic smart grid tele-protection	4ms to 8ms	<250μs	NA	99.9999
aperiodic smart factory control to control	<10ms	<10ms	<1kbps /control loop	up to 99.999999
aperiodic smart factory mobile control panels with safety functions	<30ms	15ms	>5Mbps	NA
<b>UNIDIRECTIONAL MULTI FLOW</b>				
cooperative driving	10ms-25ms	NA	65Mbps	up to 99.99

(NA stands for not available)

### Εικόνα 9 Απαιτήσεις μηνυμάτων Ελέγχου [60]

2. Μέσα πραγματικού χρόνου, που χρησιμοποιούνται στις κατηγορίες επικοινωνιών iii) και iv) έχουν αυστηρή καθυστέρηση και αξιοπιστία, αλλά και υψηλών απαιτήσεων ταχύτητα δεδομένων (Εικόνα 10 ).

**TABLE II**  
**REAL-TIME MEDIA REQUIREMENTS**

<i>Applications</i>	<i>Latency</i>	<i>Jitter</i>	<i>Data rate</i>	<i>Reliable (%)</i>
<b><i>RATE ADAPTIVE UNIDIRECTIONAL</i></b>				
automated guided vehicles	1ms to 500ms	<1/2 latency	10Mbps	99.9999
video from drones and other machines/robots	1ms	10s of Mbps	NA	100 (utopian in ref [25])
smart ambulance – media	< 20ms	NA	200Mbps to Gbps	99.999
tele-operated driving	20ms	high	25Mbps-40Mbps	NA
real time video surveillance	< 500ms		80Mbps	99.99
<b><i>RATE-ADAPTIVE BIDIRECTIONAL</i></b>				
augmented reality	<50ms		2-5Mbps	99.9
<b><i>CONSTANT BIT-RATE UNIDIRECTIONAL</i></b>				
remote surgery	1ms		NA	NA
low latency audio streaming	4ms		<4Mbps	99.9999

(NA stands for not available)

Εικόνα 10 Απαιτήσεις μέσω σε Πραγματικό Χρόνο [60]

Στις εφαρμογές μέσω επικοινωνίας πραγματικού χρόνου, τα πλαίσια πρέπει να παραδίδονται με σταθερό ρυθμό. Ένα καθυστερημένο πλαίσιο είναι ένα χαμένο πλαίσιο. Τα μέσα ενημέρωσης πραγματικού χρόνου μπορεί να είναι:

- προσαρμοζόμενα στο ρυθμό μονόδρομου με το ρυθμό κωδικοποίησης που προσαρμόζεται σε μη εγγυημένες συνθήκες διαδρομής δεδομένων, και διαδραστικότητα μέσω κίνησης ελέγχου χαμηλού εύρους ζώνης απαιτώντας απόδοση δεκάδων Mbps, μονοψήφιο αριθμό ms καθυστέρησης και ακόμη μικρότερο τρεμούλιασμα
- Αμφίδρομη προσαρμογή ρυθμού με τον ρυθμό κωδικοποίησης επίσης να προσαρμόζεται στις μη εγγυημένες συνθήκες της διαδρομής δεδομένων, αλλά σε αυτή την περίπτωση η πηγή και ο δέκτης βρίσκονται μαζί, και το δίκτυο παρέχει ενδιάμεση επεξεργασία – καθυστέρηση, ο περιορισμός ισχύει για το χρόνο διαδρομής (RTT), όχι μόνο για την μονόδρομου καθυστέρηση, μπορεί να απαιτεί ρυθμό μετάδοσης Mbps και δεκάδες ms καθυστέρηση κυκλικού ταξιδιού

- Σταθερός ρυθμός μετάδοσης bit μονόδρομος όπου ο ρυθμός κωδικοποίησης είναι σταθερός και δεν προσαρμόζεται στις συνθήκες της διαδρομής δεδομένων. Οι συνθήκες της διαδρομής δεδομένων είναι εγγυημένες, αλλά ο συγχρονισμός μπορεί να επιτευχθεί συμπληρωματικά, από ροές χαμηλότερου εύρους ζώνης (π.χ. ήχος).

3. Δίκτυο ραδιοπρόσβασης (RAN) Xhaul, που χρησιμοποιείται στην επικοινωνία κατηγορίας iii) είναι μια κατηγορία όπου όλες οι περιπτώσεις χρήσης χρειάζονται υψηλή ρυθμαπόδοση, συνήθως στην περιοχή των Gbps (Εικόνα 11). Πολλές από αυτές τις ποικίλες, υψηλών απαιτήσεων υπηρεσίες και όλο και περισσότερο απαιτητικές απαιτήσεις ροής κίνησης θα πρέπει να υποστηριχθούν ταυτόχρονα σε μια ενιαία υποδομή.

TABLE III  
RAN XHAUL REQUIREMENTS

<i>Applications</i>	<i>Latency</i>	<i>Jitter</i>	<i>Data rate</i>	<i>Reliable (%)</i>
ultra-low-latency, non-rate-adaptive (e.g. CPRI and eCPRI RAN Fronthaul)	45-100us	65ns, 130ns, 260ns	NA	NA
low-latency, rate-adaptive (e.g. RAN Midhaul)	1-10 ms	NA	NA	NA
low-latency, non-rate-adaptive (e.g. wireless road-side infrastructure backhaul)	30ms	NA	NA	99.9999

(NA stands for not available)

Εικόνα 11 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ RAN XHAUL [60]

Ωστόσο, η εκπλήρωση μιας απαίτησης μπορεί να αποτρέψει το δίκτυο από την εκπλήρωση μιας άλλης. Μπορεί να εκπληρωθεί το URLLC με την παρουσία υψηλής πυκνότητας τελικών σημείων/ροών ή/και μεγάλων περιοχών εξυπηρέτησης/κάλυψης, π.χ. καρδιακός παλμός ασφαλείας; Μπορούν να ικανοποιηθούν υψηλοί ρυθμοί δεδομένων με χαμηλή καθυστέρηση σε υψηλές ταχύτητες, τηλεχειρισμό τηλεκατευθυνόμενου μη επανδρωμένου αεροσκάφους με τη βοήθεια βίντεο; Μπορούν να επιτευχθούν εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις παρουσία υψηλών ρυθμών δεδομένων, π.χ. οπτική ανατροφοδότηση για τηλεχειρουργικές επεμβάσεις.

### 5.7.3 Επίδραση TSN στις βιομηχανικές εφαρμογές

Σύμφωνα με το Industrial IoT Consortium, το Time-Sensitive Networking είναι το κλειδί για βιομηχανικές εφαρμογές όπως ο έλεγχος διεργασιών και μηχανών όπου η χαμηλή καθυστέρηση επικοινωνίας και το ελάχιστο jitter είναι κρίσιμα για την ικανοποίηση των απαιτήσεων ελέγχου κλειστού βρόχου. Το TSN είναι ο πρώτος πλήρως ανοιχτός, τυπικός και διαλειτουργικός τρόπος για την εκπλήρωση αυτών των απαιτήσεων.

Η Κοινοπραξία Industrial IoT σημείωσε ότι οι κατασκευαστικές εργασίες απαιτούν στενό συντονισμό ανίχνευσης και ενεργοποίησης για την ασφαλή και αποτελεσματική εκτέλεση ελέγχου κλειστού βρόχου. «Τυπικά, αυτά τα συστήματα έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας μη τυποποιημένη υποδομή δικτύου ή τυπικά δίκτυα με διάκενο (μη συνδεδεμένα). Αυτή η προσέγγιση καθιστά πολύ πιο δύσκολη την πρόσβαση σε συσκευές και δεδομένα και δημιουργεί ένα τεχνικό εμπόδιο στο IoT, το οποίο βασίζεται στην ικανότητα κατανάλωσης δεδομένων οπουδήποτε σε όλη την υποδομή. Για να καλύψει αυτές τις ανάγκες του IoT μέχρι το σύστημα ελέγχου, ο οργανισμός IEEE εργάζεται για την ενημέρωση των προτύπων για Ethernet και ασύρματη σύνδεση (IEEE 802) για την υποστήριξη δικτύων ευαίσθητων στον χρόνο», ανέφερε η οντότητα.

«Το TSN επιτρέπει μια ενιαία, ανοιχτή υποδομή δικτύου που υποστηρίζει τη διαλειτουργικότητα πολλών προμηθευτών μέσω της τυποποίησης και της σύγκλισης IT και OT μέσω της εγγύησης της υπηρεσίας. Η τεχνολογία θα χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη του ελέγχου και του συγχρονισμού σε πραγματικό χρόνο μηχανών υψηλής απόδοσης μέσω ενός ενιαίου, τυπικού δικτύου Ethernet», πρόσθεσε η κοινοπραξία.

Το TSN θα υποστηρίξει κρίσιμες εφαρμογές ελέγχου, όπως συστήματα ελέγχου ρομπότ, ελέγχου κίνησης και όρασης στο βιομηχανικό Διαδίκτυο. Επιπλέον, η συνδεσιμότητα TSN επιτρέπει στους πελάτες, τους προμηθευτές και τους πωλητές να έχουν πιο εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα από αυτά τα συστήματα και να εφαρμόζουν ρουτίνες προληπτικής συντήρησης και βελτιστοποίησης σε αυτά τα συστήματα.

#### 5.7.4 TSN και 5G

Σύμφωνα με μια ανάρτηση ιστολογίου της Ericsson, η δυνατότητα σύνδεσης του κόσμου της φυσικής παραγωγής με μια ψηφιακή αναπαράσταση μπορεί να προσφέρει ευελιξία και κέρδη αποτελεσματικότητας μέσω καλύτερου ελέγχου και σχεδιασμού του συστήματος αυτοματισμού. «Η διασύνδεση πολλών μηχανών, συσκευών, του cloud και ανθρώπων, κάνει τις πληροφορίες προσβάσιμες από οπουδήποτε στο εργοστάσιο. Η προκύπτουσα πλήρης διαφάνεια μεταξύ των διαδικασιών και των περιουσιακών στοιχείων μετατρέπει το εργοστάσιο παραγωγής σε ένα κυβερνο-φυσικό σύστημα παραγωγής. Η έξυπνη κατασκευή καθίσταται δυνατή με την υιοθέτηση νέων παραδειγμάτων όπως το cloud computing, η αγκαλιά των ψηφιακών δίδυμων και η εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση και τον έλεγχο», σύμφωνα με την ανάρτηση.

Ο Σουηδός πωλητής σημείωσε ότι οι τεχνολογίες επικοινωνίας για αυτόν τον μετασχηματισμό είναι το TSN στην πλευρά της ενσύρματης γραμμής και το 5G στην πλευρά της ασύρματης σύνδεσης. «Και οι δύο τεχνολογίες έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν σύγκλιση επικοινωνίας σε μια κοινή δικτυακή υποδομή για ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των χρονικά ευαίσθητων εφαρμογών που απαιτούν ντετερμινιστικές, αξιόπιστες και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίες».

«Υπάρχουν σημαντικά οφέλη που μπορούν να επιτευχθούν για περιπτώσεις βιομηχανικής χρήσης με την εισαγωγή της ασύρματης επικοινωνίας TSN και 5G, για παράδειγμα λόγω της αυξημένης ευελιξίας στην ανάπτυξη βιομηχανικού εξοπλισμού και του δικτύου. Αυτό απαιτεί το 5G να παρέχει ισχυρή υποστήριξη για τις υπηρεσίες επικοινωνίας Ethernet-TSN και τη διασυνεργασία με ενσύρματα δίκτυα TSN», πρόσθεσε η Ericsson.

## Βιβλιογραφία

- [1] Delloite, (2015) Industry 4.0 Challenges and Solutions for the digital transformation and use of exponential technologies [Πρόσβαση 22 Σεπτεμβρίου 2018], <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/chen-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>
- [2] Drath, R., Hoch, A., (2014), Industrie 4.0 – hit or hype? IEEE Industrial Electronics Magazine, 8(2), 56-58
- [3] Cleverism, 2017. "Industry 4.0: Definition, Design Principles, Challenges, and the Future."
- [4] Xu, L., Xu, E., Li, L. (2018b), Industry 4.0: state of the art and future trends, International Journal of Production Research, 56:8, 2941-2962
- [5] Yin, Y., Stecke, K., Li, D. (2018), The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0, International Journal of Production Research, 56 (1–2), 848– 861
- [6] Hu, J. (2013), Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization, Procedia CIRP 7, 3-8
- [7] Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016), Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks, 12(1), 3159805
- [8] Rüßmann et al. 2018. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Ανάκτηση από inovasyon: [http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives\\_Industry.4.0\\_2015.pdf](http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf)
- [9] FAGBOHUN, O., 2014. "Comparative studies on 3G,4G and 5G wireless technology", IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering, vol. 9, no. 2, pp. 133-139, 2014
- [10] Dan, C., 2014. "Review of Generations and Physics of Cellphone Technology", International Journal of Information Science, no. 41, pp. 1-7, 2014.



- [11] Shafi, M., Molisch, A., Smith, P., Haustein, T., Zhu, P., De Silva, F., Tufvesson, Benjebbour A. and Wunder, G., 2017. "5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 35, no. 6, pp. 1201-1221.
- [12] C. Dan, 2014, "Review of Generations and Physics of Cellphone Technology", International Journal of Information Science, no. 41, pp. 1-7, 2014.
- [13] TR 38.804, Study on New Radio Access Technology; Radio Interface Protocol Aspects, Rel-14
- [14] Kreutz, D., Ramos, F. M. V., Verissimo, P. E., Rothenberg, C. E., Azodolmolky S., Uhlig, S., 2015. "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey," in Proceedings of the IEEE, vol. 103, no. 1, pp. 14-76, Jan. 2015.
- [15] Nguyen, A. Brunstrom, K. Grinnemo and J. Taheri, (2017). "SDN/NFVBased Mobile Packet Core Network Architectures: A Survey," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 3, pp. 1567-1602.
- [16] Taleb, T., Samdanis, K., Mada, B., Flinck, H., Dutta S. and Sabella, D., (2017). "On Multi-Access Edge Computing: A Survey of the Emerging 5G Network Edge Cloud Architecture and Orchestration," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 3, pp. 1657-1681.
- [17] Niu, Y., Li, Y., Jin, D., Su, L. and Vasilakos, A., 2015. A survey of millimeter wave communications (mmWave) for 5G: opportunities and challenges. Wireless Networks. 2657-2676.
- [18] Larsson, E. G., Edfors, O., Tufvesson F. and Marzetta, T. L., 2014. "Massive MIMO for next generation wireless systems," in IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, pp. 186-195.
- [19] Guides and W. Technology. "What Is Massive MIMO Technology?", 5g.co.uk, 2018. Available: <https://5g.co.uk/guides/whatis-massive-mimo-technology/>. [Accessed: 10- Sep- 2018].

[20] Μίντης, Δ., 2018. Επικοινωνίες 5<sup>ης</sup> Γενιάς (5G), Εφαρμογές, Τεχνολογίες και Πρότυπα. Αλεξάνδρειο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης. Διπλωματική εργασία.

[21] Τζουανοπούλου, Μ., 2019. Ανάλυση απαιτήσεων, τεχνικών προδιαγραφών και πιλοτική υλοποίηση εφαρμογής επικοινωνίας μικρών αποστάσεων με χρήση τεχνολογιών επικοινωνιών 5G Device-to-Device(D2D). Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Διπλωματική εργασία.

[22] GSA, 2018. The Road to 5G: Drivers, Applications, Requirements and Technical Development - GSA". Available: <https://gsacom.com/paper/the-road-to-5g-drivers-applications-requirementsand-technical-development/>. [Accessed: 10- Sep- 2018].

[23] Xiang, W., Zheng K. and X. Shen X., (2017). 5G Mobile Communications. Switzerland: Springer.

[24] The Top 5G Use Cases — SDxCentral.com", SDxCentral, 2018. [Online]. Available: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/top-5g-usecases/>. [Accessed: 11- Sep- 2018].

[25] Connect the Dots: Massive, 5G Readies to Take Low-Latency IoT Mainstream", IOT Solution Provider, 2018. [Online]. Available: <https://www.iotsolutionprovider.com/industrial/connect-the-dots-massive-5greadies-to-take-low-latency-iot-mainstream>. [Accessed: 11- Sep- 2018].

[26] NGMN, "5G white paper," 2015. [Online]. Available: [https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN\\_5G\\_White\\_Paper\\_V1\\_0.pdf](https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf). Accessed: Dec. 3, 2017.

[27] NOKIA, "5G use cases and requirements," 2016. [Online]. Available: <http://resources.alcatel-lucent.com/asset/200010>. Accessed: Accessed: 11- Sep- 2018.

[28] West, D. M., 2016. "How 5G technology enables the health internet of things," Available: <https://www.brookings.edu/wpcontent/uploads/2016/07/How-5G-tech-enables-health-iot-west.pdf>. Accessed 11- Sep- 2018.

- [29] "5G and e-health 1 Socio-economic drivers of e-health in horizon 2020," 2015. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/wpcontent/uploads/2016/02/5G-PPP-White-Paper-on-eHealth-Vertical-Sector.pdf>. Accessed: 11- Sep- 2018.
- [30] Fantastic-5G, "Use cases, KPIs and requirements," 2015. [Online]. Available: [http://fantastic5g.eu/wp-content/uploads/2016/01/FANTASTIC5G\\_IR2-1\\_final.pdf](http://fantastic5g.eu/wp-content/uploads/2016/01/FANTASTIC5G_IR2-1_final.pdf). Accessed 11- Sep- 2018.
- [31] Gray, R., 2018. "Federal Proposal for Connected Vehicles Signals School Bus 'Sea Change'", Stnonline.com. [Online]. Available: <http://www.stnonline.com/news/latest-news/item/8193-federal-connectedvehicle-proposal-signals-school-bus-sea-change>. [Accessed: 11- Sep- 2018].
- [32] "5G automotive vision," 2015. [Online]. Available: <https://5gppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-AutomotiveVertical-Sectors.pdf>. Accessed: 11- Sep- 2018.
- [33] ITU, "5G and Automotive : Cellular V2X (vehicle-to-everything)", Slideshare.net, 2018. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/ITU/5gand-automotive-cellular-v2x-vehicletoeverything>. [Accessed: 11- Sep- 2018].
- [34] AT4 wireless, "Deliverable D2.1 initial report on the testing scenarios, requirements and use cases," 2016. [Online]. Available: [http://www.triangleproject.eu/wpcontent/uploads/2016/10/TRIANGLE\\_Deliverable\\_D2-1-v1.0.pdf](http://www.triangleproject.eu/wpcontent/uploads/2016/10/TRIANGLE_Deliverable_D2-1-v1.0.pdf). Accessed: Dec. 3, 2016.
- [35] "Forbes: Smart Grid Dreams Fading Without Congressional Support", Technocracy News, 2018. [Online]. Available: <https://www.technocracy.news/smart-grid-dreams-fading-withoutcongressional-support/>. [Accessed: 11- Sep- 2018].
- [36] "5G and energy," 2015. [Online]. Available: [https://5g-ppp.eu/wpcontent/uploads/2014/02/5G-PPP-White\\_Paper-on-Energy-Vertical-Sector.pdf](https://5g-ppp.eu/wpcontent/uploads/2014/02/5G-PPP-White_Paper-on-Energy-Vertical-Sector.pdf). Accessed: 11- Sep- 2018 METIS, "Updated scenarios,

requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system with recommendations for future investigations," May 2015. [Online]. Available: [https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS\\_D1.5\\_v1.pdf](https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS_D1.5_v1.pdf). Accessed: Dec. 4, 2016.

[37] Brettel, M., Friederichsen, N., Keller M. and Rosenberg, M., 2018. "How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective", Waset.org. [Online]. Available: <http://waset.org/publication/How-Virtualization,-Decentralization-and-Network-Building-Change-the-Manufacturing-Landscape:-An-Industry-4.0-Perspective/9997144>. [Accessed: 11- Sep- 2018].

[38] "Industry 4.0", En.wikipedia.org, 2018. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Industry\\_4.0](https://en.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0). [Accessed: 11- Sep- 2018].

[39] 5GPPP, "5G and the factories of the future," 2015. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-Factories-of-the-Future-Vertical-Sector.pdf>. Accessed: 11- Sep- 2018.

[40] METIS, "Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system," 2014. Available: <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/9/317669/080/deliverables/001-METISD11v1pdf.pdf>. Accessed: 11- Sep- 2018.

[41] 5GPPP, "5G and media & entertainment Whitepaper," 2016. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/5G-PPPWhite-Paper-on-Media-Entertainment-Vertical-Sector.pdf>. Accessed: 11- Sep2018.

[42] "Διαδίκτυο Των Πραγμάτων" Wikipedia, Wikimedia Foundation, 17 Apr. 2018, [http://el.wikipedia.org/wiki/Διαδίκτυο\\_των\\_πραγμάτων](http://el.wikipedia.org/wiki/Διαδίκτυο_των_πραγμάτων).

[43] Sethi, P., Sarangi, S. R. 2017. "Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications," Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 2017, p. 25, 2017. Article ID 9324035, doi:10.1155/2017/9324035.

[44] Gaitan, N. C., Gaitan, V. G., I. Ungurean, 2015. "A Survey on the Internet of Things Software Architecture," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 6, no. 12, 2015.

[45] Rose, K., Eldridge, S., Chapin, L., 2015. "The Internet of Things: An Overview," The Internet Society (ISOC), Oct. 2015. <https://cdn.prod.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf>.

[46] Δοξόπουλος, Π., 2018. "Παροχή Ρομποτικών Διαδικτυακών Υπηρεσιών μέσω Κόμβου Υλικού και Διασύνδεση με Πλατφόρμες IoT." <http://ikee.lib.auth.gr/record/294550>. Διπλωματική Εργασία (Online; accessed: 14-May-2018).

[47] <https://docplayer.gr/9427708-Tehnologia-iktyon-epikoinonion.html>

[48] "IEEE 802.1Q-2018 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks?Bridges and Bridged Networks." [Online]. Available: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_1Q2018.html](https://standards.ieee.org/standard/802_1Q2018.html). [Accessed: 26-Aug-2019].

[49] "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems," IEEE Std 1588-2008 (Revision of IEEE Std 1588-2002), pp. 1–300, Jul. 2008.

[50] "IEEE 802.1Qcp-2018 - IEEE Approved Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Bridges and Bridged Networks Amendment: YANG Data Model." [Online]. Available: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_1Qcp-2018.html](https://standards.ieee.org/standard/802_1Qcp-2018.html). [Accessed: 26-Aug2019].

[51] "IEEE 802.1Qcc-2018 - IEEE Approved Draft Standard for Local and metropolitan area networks--Media Access Control (MAC) Bridges and Virtual Bridged Local Area Networks Amendment: Stream Reservation Protocol (SRP) Enhancements and Performance Improvements." [Online]. Available:

[https://standards.ieee.org/standard/802\\_1Qcc2018.html](https://standards.ieee.org/standard/802_1Qcc2018.html). [Accessed: 26-Aug-2019].

[52] "IEEE 802.1: 802.1Qbv - Enhancements for Scheduled Traffic." [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1bv.html>. [Accessed: 23-Aug-2019].

[53] "IEEE 802.1Qbu-2016 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks -- Bridges and Bridged Networks -- Amendment 26: Frame Preemption." [Online]. Available: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_1Qbu-2016.html](https://standards.ieee.org/standard/802_1Qbu-2016.html). [Accessed: 27-Aug-2019].

[54] "P802.1Qcr – Bridges and Bridged Networks Amendment: Asynchronous Traffic Shaping []." [Online]. Available: <https://1.ieee802.org/tsn/802-1qcr/>. [Accessed: 22-Aug-2019].

[55] J. Specht and S. Samii, "Urgency-Based Scheduler for Time-Sensitive Switched Ethernet Networks," in 2016 28th Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS), 2016, pp. 75–85.

[56] M. Seaman, "Paternalist policing and scheduling," p. 6, 2017.

[57] Z. Zhou, M. S. Berger, S. R. Ruepp, and Y. Yan, "Insight into the IEEE 802.1 Qcr Asynchronous Traffic Shaping in Time Sensitive Network," *Adv. sci. technol. eng. syst. j.*, vol. 4, no. 1, 2019.

[58] "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks–Frame Replication and Elimination for Reliability," IEEE Std 802.1CB-2017, pp. 1–102, Oct. 2017.

[59] "IEEE 802.1Qci-2017 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Bridges and Bridged Networks--Amendment 28: Per-Stream Filtering and Policing." [Online]. Available: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_1Qci-2017.html](https://standards.ieee.org/standard/802_1Qci-2017.html). [Accessed: 04-Sep2019].

[60] Dynamic\_Deterministic\_Digital\_Infrastructure\_for\_Time Sensitive\_Applications\_in\_Factory\_Floors

[61] S. Sahoo, N.-H. Bao, S. Bigo, and N. Benzaoui, "Deterministic dynamic network-based just-in-time delivery for distributed edge computing," in Proc. Eur. Conf. Opt. Commun., Brussels, Dec. 2020, Paper Tu1K-5.