



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Τεχνολογίες δικτύων 5^{ης} γενιάς για την επίτευξη
επικοινωνιών εξαιρετικής αξιοπιστίας και
χαμηλής καθυστέρησης**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Σολομωνίδα Κωνσταντίνου

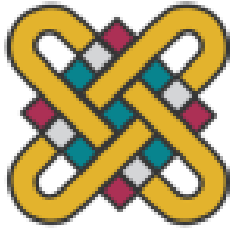
(ΑΕΜ:2917)

Επιβλέπων : Ζωή Ρίζου

Εντεταλμένη Διδάσκουσα

Καστοριά Μάιος - 2023

Η παρούσα σελίδα σκοπίμως παραμένει λευκή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Τεχνολογίες δικτύων 5^{ης} γενιάς για την επίτευξη
επικοινωνιών εξαιρετικής αξιοπιστίας και
χαμηλής καθυστέρησης**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Σολομωνίδη Κωνσταντίνου

(ΑΕΜ:2917)

Επιβλέπων : Ζωή Ρίζου

Εντεταλμένη Διδάσκουσα

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την **ημερομηνία εξέτασης**

.....
Ον/μο Μέλους
Ιδιότητα Μέλους

.....
Ον/μο Μέλους
Ιδιότητα Μέλους

.....
Ον/μο Μέλους
Ιδιότητα Μέλους

Καστοριά Μάιος - 2023

Copyright © 2023 – ΣΟΛΟΜΩΝΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Ως συγγραφέας της παρούσας εργασίας δηλώνω πως η παρούσα εργασία δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και δεν περιέχει υλικό από μη αναφερόμενες πηγές.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή θα αναλυθούν εκτενώς διάφορες έννοιες όπως το 5g, η χρησιμότητα του καθώς και διάφορες τεχνολογίες που αποσκοπούν στην επίτευξη τόσο επικοινωνιών εξαιρετικής αξιοπιστίας όσο και χαμηλής καθυστέρησης. Μέσα στα πλαίσια αυτά θα μελετηθούν ποικίλες διαθέσιμες αλλά και μελλοντικές τεχνολογίες για την επίτευξη υπηρεσιών URLLC. Σε πρώτη φάση, θα αναλυθεί το 5g ως μια έννοια πιο γενικευμένα καθώς επίσης θα εντυφλήσουμε και σε πιο συγκεκριμένα θέματα. Αρχικά, θα γίνει λόγος για την ιστορική αναδρομή στον κόσμο των δικτύων με χρονολογίες καθώς επίσης και διάφορα χρονοδιαγράμματα στα πλαίσια αυτά. Έπειτα, θα γίνει λόγος για την υποστήριξη των σημερινών βιομηχανιών και τον ρόλο που διακατέχουν οι επιμέρους URLLC υπηρεσίες καθώς και οι ικανότητες αυτών. Εν συνεχεία, θα εξετασθούν τόσο τα διάφορα συστήματα SHM και ο τρόπος που λειτουργούν καθώς επίσης και οι ποικίλες τεχνικές αρχιτεκτονικής στα πλαίσια των εκάστοτε URLLC υπηρεσιών με τη βοήθεια των οποίων αναπτύσσεται ο σύγχρονος δικτυακός κόσμος όπως τον γνωρίζουμε. Αργότερα, θα αναφερθούμε στα πλαίσια τόσο του 5G όσο και του B5G, στις επιμέρους προϋποθέσεις, την ενεργοποίηση των τρεχόντων τεχνολογιών καθώς και τη δικτυακή νοημοσύνη. Πιο μετά, επρόκειτο να γίνει λόγος για την ομοσπονδιακή ενισχυτική εκμάθηση και τη λειτουργία αυτής. Σε συμπερασματικό στάδιο, θα εξετασθούν οι ποικίλες τεχνολογίες ενεργοποίησης και των σάνταρ με απώτερο στόχο την ανταλλαγή μεταξύ του URLLC και του eMBB, καθώς επίσης τις λειτουργίες τόσο του 5G όσο και του B5G, και τον ρόλο που καταλαμβάνουν οικουμενικά στον κόσμο των δικτύων.

Λέξεις Κλειδιά: *5g, URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications – Επικοινωνίες εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας), eMBB (Βελτιωμένη κινητή ευρυζωνικότητα), mMTCs(Massive Machine-Type Communications – Μηχανοκεντρικές Επικοινωνίες Πολύ Μεγάλου Εύρους), SHM (Structural Health Monitoring – Παρακολούθηση Κτιριακής Υγείας)*

Abstract

In this thesis, various concepts such as 5g, its usefulness as well as various technologies aimed at implementing both communications and low latency will be extensively analyzed. Within these frameworks, various available and future technologies for URLLC services will be studied. In the first phase, 5g will be analyzed as a more general concept and we will also delve into more specific topics. First, we will talk about the historical review in the world of networks with dates as well as various timelines in these contexts. We will then discuss supporting today's industries and the role and capabilities of individual URLLC services. Subsequently, both the various SHM systems and the way they work will be examined as well as the various architecture techniques within the context of each URLLC service with the help of which the modern web world as we know it is developed. Later, we will address the context of both 5G and B5G, the individual requirements, the enablement of current technologies as well as network intelligence. Next, there was going to be talk about federal reinforcement learning and how it works. In a concluding stage, the various enabling technologies and standards with the ultimate goal of exchange between URLLC and eMBB, as well as the functions of both 5G and B5G, and the role they occupy universally in the world of networks, will be examined.

Key Words: *5g, URLLC, eMBB, mMTCs*

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή.....	1
1. Ιστορική Αναδρομή στον κοσμό των δικτύων από το 1980 και μετά	4
2. Η υποστήριξη για τις σημερινές βιομηχανίες	7
2.1 Υπηρεσίες /URLLC.....	7
2.2 Άλλες ικανότητες.....	10
3. Ανάλυση του SDN και τα πλεονεκτήματά του	12
3.1 Autonomous Vehicles Network γύρω από το blockchain και όχι μόνο	12
3.2 Σύστημα διαχείρισης καταστροφών βάσει IoT στα πλαίσια 5g URLLC δικτύου .	16
4. Συστήματα SHM	19
4.1 Η 5g αρχιτεκτονική για τα SHM και προειδοποίηση σεισμού εγκαίρως	21
5. URLLC για το 5G και έπειτα: Προϋποθέσεις, ενεργοποίηση τρέχοντων τεχνολογιών και δικτυακή νοημοσύνη.....	33
5.1 Η ανάγκη για 5G New Radio	36
5.2 Προγραμματισμός Downlink/Uplink	45
6. Το URLLC και το eMBB στα πλαίσια του βιομηχανικού 5G.....	51
6.1 Εισαγωγική ανάλυση 5G/B5G	53
6.2 5G/B5G-IIoT αναγνωριστικό.....	56
6.3 Τεχνολογίες ενεργοποίησης και των στάνταρ για την ανταλλαγή μεταξύ του URLLC και του eMBB.....	64
Συμπεράσματα.....	67
Βιβλιογραφία.....	68

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Ιστορική Αναδρομή στον κόσμο των δικτύων	5
Εικόνα 2. Γενιές Τηλεπικοινωνιών από 1G μέχρι σήμερα	6
Εικόνα 3. Προδιαγραφές 4G σε σύγκριση με 5G.....	14
Εικόνα 4. Αυτόνομο Οχηματικό Περιβάλλον	15
Εικόνα 5. 5g αρχιτεκτονική για τα SHM και EEW	22
Εικόνα 6. Μόνιμο SHM το οποίο χρησιμοποιείται από 5G	23
Εικόνα 7. 5G EEW λειτουργικό σύστημα σχήματος.....	24
Εικόνα 8. Διάγραμμα URLLC και mMTC.....	27
Εικόνα 9. Chipset SHM Board V2	29
Εικόνα 10. Αναπτυγμένη IT αρχιτεκτονική που υποστηρίζει την εφαρμογή του SHM	30
Εικόνα 11. Σύγκριση Αισθητήρων TA1 και TA2	31
Εικόνα 12. Τυπικός Όροφος γραφείου με πολλαπλά WLAN	33
Εικόνα 13. Διάγραμμα Απτικών Επιπέδων.....	35
Εικόνα 14. Σύνοψη των βελτιώσεων υπάρχοντων και νέων χαρακτηριστικών του 5G NR	38
Εικόνα 15. Η δομή του 5G NR σε πλαίσια δύο διαφορετικών SCS	40
Εικόνα 16. Κατανομή πηγών επιπέδου MAC σε 5G NR	42
Εικόνα 17. Σύγκριση χρόνων μετάδοσης 4G LTE με 5G.....	44
Εικόνα 18. Μηχανισμός τυχαίας πρόσβασης καναλιού	45
Εικόνα 19. Χαρακτηριστικά RLC επιπέδου	47
Εικόνα 20. Χρονοδιάγραμμα των μη αδειοδοτημένων τεχνολογιών των φασμάτων μαζί με το LTE/5G αδειοδοτημένο φάσμα	47
Εικόνα 21. Παράδειγμα WLAN περιβάλλοντος.....	50
Εικόνα 22. Μια απεικόνιση ενός 5G-IIoT ιδιωτικού δικτύου.....	54
Εικόνα 23. Η σύγκριση των προϋποθέσεων του 5G και του B5G	55
Εικόνα 24. 5G-IIoT αρχιτεκτονική	57

Εικόνα 25. Στόχοι σχεδιασμού του 5G-IIoT.....	60
Εικόνα 26. Ενσύρματες τεχνολογίες κληρονομιάς.....	61
Εικόνα 27. Προτυποποίηση του URLLC και του eMBB στο 5G-IIoT.....	62
Εικόνα 28. Ρυθμός δεδομένων εναντίον καθυστέρησης για τις διάφορες 5G-IIoT τεχνολογίες επικοινωνίας.....	63
Εικόνα 29. Τεχνικές της 5G προτυποποίησης οι οποίες συνεισφέρουν στο 5G-IIoT	64

Abbreviation List

3GPP	3rd Generation Partnership Project
5G NR	5G New-Radio
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
AKA	Authentication and Key Agreement
B5G	Beyond 5G
EMBB	Enhanced Mobile Broadband
IOE	Internet Of Everything
IOT	Internet Of Things
ITU	Fifth Generation of mobile technologies
LTE	Long Term Evolution
MEC	Public Mobile Edge Computing
MIMO	Multiple-Input, Multiple-Output
MITM	Man in the Middle
Mmtc	Massive Machine-Type Communications
NFV	Network Function Virtualization
NPN	Non-public network
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
QOS	Quality of Service
SDN	Software Defined Networking
SHM	Structural Health Monitoring
TI	Tactile Internet

TTI	Transmission Time Interval
TTL	Time-to-live
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communications
V2X	Vehicle-To-Everything

Εισαγωγή

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία θα επικεντρωθεί στην ανάλυση και τη μελέτη των διαφόρων τωρινών αλλά και μελλοντικών τεχνολογιών, στο πεδίο των υπηρεσιών των URLLCs. Στην κατηγορία αυτή, συγκαταλέγονται υπηρεσίες με αυστηρές απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση, την αξιοπιστία και τη διαθέσιμότητα (π.χ. ευφυή συστήματα μεταφορών, συνδεδεμένα οχήματα, ασύρματος έλεγχος βιομηχανικών εγκαταστάσεων). Είναι αντιληπτό, πως σε μια εποχή σαν αυτή που βιώνουμε οι απαιτήσεις για την χρησιμοποίηση ασύρματων δικτύων σε βιομηχανικές εφαρμογές που αποσκοπεί στη βελτιωμένη απόδοση και την αξιοπιστία των υπηρεσιών αυξάνονται ραγδαία. Συγκεκριμένα, το URLLC είναι ιδανικό για εφαρμογές με εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση αλλά και προϋποθέσεις μεγάλης αξιοπιστίας. Ανάλογα με τη φύση της κάθε επιχείρησης

ς και τις ανάγκες της, καθορίζονται και οι ανάλογες δικτυακές εφαρμογές. Συνεπώς, όταν αναβαθμίζεται ένα δίκτυο για URLLC, οι αρμόδιοι πρέπει να χρησιμοποιήσουν από κοινού τεχνολογίες-κλειδί αλλά και δικτυακό διαμοιρασμό (network slicing) προκειμένου να αναπτυχθούν εξατομικευμένες δικτυακές λύσεις για την εκάστοτε επιχείρηση ή εφαρμογή. “Ενδεικτικά, οι δείκτες για την καθυστέρηση και την αξιοπιστία για URLLC προσδιορισμένοι από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union- ITU) είναι ως εξής:

-Καθυστέρηση(Latency): Η ελάχιστη προϋπόθεση για μιας κατεύθυνσης χρήστες είναι η καθυστέρηση του 1ms.

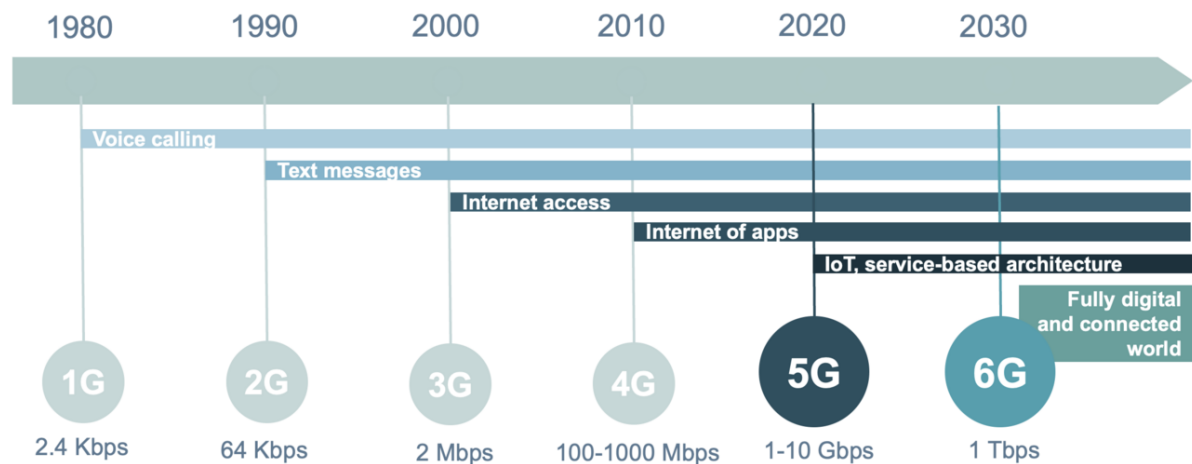
-Αξιοπιστία(Reliability): Σε ένα σενάριο ευρείας κλίμακας αστικού σταθμού, η πιθανότητα επιτυχίας μεταφοράς ενός επιπέδου 2 PDU πακέτου των 32 bytes, στη διάρκεια 1 ms στη διάρκεια ενός καναλιού είναι 99.999% (γνωστό και ως five nines στο δικτυακό κόσμο).

Προτού επεκταθούμε στις διάφορες τεχνολογίες URLLC είτε τωρινές είτε μελλοντικές, χρειάζεται να αναλυθεί εκτενώς τόσο το 5g όσο και την εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών πριν από αυτό. Όπως είναι αντιληπτό, τα κινητά τηλεπικοινωνιακά συστήματα έχουν αλλάξει σημαντικά τις ζωές μας, εκμηδενίζοντας τους όποιους περιορισμούς ως προς τον χρόνο ή την απόσταση, μέσα από τη μεταφορά μιας πληροφορίας από το ένα μέρος σε ένα άλλο. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να ανταλλάσσουν ή να αποκτήσουν πρόσβαση στην όποια πληροφορία οπουδήποτε και οποτεδήποτε οι ίδιοι επιθυμούν. Η απόρροια όλων των παραπάνω είναι πως τα κινητά τηλεπικοινωνιακά συστήματα έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του καθενός.

1. Ιστορική Αναδρομή στον κοσμό των δικτύων από το 1980 και μετά

Στα μέσα του 2000, τα ευρέως διαδεδομένα δεδομένα που υπήρχαν μέχρι πρότινος άρχισαν να μετατρέπουν την έννοια των κινητών τηλεφωνικών υπηρεσιών. Η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη σε δεδομένα υπηρεσιών πίεσε ακόμα περισσότερο τις ικανότητες του τότε υπάρχοντος 3G κινητού δικτύου. Σήμερα, έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται στο δίκτυο, οπουδήποτε ή οποτεδήποτε επιθυμούν. Προϋποθέσεις όπως η πιο συχνή μετάδοση και ο ταχύτερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, γίνονται ολοένα και πιο απαραίτητες στον σύγχρονο δικτυακό κόσμο.

Μέσα στο 2005 η βιομηχανία ξεκίνησε την ανάπτυξη της τέταρτης γενιάς των κινητών τηλεπικοινωνιών (4G), το οποίο στόχευε στην παροχή ευρωζωνικών κινητών υπηρεσιών σε ένα σεβαστό βαθμό αξιοπιστίας (MBB- mobile broadband service) . Το 3GPP(Global Partnership Project) είναι υπεύθυνο για την ύπαρξη του λεγόμενου “Long Term Evolution” (LTE) το οποίο αξιοποιεί την πρόσβαση ορθογώνιας διαίρεσης πολλαπλών συχνοτήτων (Orthogonal Frequency Division Multiple Access- OFDMA) προκειμένου να προσφέρει ένα αρκετά καλό συμβιβασμό στα πλαίσια της υποστήριξης της βιομηχανίας. Το ίδιο, ειδικά στα πλαίσια ενός SA γκρουπ(Service and System Aspects), εκτεταμένες έρευνες έχουν διεξαχθεί με απώτερο στόχο την καλύτερη κατανόηση των πιο σημαντικών περιπτώσεων χρήσης αλλά και εφαρμογών των διαφόρων κλάδων. Είναι εμφανές πως οι σημαντικότερες αλλά και γνωστές περιπτώσεις χρήσης απαιτούν εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση αλλά και μεγάλη αξιοπιστία, ιδιότητες οι οποίες κρίνονται αμφότερες ως μελλοντικές εργοστασιακές εφαρμογές. Όπως είναι γνωστό, η ανάπτυξη του LTE έλαβε ένα μεγάλο εύρος της βιομηχανικής υποστήριξης. Η ιδέα του OFDM, είναι ενσωματωμένο άρτια, με την υποστήριξη της τεχνολογίας MIMO (Multiple-input multiple-output), με απόρροια η πολυπλοκότητα να είναι αρκετά πιο μειωμένη. Η διεθνής ένωση τηλεπικοινωνιών (ITU- International Telecommunication Union), ειδικά ο κλάδος των ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R), έχει συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη των κινητών δικτύων από την 3G τεχνολογία . Λόγω της ύπαρξης της τεράστιας επιτυχίας των 1G και 2G κινητών δικτύων, το ενδιαφέρον που υπήρχε μέχρι ένα βαθμό, τόσο της βιομηχανίας όσο και των αντίστοιχων ερευνών, αυξήθηκε δραματικά με απώτερο σκοπό την ανάπτυξη του 3G. Συνεπώς, πολύ ενδιαφερόμενοι αναμίχθηκαν στην ανάπτυξη του 3G με σεβασμό στις προηγούμενες γενιές κινητών δικτύων. Επίσης, η παγκόσμια αρμονία του φάσματος έχει γίνει μία σημαντική παράμετρος για την επιτυχημένη ανάπτυξη και καθιέρωση ενός κινητού δικτύου . Προκειμένου να συμβαδίσει η χρήση του φάσματος σε διαφορετικές περιοχές για τις κατάλληλες τεχνολογίες για το 3G κινητό δίκτυο, η Διεθνής Ένωση ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R) έχει εγκαθιδρύσει ορισμένες διαδικασίες με απώτερο στόχο την ορθή κατανομή του φάσματος για 3G κινητό δίκτυο.



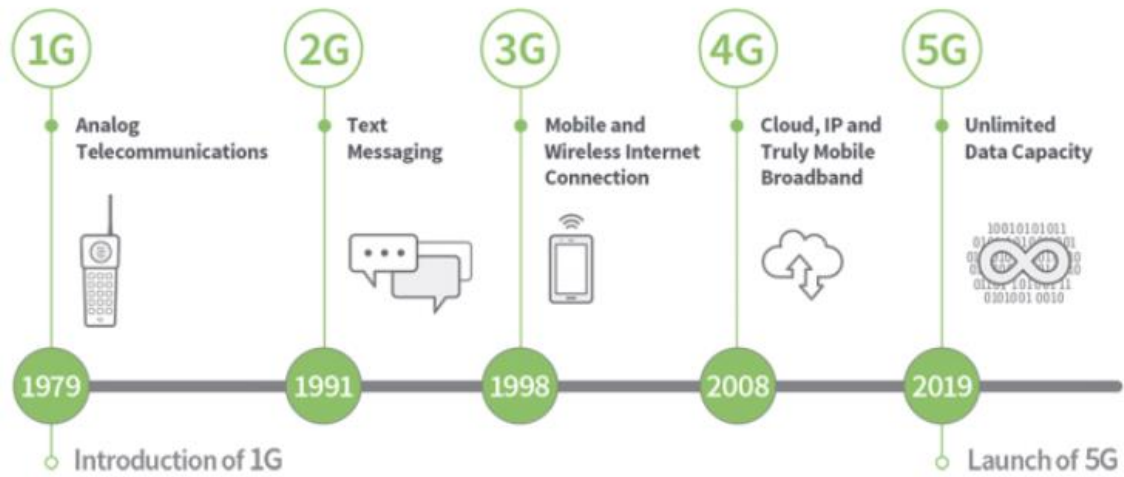
Εικόνα 1. Ιστορική Αναδρομή στον κόσμο των δικτύων

Πηγή: <https://www.5g-planet.lu/history-of-mobile-networks>

Το 5g υπόσχεται σαν τεχνολογία, πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων (data rates), μεγαλύτερη χωρητικότητα, μικρότερη καθυστέρηση, αλλά και πολύ αποδοτικότερη αξιοποίηση του φάσματος. Έχοντας στην κατοχή μας λοιπόν όλες αυτές τις δυνατότητες, το 5g μπορεί να υποστηρίξει διάφορα σενάρια χρήσης αλλά και εφαρμογές. Το ITU-R (τομέας ραδιοεπικοινωνιών) έχει ορίσει τρεις κατηγορίες πιθανών περιπτώσεων χρήσης (use-cases) για 5g δίκτυα, το Mmtc, EMBB και URLLC.

Ενώ το ITU-R (ITU Radiocommunication Sector), παίζει έναν κεντρικό ρόλο στον προσδιορισμό της κατάλληλης τεχνολογίας για κάθε γενιά των κινητών δικτύων, η ανάπτυξη της τεχνολογίας διενεργείται από κάποιους στάνταρ οργανισμούς ανάπτυξης (Standard Development Organizations- SDOs). Το 1998, το πρότζεκτ συνεργασίας τρίτης γενιάς (3GPP- 3rd generation partnership project) ξεκίνησε από τα μεγαλύτερα τότε (και όχι μόνο) ονόματα της ανάπτυξης κινητών δικτύων, και έλαβε μάλιστα υποστήριξη από έξι διαφορετικούς SDOs. Πιο συγκεκριμένα, την Ευρώπη, Ασία, Ιαπωνία, Κορέα, αλλά και Αμερική. Αυτή η ενέργεια εγκαθίδρυσε με τη σειρά της την παγκόσμια ανάπτυξη των κινητών τεχνολογιών, όπως τη γνωρίζουμε σήμερα. Συνεπώς, το 3GPP αποδείχθηκε να είναι ο πιο απαραίτητος στάνταρ οργανισμός για την τεχνολογική ανάπτυξη των κινητών δικτύων από το 3G και έπειτα.

5g τεχνολογίες για την επίτευξη επικοινωνιών εξαιρετικής αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης –
Σολομωνίδης Κωνσταντίνος



Εικόνα 2. Γενιές Τηλεπικοινωνιών από 1G μέχρι σήμερα

Πηγή: <https://digitaljalandhar.in/mobile-wireless-technology-from-0g-to-5g/>

2. Η υποστήριξη για τις σημερινές βιομηχανίες

Μέσα στη διάρκεια της φάσης της μελέτης καθώς και της εξέλιξης από 4G LTE σε 5G τεχνολογία, διαμορφώθηκε ένας μεγάλος πόλος έλξης γύρω από την τελευταία από τις εκάστοτε βιομηχανίες γνωρίζοντας σταδιακά τις δυνατότητες που προσέφερε η εφαρμογή της σε όλους τους τομείς. Το 5G πρόκειται για μια τεχνολογία η οποία δεν αξιοποιείται μόνο στο τηλεπικοινωνιακό κόσμο, αλλά και σε σχεδόν όλες τις σύγχρονες βιομηχανίες. Αναφορικά, ορισμένες από αυτές είναι ο κλάδος των εργοστασιών, των μεταφορών, της υγείας καθώς και άλλοι πολλοί. Όλες αυτές οι παραπάνω βιομηχανίες επωφελούνται σε τεράστιο βαθμό από τις διάφορες δυνατότητες που τους παρέχονται μέσα από την ύπαρξη του 5g. Από μικρά εργοστάσια, σε απομονωμένα δίκτυα σε “έξυπνα” οχήματα (smart vehicles) τα οποία αλληλεπιδρούν τόσο με τα διπλανά τους οχήματα όσο και με το περιβάλλον γενικότερα. Τα όρια στα οποία έχουμε πρόσβαση είναι ατέλειωτα.

Ένας τρόπος με τον οποίο μπορούμε να υποστηρίξουμε τις εκάστοτε βιομηχανίες είναι μέσω των μη-δημόσιων δικτύων (non-public networks – NPN). Το NPN πρόκειται για ένα 5g δίκτυο το οποίο έχει αναπτυχθεί για ιδιωτική (non-public) χρήση και μπορεί να είναι είτε stand-alone non-public network (SNPN) είτε ένα Stand-alone Non-public network (SNPN) ή ακόμα και ένα δικτυακό μέρος μέσα στο δημόσιο δίκτυο αλλά συνάμα αφοσιωμένο στην υποστήριξη μιας ξεχωριστής βιομηχανίας. Αυτό συμβαίνει, διότι το μέρος ενός δικτύου θεωρείται πως είναι ένα ξεχωριστό δίκτυο “στα μάτια των χρηστών” οι οποίοι και έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες οι οποίες με τη σειρά τους παρέχονται αποκλειστικά από εκείνο το network slice.

Όταν το NPN πρόκειται για ένα αυτόνομο δίκτυο, είναι αξιοσημείωτες οι αρχές, οι αρχές, οι προϋποθέσεις, οι ικανότητες καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά ασφαλείας ενός 5g δικτύου κατασκευασμένο με απώτερο στόχο τη δημόσια χρήση. Προτού εντυπώσουμε στην τεχνολογία του URLLC και τις δυνατότητες του, θα αναλυθεί εκτενώς σε ένα βασικό στάδιο για αρχή, ο σχεδιασμός του συστήματος ασφαλείας του 5g. Το ίδιο λοιπόν προσδιορίζει μια ζωτικής σημασίας ιεραρχία που βασίζεται σε 3GPP (3rd Generation Project Partnership) προσόντα και την χρήση του AKA (Authentication and key Agreement), αλλά το NPN μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές ιεραρχίες ανάλογα με τις αντίστοιχες μεθόδους αυθεντικοποίησης και τα σωστά credentials.

2.1 Υπηρεσίες /URLLC

Το Ultra-Reliable Low-Latency είναι το σύνολο των αναδυσόμενων υπηρεσιών οι οποίες και είναι πολύ “ευαίσθητες” στην απώλεια των πακέτων των δεδομένων (packet loss) καθώς επίσης και την καθυστέρηση. Όρισμένα από τα παραδείγματα στα οποία έχει εφαρμογή η τεχνολογία URLLC περιλαμβάνουν: α) τον ασύρματο έλεγχο των

βιομηχανικών κατασκευαστικών ή παραγωγικών διεργασιών, β) ασφάλεια μεταφοράς, γ) διανομή αυτοματοποίησης σε ένα έξυπνο δίκτυο, δ) ακόμα και εξ' αποστάσεως εκτέλεση κάποιου χειρουργείου και πολλά άλλα. Όπως είναι κατανοητό, και από το όνομα του “URLLC”, οι απαραίτητες προϋποθέσεις είναι η άριστη αξιοπιστία καθώς και η χαμηλή καθυστέρηση. Τα δύο τελευταία είναι επιτακτική ανάγκη να επιτευχθούν ταυτόχρονα. Με άλλα λόγια, για ένα μεταδιδόμενο πακέτο δεδομένων, υψηλή αξιοπιστία χρειάζεται να εγγυηθεί μέσα σε διάρκεια συγκεκριμένου χρόνου.

URLLC/Διαθεσιμότητα

Με απώτερο στόχο την εγγύηση ορισμένων χρηστών από ποικίλες διαφορετικές περιοχές στα πλαίσια μίας συγκεκριμένης έκτασης όπου και επιτυγχάνονται οι συγκεκριμένες προϋποθέσεις, η διαθεσιμότητα ορίζεται ως εξής: το δίκτυο πρέπει να είναι διαθέσιμο με σκοπό τη στοχευμένη επικοινωνία στο 95% των τοποθεσιών όπου το δίκτυο αναπτύσσεται και στο 100% του χρόνου. Μέσα στο 95% των τοποθεσιών η προϋπόθεση της URLLC υπηρεσίας επιτυγχάνεται στη διάρκεια του 1 ms καθυστέρησης. Είναι κατανοητό πως αυτός είναι ένας πολύ αυστηρός στόχος για τον σχεδιασμό συστήματος για URLLC εφαρμογές. Σε συνδυασμό με τις παραπάνω προϋποθέσεις, η δυνατότητα κάλυψης ενός δικτύου είναι κλειδί για το αντίστοιχο λειτουργικό κόστος του.

Κάλυψη

Ως κάλυψη στον κόσμο των δικτύων, χαρακτηρίζεται το μέγιστο γεωγραφικό εύρος ενός συγκεκριμένου σημείου ραδιο- πρόσβασης με απώτερο στόχο την παροχή μιας συγκεκριμένης ποιότητας υπηρεσιών (QoS - Quality of Service). Για διαφορετικά QoS επίπεδα, η κάλυψη του κάθε δικτύου πρόκειται να είναι διαφορετική. Για παράδειγμα, είναι κατανοητό πως η κάλυψη ενός uplink θα είναι πολύ πιο απαιτητική για μια προϋπόθεση υπηρεσίας ενός ρυθμού δεδομένων του 1Mbps από αυτή των 100kbps. Η κάλυψη επίσης εξαρτάται κατά πολύ από τη σχετιζόμενη με την πυκνότητα της περιοχής. Αν η κάλυψη για μια συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) είναι μικρή, αντίστοιχα οι χειριστές είναι επιτακτική ανάγκη να αναπτύξουν ένα αρκετά πυκνό δίκτυο για να καλύψει την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών(QoS).

URLLC

Όπως αναφέρεται και στα παραπάνω κεφάλαια, η κινητικότητα, η καθυστέρηση, καθώς και η αξιοπιστία ορίζονται ως οι πιο σημαντικές προϋποθέσεις ή ικανότητες ενός URLLC δικτύου.

Καθυστέρηση

Η καθυστέρηση χαρακτηρίζεται ως η συνεισφορά από το ραδιο-δίκτυο του χρονικού διαστήματος από τη χρονική στιγμή που η πηγή στέλνει το πακέτο μέχρι τη στιγμή που ο προορισμός λαμβάνει το πακέτο αυτό (ms). Το 1 ms της καθυστέρησης είναι το ζητούμενο νούμερο. Η αξιοπιστία ορίζεται περαιτέρω ως προϋπόθεση τεχνικής επίδοσης καθώς θα αναλυθεί εκτενώς.

Κινητικότητα

Η κινητικότητα είναι επίσης σχετική με το σενάριο χρήσης του URLLC, καθώς οι διάφορες εφαρμογές μεταφορών με ασφάλεια υλοποιούνται συνήθως υπό συνθήκες υψηλής κινητικότητας. Εκτός αυτού, η ανθεκτικότητα αλλά και η αξιοπιστία είναι επιθυμητές ικανότητες για την ύπαρξη ενός 5G δικτύου για URLLC.

Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία σχετίζεται με την ικανότητα να παρέχεται μια συγκεκριμένη υπηρεσία μέας στα πλαίσια ενός πολύ υψηλού επιπέδου διαθεσιμότητας.

Ανθεκτικότητα

Ως ανθεκτικότητα ορίζεται η ικανότητα ενός συγκεκριμένου δικτύου να εξακολουθεί να λειτουργεί ορθά μετά από ή κατά τη διάρκεια μια φυσικής ή τεχνητής ενόχλησης, όπως π.χ. την απώλεια του ηλεκτρικού ρεύματος.

Τα δίκτυα επόμενης γενιάς αναμένεται να είναι ίκανα να αντεπεξέρχονται σε αυστηρές προϋποθέσεις ως προς την παραγωγικότητα, την αξιοπιστία και την καθυστέρηση. Παρά την ποικίλη φύση τους, τέτοιες προϋποθέσεις πρέπει να αξιοποιηθούν, αξιοποιώντας μια κοινή δικτυακή υποδομή καθώς το κόστος ανάπτυξης των ξεχωριστών δικτύων θα ήταν απαγορευτικό. Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που υπάρχουν με τις αρχιτεκτονικές αυτού του τύπου, είναι αυτή της ανθεκτικότητας. Στα πλαίσια αυτά, ως ανθεκτικότητα μεταφράζεται η ανθεκτικότητα των δικτύων στα διαφορετικά είδη των προβλημάτων αλλά και απρόσμενων γεγονότων, τα οποία ενδέχεται να προκύψουν κατά τη διάρκεια μιας δικτυακής διεργασίας. Η ανθεκτικότητα είναι πολύ σημαντική, τόσο για βιομηχανικές εφαρμογές όσο και για διάφορες αποστολές κρίσιμων υπηρεσιών, διεργασίες οι οποίες διακρίνονται για την πολύ χαμηλή ανοχή στα σφάλματα (low fault tolerance). Τα προβλήματα τα οποία μπορούν να διακινδυνεύσουν τη διαδικασία των δικτύων μπορεί να σχετιστεί με διαφορετικές πτυχές πχ. λογισμικό, φυσική υποδομή, η ίδια η υλοποίηση ή ακόμα και η ανάπτυξη ή οι ρυθμίσεις των δικτυακών λειτουργιών. Συνεπώς, τα δίκτυα της επόμενης γενιάς (5g,

Beyond 5g) πρέπει να κατασκευαστούν με έναν ανθεκτικό τρόπο, ο οποίος θα προσφέρει την ικανότητα να μετριάζονται τα εκάστοτε προβλήματα που μπορούν να προκύψουν με κριτικό αντίκτυπο στη λειτουργία των δικτύων.

Η ανθεκτικότητα αυτή αποτελείται από μια σειρά προσεγγίσεων, τεχνικών και εργαλείων με τη βοήθεια των οποίων εξασφαλίζεται η διευκόλυνση των εκάστοτε δικτυακών δυσλειτουργιών. Προκειμένου να αντιμετωπισθεί αυτό το θέμα για μελλοντικά δίκτυα, είναι σημαντικό να διαμορφωθεί έτσι ο σχεδιασμός στον τρόπο της διεργασίας σε κάθε μέρος του δικτύου. Συγκεκριμένα, εκτιμάται πως ένα μέρος των δικτυακών λειτουργιών, συγκεκριμένα αυτών που συμβαδίζει με υψηλού επιπέδου λειτουργικότητες και με τα υψηλότερα επίπεδα(layers) του RAN πρωτοκόλλου. Από την άλλη μεριά, οι λειτουργίες των δικτύων οι οποίες είναι μέρος των χαμηλότερων επιπέδων του Radio Access Network (RAN) συχνά απαιτούν μια υλοποίηση στα πλαίσια ενός ειδικευμένου υλικού (hardware).

2.2 Άλλες ικανότητες

Ευελιξία εύρους ζώνης και φάσματος

Η ευελιξία εύρους ζώνης και φάσματος αναφέρεται στην ευελιξία ενός σχεδιασμού συστήματος με απώτερο στόχο τη διαχείριση διαφορετικών σεναρίων αλλά και πιο συγκεκριμένα στην ικανότητα της λειτουργίας σε διαφορετικά εύρη συχνοτήτων, συμπεριλαμβανομένου μεγαλύτερα εύρη ζώνης καναλιών αλλά και υψηλότερες συχνοότητες.

Ασφάλεια και ιδιωτικότητα

Η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα αναφέρονται σε ορισμένα τμήματα όπως λόγου χάρη την κρυπτογράφηση και την ακεραιότητα προστασίας των δεδομένων των χρηστών, καθώς επίσης και ιδιωτικότητα τελικού χρήστη η οποία εμποδίζει μη εξουσιοδοτημένο εντοπισμό(tracking) των χρηστών, και προστασία των δικτύων εναντίον σε κακόβουλες ενέργειες όπως hacking, την απάτη(fraud), την άρνηση υπηρεσιών (denial of service-DoS) και man in the middle attacks κ.α.

Οι παραπάνω δυνατότητες υποδεικνύουν πως το φάσμα του 5G, καθώς και η ευέλικτη φύση του εύρους ζώνης, όπως και η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα θα βελτιωθούν περαιτέρω.

Η URLLC είναι μία υπηρεσία που, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, συστήθηκαν στο δικτυακό κόσμο από το πρόσφατο release 15, των 5G NR και 3GPP(3rd Generation

Partnership Project). Ένας από τους πιο απαιτητικούς στόχους για μια URLLC service είναι η επίτευξη της 99.999% αξιοπιστίας στην καθυστέρηση του 1ms. Οι προϋποθέσεις απόδοσης αυτές για τις URLLC υπηρεσίες είναι πολύ κρίσιμες όταν η κινητικότητα πολυσυνδεσιμότητας (MC-multiconnectivity) σε δίκτυα (Heterogenous networks-HetNets) έχει μελετηθεί . Τα HetNets βασίζονται στην αύξηση του αριθμού των small cells προκειμένου να ενισχύσει τα ήδη εγκατεστημένα Macrocells, και φέρνοντας τα πιο κοντά στον εξοπλισμό του χρήστη(user equipment), πράξη που έχει ως αποτέλεσμα τις βελτιώσεις σε χωρητικότητα ανά περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, macrocell ονομάζεται ένα σήμα σε ένα κινητό τηλεφωνικό δίκτυο το οποίο παρέχει ραδιοκάλυψη που εξυπηρετείται από μια υψηλής ενέργειας σε σήμα περιοχή (πύργο, κεραία κ.α). Γενικά μια από τις βασικότερες διαφορές ανάμεσα σε macrocell και microcell είναι πως οι πρώτες παρέχουν κάλυψη πολύ μεγαλύτερη καθώς επίσης οι σταθμοί τους προφανώς έχουν πολύ μεγαλύτερες αποδόσεις σε ενέργεια (δεκάδες watts) .

Τα HetNets, αποτελούνται από MacroCs και SmallCs, με τα MC να προσφέρουν την πιθανότητα να χρησιμοποιηθούν μερικές εκδοχές τεχνικών συνεργασίας και συντονισμού ενός multi-cell. Επομένως, εκτενείς μελέτες έχουν διεξαχθεί με επίκεντρο τους τα HetNets με MC, όσον αφορά την αρχιτεκτονική, την κινητικότητα και τη συνδεσιμότητα, στοχεύοντας στην αύξηση της αξιοπιστίας τη δραματική μείωση της καθυστέρησης.

3. Ανάλυση του SDN και τα πλεονεκτήματά του

Η τεχνολογία δικτύωσης η οποία και ορίζεται από λογισμικό γνωστό ως Software-defined networking (SDN), εξελίσσεται σε ραγδαία πλαίσια μέσα στις τηλεπικοινωνίες λόγω της ικανότητας του να είναι ικανό να διεκπεραιώσει αποτελεσματικά end-to-end δίκτυα διαχωρίζοντας συνάμα το επίπεδο δεδομένων με το επίπεδο ελέγχου (data-plane και control-plane). Τόσο η δυνατότητα της κλιμάκωσης όσο και η ευελιξία μπορούν να αποφέρουν πολλά πλεονεκτήματα τόσο στη διαχείριση, όσο και στη συντήρηση των εκάστοτε δικτύων. Γενικά, το SDN φέρνει ορισμένα πλεονεκτήματα στην κινητή δικτυακή αρχιτεκτονική όπως την υψηλή ευελιξία, την ικανότητα εύκολου προγραμματισμού, τον απόλυτο έλεγχο του κάθε δικτύου από ένα κεντρικό απόμακρο σημείο, καθώς και την ενεργοποίηση των αντίστοιχων χειριστών με απώτερο στόχο την ανάπτυξη νέων και εύχρηστων υπηρεσιών και εφαρμογών.

Η ενσωμάτωση του SDN πλαισίου στο Cloud RAN (C-RAN) μπορεί να παρέχει ορισμένα πλεονεκτήματα όπως τον δυναμικό έλεγχο πάνω στα δίκτυα μεταφοράς προκειμένου να διανέμει τη διαθέσιμη χωρητικότητα ενώ διατηρεί συνολικά τις QoS (Quality of Service) προϋποθέσεις καθώς και τη διαμόρφωση μεταξύ των vBBUs (virtual base band units). Παρότι, η SDN είναι μια αρκετά μελετημένη τεχνολογία, τα περισσότερα SDN frameworks έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί με σημαντικότερο στόχο την υποστήριξη ορισμένων περιπτώσεων χρήσης σε δίκτυα τόσο στημένα όσο και μεταφοράς. Παρόλα αυτά, το SDN είναι μια σημαντική πτυχή η οποία είναι ικανή να ενεργοποιήσει τον δυναμικό έλεγχο τόσο του ράδιο όσο και των διαφόρων δικτυακών πηγών σε πραγματικό χρόνο. Λόγω, των πολύ αυστηρών QoS προϋποθέσεων των 5G κινητών δικτύων, το SDN framework πρέπει οπωσδήποτε να έχει χαμηλή καθυστέρηση, ανθεκτικότητα καθώς και δυνατότητα κλιμάκωσης προκειμένου να μπορεί να προσαρμοστεί σε ένα πλαίσιο ελέγχου (control framework).

3.1 Autonomous Vehicles Network γύρω από το blockchain και όχι μόνο

Μία από τις σημαντικότερες τεχνολογίες είναι η AVN. Η Αυτόνομη Οδηγική Τεχνολογία (Autonomous Vehicles Network- AVN) υπόσχεται τεράστια πλεονεκτήματα στο μέλλον της μετακίνησης – όχι μόνο απελευθερώνοντας όλους μας από την ανιαρή διεργασία του να οδηγάμε στις δουλειές μας, αλλά και εκμηδενίζοντας τα ανθρώπινα λάθη και απροσεξίες. Απόρροια όλων αυτών είναι πως αυξάνεται εμφανώς η κυκλοφοριακή ροή αλλά και σημαντικότερο απ'όλα οι κατά πολύ μειωμένοι δείκτες των αυτοκινητιστικών ατυχημάτων. Ποια είναι παρόλα αυτά η θέση του 5g στην επίτευξη όλων αυτών και πως συνδέεται με την URLLC τεχνολογία? Προκειμένου λοιπόν να απολαύσουμε συνολικά όλα τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής, όλα τα οχήματα θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους αλλά και με τα οδικά συστήματα(πχ. φανάρια,

παρακολούθηση χαρτών αλλά και κυκλοφοριακής κίνησης). Συνεπώς, είναι επιτακτική ανάγκη όλες αυτές οι διασυνδέσεις να είναι πραγματικού-χρόνου με καλύτερο υποψήφιο την URLLC τεχνολογία (ultra-reliable low-latency communication) που υπόσχεται να το διανέμει. Τα αυτόνομα οχήματα αναμένεται να αναδυθούν ως η κύρια τάση στην ανάπτυξη των οχημάτων εντός της επόμενης δεκαετίας. Προκειμένου να υποστηριχθούν τα αυτόνομα οχήματα, οι URLLC (Ultra-reliable low-latency communications) επικοινωνίες απαιτείται ανάμεσα στα αυτόνομα οχήματα και τα δίκτυα των υποδομών, π.χ ποικίλα 5g κινητά δίκτυα. Συνεπώς, τόσο η αξιοπιστία όσο και η καθυστέρηση πρέπει να εξεταστούν από κοινού στα πλαίσια των 5g αυτόνομων οχηματικών δικτύων. Με απώτερο στόχο τη βελτίωση της αξιοπιστίας, της καθυστέρησης αλλά και της εφαρμογής της URLLC τεχνολογίας, μια λύση της νέας δικτυακής μερίδας η οποία εκτείνεται από το κομμάτι των πόρων ως ακόμα και αυτό των λειτουργιών το οποίο παρουσιάζεται για το σύνολο των 5g αυτόνομων οχηματικών δικτύων. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιου είδους προσομοίωσης υποδεικνύουν πως το προτεινόμενο δίκτυο μπορεί τόσο να βελτιώσει την απόδοση τόσο της αξιοπιστίας όσο και της καθυστέρησης των εκάστοτε αυτόνομων δικτύων.

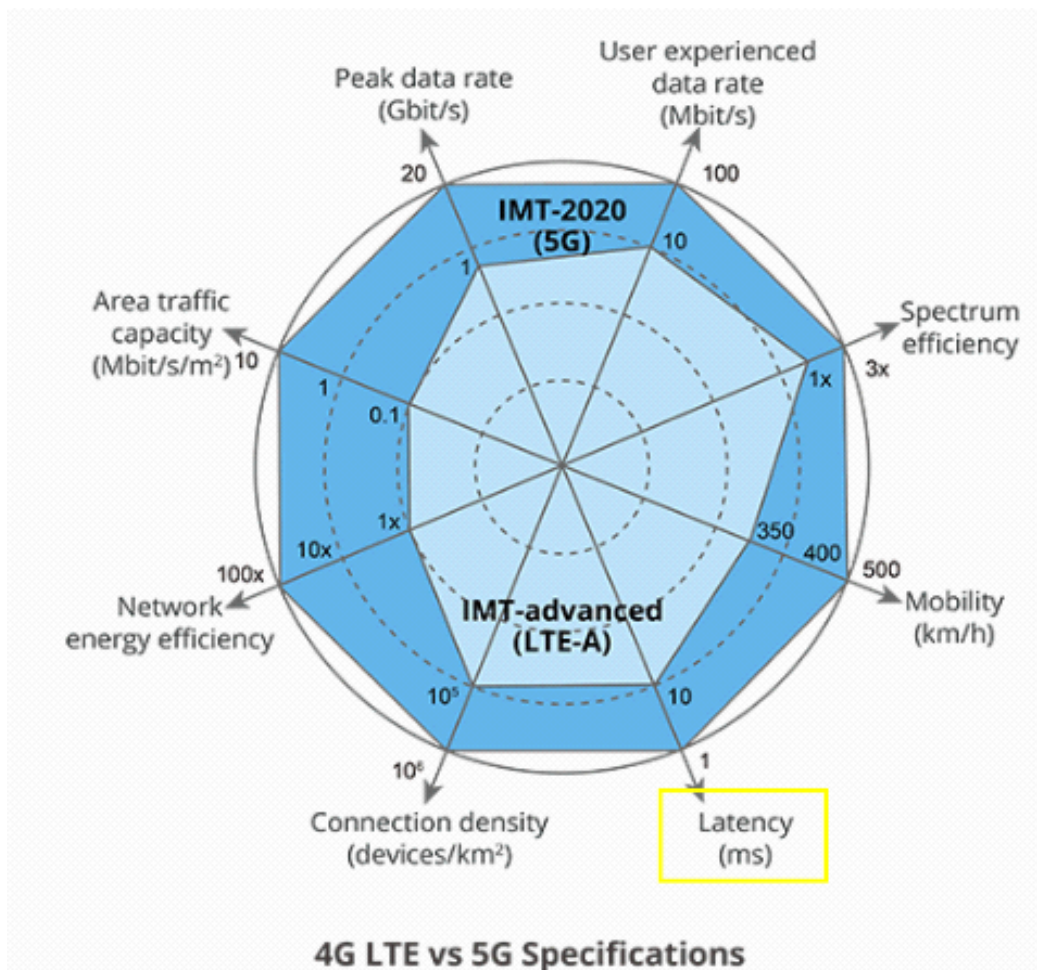
Η blockchain τεχνολογία παίρνει πολύ περισσότερη προσοχή, λόγω της εγγενούς φύσης στην αντίσταση της όποιας τροποποίησης των δεδομένων. Το blockchain σε συνδυασμό με το IoT, επιτρέπει τη βελτίωση του επιπέδου των υπηρεσιών για διάφορους domains με εγγυήσεις ασφάλειας. Πολλαπλές έρευνες ξεκίνησαν προκειμένου να συνδέσουν το blockchain μαζί με τα αυτόνομα οχηματικά συστήματα στα πλαίσια των 5G δικτύων. Οι εξαιρετικά γρήγορες συνδέσεις, τα ταχύτερα μεταφορτωμένα δεδομένα, καθώς και η ικανότητα να διαχειριστεί εκατομμύρια συνδέσεις περισσότερες από τα LTE δίκτυα πρέπει να είναι κρίσιμης σημασίας για να υποστηρίξουν ένα ραγδαίο αυτόνομο σύστημα. Συνεπώς, το σύστημα προϋποθέτει ορθή διαχείριση αποθήκευσης των δεδομένων, πολύ ασφαλή μεταφορά, και δίκτυο μη παρεμβάσιμο. Το blockchain είναι κατάλληλο για το 5G οχηματικό δίκτυο, εφόσον είναι αμετάβλητο, δεν αλλοιώνεται τόσο, και ασφαλές ως προς τον σχεδιασμό του. Μολονότι το αποκεντρωμένο 5G αυτόνομο οχηματικό δίκτυο προσφέρει αμέτρητα οφέλη, παρόλα αυτά φέρνει στο προσκήνιο ορισμένες νέες προκλήσεις. Παρακάτω θα αναλυθούν οι προκλήσεις τόσο γενικότερης ενεργοποίησης ενός 5G URLLC οχηματικού δικτύου, όσο και η συνύπαρξη του με το blockchain.

(Popovski P., 2018)

Οι προκλήσεις της ενεργοποίησης ενός URLLC δικτύου

Η URLLC τεχνολογία είναι μια κατηγορία υπηρεσιών του 5g, η οποία στοχεύει σε ζωτικής σημασίας επικοινωνίες, με στόχο την καθυστέρηση του ενός millisecond και για προϋποθέσεις για από άκρη-σε-άκρη ασφάλεια και 99.999% αξιοπιστία (γνωστό ως five nines στο δικτυακό κόσμο). Αυτή η νέου είδους τεχνολογία θα είναι ιδανική για εφαρμογές “ευαίσθητες στις καθυστερήσεις” (latency-sensitive), όπως την αυτόνομη

οδήγηση, τη δυνατότητα διασύνδεσης όλων των οχημάτων στο διαδίκτυο, με απώτερο στόχο να μοιράζονται και να λαμβάνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο τόσο με τα διπλανά οχήματα όσο και με το τριγύρω οδικό περιβάλλον και όχι μόνο (μέσω οχήματος-σε-υποδομή επικοινωνίες). Παρακάτω απεικονίζεται ένα οχταγωνικό σύστημα το οποίο συγκρίνει τις προδιαγραφές του 4g LTE με το 5g.

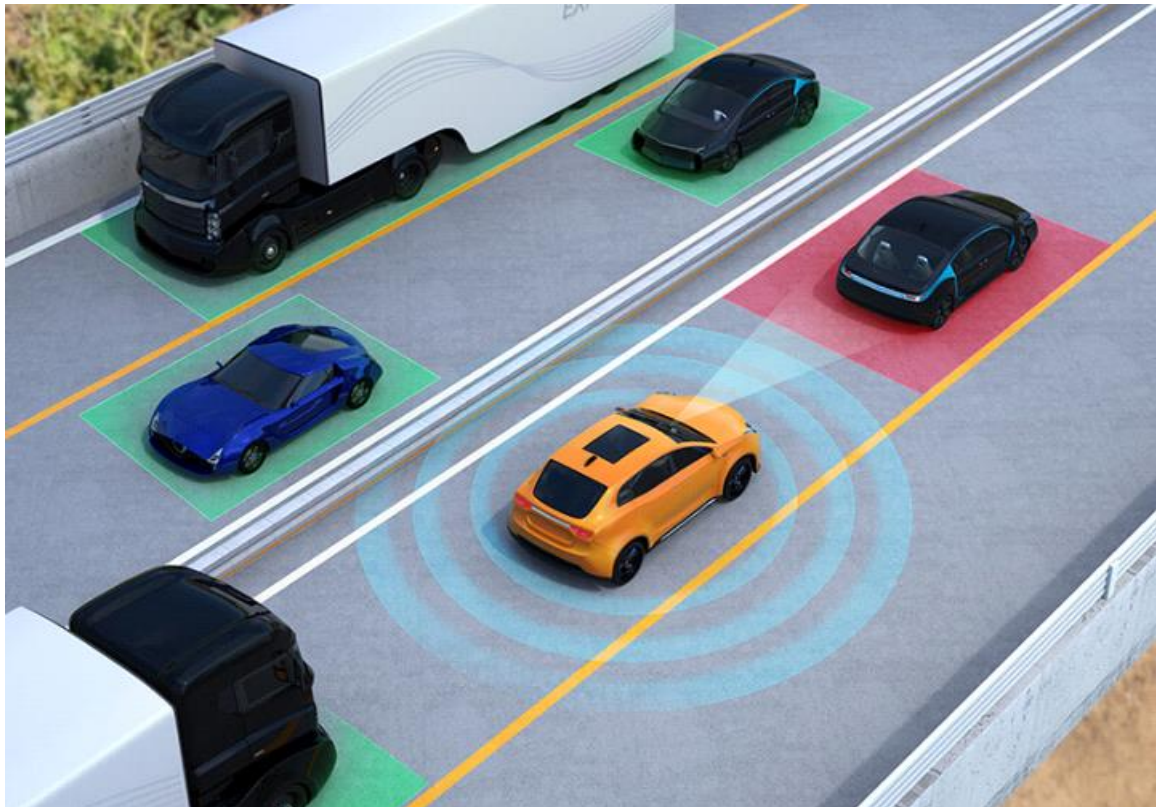


Εικόνα 3. Προδιαγραφές 4G σε σύγκριση με 5G

Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Fundamental-improvements-to-IMT-Advanced-technology-introduced-by-the-IMT-2020-standard_fig1_354964418

Για παράδειγμα, σε ένα αποκλειστικά αυτοματοποιημένο περιβάλλον οδήγησης με μηδενική ανθρώπινη παρέμβαση, τα οχήματα μπορούν να οφηληθούν από την πληροφορία που θα λαμβάνουν από τις διάφορες οδικές υποδομές ή τα γειτονικά οχήματα. Ακόμα σε ενδεχόμενα σενάρια διασταυρώσεων, τα γειτονικά οχήματα θα επικοινωνούν μεταξύ τους και θα συγχρονίζονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να δίνεται προτεραιότητα σε οχήματα έκτακτης ανάγκης όπως τα ασθενοφόρα ή τα λεωφορεία.

Όπως είναι αντιληπτό, όλες οι αναφερόμενες εφαρμογές απαιτούν μια πολύ υψηλού επιπέδου αξιοπιστία και αυστηρά μικρές καθυστερήσεις, εφόδια τα οποία μπορεί να μας εγγυηθεί μόνο μια τεχνολογία σαν τη URLLC. Παρόλα αυτά, για να αποθηκευθούν και να επεξεργαστούν την τεράστια ποσότητα των δεδομένων που παράγονται από τα έξυπνα οχήματα (intelligent vehicles), από την πληθώρα των υψηλής ανάλυσης καμερών και αισθητήρων, η χρησιμοποίηση των onboard επεξεργαστικών δυνατοτήτων ή του cloud computing δεν επαρκούν.



Εικόνα 4. Αυτόνομο Οχηματικό Περιβάλλον

Πηγή:<https://www.buffalo.edu/istl/research/research-facilities/motion-simulation-laboratory/research-areas/transportation-safety-systems-engineering.html>

Παραπάνω απεικονίζεται η πορεία ενός αυτοκινήτου σε ένα 5g περιβάλλον με URLLC τεχνολογία το οποίο αλληλεπιδρά με τα γειτονικά του οχήματα λειτουργώντας παράλληλα ως πομπός και δέκτης ασύρματων σημάτων σε πραγματικό χρόνο

Η επικοινωνία των οχημάτων, είναι μια από τις τεχνολογίες κλειδί στα έξυπνα συστήματα μεταφοράς (ITS), η οποία παρέχει ασύρματη συνδεσιμότητα ανάμεσα σε οχήματα, συσκευές στην άκρη του δρόμου, επιβάτες ακόμα και πεζούς. Οι τεχνολογίες που επικρατούν στον χώρο των οχηματικών επικοινωνιών αυτή την περίοδο χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: ειδικές μικρού-εύρους επικοινωνίες (dedicated short-range

communications- DSRC), και βασισμένες σε Long Term Evolution(LTE) όχημα-με-όλα τεχνολογίες (vehicle-to-everything / i.e LTE-based V2X ή LTE-V).

Μία άλλη τεχνολογία που μοιάζει πολύ με την AVN με κυριότερη διαφορά το μη πλήρως αυτοματοποιημένο περιβάλλον είναι η Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). Η ADAS λοιπόν είναι υπεύθυνη για τη συνεχή παρακολούθηση του γύρω περιβάλλοντος του εκάστοτε οχήματος, να ειδοποιεί τον οδηγό για επικίνδυνες οδικές συνθήκες, καθώς και να παίρνει διορθωτικές αποφάσεις, όπως να επιβραδύνει ή ακόμα και να σταματάει το όχημα . Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν διάφορα inputs από πολλαπλούς αισθητήρες, όπως κάμερες και ρανταρ. Η μίξη των εισόδων αυτών επεξεργάζεται και η πληροφορία μεταφέρεται στον οδηγό και τα επιμέρους μέρη του συστήματος. Ο λόγος ύπαρξης της ADAS τεχνολογίας στοχεύει στη δραστική μείωση των οδικών ατυχημάτων και τα σχετιζόμενα θύματα βοηθώντας τους οδηγούς να αποφύγουν τις συγκρούσεις σε συνολικό βαθμό. Τα συγκεκριμένα συστήματα έχουν χρόνο αντίδρασης πολύ μικρότερο από κάθε άνθρωπο, και πολλά απ' αυτά έχουν ήδη υιοθετηθεί και αναπτυχθεί σε αρκετά αυτοκινητιστικά τμήματα.

Διαχείριση του φάσματος σε πολύ-προσβάσιμο edge computing στα πλαίσια των αυτόνομων οχηματικών δικτύων

Το πλαίσιο της διαχείρισης του δυναμικού φάσματος είχε αρχικά προταθεί με απώτερο στόχο τη βελτιστοποίηση του δυναμικού φάσματος σε ένα MEC (Multi-access edge computing) για τα ποικίλα αυτόνομα οχηματικά δίκτυα. Τα εκάστοτε οχηματικά δίκτυα είναι αυτά τα οποία ξεπροβάλλουν ως το σενάριο της τεχνολογίας κλειδιού (key technology) για τα διάφορα 5g κινητά επικοινωνιακά συστήματα. Στα πλαίσια της επόμενης δεκαετίας, τα αυτόνομα οχήματα θα αναπαριστούν μια από τις πιο κύριες ομάδες των δεκτών /πομπών των εκάστοτε 5g δικτύων των όποιων οχημάτων.

3.2 Σύστημα διαχείρισης καταστροφών βάσει IoT στα πλαίσια 5g URLLC δικτύου

Το πλαίσιο της διαχείρισης του δυναμικού φάσματος είχε αρχικά προταθεί με απώτερο στόχο τη βελτιστοποίηση του δυναμικού φάσματος σε ένα MEC (Multi-access edge computing) για τα ποικίλα αυτόνομα οχηματικά δίκτυα. Τα εκάστοτε οχηματικά δίκτυα είναι αυτά τα οποία ξεπροβάλλουν ως το σενάριο της τεχνολογίας κλειδιού (key technology) για τα διάφορα 5g κινητά επικοινωνιακά συστήματα. Στα πλαίσια της επόμενης δεκαετίας, τα αυτόνομα οχήματα θα αναπαριστούν μια από τις κυριότερες ομάδες των πομπών/δεκτών των εκάστοτε οχηματικών 5g δικτύων.

Τα συστήματα διαχείρισης καταστροφών θα μπορούσαν να επωφεληθούν πολύ σημαντικά προς τα κινητά δίκτυα 5ης γενιάς. Στην πραγματικότητα, το 5g στοχεύει

πρωτοφανή επίπεδα τόσο εξαιρετικής αξιοπιστίας, όσο και χαμηλής καθυστέρησης. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μέσα από μια ενσωμάτωση των στοιχείων που συμπεριλαμβάνονται στην παροχή υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένων του hardware του IoT, της υποδομής των δικτύων και της πλατφόρμας του λογισμικού.

Παραδοσιακά, η εξέλιξη των κινητών συστημάτων χαρακτηρίζεται από μια συνεχώς αυξανόμενη κυκλοφορία και συνεπώς ρυθμών δεδομένων οι οποίοι προσφέρονται από ένα κινητό δίκτυο. Επομένως, οι URLLC υπηρεσίες διαμορφώνουν με τη σειρά τους, την επιτακτική ανάγκη μιας προοπτικής που στοχεύει, τόσο στην εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση, όσο και την πολύ μεγάλη αξιοπιστία. Επιπροσθέτως, λόγω της θεμελιώδους υποστήριξης των mMTC υπηρεσιών, το 5g πρόκειται για μία έγκυρη υποψήφια τεχνολογία η οποία έχει ως απώτερο στόχο την υποστήριξη του παραδείγματος του IoT (Internet of things). Οι προκλήσεις που σχετίζονται με την υποστήριξη του IoT, για τα κινητά δίκτυα ενυπάρχουν στον τεράστιο αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών αλλά και στην πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αναλογικά με τον όγκο μετάδοσης των δεδομένων αυτών.

Τόσο το mMTC, όσο και το URLLC υποστηρίζουν πως τα 5g δίκτυα είναι ικανά να αποδειχθούν ως εργαλεία- κλειδιά σε εκάστοτε σενάρια διαχείρισης καταστροφών. Στην πραγματικότητα και σε πλαίσια μάλιστα πολύ κρίσιμων εφαρμογών, όπως τη συνεννόηση μιας ομάδας διάσωσης αλλά και τη διαχείριση των οχημάτων έκτακτης ανάγκης, εφαρμογές οι οποίες μπορούν κάλλιστα να επωφεληθούν από την υπηρεσία που προσφέρει συλλογικά ένα 5g δίκτυο. Επιπλέον, τα δεδομένα τα οποία μεταδίδονται από έναν τεράστιο όγκο IoT αισθητήρων, οι οποίοι θα μπορούσαν να παρέχουν χρήσιμη πληροφορία για να διαχειριστούν τη διαδικασία διαχείρισης. Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στον ορισμό των συστημάτων παρακολούθησης της υγείας των κτιρίων (SHM – structural health monitoring).

Η τεχνολογία κινητής πρόσβασης περνάει μία επαναστατική αλλαγή περίπου κάθε δεκαετία. Κάθε γενιά κινητής τεχνολογίας έχει συνεισφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση, αλλά η επιτυχία της 5ης γενιάς των κινητών δικτύων είναι ρητά συνδεδεμένη με τη δημιουργία μιας κοινότητας ικανής να σχεδιάσει καθώς και να αναπτύξει εφαρμογές οι οποίες εκμεταλλεύονται στο έπακρο τις προοπτικές των 5g δικτύων. Ο διεθνής τομέας ραδιοεπικοινωνιών (ITU), έχει αποδώσει ένα επίσημο όνομα για το 5g ως διεθνείς κινητές επικοινωνίες, καθώς επίσης έχει ορίσει τρία τυπικά σενάρια εφαρμογής του 5g: eMBB, uRLLC και mMTC όπως έχουν προαναφερθεί. Το enhanced mobile broadband (eMBB) έχει ως στόχο την κάλυψη των αναγκών των χρηστών για ολοένα και πιο απαιτητικό ψηφιακό τρόπο ζωής, εφόσον επικεντρώνεται σε υπηρεσίες οι οποίες έχουν υψηλές απαιτήσεις για εύρος (bandwidth), όπως υψηλής ανάλυσης βίντεο (High Definition - HD), εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality - VR) , και επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality - AR). Ο σχεδιασμός της διεπαφής του 5g, αποσκοπεί στην επίτευξη πολύ υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων,

γρηγορότερη πρόσβαση, και μια γενικότερα καλύτερη εμπειρία χρήσης στα πλαίσια των επαυξημένων eMBB υπηρεσιών. Παράλληλα, συνδέεται με κατακόρυφες βιομηχανίες και νέες συσκευές, διαμορφώνοντας ποικίλα σενάρια εφαρμοφών, όπως mMTC και uRLLC υπηρεσίες υποστηρίζοντας έναν τεράστιο όγκο συσκευών καθώς και ενεργοποιώντας κριτικής σημασίας μεταδόσεις με εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία, καθώς και προϋποθέσεις πολύ χαμηλής καθυστέρησης.

4. Συστήματα SHM

Το Structural Health Monitoring είναι ένα ζωτικής σημασίας εργαλείο, το οποίο βελτιώνει την ασφάλεια και όχι μόνο, ορισμένων πολύ σημαντικών κτιρίων όπως νοσοκομεία, γέφυρες και άλλα κτίρια.

Το SHM παρέχει ακριβείς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη συνθήκη υγείας του κάθε κτιρίου. Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία μπορεί να ανιχνεύσει την τοποθεσία ενός κτιρίου και να υπολογίζει την έκταση της ζημιάς, καθώς και να υπολογίζει επερχόμενα ατυχήματα.

Υπάρχουν διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις των πράξεων παρακολούθησης, οι οποίες μπορούν να έχουν διαφορετικές ή συγκρουόμενες προϋποθέσεις :

- Δυναμική ανάλυση
- Παρακολούθηση (monitoring)
- Παρακολούθηση σεισμικής ανάλυσης βάσει αλγορίθμων
- Παρακολούθηση αύξησης σχισμών
- Περιβαλλοντολογική και χημική παρακολούθηση (*Gattulli V., 2022*)

Συγκεκριμένα, τα παραδοσιακά συστήματα βασίζονται σε ενσύρματους αισθητήρες υψηλού κόστους οι οποίοι είναι καθόλου ελαστικοί και αρκετά μεγάλου μεγέθους. Τα διάφορα ομοαξονικά καλώδια είναι το πιο συνηθισμένο μέσο για μια αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων από αισθητήρες σε κεντρική επεξεργαστική μονάδα χωρητικότητας. Τα τελευταία χρόνια, η σταδιακή βελτίωση της τεχνολογίας των ασύρματων δικτυακών αισθητήρων (WSNs), έχει παρουσιάσει μια σημαντική ευκαιρία καινοτομίας στο πεδίο των SHM. Η εφαρμογή των WSNs στα πλαίσια των SHM προσφέρει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα. Πρώτα απ' όλα δίνει τη δυνατότητα να εξαφανιστούν τα καλώδια, μειώνοντας με τον τρόπο αυτόν σημαντικά τα συνολικά έξοδα των συστημάτων. Επιπρόσθετα, τα ασύρματα nodes έχουν μειωμένο αποτύπωμα καθώς και οπτικό αντίκτυπο και μπορούν επομένως να εγκατασταθούν σε κτίρια μεγάλης ιστορικής ή καλλιτεχνικής σημασίας. Η υψηλή τους ευελιξία αυτή τους επιτρέπει να εγκατασταθούν εκεί όπου μια ενσύρματη υποδομή θα γινόταν αρκετά περίπλοκη (ένα πρόβλημα το οποίο θα παρουσιαζόταν κυρίως σε μεγάλες διαστάσεις, όπως μνημεία).

Οι διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις από ποικίλες πράξεις παρακολούθησης (όπως δυναμική ανάλυση παρακολούθησης, παρακολούθηση σεισμικής ανάλυσης, παρακολούθηση ανάπτυξης κάποιου ρήγματος, καθώς επίσης και παρακολούθηση τόσο περιβαλλοντολογική όσο και χημική) είναι πιθανό να έχουν διαφορετικές ή αντικρουόμενες ανάγκες. Για παράδειγμα, τα συστήματα παρακολούθησης δυναμικής ανάλυσης πρέπει να εγγραφθούν ένα συγχρονισμό ακριβής μέτρησης, τη στιγμή που αυτή η ανάγκη μπορεί να μην είναι τόσο δραστική όταν οι όποιες ποσότητες είναι μία "αργή" μεταβλητή (όπως η περίπτωση παρακολούθησης ανάπτυξης μιας ρωγμής). Πράγματι,

είναι πιθανό να αναγνωρίσουν τις ακόλουθες γενικές ανάγκες για ένα WSN (wireless sensor networks) : αξιοπιστία, την ικανότητα της σχετικά εύκολης αναδιαμόρφωσης, καθώς και ενεργειακής απόδοσης. Η αξιοπιστία είναι μια κριτικής σημασίας ανάγκη στα πλαίσια της εφαρμογής της παρακολούθησης της υγείας των κτιρίων, καθώς τα μετρήσιμα δεδομένα συνήθως σχετίζονται με την ασφάλεια τόσο των κτιρίων όσο και των ανθρώπων. Οι κόμβοι των σενσόρων πρέπει να είναι ικανοί να αναφέρουν ορθώς τα εκάστοτε δεδομένα, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό μια καλή ποιότητα επικοινωνίας των όποιων υπηρεσιών. Συνεπώς, η ενεργειακή απόδοση πρόκειται για μια προϋπόθεση τεράστιας σημασίας όσον αφορά τη διαβεβαίωση ενός καλού λειτουργικού χρόνου ζωής σε έναν κόμβο αισθητήρα ο οποίος αντλεί ενέργεια από μπαταρίες. Συνήθως, μία υψηλή ενεργειακή απόδοση εγγυάται γενικά από δύο διαφορετικές ενέργειες: σχεδιασμός ή επιλογή συσκευών χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (π.χ. συσκευές με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση σε ενεργή κατάσταση).

Το υλικό του πρωτοτύπου

Η χρήση των δυναμικών μετρήσεων είτε κατά τη διάρκεια της δοκιμής της περιβάλλουσας δόνησης είτε μέσω της παρακολούθησης της μόνιμης υγείας των κτιρίων είναι ικανή να παίξει τεράστιο ρόλο σε μία πυκνοκατοικημένη περιοχή αποτελούμενη από στρατηγικά και μνημιακά κτήρια μετά από το συμβάν κάποιας φυσικής καταστροφής, όπως τον σεισμό. Πιο συγκεκριμένα, μια προσεκτική χρήση ορισμένων διαδικασιών εξακρίβωσης, μπορεί να συνεισφέρει στην εξαγωγή της υπογραφής του εκάστοτε κτιρίου από χαμηλή σε κόστος και εύκολη στην ανάπτυξη τους ασύρματων δικτύων από δυναμικούς αισθητήρες. Αυτή η σημαντική πειραματική πληροφορία είναι ικανή να αυξήσει ραγδαία μια γενικότερη αυτοπεποίθηση στην περαιτέρω κατανόηση της πραγματικής δυναμικής συμπεριφοράς των κτιρίων τα οποία υπέφεραν μέτρια ή ακόμα και σοβαρή ζημιά λόγω σεισμικής δραστηριότητας.

Με απώτερο στόχο ενός επαρκούς επιπέδου κατανόησης της δυναμικής συμπεριφοράς των μελετημένων κτιρίων ένα πρόγραμμα ορισμένων επακόλουθων δραστηριοτήτων πρέπει να εφαρμοστούν: i) επί τόπου δυναμική εξέταση υπό περιβαλλοντολογικές πράξεις με στάνταρ εξοπλισμούς, ii) πεπερασμένη μοντελοποίηση στοιχείων η οποία είναι βασισμένη σε διεξοδικές έρευνες και δοκιμή των υλικών, iii) περιγραφή των χαρακτηριστικών των SHM-WSN αισθητήρων, iv) εργαστηριακή δυναμική δοκιμή με απώτερο στόχο την επικύρωση ποικίλων διαδικασιών και ασύρματων αισθητήρων παρακολούθησης, v) ανάπτυξη και εγκατάσταση από απομακρυσμένο προγραμματισμό των διαφόρων βοηθητικών διαδικασιών οι οποίες είναι υπεύθυνες συνάμα για την ακριβής εξακρίβωση της ζημιάς. (Khan B., 2022)

Ο τεράστιος όγκος δεδομένων ο οποίος διαμορφώνεται από τα παραπάνω εκμεταλλεύεται προκειμένου να επιβεβαιωθεί η επίδοση των εκάστοτε κτιρίων σε βάθος χρόνου ενεργοποιώντας μια συνεχή εξέλιξη τόσο της ασφάλειας τους, όσο και

την ευκαιρία διαμόρφωσης δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στην αποκάταστασή τους, μειώνοντας όσο περισσότερο γίνεται την όποια ευπάθεια τους. Οι αισθητήρες των δικτύων είναι ικανοί να μεταδώσουν τα συλλεγόμενα δεδομένα σε ένα κεντρικό συλλέκτη δεδομένων (π.χ. σερβερ), αξιοποιώντας τις ήδη υπάρχουσες επικοινωνιακές υποδομές της κάθε πόλης, και χρησιμοποιώντας τη δυναμική δημιουργία των υπηρεσιών, προκειμένου να εκτεθούν όλα αυτά τα δεδομένα και συνεπώς να εκμεταλλευτούν από την εφαρμογή. Ο υπέρτατος σκοπός ενός τέτοιου είδους συστημάτων είναι να χτιστεί ένα αρκετά ευρύ δίκτυο παρακολούθησης με πυλώνα διάφορες τεχνολογίες χαμηλού κόστους επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη των διαδικασιών τόσο της ποιοτικής ανάλυσης, όσο και της παρουσίασης των δεδομένων από τους αισθητήρες. Αυτή η ανάλυση επίσης στοχεύει στην αξιολόγηση της πιθανότητας του να χρησιμοποιηθεί ένα είδος από χαμηλού κόστους καταναμεμένα συστήματα για τον χαρακτηρισμό των περιβαλλοντολογικών πιέσεων στην αρχιτεκτονική κληρονομιά. Το σύστημα παρακολούθησης των κτιρίων είναι η βάση για την υλοποίηση των διαφορετικών ειδών των συστημάτων τα οποία και είχαν χρησιμοποιηθεί για την προστασία της υγείας των κατοίκων σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών (όπως σεισμούς ή άλλα καταστροφικά γεγονότα). Όλα τα παραπάνω γίνονται με απώτερο στόχο την εκμετάλλευση της ικανότητας να παρακολουθείται συνεχώς η υγεία των εκάστοτε κτιρίων, προκειμένου να αναγνωρίζονται επικίνδυνα γεγονότα και να ενεργοποιούνται οι κατάλληλοι μηχανισμοί για τη διαχείριση της ανάγκης. Τα συστήματα παρακολούθησης είναι εξοικωμένα να παίρνουν μία άμεση εκτίμηση του επιπέδου ασφάλειας των κτιρίων, τόσο σε παγκόσμια κλίμακα όσο και σε ατομικά μέρη.

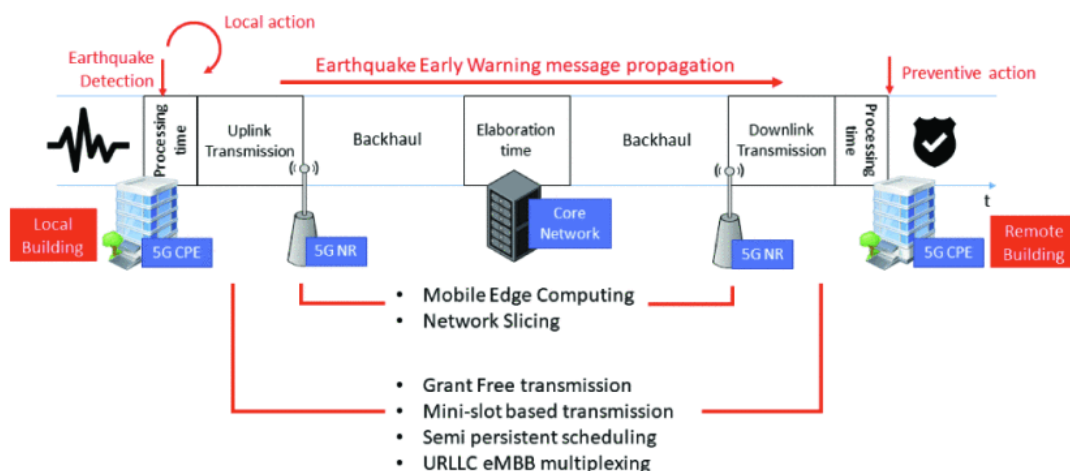
4.1 Η 5g αρχιτεκτονική για τα SHM και προειδοποίηση σεισμού εγκαίρως

Το EEW (Earthquake Early Warning) στα SHM συστήματα αναπαριστά μια απαιτητική εφαρμογή για 5g, εφόσον αξιοποιεί στο έπακρο την ικανότητα των 5g δικτύων να προσφέρουν κάποιου είδους εγγύηση στη μεταφορά των εκάστοτε πακετών στα πλαίσια μιας συγκεκριμένης καθυστέρησης. Η ιδέα πίσω από το EEW είναι να χρησιμοποιηθεί το εκάστοτε SHM σύστημα, με απώτερο στόχο να εντοπίσει ένα σεισμικό γεγονός και με τη σειρά του να διαδώσει ένα μήνυμα που θα εμπεριέχει τον εντοπισμό του συγκεκριμένου γεγονότος (EEW μήνυμα), σε όλα τα γειτονικά κτίρια τα οποία μπορούν να υποστούν κάποια ζημιά από το καταστροφικό γεγονός. Όσο ο σεισμικός εντοπισμός στο τοπικό κτίριο μπορεί να προκαλέσει ορισμένα αντιδραστικά σενάρια, με απώτερο στόχο την επανόρθωση της συνέπειας της καταστροφής χωρίς κάποια εγγύηση της αποδοτικότητας, η υποδοχή του EEW μηνύματος πυροδοτεί ορισμένες ενέργειες διατήρησης της ασφάλειας στα κτίρια τα οποία είναι πιο κοντά. Η εφαρμογή του παραπάνω σεναρίου αν και εφόσον εφαρμοστεί σε ικανοποιητικό χρονικό διάστημα, απορρέει στη μεγιστοποίηση της ασφάλειας, τόσο των υποδομών όσο και των πολιτών.

Ορισμένες πιθανές ενέργειες διατήρησης της γενικότερης ασφάλειας του εκάστοτε οικοσυστήματος περιλαμβάνουν: την έναρξη της ανάκλησης των ανελκυστήρων στους ορόφους των εισογείων, την τοποθέτηση του ευαίσθητου εξοπλισμού σε μια κατάσταση προστασίας, προστασία των όποιων επικύνδωνων υλικών, την ακινητοποίηση όποιων γραμμών παραγωγής προκειμένου να μειωθεί η όποια ζημιά, το ξεκλείδωμα των exit doors, και την ενεργοποίηση των φώτων της έκτακτης ανάγκης.

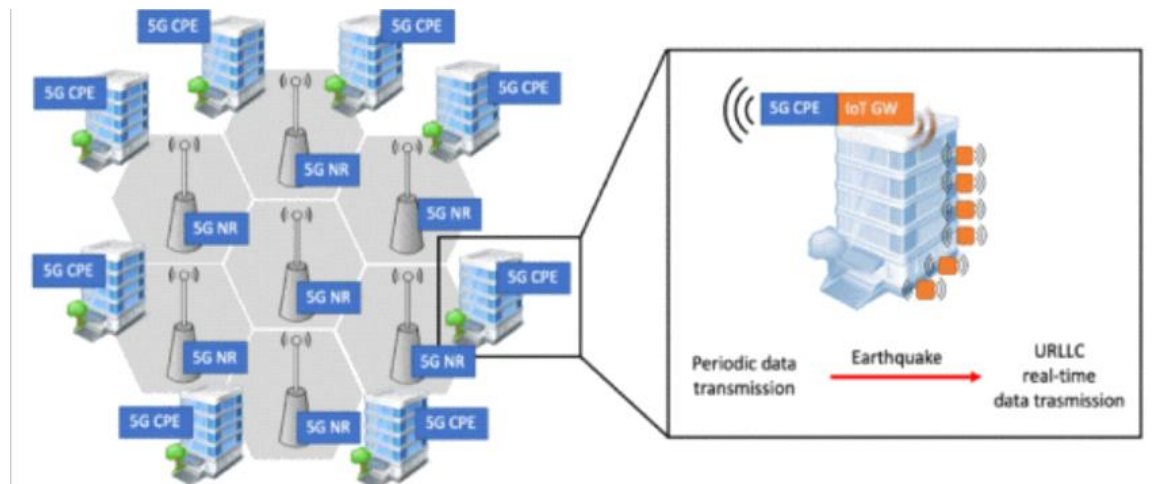
Τα γεγονότα σεισμών συνήθως χαρακτηρίζονται από τα περιστατικά των κυμάτων τόσο των σωμάτων όσο και της επιφάνειας. Τα κύματα των σωμάτων έχουν χαμηλότερη ενέργεια και εξαπλώνονται με ταχύτητα μεταξύ 1.5 και 8 χλμ/ω, όσο από την άλλη τα κύματα των επιφανειών μεταφέρουν μεγαλύτερη ενέργεια με σεβασμό στα κύματα των σωμάτων, με συνέπεια να είναι πολύ πιο επικύνδυνα. Η διαφορά στην ταχύτητα εξάπλωσης των κυμάτων των σωμάτων σε σύγκριση με των επιφανειών, υπαινίσσεται μια καθυστέρηση της αναχώρησης σε διαφορετικά μέρη στην επιφάνεια η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί στο έπακρο προκειμένου να εφαρμοστούν οι όποιες ενέργειες διατήρησης της ασφάλειας. Ως αποτέλεσμα, όταν το EEW μήνυμα δημιουργείται, κάθε ms (millisecond) που ξοδεύεται στην εξάπλωση του μηνύματος αντιστοιχεί σε μια αύξηση σχεδόν 8 μέτρων από την ακτίνα της περιοχής που καταφθάνεται από τον σεισμό. Από την άλλη μεριά, η μείωση ενός ms της καθυστέρησης του χρόνου μετάδοσης του EEW μηνύματος, αντιστοιχεί σε μια αύξηση των 8 μέτρων από την ακτίνα της περιοχής για την εφαρμογή των όποιων ενεργειών ασφαλείας.

Το πρόσφατα ορισμένο στάνταρ 5G NR στοχεύει στη μετάδοση σχετικά μικρών φορτίων (payloads), στα πλαίσια εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης ($\leq 1\text{ms}$) και εξαιρετικής αξιοπιστίας (99.999%), συνεπώς αντιπροσωπεύει μια αποδοτική υποστηρικτική υποδομή για το προτεινόμενο EEW σύστημα. (Khan B., 2022)



Εικόνα 5. 5g αρχιτεκτονική για τα SHM και EEW

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8767329>



Εικόνα 6. Μόνιμο SHM το οποίο χρησιμοποιείται από 5G

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9032897>

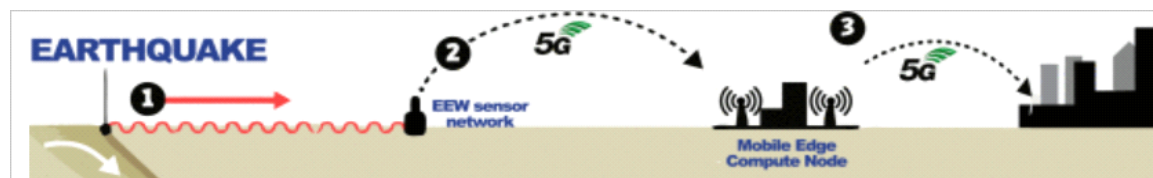
Αρχιτεκτονική 5g για τα SHM

Παραδοσιακά, τόσο ο σχεδιασμός όσο και η ανάπτυξη των νέων υπηρεσιών έχουν διεξαχθεί χωρίς ιδιαίτερη προσοχή στην ενσωμάτωση ανάμεσα στη διαχείριση της δικτυακής υποδομής και της υπηρεσίας αυτής καθ' αυτής.

Η παρακολούθηση των κτιρίων αναπαριστά μια τεράστια εφαρμογή IoT της οποίας οι κύριες ανησυχίες όσον αφορά το σχεδιασμό (αριθμός συνδεδεμένων συσκευών, ποιότητα του σήματος) κυρίως απασχολούν τη φάση του σχεδιασμού των δικτύων. Απεναντίας, η πρόωρη προειδοποίηση σεισμού προαπαιτεί μία υψηλή αξιοπιστία αλλά και μια εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση, πράγματα τα οποία επιτυγχάνονται μέσα από μια ενσωματωμένη κάθετη διαχείριση της υποδομής των εκάστοτε δικτύων, του δικτύου μεταφοράς (transport network), αλλά και το κινητό δίκτυο. Αυτή η ενσωμάτωση επιτυγχάνεται μέσα από μια δικτυακή διαστρωμάτωση

(δηλ. την πιθανότητα να παρέχει ένα ψηφιακό σετ από πηγές δικτύων). Το προτεινόμενο σύστημα προαπαιτεί το provisioning των επιμέρους μερών δικτύων υποστηρίζοντας ισάξια τόσο τις SHM όσο και τις EEW υπηρεσίες.

Παρακάτω απεικονίζεται το λειτουργικό σχήμα ενός 5G EEW συστήματος



Εικόνα 7. 5G EEW λειτουργικό σύστημα σχήματος

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9032897>

Η εκμετάλλευση της διαχείρισης των καταστροφών

Σε περιπτώσεις ανάγκης όπως σεισμούς, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο αντίδρασης, γεγονός που προϋποθέτει στενές συνεργασίες μεταξύ όλων όσων εμπλέκονται, και διανέμοντας αμέσως ευφυής υποστήριξη, οδηγεί στη μέγιστο δυνατό ποσοστό επιβίωσης των κατοίκων. Παρόλα αυτά, η τωρινή υποδομή των κτιρίων, δεν είναι ικανή να προσφέρει την αξιοπιστία και τον πολύ μικρό χρόνο αντίδρασης, που απαιτούνται σε ένα σενάριο έκτακτης ανάγκης.

Σε συμπερασματικό στάδιο, η παραπάνω προσέγγιση είναι ικανή να ενσωματωθεί στα πλαίσια ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support System – DSS), π.χ. μια πλατφόρμα η οποία ενσωματώνει την ποικιλία των διαθέσιμων εργαλείων αλλά και ικανοτήτων, προκειμένου να διαμορφωθεί μια γενικότερη ανθεκτικότητα της κοινωνίας στις καταστροφές. Είναι επίσης σημαντικό να τονιστεί πως ορισμένες από τις παραπάνω τεχνολογίες μπορούν να διαμοιραστούν σε αυτές του γενικού σκοπού (δηλ. έγκυρες και για διαφορετικά είδη γεγονότων), και αυτές που είναι πιο συγκεκριμένου σκοπού, που θα στοχεύσουν πιο πολύ σε σενάρια όπως τον σεισμό ή άλλες φυσικές καταστροφές.

(Li Z., 2018)

5g αρχιτεκτονική που υποστηρίζει το SHM και την έγκαιρη προειδοποίηση για σεισμό (EEW – Earthquake Early Warning)

Σε σύγκριση με τις παλαιότερες κινητές τηλεπικοινωνίες, το 5g προσφέρει πρωτόγνωρα επίπεδα ευελιξίας όσον αφορά την υποστήριξη των ετερογενών υπηρεσιών. Προκειμένου να επιτύχει το στόχο αυτό, αξιοποιεί ορισμένες τεχνολογίες

που ενεργοποιούν και καινοτομούν παραδείγματα δικτύων. Ορισμένα έχουν ήδη αναλυθεί μέχρι ένα βαθμό. Αυτά συμπεριλαμβάνουν:

- Δικτύωση βάσει λογισμικού (**Software Defined Networking – SDN**), η οποία επιτρέπει να ελεγχθεί μέσω του λογισμικού τη συμπεριφορά των δικτυακών στοιχείων, προκειμένου να προσαρμοστεί σε διαφορετικές συνθήκες δικτύων και να εφαρμόσει προϋποθέσεις κυκλοφορίας, εξειδικευμένων υπηρεσιών.

- Εικονικοποίηση λειτουργίας των δικτύων (**Network Function Virtualization – NFV**), που επιτρέπει την αναπαραγωγή των παραδοσιακών δικτυακών εξοπλισμών (switches, routers, firewalls, κ.α) μέσα από ορισμένες τεχνικές εικονικοποίησης με τη βοήθεια μηχανών γενικού σκοπού. Με αυτόν τον τρόπο, το δίκτυο μπορεί να αναδιαμορφωθεί ευέλικτα και τα εξαρτήματα υπηρεσιών να οργανωθούν σε διαφορετικές φυσικές τοποθεσίες, όπως κέντρα δεδομένων, με απώτερο στόχο την επίτευξη της ζητούμενης απόδοσης υπηρεσιών.

- “Τεμαχισμός” δικτύων (**Network slicing – NS**), συνδιάζοντας τα πλεονεκτήματα που προέρχονται από το SDN και το NFV, επιτρέπει να προσφέρει σε διαφορετικές υπηρεσίες εικονικά στρώματα με προσαρμοσμένα στις διαφορετικές υπηρεσίες στα πλαίσια μιας κοινής φυσικής υποδομής. Τα κομμάτια αυτά συνθέτονται συμπεριλαμβάνοντας τα διαφορετικά δικτυακά τμήματα που διασχίζονται από την κυκλοφορία. Αυτό συμπεριλαμβάνει ασύρματο δίκτυο, δίκτυο οπτικής μεταφοράς, και υποδομή υπολογισμού.

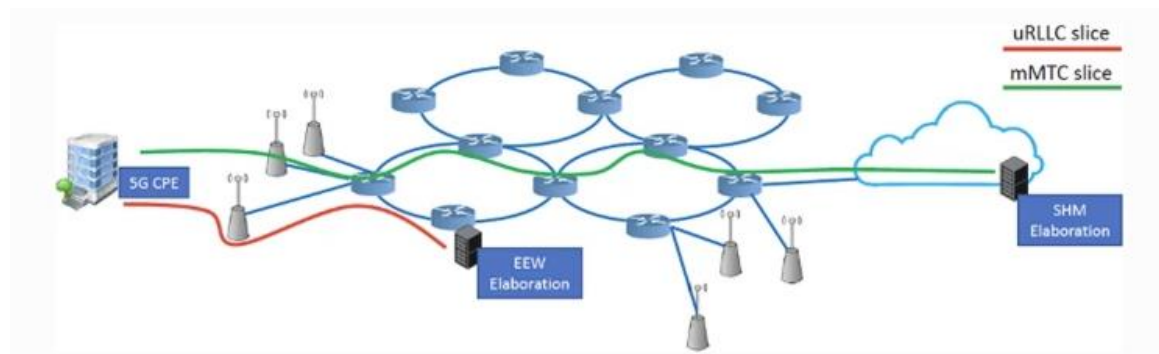
- **Multi-Access Edge Computing (MEC)**, αξιοποιώντας το NFV, το MEC επιτρέπει τη μεταφορά στην άκρη υπολογιστικά στοιχεία αφοσιωμένα σε μια συγκεκριμένη υπηρεσία. Η προσέγγιση αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα: i) επιτρέπει σημαντικά τη μείωση της καθυστέρησης η οποία και βιώνεται από τους εκάστοτε χρήστες εφόσον μειώνει και τη μεταφορά των πακέτων, ii) μειώνει τη συνολική κυκλοφορία στα πλαίσια του δικτύου, με απώτερο σκοπό την αποφυγή της συμφόρησης για τον χειριστή με το τίμημα του να παρουσιάζει αντιγραφές ορισμένων στοιχείων ανάπτυξης στην κορυφή, iii) επιτρέπει την επίτευξη μιας πολύ καλύτερης ποιότητας εμπειρίας στα πλαίσια των διαφόρων πολυμεσικών υπηρεσιών. (Li Z., 2018)

Παράλληλα με τα παραπάνω κομμάτια των κτιρίων τα οποία περιγράφηκαν, η ύπαρξη του 5G παρουσιάζει καινοτόμες τεχνικές στο τμήμα του δικτύου το οποίο αφοσιώνεται στην προσφορά όχι μόνο υψηλότερης παραγωγικότητας, αλλά και επιπέδων

χαμηλότερης καθυστέρησης αλλά και υψηλότερων αξιοπιστίας, εξαρτώντας από τις προϋποθέσεις της όποιας υπηρεσίας.

Με σεβασμό στο παραπάνω EEW και SHM σύστημα, κάποιος έχει την ικανότητα να μπορεί να παρατηρήσει ότι οι δύο εφαρμογές χαρακτηρίζονται από σημαντικά διαφορετικές προϋποθέσεις. Ακόμα και αν οι δύο υπηρεσίες βασίζονται στην αίσθηση των δεδομένων τα οποία παρουσιάζονται από τους ίδιους τους αισθητήριους κόμβους, τα δεδομένα τα οποία μεταδίδονται για τις δύο εφαρμογές οι οποίες μπορούν να μεταχειριστούν διαφορετικά από τα στοιχεία των δικτύων. Στην πραγματικότητα, η κυκλοφορία του SHM είναι ικανή να επεξεργαστεί χωρίς ιδιαίτερες εγγυήσεις στην απόδοση, εφόσον αφοσιώνεται κυρίως στο στόχο της παρακολούθησης (monitoring). Από την άλλη μεριά, η κυκλοφορία της EEW εφαρμογής αντιπροσωπεύει μια κριτική κυκλοφορία τόσο με προϋποθέσεις εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης όσο και υψηλής αξιοπιστίας, εφόσον έχει αφοσιωθεί στην ενεργοποίηση ενεργειών ασφάλειας.

Προκειμένου να ολοκληρωθούν τέτοιες ετερογενείς προϋποθέσεις, η υιοθετημένη 5g δικτυακή αρχιτεκτονική διαμορφώνεται, με απώτερο στόχο την υποστήριξη δύο διαφορετικών δικτυακών κομματιών, για το SHM και το EEW. Το κομμάτι του EEW έχει διαμορφωθεί με απώτερο στόχο τον προγραμματισμό της κυκλοφορίας του EEW με πολύ υψηλή προτεραιότητα στο ραδιο-τμήμα για την επίτευξη χαμηλής καθυστέρησης, τη στιγμή που τα πακέτα αναχωρούν από τη βάση του 5g σταθμού πρέπει να διασχίσουν το επονομαζόμενο δίκτυο οπτικής μεταφοράς το οποίο διαμορφώνεται προκειμένου να προσφέρει προστασία ενάντια στις αποτυχίες του φυσικού στρώματος (όπως το κόψιμο οπτικών ινών). Επιπρόσθετα, το λογισμικό για την ανάπτυξη των EEW μηνυμάτων εκμεταλλεύεται από την άκρη του δικτύου (χάρη στις ικανότητες του MEC), με απώτερο σκοπό να επιτευχθεί μια πολύ χαμηλή καθυστέρηση η οποία μπορεί να αναπτυχθεί και να αντιγραφεί προκειμένου να προσφέρει υψηλότερη απόδοση και βιωσιμότητα ενάντια στις φυσικές καταστροφές. Από την άλλη μεριά, το κομμάτι του SHM διαμορφώνεται για να προωθεί την κυκλοφορία στις φυσικές υποδομές με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.



Εικόνα 8. Διάγραμμα URLLC και mMTC

Πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-022-01329-8>

Παραπάνω απεικονίζεται ένα διάγραμμα που αποτελείται από uRLLC και mMTC κομμάτια: το κόκκινο μονοπάτι προορίζεται για την κυκλοφορία του EEW, ενώ η πράσινη αντιπροσωπεύει έναν κόμβο ανάπτυξης SHM

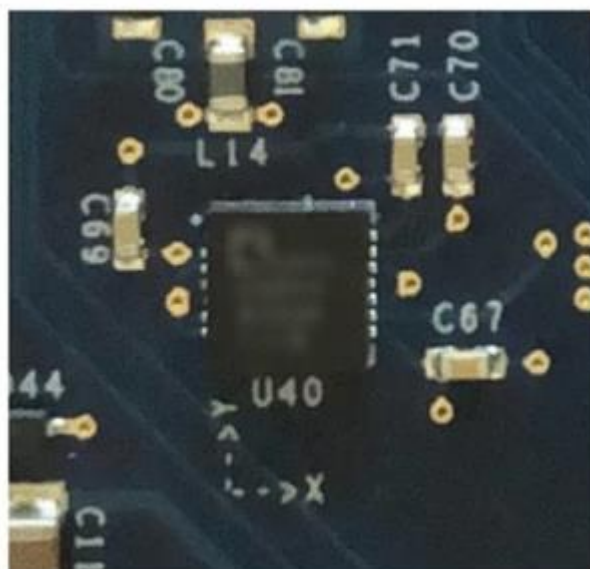
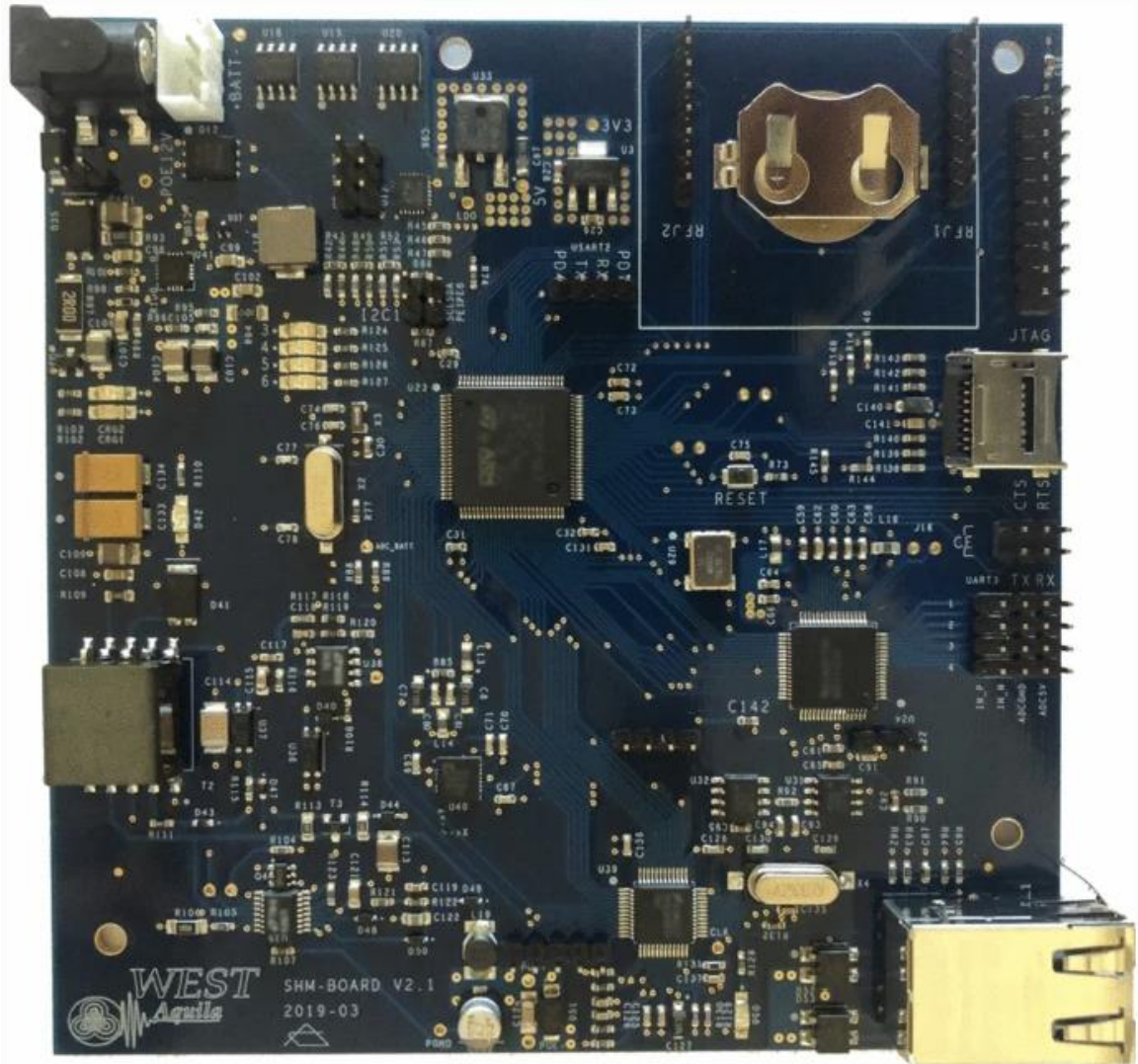
Ανάπτυξη υπηρεσίας

Αυτό το τμήμα περιγράφει την αναπτυγμένη αρχιτεκτονική υποστηρίζοντας τον πειραματισμό του σχεδιασμένου συστήματος για ένα κτίριο που ανήκει στο Πανεπιστήμιο του L' Aquila μέσα στη 5g δοκιμή.

Σχεδιασμό ταμπλό αισθητήρων

SHM-board V2 έχει σχεδιαστεί ως μια υψηλά ευέλικτη και υψηλής απόδοσης συσκευή για πραγματικού χρόνου SHM των υποδομών ή των κτιρίων

5g τεχνολογίες για την επίτευξη επικοινωνιών εξαιρετικής αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης – Σολομωνίδης Κωνσταντίνος



Εικόνα 9. Chipset SHM Board V2

Πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-022-01329-8>

Τα παραπάνω chipsets (συγκεκριμένα SHM Board V2), βασίζεται σε έναν πολύ χαμηλή σε ενέργεια μικρο-ελεγκτή ο οποίος προσφέρει πληθώρες επικοινωνιακές και υψηλές σε απόδοση διεπαφές. Μέσα από το 12bit ADC, συνδέεται σε μια χαμηλού θορύβου MEMS επιταχυνσιόμετρο, πλαισιωμένο απευθείας από το ταμπλό, το οποίο είναι πάντα ενεργό με απώτερο στόχο να εντοπισθούν επιταχύνσεις πάνω από ένα διαμορφώσιμο όριο.

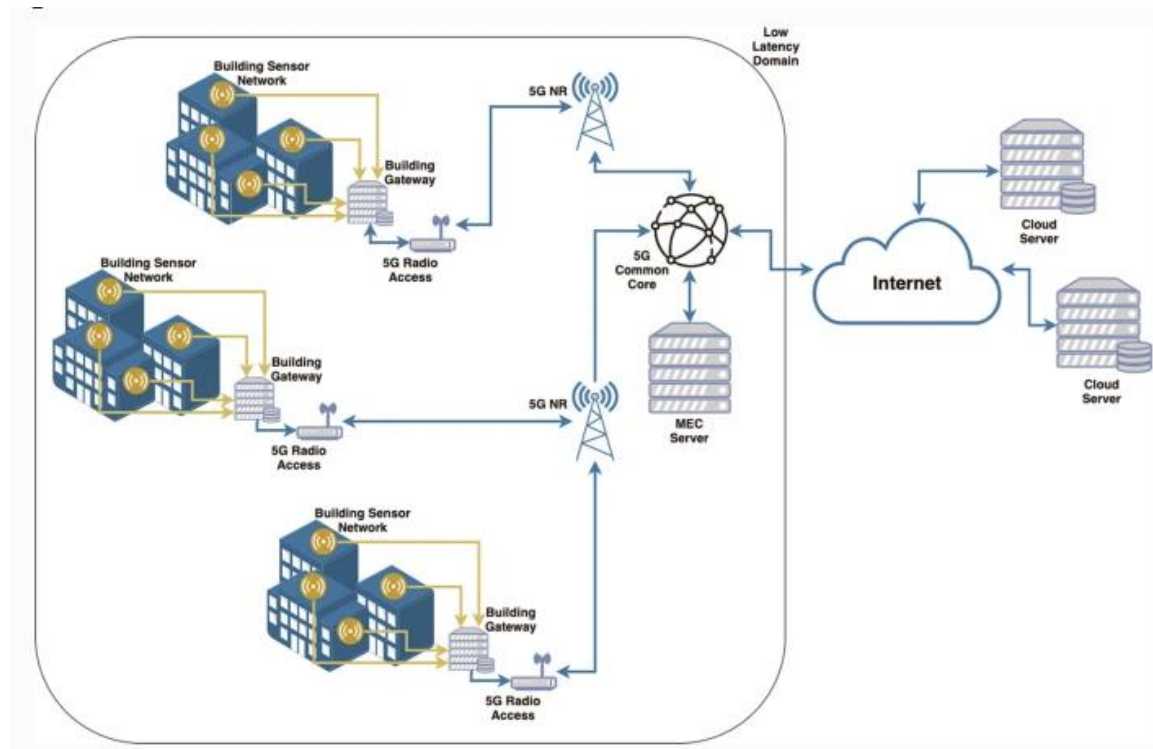
Το ταμπλό είναι σχεδιασμένο με στόχο την εξέταση της πιθανής υιοθέτησης ορισμένων χαμηλού σε κόστος, μη ρυθμισμένων, MEMS επιταχυνσιόμετρων με σενάρια τόσο EEW, όσο και SHM. Παρόλα αυτά, η διαδικασία ρύθμισης έχει καθοριστεί για τα επιταχυνσιόμετρα MEMS με απώτερο σκοπό τη σύγκριση της εκτίμησης μιας εκάστοτε δομικής απάντησης που παρέχεται μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων με ή χωρίς ρύθμιση.

Από την σκοπιά των τηλεπικοινωνιών, το ταμπλό SHM-Board V2 έχει μια ethernet διεπαφή (από το οποία λειτουργούν μέσω του PoE) και άλλες διεπαφές προκειμένου να συνδέσουν περισσότερες περιφερειακές συσκευές. Το ταμπλό επίσης παρέχει την ικανότητα να επικοινωνήσει ασύρματα με άλλους κόμβους του δικτύου παρακολούθησης μέσω του ασύρματου πρωτοκόλλου (Wireless M-Bus), στα 169MHz ή στα 868MHz, που επιτρέπει την επικοινωνία ανάμεσα σε μεγάλες αποστάσεις και είναι πολύ λιγότερο εκτεθειμένη στην όποια ύφεση των εμποδίων. Αυτή η ευελιξία όσον αφορά τις επικοινωνιακές διεπαφές είναι το κύριο πλεονέκτημα που προέρχεται από το ειδικό σχεδιασμό του ταμπλό αυτού.

Σε συμπερασματικό στάδιο, το SHM-Board V2 δίνει την ικανότητα απόκτησης σήματος από άλλα είδη οργάνων μέτρησης, όπως π.χ. μετρητές σχισμών (crack-meters), οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως στο πεδίο της παρακολούθησης της δομικής υγείας (Structural Health Monitoring – SHM), ειδικότερα μετά από σεισμικές ενέργειες οι οποίες ήταν απόρροια ορισμένων σοβαρών ζημιών στα εκάστοτε κτίρια. Ο ενσωματωμένος σένσορας της θερμοκρασίας επιτρέπει τη δυνατότητα εκτίμησης της θερμικής επίδρασης τόσο στο κτίριο, όσο και στον σένσορα επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό τον διαχωρισμό των εποχιακών παραλλαγών από τις πραγματικές ροπές. Η λειτουργική αρχή του MEMS εγγυείται καλή θερμική σταθερότητα και εξαιρετική γραμμικότητα.

Αρχιτεκτονική υποστηρίζει τις SHM και EEW εφαρμογές

Η αναπτυγμένη εφαρμογή έχει μελετηθεί και δοκιμαστεί με τους περιορισμούς από τα αφοσιωμένα επικοινωνιακά συστήματα. Παρόλα αυτά, η πιθανότητα να εκμεταλλευτεί μια URLLC υποδομή αποκαλύπτει μια τεράστια προοπτική η οποία επωφελείται από την ασφάλεια τόσο των ανθρώπων, όσο και των υποδομών.



Εικόνα 10. Αναπτυγμένη IT αρχιτεκτονική που υποστηρίζει την εφαρμογή του SHM

Πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-022-01329-8>

Αναπτυγμένη IT αρχιτεκτονική που υποστηρίζει τόσο την εφαρμογή του SHM όσο και του EEW.

Όπως περιγράφεται στο παραπάνω διάγραμμα, η αναπτυσσόμενη υπηρεσία αναφέρεται στο δίκτυο των παρακολουθούμενου κτιρίου εξοπλισμένο με τις κατάλληλες πλακέτες αισθητήρων, οι οποίες είναι ικανές να συλλέξουν επιταχυνσιομετρικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται με τη σειρά τους για τη τροφοδοσία ενός SHM συστήματος που επικεντρώνεται στα δεδομένα αυτά, καθώς και μιας υπηρεσίας ανίχνευσης EEW.

(Li Z., 2018)

Λαμβάνοντας υπόψη το σενάριο EEW, η ιδέα είναι να στέλνει ένα έγκαιρο μήνυμα προειδοποίησης τη στιγμή που το Ρ-κύμα από τον σεισμό εντοπιστεί, προκειμένου να

ενημέρωσε τις περιβάλλουσες περιοχές πριν από την αναχώρηση του πιθανού καταστροφικού S-κύματος. Το σενάριο αυτό επιτρέπει την ενημέρωση τόσο των ανθρώπων όσο και των γειτονικών κτιρίων, προκειμένου να παρθούν τα απαραίτητα μέτρα έτσι ώστε να συντηρούν σοβαρές ζημιές, όπως η εκκένωση επικίνδυνων περιοχών, η εκίνηση των διαδικασιών ανάκλυσης των ανελκυστήρων στον όροφο του εισογίου, η ενεργοποίηση των φώτων έκτακτης ανάγκης και πολλές άλλες πιθανότητες αυστηρά συνδεδεμένη με την «εξυπνότητα» που σχετίζεται με την εκάστοτε περιοχή.

Από τα παραπάνω απορρέει το συμπέρασμα πως όσο λιγότερος είναι ο απαιτούμενος χρόνος για την αναπαραγωγή της προειδοποίησης, τόσο υψηλότερη είναι και η αποτελεσματικότητα του συστήματος. Αυτός είναι και ο λόγος για το προηγουμένως αναπτυγμένο σενάριο, μια εφαρμογή που εκτελείται σε έναν MEC σερβερ μπορεί να εισπράξει και να επεξεργαστεί δεδομένα με πολύ μικρότερη καθυστέρηση, με απώτερο στόχο να εντοπίσει ταχύτατα την εξάπλωση του ενδεχόμενου σεισμικού κύματος.

Και στα δύο σενάρια, η ανταλλαγή των δεδομένων εφαρμόζεται στο επίπεδο εφαρμογής (application layer), μέσα από το πρωτόκολλο της ουράς μεταφοράς τηλεμετρίας του εκάστοτε μηνύματος (Message Queue Telemetry Transport – MQTT) που βασίζεται στην χρησιμοποίηση ενός “broker”, σχεδιασμένου εξειδικευμένα για τη μεταφορά των δεδομένων σύμφωνα με το μοτίβο publish/subscribe. Βάσει αυτού του μοτίβου, κάθε κτίριο δρα ως εκδότης τη στιγμή που στέλνει μηνύματα έγκαιρης προειδοποίησης ή μια πληροφορία παρακολούθησης στο broker. Ο τελευταίος με τη σειρά του στέλνει τα συλλεγόμενα δεδομένα σε όλα τα ενδιαφέροντα κτίρια, τα οποία την ίδια στιγμή είναι και συνδρομητές.

Παρακάτω απεικονίζονται δύο φωτογραφίες από ορισμένους αναπτυγμένους αισθητήρες ενός κτιρίου το οποίο ήταν στα πλαίσια του πειράματος που διεξήχθη από το Πανεπιστήμιο του L’Aquila.



(a) Sensor TA1



(b) Sensor TA2

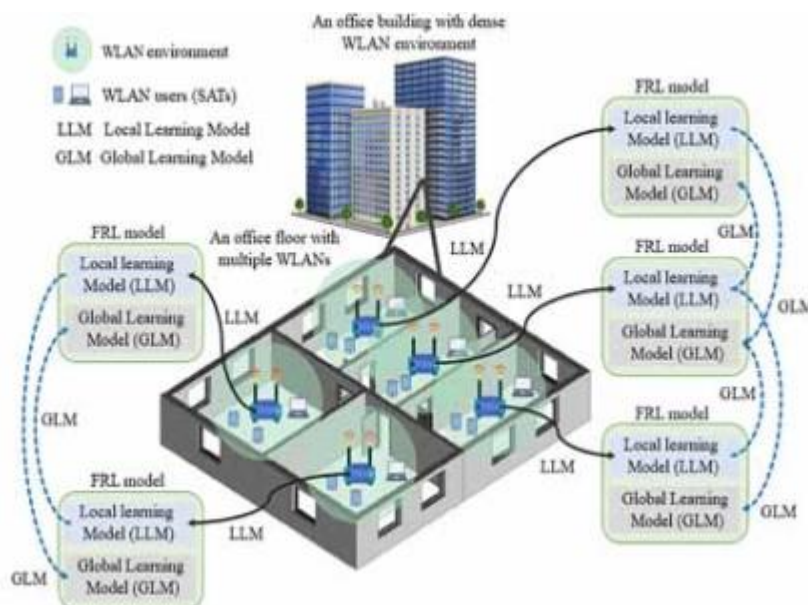
Εικόνα 11. Σύγκριση Αισθητήρων TA1 και TA2

Πηγή:<https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-022-01329-8>

Τα MEMS είναι γενικά, οικονομικοί αισθητήρες αλλά πολύ θορυβώδη. Για αυτόν το λόγο το να διεξαχθή μια συνεχής παρακολούθηση της υγείας των κτιρίων χρησιμοποιώντας μετρήσεις καταγεγραμμένες υπό τις περιβάλλουσες δονήσεις είναι μια πολύ δύσκολη διεργασία (για παράδειγμα με το σκοπό του να ακολουθηθεί η παραλλαγή των βοηθητικών συχνοτήτων λόγω της θερμοκρασίας ή της υγρασίας). Πράγματι, η πραγματική διαμόρφωση αναμένεται να αξιολογήσει την πραγματική συμπεριφορά των κτιρίων επεξεργάζοντας ηχογραφήσεις οι οποίες αποκτήθηκαν από μία σεισμική ενέργεια. Παρόλο που δεν είναι αποκλειστικά σωστή, οι επιταχύνσεις που προκαλούνται από χαμηλής ενέργειας σεισμούς, μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να εξακριβώσουν στο περίπου τα κύρια βοηθητικά χαρακτηριστικά. (Li Z., 2018)

5. URLLC για το 5G και έπειτα: Προϋποθέσεις, ενεργοποίηση τρέχοντων τεχνολογιών και δικτυακή νοημοσύνη

Το απτικό ιντερνετ (Tactile Internet – TI) αναμένεται να είναι η πιθανή εξέλιξη του λεγόμενου Internet of Things (IoT), το οποίο συνίσταται από δύο μορφές επικοινωνίες άνθρωπο-προς-μηχανή και μηχανή-προς-μηχανή. Το TI επικεντρώνεται στη ενεργοποίηση διαδραστικών τεχνικών σε πραγματικό χρόνο με ένα πορτφόλιο από περιπτώσεις μηχανικής, κοινωνικότητας καθώς και εμπορικές. Για τον σκοπό αυτό, η ενδεχόμενη τεχνολογία 5^{ης} γενιάς εστιάζεται στην επίτευξη των πολυσυζητημένων υπηρεσιών URLLC, μοναδικός σκοπός των οποίων είναι η εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία. Οι εφαρμογές TI απαιτούν έναν αξιοσημείωτο βαθμό τόσο καθυστέρησης, όσο και αξιοπιστίας. Ενώ, με την ανάδυση του καινοτομικού επιπέδου RAT, η ανάγκη για το σχεδιασμό των δυνητικών επόμενης γενιάς τεχνολογιών δημιουργείται, ειδικά με την εστίαση στη δικτυακή νοημοσύνη. Σε περιπτώσεις σαν αυτή, οι τεχνικές μηχανικής εκμάθησης (machine learning – ML) προσδοκείται να είναι απαραίτητες για τη συνεισφορά στο σχεδιασμό των πρωτοκόλλων κατανομής των πόρων των ευφύων δικτύων για τις 5G New Radio URLLC προϋποθέσεις. Συνεπώς, παρακάτω θα γίνει μία εκτελής ανάλυση και παρουσίαση μιας πιθανότητας της χρησιμοποίησης της τεχνική της ομοσπονδιακής ενισχυτικής μάθησης (Federated Reinforcement Learning – FRL), η οποία είναι μία από τις τεχνικές ML για τις 5G NR URLLC προϋποθέσεις και συνοψίζει τα σχετικά επιτεύγματα για το URLLC.



Εικόνα 12. Τυπικός Όροφος γραφείου με πολλαπλά WLAN

Πηγή:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406015>

Παραπάνω απεικονίζεται ένας τυπικός όροφος γραφείου με πολλαπλά WANs ως ένα συγκεκριμένο σενάριο ενός WLAN περιβάλλοντος που βασίζεται στο FRL που προαναφέρθηκε.

Εισαγωγή

Πρόσφατα, το απτικό διαδίκτυο (tactile internet – TI) αναδύεται ως μια καινοτόμα τεχνολογία η οποία αποσκοπεί να μετακινήσει το διαδίκτυο από το Internet Of Things (IoT), σε πραγματικού χρόνου διαδραστικές τεχνικές με μία γκάμα που συνίσταται από κοινωνικές, εμπορικές και μηχανικές, με απώτερο στόχο να επαναστατικοποιήσει τις περισσότερες πτυχές των μελλοντικών τεχνολογιών επικοινωνίας. Η συνεχής και κριτική έρευνα από τους ακαδημαϊκούς, και μέσω των βιομηχανικών πόρων έχει αφοσιωθεί στην έρευνα του TI. Αυτές οι έρευνες γενικά προκαλούνται από ποικίλες περιπτώσεις χρήσης του TI, όπως τη ρομποτική στην ιατροφαρμακευτική περίθαλψη, τα αυτόνομα αυτοκίνητα, και την επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality – AR). Οριστικά, τα συστήματα επικοινωνίας τόσο τα μηχανή-σε-μηχανή (M2M – Machine Machine) όσο και τα άνθρωπου-σε-μηχανή (H2M – Human To Machine), απαιτούν έναν χρόνο απόκρισης όσο το δυνατόν ταχύτερο, δηλαδή κάποια Milliseconds (ms). Για παράδειγμα, ο απτικός έλεγχος ενός ρομποτικού χεριού/ενεργοποιητή εκτελείται σε λιγότερο από 10 milliseconds. Παρομοίως, πολυμεσική (ήχος/βίντεο) επικοινωνία απαιτεί μία καθυστέρηση της τάξεως των 100 ms. Κατά συνέπεια, παρατηρούμε πως το TI θα χαρακτηρίσει την επόμενη γενιά από τη συνεργασία του H2M, όπου οι επικοινωνιακές τεχνολογίες δίνουν μια φυσιολογική καθυστέρηση των ανθρώπων προκειμένου να έρθει στα πλαίσια των αισθητικών σε πραγματικό χρόνο συστημάτων. Ορισμένες έρευνες έχουν επισημάνει ποικίλες πιθανές εφαρμογές του TI.

Μια από τις πιο κομβικές υπηρεσίες των 5G δικτύων είναι να ενδυναμώσει την ήδη μεγάλη χωρητικότητα των URLLC επικοινωνιών, γεγονός που προαπαιτεί τη βοήθηση εξαιρετικών βαθμών επικοινωνιών πολύ χαμηλής καθυστέρησης και εξαιρετικής αξιοπιστίας end-to-end (E2E). Το 3rd generation partnership project (3GPP) είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό της στοιχειώδους βασικής URLLC αξιοπιστίας στα πλαίσια ενός μονό πλαισίου δεδομένων (data frame) ως 99.9% και μια καθυστέρηση E2E μικρότερης του 1ms. Είναι σίγουρο ότι αυτές οι URLLC προϋποθέσεις του 5G θα προσφέρει μία άνοδο σε διαφορετικές πιθανές εφαρμογές. Όπως είναι γνωστό, για την ενεργοποίηση των URLLC υπηρεσιών το 3GPP έχει υποδείξει ορισμένα χαρακτηριστικά για το 5G NR (New Radio), ως μια καινοτόμα τεχνολογία ραδιο πρόσβασης (RAT). Το 5G NR βασίζεται σε μια κυματομορφή ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (orthogonal frequency-division multiple access) όπως η LTE τεχνολογία μακροχρόνιας εξέλιξης. Παρόλα αυτά, σε αντίθεση με το LTE το 5G NR προσφέρει μια είδους προσαρμοστική νουμερολογία. Το

παρακάτω διάγραμμα δείχνει μία τυπική TI διεργασία, στην οποία τα βασικά εξαρτήματα και οι λειτουργικές προϋποθέσεις στα διαφορετικά στάδια τονίζονται. Στο διάγραμμα, ο απτικός πυρήνας (tactical core – TC) είναι το στάδιο του TI στο οποίο η επικοινωνία της πληροφορίας διεξάγεται, ενώ τα υπόλοιπα στάδια σχετίζονται με τα συλλεγόμενα δεδομένα από το περιβάλλον/ανθρώπους/ρομποτ.



Εικόνα 13. Διάγραμμα Απτικών Επιπέδων

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406015>

Μία URLLC ιδέα στα πλαίσια του απτικού διαδικτύου

Το TI στοχεύει στην υποστήριξη της φυσιολογικής αλληλεπίδρασης μεταξύ του πραγματικού κόσμου (ανθρώπων ή περιβάλλοντος) με τον εικονικό κόσμο (ρομποτ/αισθητήρες/ενεργοποιητές/μηχανές), προκειμένου να αναπτυχθεί ορισμένα εικονικής πραγματικότητας (VR – Virtual Reality) αντικείμενα τα οποία διασχίζονται γεωγραφικά σε ένα πολύ απομακρυσμένο επίπεδο. Με άλλα λόγια, κάποιος μπορεί να αναγνωρίσει παθητικά και ενεργητικά διασυνδεδεμένα δίκτυα, όπου η παθητική επικοινωνία υπονοεί την εξερεύνηση και την αναγνώριση των αντικειμένων από απομακρυσμένη απόσταση και καθορίζει ορισμένα χαρακτηριστικά χωρίς να χειρίζεται τα αντικείμενα στα απομακρυσμένα περιβάλλοντα. Για την επικοινωνία των αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο, προαπαιτείται η αίσθηση των χαρακτηριστικών των απτικών αντικειμένων από την απομακρυσμένη περιοχή με απώτερο στόχο την αποστολή σχετικών πληροφοριών από το TI στο TC, εκεί όπου μια απτική οθόνη χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει την πληροφορία συλλογικά με ήχο και βίντεο.

(Franchi F. 2019)

Σύμφωνα με τις URLLC προϋποθέσεις, η E2E καθυστέρηση στο δίκτυο χρειάζεται να είναι λιγότερο από ένα millisecond για να συντηρήσει ένα κυβερνο-φυσικό σύστημα (απτικό σύστημα) σε πραγματικό χρόνο για το TI, όπου οι ισχυρισμοί ανάμεσα σε οπτικά αιθουσαία και ιδιοδεκτικά συστήματα προκύπτουν συχνά. Η E2E καθυστέρηση συμπεριλαμβάνει τον χρόνο που ξοδεύτηκε στον ενσωματωμένο υπολογισμό στα αισθητά δεδομένα από το απομακρυσμένο περιβάλλον, το οποίο συμπεριλαμβάνει απτικούς αισθητήρες (Tactile Sensors – TS), μεταφορά δεδομένων προς ή από τον σερβερ στο TC, και στα δεδομένα που επεξεργάστηκαν στους απτικούς ενεργοποιητές (TA). Επιπροσθέτως, μέσω της παρότρυνσης από τις πολλές ελκυστικές εφαρμογές του TI, όπως ο βιομηχανικός αυτοματισμός, η απομακρυσμένη εγχείριση, ο έλεγχος της διαδικασίας, η ανάγκη για το URLLC που ξεπροβάλλει μαζί με τις εξαιρετικά υψηλές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, ο βιομηχανικός αυτοματισμός, η προϋπόθεση της αξιοπιστίας όσον αφορά τους ρυθμούς σφαλμάτων των πακετών (PER – packet error rates), απαιτείται να είναι χαμηλά όσο 10^{-5} , και στο βιομηχανικό αυτοματισμό, η προϋπόθεση πάντα προκύπτει να είναι λιγότερο από 10^{-7} .

5.1 Η ανάγκη για 5G New Radio

Οι 3GPP συνεργασίες δημιουργούν τεράστιες ευκαιρίες για να ορίσει την τεχνολογία πρόσβασης του 5G NR. Η ανάγκη για την τεχνολογία του 5G NR βασίζεται στην προσαρμοστικότητα του να χρησιμοποιείται το εναλλακτικό επικοινωνιακό φάσμα σε ένα πιο πλατύ περιβάλλον και να απευθύνονται ορισμένες περιπτώσεις χρήσης, προκειμένου να έχουμε την επιλογή να επιτευχθούν οι δεδομένοι σκοποί ή στόχοι. Το 5G NR κρίνεται ως ένα βασικό χαρακτηριστικό της ποικίλης νομερολογίας η οποία με τη σειρά της, ορίζει τη διάταξη υπό-μεταφορέα (Sub-Carrier/ SCS) καθώς και το κυκλικό πρόθεμα με απώτερο στόχο να διαχειριστεί ένα αρκετά μεγάλο εύρος συχνοτήτων και περιπτώσεων ανάπτυξης. Ένας ανεπτυγμένος κόμβος B (evolved Node B – eNB), γνωστό και ως επόμενη γενιά eNB (gNB) για το 5G NR, θα έχει επίσης πρόσβαση σε διάφορα είδη δικτύων, όπως η βελτιωμένη κινητή ευρυζωνικότητα (eMBB), τεράστιες μηχανοκεντρικές επικοινωνίες (mMTC), και αποκλειστικές URLLC υποχρεώσεις. Υποθετικά, το φυσικό επίπεδο (physical layer – PHY) του μοντέλου των ασύρματων 5G επικοινωνιών τείνει να είναι μια προσέγγιση του να είναι μια καλύτερη επιλογή από την καλύτερη δυνατή νομερολογία για το gNB σε μία ανταλλαγή καθυστέρησης-παραγωγικότητας. Με άλλα λόγια, όσο μεγαλύτερο είναι το SCS τόσο πιο αποτελεσματικό είναι στη μείωση της καθυστέρησης του URLLC, ενώ λιγότερο SCS συνεπάγεται την περαιτέρω απόδοση για υψηλή εκτελεστική παραγωγικότητα όσον αφορά την κυκλοφορία του eMBB. Το 5G NR κυβερνήθηκε από το 3GPP με το πρώτο σετ των εκάστοτε προδιαγραφών.

Πρόσφατα πλεονεκτήματα για το 5G NR

Το 3rd Generation Partnership Project (3GPP) σε πρώτη φάση ήταν αρμόδιο για την τυποποίηση του 5G ως δύο βασικά στοιχεία της ραδιοτεχνολογίας: το ένα αναφερόταν ως ένα καινοτόμο ραδιοσύστημα το οποίο υποδηλώνεται ως 5G NR, και το άλλο είναι LTE. Έπειτα, είναι κατανοητό πως τόσο το LTE και το 5G είναι ικανά να συναντήσουν τις θεμελιώδεις προδιαγραφές του ITU 5G NR. Τα καινούργια κτίρια τα οποία έχουν μικρότερες σχισμές δίνουν την ικανότητα ταχύτερων μεταφορών downlink (DL) και uplink (UL), με απώτερο στόχο να συμπεριληφθούν στις υπηρεσίες URLLC, γνωστές και ως 5G NR μικρο-θύρες και μεσοδιάστημα χρόνου μεταφοράς (Transmission Time Interim - TTI) για τις LTE ραδιο διεπαφές. Επιπρόσθετα, στρατηγικές για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των URLLC προδιαγραφών, όπως ο προγραμματισμός δυναμικών καναλιών και η τροποποίηση καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά σχήματα ευελιξίας, τα οποία παρέχονται οικουμενικά σε συμφωνία με τα κριτήρια της αρχιτεκτονικής τόσο του LTE όσο και του 5G NR. Το δραστικό εύρος ζώνης συνδιαστικά με τις θεωρίες και τα μοντέλα της παραγωγικής ισχύς είναι ικανά να αξιοποιηθούν ως αναλυτικά εργαλεία προκειμένου να δοκιμάσουν όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα για τους καθορισμένους περιορισμούς, τόσο στην αξιοπιστία όσο και στην καθυστέρηση. Η χρησιμοποίηση ενός κοντύτερου μήκους του υποπλαισίου εφαρμόζεται με απώτερο σκοπό την αναβολή της μεταφοράς ενός ελαττωμένου υβριδικού αυτόματου αιτήματος επανάληψης (Hybrid Automatic Repeat Request – HARQ), το οποίο θα μπορούσε να ελαττώσει περαιτέρω την καθυστέρηση. Οι αναθεωρημένες μέθοδοι για την κωδικοποίηση του ελέγχου δεδομένων και πληροφοριών, όπως ο συνδιασμός των κεφαλίδων με τα μέρη δεδομένων των μικρών πακετών, μπορούν να κωδικοποιηθούν αποδοτικά με απώτερο στόχο την ταχύτερη μεταφορά δεδομένων με λιγότερα σφάλματα. Παρόλα αυτά, όλοι οι εξοπλισμοί των χρηστών, καθόλη τη διάρκεια του δικτύου πρέπει να αποκρυπτογραφήσει το συνδιασμένο πακέτο, η αποτελεσματικότητα της ενέργειας έχει ανταλλαχθεί με τον τρόπο αυτό. Η έρευνα αυτή, η οποία διεξήχθη από το 3GPP θα υποδείξει την υλοποίηση των καινούργιων highlights για τα τρία σύνολα περιπτώσεων μιας στοιχεώδους χρήσης: eMBB, URLLC και mMTC. Ο σκοπός είναι αυτός, της υποβοήθησης της κανονικής ανάπτυξης της κυκλοφορίας των δεδομένων στις κινητές συσκευές. Οι ενημερώσεις στα υπάρχοντα 5G NR χαρακτηριστικά, θα είναι για λειτουργικότητες οι οποίες έχουν ήδη οριστεί στα 5G NR συστήματα ή μπορεί να έχουν εφαρμογή σε μία πολύ συγκεκριμένη γκάμα καινούργιων προϋποθέσεων οι οποίες προκύπτουν στην κοινωνία. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει το πεδίο των τωρινών βελτιώσεων, όπως επίσης και το πεδίο της τελευταίας 5G NR λειτουργικότητας η οποία είναι σχετική με τις υπάρχουσες προϋποθέσεις των URLLC.

Feature	Existing/New	Important Characteristics
URLLC support	Existing	<ul style="list-style-type: none"> Improved support for URLLC including PHY layer feedback improvements and enhanced support for synchronization Recognizable proof of upgrades for URLLC techniques in controlled conditions on unlicensed spectrum
Indoor Positioning	Existing	<ul style="list-style-type: none"> Horizontally and vertically higher accuracy with lower latency, especially for industrial IoT
SideLink	Existing	<ul style="list-style-type: none"> Focus on Vehicle to everything (V2X), public security and business use cases Resource Allocation improvements Discontinues reception of SideLink
RAN Slicing	Existing	<ul style="list-style-type: none"> Enabling UE's faster access to the cell supporting the slicing Mechanisms to help service continuity for intra-RAT handover service interference
Anything Reality (XR)	New	<ul style="list-style-type: none"> Evaluate needs in terms of simultaneously giving high data-rates and most reduced latency in an resource efficient way Planned to help different types of augmented reality (AR) and virtual reality (VR), collectively referred as XR
5G NR on higher frequencies	New	<ul style="list-style-type: none"> Proposed to use higher frequencies for 5G NR (5G NR > 52.6 GHz) Provides excellent capacity for the operators in specific use cases for indoor/outdoor dense wireless network scenarios. Most of the spectrum in higher frequencies is unlicensed. Thus, it is committed to explore changes to support unlicensed operation in those frequencies.
Integrated Access and Backhauling (IAB) enhancements	New	<ul style="list-style-type: none"> The IAB solution was already introduced in Release 16, which is further evolved to provide increased efficiency and support additional use cases for Release 17. In disaster management applications, it can be critical to enable ad-hoc and temporary IAB nodes.

Εικόνα 14. Σύνοψη των βελτιώσεων υπάρχοντων και νέων χαρακτηριστικών του 5G NR

Πηγή:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406015>

Σύνοψη των βελτιώσεων τόσο ήδη υπάρχοντων όσο και νέων χαρακτηριστικών του 5G NR που σχετίζονται με τις URLLC προϋποθέσεις (Franchi F. 2019).

5G New Radio για τις URLLC προϋποθέσεις

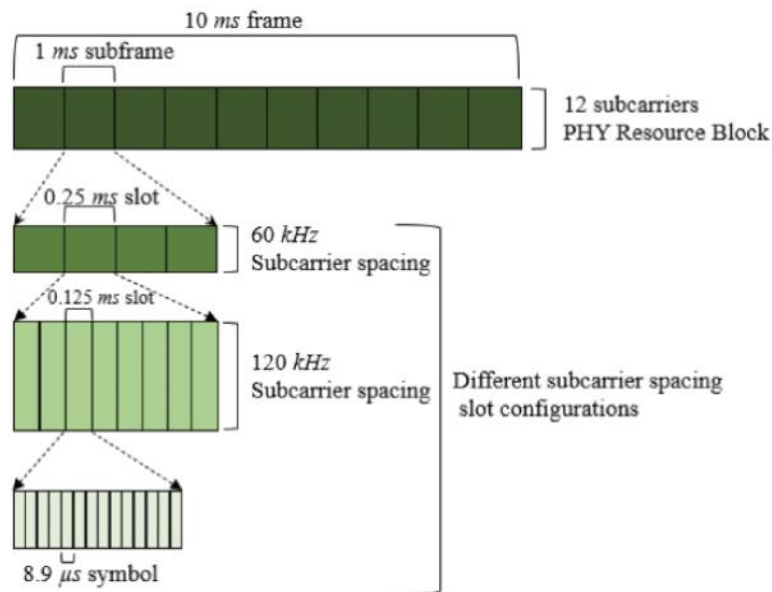
Οι δύο πλευρές για τους παρόχους υπηρεσιών του ΤΙ βασίζονται ολοκληρωτικά στη διαμόρφωση του ασύρματου ραδιο δικτύου. Αρχικά, ένα URLLC απαιτείται, έπειτα η μετρήσιμη και αναμενόμενη απόδοση της κατανομής των ασύρματων πηγών είναι κριτικής σημασίας. Χρειάζεται το 5G σύστημα να αποκαλύψει την χωρητικότητα της κατανομής των E2E πηγών, η οποία διαμορφώνεται ανάλογα. Το τμήμα αυτό περιγράφει ορισμένες πολύ σημαντικές απόπειρες οι οποίες έχουν παρθεί από τους ερευνητές με απώτερο στόχο την επίτευξη των URLLC προϋποθέσεων.

Προκειμένου να επιτραπεί στο 5G ραδιοδίκτυο να συναντήσει τις URLLC προϋποθέσεις, οι βιομηχανικοί όπως και οι ερευνητές επιδιώκουν δύο παράλληλες προοδευτικές γραμμές. Όπως προαναφέρθηκε, προτάθηκε η συνεργασία των παραπάνω με απώτερο στόχο τον επανασχεδιασμό της LTE ραδιο διεπαφής η οποία επί του παρόντος παρουσιάζεται καθώς επίσης, η άλλη είναι 5G NR διεπαφή. Το 3GPP παρουσιάζει τις

URLLC υπηρεσίες αξιοποιώντας το LTE, καθώς απευθύνεται στις 5G προδιαγραφές για την επικείμενη σύγκριση. Η ανάπτυξη του LTE γίνεται να εφαρμοστεί στα ήδη υπάρχοντα LTE δίκτυα καθώς επίσης και στους μηχανισμούς των όποιων κατανομών των πηγών. Αυτό συμπεριλαμβάνει την ανάποδη συμβατότητα στα 5G δίκτυα, η οποία εξασφαλίζει την ήδη υπάρχουσα LTE ανεπτυγμένη UI, η οποία με τη σειρά της αξιοποιεί μια καινοτόμα 5G λειτουργικότητα.

5G NR σχεδιασμός προσαρμοστικότητας

Η θεμελιώδης πτυχή του φυσικού επιπέδου (PHY- physical layer) του 5G NR είναι η ευελιξία της: η προδιαγραφή αυτή καθ' αυτή προσφέρει μια συνολική αρχιτεκτονική υλοποίησης η οποία έχει σχεδιαστεί προκειμένου να επιλύσει τις αξιοσημείωτες, συχνά μεταβαλλόμενες και άλλες συμβατικές προϋποθέσεις. Η θεμελιώδης λειτουργικότητα ενός τέτοιου προγράμματος είναι πως μπορεί να συμπεριληφθεί μελλοντικές εφαρμογές και περιπτώσεις χρήσης του TI. Το 5G NR χρησιμοποιεί τροποποιήσεις του OFDM καναλιού το οποίο απομονώνει τις προσβάσιμες πηγές καναλιών σε πλαίσια 10ms με επιμέρους επιπλαίσια του 1 ms. Επιπρόσθετα, τα υποπλαίσια διαιρούνται σε σύμβολα και θύρες, όπου το παράδειγμα ενός μονού OFDM συμβόλου καθώς επίσης και ένας μονός υποφορέας είναι αρμόδιος για τη δόμηση των μικρότερων πηγών καναλιών σε 5G NR. Ενώ στο παρόν LTE, το 5G NR απευθύνεται στο SCS καθώς επίσης και στο σταθερό μήκος του συμβόλου. Ποικίλες OFDM νουμερολογίες είναι ικανές να κατασκευαστούν στα πλαίσια μια προϋπόθεσης του υποπλαίσιου. Συνεπώς, το κάθε υποπλαίσιο είναι ανεξάρτητο και γίνεται να ερμηνευτεί από μια αναπληρωματική νουμερολογία. Το κάνει εφικτό να αντιμετωπισθούν χαρακτηριστικές 5G περιπτώσεις χρήσης με ένα μονό RAT: για παράδειγμα, ένα μικρότερου μήκους OFDM σύμβολο, μαζί με ένα υψηλότερο SCS, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα υψηλότερο ρυθμό δεδομένων και μία χαμηλή σε καθυστέρηση επικοινωνία.



Εικόνα 15. Η δομή του 5G NR σε πλαίσια δύο διαφορετικών SCS

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406015>

Παραπάνω απεικονίζεται η 5G NR δομή των πλαισίων με δύο διαφορετικά SCS

Πρόσβαση φάσματος χρησιμοποιώντας 5G NR χωρίς νόμιμη άδεια

Είναι προφανές πως το 3GPP είναι σε μία πλήρης RAT διαδικασία τυποποίησης για τις TI εφαρμογές αξιοποιώντας το 5G NR, χωρίς καμία αμφιβολία το οποίο παρέχει ουσιώδη υποστήριξη για δραστηριότητες σε μια υψηλότερου φορέα συχνότητας. Μία από τις επιλογές θεωρείται πως είναι να επιτρέπεται στο 5G NR να λειτουργεί σε μη αδειοδοτημένο φάσμα, το οποίο αναφέρεται ως 5G NR-U. Παρόλα αυτά το 5G NR-U παραπέμπει σε ότι είχε πρόσφατα προταθεί για τη συχνότητα των 5 GHz στο LTE μη αδειοδοτημένο φάσμα (LTE-U), με τις διαφορετικές του τροποποιήσεις συγκεκριμένα πρόσβαση βοηθητικής άδειας (Licensed- Assisted Access / LTE-LAA) .

Η πρόταση του σχεδιασμού του 5G NR-U ξεκίνησε σε μία αναφορά έρευνας σε μία 5G NR κυκλοφορία 16, και θεωρείται πλέον μία από τις κυκλοφορίες η οποία θα ενδυναμώσει τις περιπτώσεις χρήσης σε μελλοντική 5G NR προδιαγραφή. Ο βασικός στόχος είναι η μετρίαση της σημαντικότητας του 5G NR σε μη αδειοδοτημένο φάσμα καθώς επίσης μια σημαντική τεχνολογία η οποία με τη σειρά της, και λειτουργεί κατά πλάτος διαφορετικών σχημάτων και αξιοποιεί ένα σύστημα το οποίο είναι αρμόδιο για τη δίκαιη συνύπαρξη ανάμεσα στα διάφορα RATs. Παρόλα αυτά, το LTE-U και το LTE-LAA βασίζονται στη συγκέντρωση των φορέων αξιοποιώντας το εύρος των 5GHz, όταν το 5G NR-U λαμβάνει υπόψιν διαφορετικές λωρίδες και τρόπους ανάπτυξης. Στην πραγματικότητα, οι μη αδειοδοτημένες συχνότητες των 2.4 GHz, των 5 GHz , 6 GHz αλλά και 60 GHz εξετάζονται για το 5G NR-U. Το εύρος των 60 GHz είναι μία ελκυστική ευκαιρία για το 5G NR-U, καθώς

δεν είναι τόσο συνωστισμένο εκείνη τη στιγμή και μπορεί επίσης να προσφέρει πολύ μεγαλύτερες χωρητικότητες μεταφοράς.

Ορισμένες από τα πιο απαιτητικά θέματα που σχετίζονται με το γεγονός του να επιτρέπεται στο 5G NR να λειτουργεί σε μη αδειοδοτημένο περιβάλλον, είναι να συντηρεί μια ανοιχτή και δίκαιη συνύπαρξη με τις άλλες μη αδειοδοτημένες τεχνολογίες. Παραδείγματος χάρη, το ασύρματο τοπικό δίκτυο IEEE 802.11 (Wireless Local Area Network – WLAN) καθώς και τα πολλαπλά ασύρματα gigabit συστήματα (MGWS) στο εύρος των 60 GHz. Στο μη αδειοδοτημένο φάσμα, η δίκαιη συνύπαρξη για το 5G NR-U καθορίζεται από την ικανότητα που έχουν τα 5G NR-U UEs και το γεγονός του να μην έχουν κάποιο αντίκτυπο σε υπάρχοντα WLAN περισσότερο από εκείνα της εκάστοτε WLAN ανάπτυξης. Προκειμένου να συνυπάρξουν δίκαιου τα όποια RAT σχεδιάζεται να εισέλθουν στο μη αδειοδοτημένο φάσμα καθώς πρέπει να κανονίζονται βάσει ορισμένων ρυθμιστικών προδιαγραφών των εκάστοτε αναπτυγμένων μη αδειοδοτημένων τεχνολογιών. Για παράδειγμα, το 3GPP κρίνει επιτακτική την χρήση της ακρόασης προτού μιλήσουν (listen-before-talk / LBT) στην Ιαπωνία και την Ευρώπη, λόγω των 5 GHz τεχνολογιών. Το LBT είναι ένας MAC-RA μηχανισμός με τη βοήθεια του οποίου ένα UE έχει πρόσβαση στο κανάλι μέσω της αξιολόγησης διαφανούς καναλιού (clear channel assessment – CCA) . Πρόσφατα, οι ερευνητές έχουν εντυφλήσει πολύ στην έρευνα στην δίκαιη συνύπαρξη του 5GHz, προκειμένου να επιτρέψει στο LTE να συνυπάρχει ομαλά σε μη αδειοδοτημένο φάσμα με τα WLANs. Αντίθετα με το τωρινό LTE, η τρέχουσα 5G NR-U μπορεί να φτιαχτεί από την αρχή στα πλαίσια μια συνολικής προσαρμοστικότητας και ευελιξίας για να παρέχει ικανοποιητική συνύπαρξη στο μη αδειοδοτημένο φάσμα. Ενώ το 5GHz φάσμα, υπάρχει μια κριτική διαφοροποίηση μεταξύ της 5G NR-U συνύπαρξης με υπάρχοντα RATs σε σύγκριση με τη συνύπαρξη του LTE με το WLAN, λόγω των κατευθυντήριων τεράστιων MIMO μεταφορών στο 5G NR. Για ανοδικά λειτουργικό φάσμα, το 5G NR πρότεινε τεχνικές ελέγχου ακτίνας τόσο για το gNB, όσο και τα UEs. Παρόλα αυτά, έχει αυξήσει τις προκλήσεις στο μη αδειοδοτημένο φάσμα για την συνύπαρξη του πλαισίου. Πιο συγκεκριμένα, το λεγόμενο beamforming μπορεί να ενισχύσει τα θέματα τα οποία υπάρχουν στα μη αδειοδοτημένα φάσματα στις εκάστοτε εκτεθειμένες συσκευές.

Κατανομή πηγών επιπέδου MAC σε 5G NR

Προτού αναλυθούν τα MAC-RA σχήματα για το URLLC στα πλαίσια του 5G NR, θα παρουσιαστούν εν συντομία ορισμένοι μηχανισμοί διαφόρων επιπέδων για τις URLLC προδιαγραφές. Αυτές οι τεχνικές είναι επίσης εξαιρετικής αξίας, ενώ οι πηγές των επιμέρους καναλιών έχουν πρόσβαση. Συνεπώς, από την αρχή του τμήματος μερικές από τις URLLC μεθόδους εξετάζονται και επίσης συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα. Ένα από τα κίνητρα για την ταξινόμηση των εν λόγω μηχανισμών είναι να λαμβάνουν έναν

ζωτικής σημασίας ρόλο ανάμεσα στο φυσικό επίπεδο και το MAC για τη μεταφορά των δεδομένων. Για παράδειγμα, οι HARQ μέθοδοι συνεισφέρουν στην επίλυση αυτόματης επίλυσης προβλημάτων μεταξύ του PHY και του MAC layer (*Franchi F. 2019*).

Reference	Proposed mechanism	Key features
Serror <i>et al.</i> [74]	Cooperative HARQ	<ul style="list-style-type: none"> A short retransmission delay is achieved using a cooperative HARQ mechanism Sharply reduces BLER
Shariatmadari <i>et al.</i> [75]	Precise CSI feedback	<ul style="list-style-type: none"> Analyzes the effectiveness of HARQ and the effect of channel state information (CSI) feedback accuracy The channel reliability is improved with the use of a precise CSI To guarantee low latency, use only single retransmission
Gao <i>et al.</i> [78]	Assortment-based spatial information transmission scheme with cooperative HARQ	<ul style="list-style-type: none"> The impact of the accuracy of the CSI feedback on HARQ performance. Extension to Cooperative HARQ. A novel assortment-based spatial information transmission scheme with cooperative HARQ.
Sheshachalam <i>et al.</i> [79]	HARQ pooling: optimal scheme	<ul style="list-style-type: none"> A HARQ pooling technique for multi-connectivity UEs. Dynamic and versatile splitting HARQ schemes are cooperatively dealt over various carriers to achieve URLLC requirements.
Shariatmadari <i>et al.</i> [80]	Incremental Redundancy HARQ (IR-HARQ)	<ul style="list-style-type: none"> Considered E2E reliability for data transmission between UEs and eNB. For a less than 1 ms latency achievement, a 0.125 ms TTI is utilized to permit four transmissions These numbers of transmissions and DL/UL resources are regulated based on the instantaneous CSI of DL/UL links to achieve high reliability in terms of BLER. Suggests a suboptimal solution to overcome the complexity of HARQ feedback mechanism.
Avranas <i>et al.</i> [81]	Optimal tuning of IR-HARQ	<ul style="list-style-type: none"> The suboptimal solution of IR-HARQ is further optimized using a dynamic programming algorithm. Maximize the throughput by optimally tuning the IR-HARQ parameters.
Le <i>et al.</i> [82]	Two-step multiplexing strategy	<ul style="list-style-type: none"> Highlighted the performance degradation of URLLC traffic with the increase of collision among the UEs and gNBs. A two-step multiplexing scheme which includes an overlapping indication and HARQ feedback.
Yeo <i>et al.</i> [83]	Outer Code-based HARQ (OC-HARQ)	<ul style="list-style-type: none"> Each receiving UE sends HARQ feedback information based on the number of CBs.
Le <i>et al.</i> [84]	Explicit HARQ structure	<ul style="list-style-type: none"> Explicit HARQ feedback scheme and an additional scheduling request alongside the data frame.
Xia <i>et al.</i> [85]	MIMO HARQ scheme	<ul style="list-style-type: none"> A joint PHY/MAC layer scheme to use an artificial noise design in singular value decomposition based HARQ feedback.
Szczecinski <i>et al.</i> [86]	DP to optimize truncated HARQ	<ul style="list-style-type: none"> For optimization of adaptation and allocation strategy for HARQ feedback, specific knowledge of the probabilistic model of the CSI is mandatory. The PDF of the SNR is highlighted. Proposed simple linear rate adaptation policies to show how to optimize them via DP.
Shi <i>et al.</i> [87]	Variable-Rate HARQ (VR-HARQ)	<ul style="list-style-type: none"> Assumes the variable lengths of the SCS for throughput enhancement in 5G networks. Effective capacity for VR-HARQ has been investigated.
Strodthoff <i>et al.</i> [88]	Enhanced Machine Learning-based Early HARQ (E-HARQ)	<ul style="list-style-type: none"> A machine learning-based scheme to predict the consequences of the decoding process ahead of the end of the data frame transmission.

Εικόνα 16. Κατανομή πηγών επιπέδου MAC σε 5G NR

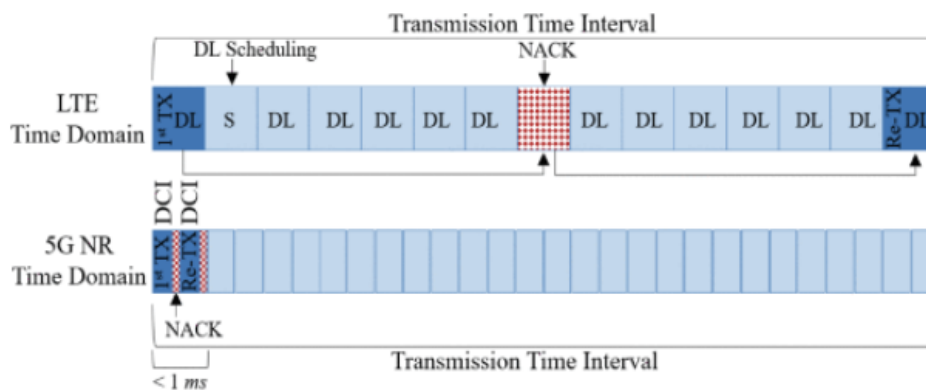
Πηγή:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406015>

Σχόλια για το αίτημα της υβριδικής αυτόματης επανάληψης

Το HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) είναι ένα σημαντικό μέρος, το οποίο δίνει στο συμβατικό LTE την ικανότητα και την αξιοπιστία να αλλάξει την ευχαίρια του φάσματος. Το HARQ εντοπίζεται στο MAC layer και αξιοποιεί την προς τα εμπρός διόρθωση προβλημάτων (forward error correction – FEC), με απώτερο σκοπό την προξένηση ορισμένων επιπρόσθετων bits μεταφοράς με έξτρα δεδομένα διόρθωσης σφαλμάτων τη στιγμή που ταυτοποιεί ένα σφάλμα ή την αποτυχία να επιλυθεί κάποιο σφάλμα. Δεδομένου αυτού, το HARQ εκμεταλλεύεται στο έπακρο την ποικιλομορφία του χρόνου προκειμένου να βελτιώσει την αξιοπιστία, συγκεκριμένα στα κανάλια επικοινωνίας που διαφέρουν χρονικά, περισσότερο από μία επαναμεταφορά με URLLC προδιαγραφές με άλλα λόγια καθυστέρηση μικρότερη του ενός ms, είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Το HARQ θα είχε έπειτα θέμα στη συνεισφορά στις όποιες URLLC προδιαγραφές.

Παρόλα αυτά, ένα συνεργαστικό HARQ το οποίο στήνει ένα εικονικό κανάλι υποδοχής ραδιοσήματος, μαζί με τα gNBs προτείνεται πως εγγυείται εξαιρετική αξιοπιστία υπό ακραία εξασθενημένες και αντίξοες συνθήκες. Ένα κανάλι ελέγχου PHY DL (PDCCH) αξιοποιείται για τον απώτερο στόχο του δυναμικού προγραμματισμού της πληροφορίας ελέγχου του DL στο 5G NR, το οποίο ενσωματώνει τα απαιτούμενα δεδομένα για το UE να μπορεί να επεξεργαστεί την προγραμματισμένη πληροφορία. Για να προγραμματιστεί ένα DL δεδομένο, ο DCI προγραμματισμός επίσης ενσωματώνει τις διάφορες πληροφορίες πηγών των εκάστοτε καναλιών στα σχόλια του HARQ-ACK. Το UE αξιοποιεί αυτή την DCI προγραμματισμένη πληροφορία με απώτερο σκοπό τη μετάδοση του HARQ-ACK στο κανάλι ελέγχου PHY UL (PUCCH). Παρόλα αυτά, για την UL μεταφορά δεδομένων, δεν υπάρχει ένα συγκεκριμένο κανάλι για την υποδοχή του HARQ-ACK feedback. Συνεπώς, όταν το gNB αποτυγχάνει την είσπραξη του πλαισίου δεδομένων UL, μια επαναμεταφορά επιζητείται στο πλαίσιο δεδομένων UL, ενώ αν το gNB εισπράττει αποδοτικά το παραπάνω, μια νέα UL μετάδοση του πλαισίου δεδομένων προγραμματίζεται. Συνεπώς, μία από τις βασικές διαφορές μεταξύ του LTE/5G και το 5G NR είναι οι θεμελιώδως συμμετρικές ιδιοκτησίες του 5G NR στον προγραμματισμό DL/UL και στο HARQ feedback. Στο LTE, τα σχήματα κατανομής πηγών των καναλιών είναι διάφορα ανάμεσα DL και UL, εξαιτίας των διαφόρων μηχανισμών πρόσβασης των καναλιών. Το DL HARQ feedback είναι θεμελιωδώς ασύγχρονο και προσαρμοστικό, ενώ το UL HARQ είναι συγχρονιστικό και απροσάρμοστο. Στο 5G NR, μία κοινή προσέγγιση μεταξύ DL/UL χρησιμοποιήθηκε για σχεδόν όλον τον προγραμματισμό και το feedback HARQ, για παράδειγμα τα σχήματα κατανομής πηγών των καναλιών και του ασύγχρονου και προσαρμοστικού HARQ feedback. Μία άλλη βασική διαφορά, μεταξύ του μηχανισμού HARQ feedback στο παραδοσιακό LTE και το 5G NR είναι η υψηλή προσαρμοστικότητα στο τομέα του χρόνου (Time Domain -TD). Για παράδειγμα, στο LTE

οι πηγές των καναλιών που βασίζονται στο TD για τα προγραμματισμένα πλαίσια δεδομένων και/ή τα HARQ feedbacks δεν είναι ουσιαστικά ενημερωμένα από τον προγραμματισμό DCI, και ελέγχεται από τη δομή μετάδοσης των δεδομένων και την ευθυγράμμιση DL/UL. Στα πλαίσια του 5G NR, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα, ο προγραμματισμός του DCI συμπεριλαμβάνει αναγκαστικά την TD πληροφορία του προγραμματισμένου πλαισίου δεδομένων του feedback HARQ-ACK, τη στιγμή που η TD πληροφορία εδώ αναφέρεται στη προγραμματισμένη θύρα χρόνου, η θέση του συμβόλου έναρξης, καθώς επίσης και η διάρκεια της μετάδοσης των πλαισίων των δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, το 5G NR μπορεί να ικανοποιήσει ποικίλες UEs προδιαγραφές, όπως των επίτευξη του URLLC και υψηλότερων ρυθμών δεδομένων. Από την άλλη, τα HARQ-ACK feedbacks για τα DL/UL πλαίσια δεδομένων, ένα UE έρχεται αντιμέτωπο με την εξαιρετική καθυστέρηση του επεξεργαστή. Παραδοσιακά, η ελάχιστη επεξεργαστική καθυστέρηση για το LTE είναι 3 ms, ενώ το 5G NR είναι επιτυχημένο στο να μειώσει σημαντικά την επεξεργαστική καθυστέρηση, η οποία είναι 0,2-1 ms για DL δεδομένα και 0.3-0.8 ms για UL δεδομένα.



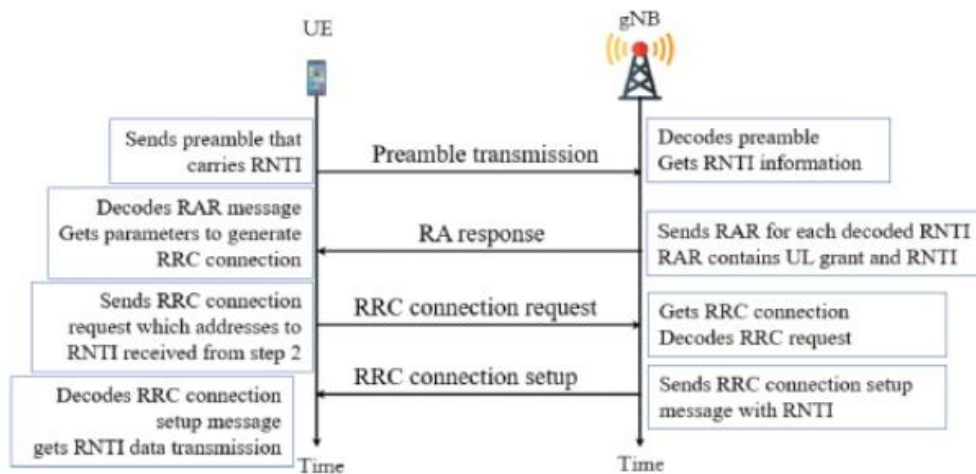
Εικόνα 17. Σύγκριση χρόνων μετάδοσης 4G LTE με 5G

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406015>

Μηχανισμός πρόσβασης καναλιού τυχαία

Μία από τις πιο βασικές πηγές καθυστέρησης στα πλαίσια των 5G συστημάτων είναι η συνδεδεμένη συνεργασία που υποβόσκει, μέσα από την υποστήριξη της μεθόδου ενός καναλιού τυχαίου σε πρόσβαση (Random Access Channel – RACH), το οποίο προξενεί ορισμένα ms καθυστέρησης. Αυτό προκύπτει να είναι ιδιαίτερα απαιτητικό για τις TI εφαρμογές λόγω των ασύμφωνων επικοινωνιών από συσκευές με URLLC προδιαγραφές με πακέτα μικρών δεδομένων και αντικρουόμενων για ένα σταθερό αριθμό εισαγωγών. Αυτό υπενθυμίζει μία αυθεντική συμφόρηση στο MAC επίπεδο, ειδικότερα σε πολύ υψηλά πυκνά UEs περιβάλλοντα. Ως ένα UE ενεργοποιείται για πρώτη φορά, ερμηνεύει το βασικό σήμα συγχρονισμού (primary synchronization signal – PSS) και το δευτερεύον σήμα συγχρονισμού (secondary synchronization signal – SSS), με

απώτερο στόχο του συγχρονισμού των DL καναλιών. Επίσης, το UE λειτουργεί ως απομονωτής του μπλοκ της κύριας πληροφορίας (master information block – MIB), το οποίο συμπεριλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη θέση των DL/UL φορέων διαχείρισης. Το gNB αποκτά τα δεδομένα από το μπλοκ της πληροφορίας του συστήματος (system information block – SIB). Όλοι οι παράμετροι τυχαίας πρόσβασης (random access – RA), όπως οι RA θύρες, οι RA κατηγορίες εισαγωγής, και η διάταξη του προλόγου, που περιλαμβάνονται σε αυτό το SIB. Επιπροσθέτως, τα UEs θα κάνουν μία απόπειρα μετάδοσης RA αφού ερμηνεύουν το SIB. Στα LTE/5G δίκτυα, τα RA που βασίζονται στη διαμάχη εκτελεί τέσσερα κύρια βήματα για την αρχικοποίησης της όποιας σχέσης. Παρακάτω απεικονίζονται τέσσερις μονάδες μέτρησης, μαζί με τις λεπτομέρειες, όπως και η βασική 5G RACH διαδικασία.



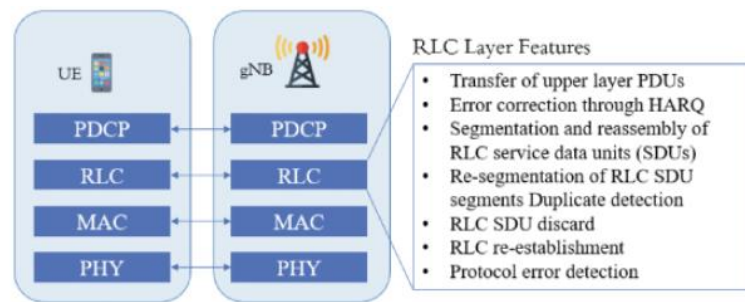
Εικόνα 18. Μηχανισμός τυχαίας πρόσβασης καναλιού

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406015>

5.2 Προγραμματισμός Downlink/Uplink

Στα 5G δίκτυα, ο προγραμματισμός των DL/UL πηγών είναι η ευθύνη του gNB MAC επιπέδου. Τέτοιος προγραμματισμός των πηγών μπορεί για τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας, νομιμότητα πρόσβασης καναλιών ανάμεσα στα UEs, και την επίτευξη QoS προδιαγραφών. Το κίνητρο με το οποίο ο φορέας δίνει προτεραιότητα, βασίζεται στις QoS προδιαγραφές των εφαρμογών που χρησιμοποιούνται, οι οποίες είναι ομαδοποιημένες ως ένα QoS αναγνωριστικό τάξης (QoS Class Identifier – QCI). Το QCI ομαδοποιεί καθοριστικές περιόδους αναβολής, όρια επανάληψης, QoS επίπεδα προτεραιότητας (υψηλές, μέτριες και χαμηλές), και αν ο φορέας απαιτεί έναν εγγυημένο ρυθμό δεδομένων. Οι στρατηγικές του 5G MAC επιπέδου για την αποφασιστικότητα της τάξης του QCI οι οποίες προσδιορίζονται.

Οι υπεύθυνοι προγραμμάτων των DL, μπορούν να είναι τριων διαφορετικών ειδών: προγραμματισμό που είναι προσεκτικό με το QoS, προγραμματισμός ο οποίος δεν είναι προσεκτικός με το QoS καθώς και προγραμματισμός με γνώμονα τα εκάστοτε κανάλια. Τα RBs (Resource Blocks – Μπλοκ πηγών) σχεδιάζονται γενικά για UE (User Equipment) ο οποίος εξαρτάται από τις μετρικές των προδιαγραφών οι οποίες έχουν αξιολογηθεί για κάθε μεταφορά για κάθε επιμέρους TTI. Η κατανομή διαμορφώνεται από τις υποψήφιες πηγές με την υψηλότερη μετρική εκτίμηση για ένα RB. Στην περίπτωση του προγραμματισμού με γνώμονα τα κανάλια, τα RBs κατανέμονται στον μεταφορέα ο οποίος βρίσκεται σε καλές συνθήκες καναλιού για τα RBs την παρούσα χρονική στιγμή. Ο προγραμματισμός που έχει ως γνώμονα το QoS μεταβιβάζει πιο μακριά από τα σημεία της διαμάχης, διότι ένας μεταφορέας έχει προτεραιότητα σε σχέση με τους άλλους. Ένα ενδιαφέρον γεγονός είναι όσον αφορά τον προγραμματισμό με γνώμονα το QoS, για τις URLLC προδιαγραφές στα 5G συστήματα, εξαιτίας της εγγυημένης καθυστέρησης, η οποία μπορεί επίσης να είναι σαν τον προγραμματισμό που εστιάζει στα κανάλια προκειμένου να προσφέρει ακόμα μεγαλύτερη αξιοπιστία. Τα μοντέλα προγραμματισμού τα οποία δεν εστιάζουν στο QoS, όπως εφαρμόζουν τον προγραμματισμό της “τυφλής ισοδύναμης παραγωγικότητας” (Blind Equivalent Throughput – BET), της μέγιστης παραγωγικότητας (Maximum Throughput- MT), και του αναλογικού δίκαιου προγραμματισμού (Proportional Fair – PF). Ο προγραμματιστής του BET αναμένεται να δώσει σε όλα τα UEs λογική, εξισώνοντας την εκθετικά επιβαρυνόμενη διεκπεραιωτικότητα της μέσης τιμής (Exponentially Weighted Moving Average – EWMA) δίκαια. Ο προγραμματιστής MT, από την άλλη μεριά, βελτιώνει τη συνολική δικτυακή παραγωγικότητα δίνοντας προτεραιότητα στους μεταφορείς με τους αναμενόμενα πιο υψηλούς ρυθμούς δεδομένων. Ο προγραμματιστής PF, από την άλλη εδραιώνει τους προγραμματιστές BET και MT με κύριο ζητούμενο να μεγιστοποιηθεί η συνολική δικτυακή παραγωγικότητα επιτυγχάνοντας τη γενική ισότητα. Προκειμένου να ενημερωθεί ο gNB της ποιότητας των πηγών των καναλιών του UL, κάθε UE μεταδίδει τις πηγές του μέσω του μεταφορέα, όπου ο gNB ελέγχει τις πηγές που διανείμονται σε κάθε επιμέρους UE. Όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω διάγραμμα το επίπεδο ελέγχου των εκάστοτε ραδιοπηγών (Radio Resource Control – RRC) προσδιορίζει το ρυθμό των bit στον οποίο δίνεται η προτεραιότητα για κάθε κανάλι που βασίζεται στο QoS, πάνω από το MAC επίπεδο. Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του επιπέδου του RLC, εμφανίζονται και στο παρακάτω διάγραμμα. Σε κάθε TTI, μια μεταβλητή αυξάνεται από $TTI \times PBR$, το οποίο είναι ο υπολογισμός της πληροφορίας η οποία μεταδίδεται προκειμένου να παραμείνει ενήμερος του PBR. Η μεταβλητή αυτή θα γίνει μικρότερη του 0, το οποίο είναι αρνητικό όταν στείλει την πληροφορία μπροστά από το PBR. Παρόλα αυτά, οι υπηρεσίες των καναλιών αναθέτονται στα λογικά κανάλια με τη θετική τιμή της μεταβλητής εξαρτώντας από τη σειρά της QoS προτεραιότητας. Πάνω από κάθε ανάθεση μιας πηγής των εκάστοτε καναλιών η τιμή μειώνεται. Ως εκ τούτου, αν οι κατάλληλες πηγές των καναλιών αναθέτονται για να ικανοποιηθεί ένας υψηλής προτεραιότητας QoS μεταφορέας, η διαδικασία της κατανομής του UE πρώτα πραγματοποιεί τις προδιαγραφές ενός υψηλού σε προτεραιότητα QoS μεταφορέα, όπως κρίνεται απαραίτητο για τις αντίστοιχες URLLC προδιαγραφές. (Franchi F. 2019)



Εικόνα 19. Χαρακτηριστικά RLC επιπέδου

Πηγή:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406015>

Μη αδειοδοτημένες τεχνολογίες φασμάτων για τις URLLC προδιαγραφές

Έχει ήδη αναλυθεί παραπάνω, η μη αδειοδοτημένη πρόσβαση που βασίζεται στο 5G NR καθώς και τα θέματα και οι προκλήσεις της συνύπαρξής τους, με τις υπάρχουσες μη αδειοδοτημένες ISM τεχνολογίες, όπως το Wi-Fi. Παρόλα αυτά, εκεί υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις χρήσης 5G οι οποίες προϋποθέτουν την στήριξη μιας ποικιλίας ορισμένων μη αδειοδοτημένων ραδιοφασματικών τεχνολογιών σαν το Wi-Fi. Για εξαιρετικά πυκνές αναπτύξεις UE, οι τεχνολογίες φάσματος που αδειοδοτούνται συνδιαστικά με τα LTE/5G δίκτυα βελτιώνουν την χωρητικότητα των δικτύων προκειμένου να επωφεληθούν οικουμενικά την εμπειρία των πηγών των δικτύων των UEs. Ο ρόλος του Wi-Fi ως ένα θεμελιώδες κομμάτι των 5G URLLC προδιαγραφών λειτουργεί ως παρακινητής από τις νέες τεχνολογίες καθώς επίσης θεωρείται ως από τις τρέχουσες τεχνολογίες. Ορισμένα παραδείγματα είναι το IEEE 802.11ax (γνωστό και ως υψηλής αποδοτικότητας WLAN (HEW)), τα mmWave WLANs που βασίζονται στα IEEE 802.11ay, και η ευαίσθητη στον χρόνο δικτύωση (time-sensitive networking / TSN) στο IEEE 802.11be. Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει την τυποποίηση του χρονοδιάγραμματος των τεχνολογιών οι οποίες χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες των εκάστοτε φασμάτων.



Εικόνα 20. Χρονοδιάγραμμα των μη αδειοδοτημένων τεχνολογιών των φασμάτων μαζί με το LTE/5G αδειοδοτημένο φάσμα

Πηγή:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406015>

Στο φουτουριστικό 5G, γνωστό και ως Beyond 5G (B5G), τα δίκτυα υπόσχονται τη συνεργασία με επόμενη γενιάς WLANs, ως τις τρέχουσες τεχνολογίες τους προκειμένου να παρέχουν μία από τις συγκλονιστικές υπηρεσίες, όπως το URLLC και απίστευτα υψηλής παραγωγικότητας υπηρεσίες. Η συγχώνευση των HEW δικτύων με τα συστήματα επικοινωνίας στα πλαίσια του 5G, έχει υπάρξει ένα θέμα συζήτησης για τους ερευνητές για τις δύο περασμένες δεκαετίες. Σύμφωνα με μία έρευνα του διαδικτύου, πάνω από ένα ποσοστό της τάξεως του 70% της κυκλοφορίας των κινητών δεδομένων η οποία επίσης παράγεται από τα WLAN δίκτυα. Δεδομένης της υψηλής απόδοσης αλλά και της καλύτερης οικονομίας των WLANs, θα παραμείνει μία πολύ ελκυστική επιλογή τόσο για δραστηριότητες εντός σπιτιού, όσο και για τις διάφορες επιχειρήσεις. Όσο η κυβελωτή επικοινωνία έχει τις ρίζες της στους εξωτερικούς χώρους, αναμένεται πως το HEW και το 5G/B5G θα συνυπάρξουν τόσο σε εξωτερικούς όσο και σε εσωτερικούς χώρους. Το ερευνητικό σύνολο του IEEE (working group – WG) πρόσφατα παρουσίασε μία τροποποίηση στα IEEE 802.11 WLANs, ονόματι IEEE 802.11ax HEW. Το HEW ασχολείται με τα πολλαπλά σενάρια ανάπτυξης του τεράστιου όγκου των συνδεδεμένων συσκευών. Ένας από τους τομείς της διεθνούς ένωσης ένωσης τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union – ITU), που είναι γνωστή και ως ITU-Ραδιοεπικοινωνία (ITU-R), προσδιόρισε τις συγκεκριμένες προδιαγραφές του 5G/B5G και του HEW, οι οποίες ενδεχομένως ικανοποιούν τις URLLC προδιαγραφές. Αναμένεται πως το HEW εξάγει τα συναρπαστικά χαρακτηριστικά τόσο το περιβάλλον των συσκευών όσο και της συμπεριφοράς της αλληλεπίδρασης των συσκευών με το αντίστοιχο περιβάλλον, προκειμένου να διαχειριστεί αυθόρμητα τις διάφορες παραμέτρους κατανομής των πηγών των καναλιών στο MAC επίπεδο. Πρακτικά, μια HEW συσκευή, γνωστή και ως σταθμό (Station – STA) επιδέξια και δυναμικά διαχειρίζεται τις όποιες ασύρματες πηγές των καναλιών, για παράδειγμα η λειτουργία κατανεμημένου συντονισμού (Distributed Coordination Function – DCF) η οποία αξιοποιεί στο έπακρο την πολλαπλή πρόσβαση αισθητήρων των μεταφορών με το μηχανισμό αποφυγής σύγκρουσης, προκειμένου να επιλυθούν τα όποια θέματα σύγκρουσης στο δίκτυο. Σε γενικές γραμμές, η απόδοση των STA βασίζεται στην εκμετάλλευση της αβεβαιότητας της ετερογενούς φύσης του συστήματος όσον αφορά την ποικιλία των δεδομένων που μεταδίδονται. Συνεπώς, προκειμένου να επιτευχθούν οι απαραίτητοι στόχοι του HEW, για τις URLLC προδιαγραφές στο 5G NR, είναι επιτακτική η ανάγκη εξέτασης αποδοτικών και ισχυρών σχημάτων κατανομής.

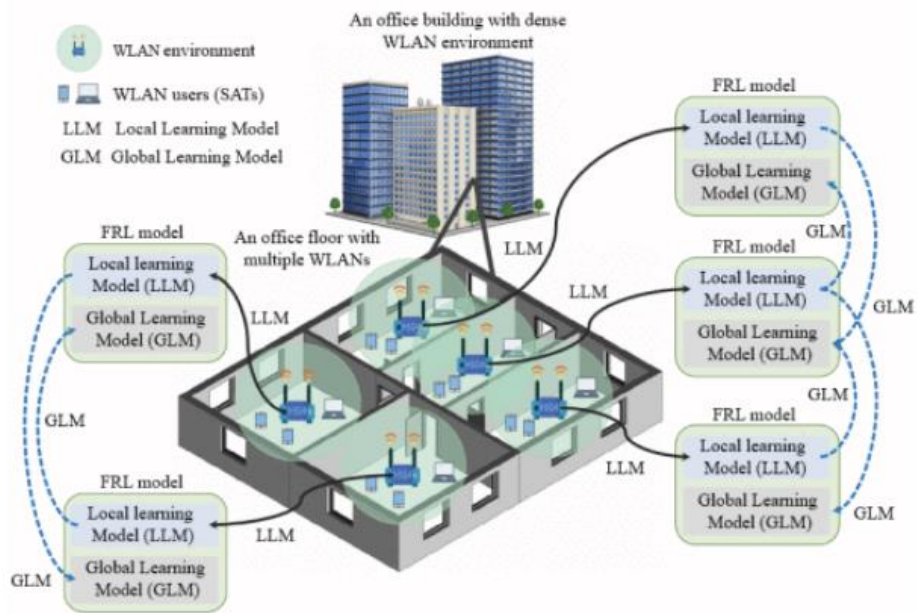
Ομοσπονδιακές τεχνικές εκμάθησης ενίσχυσης στα ασύρματα συστήματα επικοινωνίας

Παρακάτω θα αναλυθούν συνοπτικά τα ενδεχόμενα των FRL τεχνικών για τις τωρινές αλλά και τις επερχόμενες ασύρματες τεχνολογίες, όπως το 5G/B5G. Έπειτα

συμπεριλαμβάνονται οι διάφορες συνεισφορές που είναι σχετικές από την ερευνητική κοινότητα, η οποία εστιάζει εξ' ολοκλήρου στην υλοποίηση των FRL τεχνικών στα πλαίσια των 5G δικτύων.

Ομοσπονδιακή ενισχυτική εκμάθηση

Το FRL, το οποίο επίσης σε μία συλλογική τεχνική ML, είναι μία από τις καταναεμημένες εγκαταστάσεις της RL τεχνικής, η οποία έπειτα μαθαίνει το περιβάλλον ανάμεσα σε διάφορες πολλαπλές αποκεντρωμένες συσκευές, χωρίς συνάμα να μοιράζονται τα πραγματικά τους δεδομένα. Το FRL είναι διαφορετικό από τις παραδοσιακές κεντρικές τεχνικές ML, όπου τα στοχευμένα δεδομένα απαιτείται να αναφορτωθούν στα πλαίσια ενός ξεχωριστού εξυπηρετητή. Επιπλέον, το FRL ενδυναμώνει πληθώρες συσκευές εκμάθησης προκειμένου να δομηθεί ένα τυπικό, ισχυρό ML μοντέλο χωρίς να κοινοποιούνται τα πραγματικά δεδομένα/πληροφορίες. Το FRL επιτρέπει σε κάθε εκπρόσωπο (όπως το WLAN STA) προκειμένου να δουλέψει σε ένα σετ των τοπικών παραμέτρων εκμάθησης, που αναφέρεται ως το τοπικό μοντέλο εκμάθησης (LLM). Στο FRL, αντί να διανεμούν ολόκληρο το σετ δεδομένων εκμάθησης, ένας εκπρόσωπος κοινοποιεί το LM του με το γειτονικό ή κεντρικό φορέα (όπως το WLAN AP). Η κεντρική συσκευή παρουσιάζει τους αλγοριθμούς εκμάθησης επάνω στο κοινό LM του εκπροσώπου καθώς επίσης κοινοποιεί τα αποτελέσματα με όλους τους άλλους εκμαθητές στο εκάστοτε περιβάλλον, αναφερόμενο ως παγκόσμιο μοντέλο εκμάθησης (Global Learning Method – GLM). Ως μία αποκεντρωμένη ML τεχνική, το FRL τείνει να απευθύνεται στα εκάστοτε θέματα τα οποία σχετίζονται με την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια, διαδίδοντας με τον τρόπο αυτό την πληροφορία στους καταναεμημένους εκπροσώπους του κάθε περιβάλλοντος. Οι εφαρμογές του FRL αναγνωρίζονται ήδη από ορισμένες περιοχές ερεύνσεις των εκάστοτε τεχνολογιών της επόμενης γενιάς, όπως το IoT , το 5G/B5G , και τα δίκτυα Blockchain. Στο παρακάτω διάγραμμα, ένα WLAN STA παρατηρεί το περικλύων περιβάλλον με απώτερο σκοπό την παραγωγή του LM. Αργότερα, οι τιμές του LM συνεργάζονται με το κεντρικό WLAN AP προκειμένου να δομήσει μία GM τιμή. Ένα WLAN AP αποστέλλει αποφασιστική GM τιμή σε όλα τα WLAN STAs μέσα στο περιβάλλον. Αυτή η συλλογική εκμάθηση του WLAN περιβάλλοντος αυξάνει τις δυνατότητες βελτιστοποίησης για κάθε ξεχωριστό εκμαθητή.



Εικόνα 21. Παράδειγμα WLAN περιβάλλοντος

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406015>

Ένα framework βασισμένο στο FRL, λειτουργεί σε τρεις φάσεις. Πρώτα, μια συσκευή στο περιβάλλον υπολογίζει τη λειτουργία της τιμής (όπως την τιμή Q σε ένα τυπικό RL μοντέλο) από τοπικά διαθέσιμη πληροφορία, γνωστή και ως LLM. Αργότερα, στη δεύτερη φάση μοιράζεται την LLM τιμή με το κεντρικό WLAN AP προκειμένου να καθορίσει μία παγκόσμια τιμή, η οποία είναι το GLM. Τελικά, στην τελευταία φάση του FRL, ένα WLAN STA ανανεώνει το FRL μοντέλο το οποίο είναι βασισμένο τόσο στη LLM τιμή (τοπικά υπολογισμένη), όσο και την GLM τιμή (παγκόσμια υπολογισμένη). (Franchi F. 2019)

6. Το URLLC και το eMBB στα πλαίσια του βιομηχανικού 5G

Η 5^η γενιά του βιομηχανικού Internet Of Things (IIoT) είναι ουσιαστικά η ενσωμάτωση του IIoT και ενός 5G ιδιωτικού δικτύου. Το IIoT είναι μία έννοια η οποία συμπεριλαμβάνει την ενσωμάτωση γκατζετς, μικρών αντικειμένων, αλλά και λύσεων στα πλαίσια των πιο εξελιγμένων βιομηχανικών διαδικασιών, προκειμένου να αυξηθεί η αξιοπιστία, τα κόστη παραγωγής και η αποδοτικότητα. Επιπλέον, η ενσωμάτωση αυτή του IIoT με το 5G/Beyond 5G (B5G), προσφέρει την πιθανότητα για ακαριαία καθώς και ευρέως διαδεδομένη συνδεσιμότητα. Η αρχιτεκτονική του 5G, έχει την ικανότητα να διαχειριστεί τις πολύ αυστηρές προϋποθέσεις του IIoT για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση, υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, αλλά και πολύ υψηλή αξιοπιστία. Μία νέα γενιά οικονομικής ανάπτυξης προβλέπεται για τα 5G/B5G ασύρματα δίκτυα, στα οποία παρέχεται και η υποστήριξη του IIoT. Αξιοσημείωτη είναι επίσης η πλειονότητα της δουλειάς στο IIoT, επικεντρώνεται στην αρχιτεκτονική, και με τη βοήθεια της αξιοπιστίας και της παραγωγικότητας να αγνοούνται σημαντικά. Παρακάτω θα εξηγηθεί μία πολύ αναλυτική αξιολόγηση του B5G, το οποίο υποστηρίζεται από τα IIoT ασύρματα δίκτυα, με στόχο επαυξημένη κινητή ευρυζωνικότητα (enhanced mobile broadband – eMBB), και οι υπηρεσίες εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης (URLLC). Επιπρόσθετα, παρέχει διαφόρου ειδών γνώσεις στα πλαίσια των διαφόρων εφαρμογών αλλά και τεχνολογίες κλειδί από την οπτική του URLLC, του eMBB, αλλά και της ανταλλαγής τους.

Εισαγωγικά

Το γεγονός της ανάδυσης του βιομηχανικού IoT (IIoT) έχει φέρει την επανάσταση στα πλαίσια των βιομηχανικών εφαρμογών αλλά και την παραγωγή όπως την κατασκευή, αυτοματοποιώντας έναν τεράστιο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών και εξαρτημάτων. Το IIoT είναι μία υποκατηγορία του Internet Of Things (IoT), το οποίο επικεντρώνεται στην αξιοποίηση των IoT τεχνικών και τεχνολογιών, στις βιομηχανίες όπως έξυπνη μεταφορά, έξυπνες υπηρεσίες υγείας, έξυπνες πόλεις, έξυπνο δίκτυο, φαγητό, δασολογία, γεωργία, καιρό, και γενικότερη παρακολούθηση. Οι συσκευές /μηχανές στα πλαίσια του IIoT συνδέονται με απώτερο στόχο να συλλάβουν την εξυπνάδα αυτή καθώς και την αυτονομία στα επιμέρους συστήματα κληρονομιάς. Εκτιμάται ότι στα τέλη του 2030, περίπου 80 δισεκατομμύρια συσκευές θα είναι ικανές να συνδέονται στο διαδίκτυο. Στο IIoT, ένας τόσο αυξημένος βαθμός της συνδεσιμότητας συμπεριλαμβάνεται, ο οποίος μάλιστα έχει και ο ίδιος ειδικές προϋποθέσεις για πολύ υψηλή αξιοπιστία, χαμηλή καθυστέρηση, υψηλή ταχύτητα, περισσότερη ευελιξία, καθώς και ασφαλέστατη επικοινωνία.

Τα ασύρματα δίκτυα της 4^{ης} γενιάς (4G) έχουν κερδίσει τεράστια δημοτικότητα, την τελευταία δεκαετία ως μία αξιόπιστη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία. Πολλές βιομηχανικές εφαρμογές υποστηρίζονται από την Wireless Fidelity (Wi-Fi), Long Term Evolution (LTE), αλλά με πολύ πιο απαιτητικές ανάγκες απόδοσης, όσον αφορά την καθυστέρηση, την αξιοπιστία αλλά και την παραγωγικότητα, η 5^η γενιά (5G) έχει αναδυθεί ως μία πολύ υποσχόμενη εναλλακτική η οποία μπορεί να αξιολογήσει τις προϋποθέσεις αυτές. Το 5G ξεκίνησε να είναι εμπορικά διαθέσιμο το 2019. Έχει χρησιμοποιηθεί σε ένα φαρδύ εύρος εφαρμογών από IoT σε έξυπνα σπίτια σε βιομηχανία. Επιπλέον, η διεθνής τηλεπικοινωνιακή ένωση (International Telecommunication Union – ITU), χαρακτηρίζει τρία σενάρια χρήσης: εξαιρετικά αξιόπιστη χαμηλής καθυστέρησης τηλεπικοινωνίες (URLLCs), τεράστιες τηλεπικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC – mMTC), και βελτιωμένη κινητή ευρυζωνικότητα (enhanced mobile broadband – eMBB). Προκειμένου να διατηρήσει και να επιτεύξει τις πολύ ανταγωνιστικές προϋποθέσεις για τις εφαρμογές των ασυρμάτων δικτύων, η βιομηχανία καθώς και η πανεπιστημιακή κοινότητα έχουν ήδη αρχίσει να συλλογίζονται τα ασύρματα επικοινωνιακά συστήματα της επόμενης γενιάς (6^{ης} γενιάς – 6G). Το 6G αναμένεται να έχει έναν ρυθμό δεδομένων της τάξεως των 20 Gbps, επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό την είσοδο σε 10⁶ συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, καθώς επίσης και να έχουν μία καθυστέρηση μικρότερη του ενός ms. Συνεπώς, οι βελτιώσεις 5G/6G είναι εξίσου ικανές να προσφέρουν τις απαραίτητες συσκευές και να συναντήσουν τις μετρικές απόδοσης του IIoT.

Για την ενσωματωμένη 5G/6G με το IIoT, ένα ιδιωτικό 5G δίκτυο γίνεται να σχεδιαστεί καθώς και να αναπτυχθεί. Η βασική προϋπόθεση για ένα ιδιωτικό δίκτυο έχει απευθυνθεί σε 5G στάνταρ, αντί να είναι μία add-on ιδιότητα στις προηγούμενες γενιές. Το κύριο κίνητρο εγκαθίδρυσης ενός ιδιωτικού 5G δικτύου είναι η εγγυημένη κάλυψη όπως επίσης και το προφίλ καλύτερης απόδοσης από παλαιότερες ασύρματες τεχνολογίες. Οι περισσότερες βιομηχανίες εντοπίζονται σε απόμακρα μέρη, όπου η δημόσια δικτυακή κάλυψη περιορίζεται ή δεν υπάρχει καν, ένα ιδιωτικό δίκτυο έχει τη δυνατότητα να προσφέρει μία σίγουρη υπηρεσία η οποία απαιτείται από το IIoT. Πρόκειται ένα ασφαλές δίκτυο εξατομικευμένο για μια συγκεκριμένη βιομηχανία, μέσα στα πλαίσια ενός αφοσιωμένου δικτύου ραδιο πρόσβασης (Radio Access Network – RAN), και ένα κεντρικό κινητό δίκτυο για κινητή τηλεπικοινωνία. Ως αποτέλεσμα, ένα ιδιωτικό 5G δίκτυο για IIoT γνωστό και ως 5G-IIoT μπορεί να είναι μία υποσχόμενη λύση.

Το IIoT-5G είναι ικανό να αξιοποιηθεί με απώτερο στόχο τη συμπλήρωση των υπάρχουσων επικοινωνιακών λύσεων για το IIoT και μπορούν να χρησιμοποιηθούν βάσει των προϋποθέσεων απόδοσης. Τα δύο κυριότερα χαρακτηριστικά του 5G-IIoT είναι α) το URLLC, το οποίο προϋποθέτει μία καθυστέρηση μικρότερη του ενός ms και αξιοπιστία του 99.99% και β) το eMBB, το οποίο προϋποθέτει έναν ρυθμό δεδομένων με giga bits

ανά δευτερόλεπτο. Ως απόρροια προκύπτει πως το 5G-IIoT είναι ικανό να επιτύχει εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, χαμηλής καθυστέρησης με ευρεία κάλυψη, και σχετικά χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

6.1 Εισαγωγική ανάλυση 5G/B5G

Το οικοσύστημα του 5G/B5G συνδέει ολόκληρη την κοινωνία μέσω των ψηφιακών συσκευών και των διαφόρων γκατζετς, διαμορφώνοντας μία οικονομική ανάπτυξη στις όποιες καινοτόμες υπηρεσίες. Πέρα από την δικτυακή εικονικοποίηση, η ευέλικτη και δυναμική αρχιτεκτονική του 5G/B5G προσφέρει πληθώρας τεχνολογίες πρόσβασης με τόσο αδειοδοτημένους όσο και μη αδειοδοτημένους χρήστες αλλά και συσκευές. Το 5G/B5G δίκτυο μπορεί να κλιμακωθεί αλλά και να επεκταθεί σε οικονομικά αποδοτικά και αυτόνομα μοντέλα προκειμένου να υποστηρίξει ενδεχόμενες επαναστάσεις στην αυτοκινητιστική βιομηχανία, την βιομαχανική παραγωγή, τις παροχές, τη μεταφορά, τη δημόσια ασφάλεια, την ιατροφαρμακευτική περίθαλψη, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, αλλά και άλλες βιομηχανίες. Η 5G/B5G αρχιτεκτονική έχει υποστηρίξει ένα μεγάλο εύρος προχωρημένων τεχνολογιών πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένου του B5G, Wi-Fi, new radio (NR), καθώς και χαμηλής ισχύς ευρεία περιοχή (Low Power Wide Area – LPWA). Τα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία έχουν χτιστεί πάνω στο Software Defined Networking (SDN) αλλά και σε θεμελιώδεις αρχές εικονικοποίησης και cloud, με πλήρης εντοπισμό με απώτερο στόχο την παροχή ευέλικτων αναπτύξεων.

Οι υποψήφιες περιπτώσεις χρήσης για το 5G με μεταβαλλόμενες προϋποθέσεις έχουν ταυτοποιηθεί από σπάντα βιομηχανικούς συνδιασμούς αλλά και μέρη. Οι πιθανές περιπτώσεις χρήσης μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

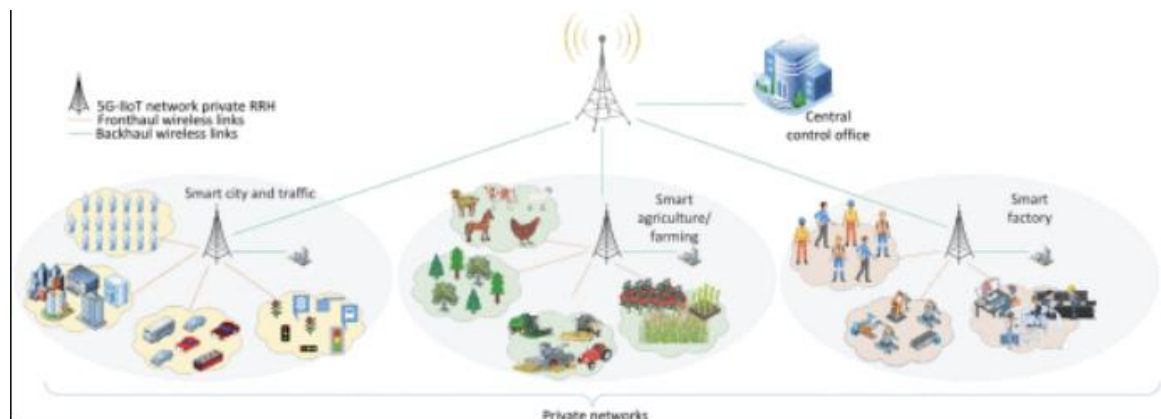
- eMBB: μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετεί μεγάλης κλίμακας γεγονότα καθώς επίσης να συμπιέσει μητροπολιτικές περιοχές οι οποίες έχουν υψηλές προϋποθέσεις μετάδοσης δεδομένων, αλλά περιορισμένο εύρος ζώνης (bandwidth). Η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα (VR- AR), τα έξυπνα (smart) γραφεία, 4K/8K streaming βίντεο, και εφαρμογές του cloud οι οποίες προϋποθέτουν ευρυζωνική συνδεσιμότητα, με έναν ελάχιστο ρυθμό δεδομένων της τάξης των 50 Mbps παντού. Επιπροσθέτως, οι υπηρεσίες eMBB που ενεργοποιούνται φορητά, είναι αναγκαίες για τη βελτιωμένη πλοήγηση, τη τηλεματική υποστήριξη για τη διαγνωστική εξέταση και την ασφάλεια, καθώς επίσης και την ψυχαγωγία μέσω των εμπορικών αεροσκάφων.

- URLLC: κριτικής σημασίας επικοινωνία απαιτείται για υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης όπως η ανταπόκριση σε φυσικές καταστροφές, η δημόσια ασφάλεια, καθώς και

υπηρεσίες τοποθεσίας. Το URLLC παρέχει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου για σενάρια που προϋποθέτουν έναν χρόνο απόκρισης μικρότερη από 1 ms. Ανάμεσα στις περιπτώσεις χρήσης που καλύπτονται από το URLLC, είναι ο βιομηχανικός αυτοματισμός μέσω των ρομποτ, η αυτόνομη οδήγηση, τα drones καθώς και η απομακρυσμένη εγχείριση.

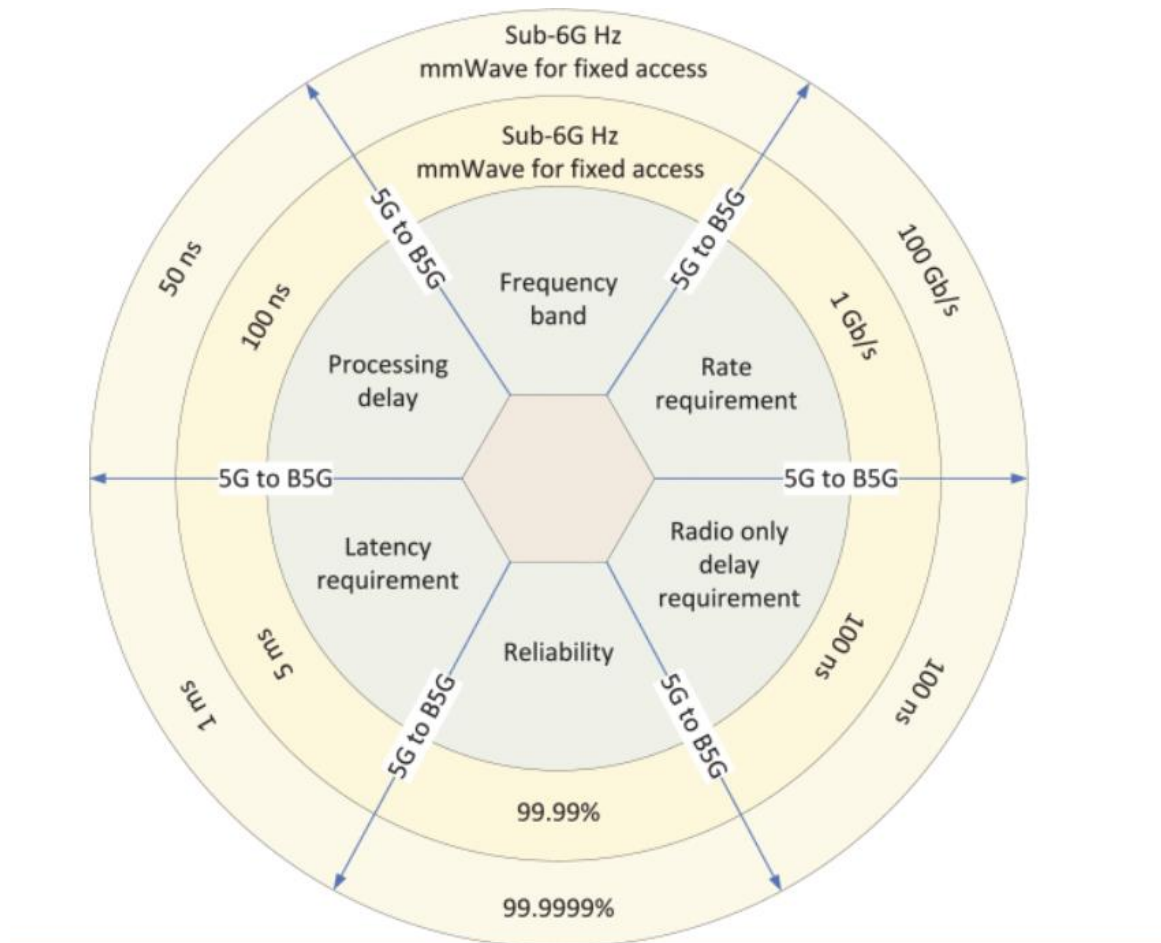
- Τεράστιο IoT (massive IoT – mIoT): χαμηλού κόστους, μεγάλου εύρους, και υπερ-ευαίσθητες συσκευές βάσει ενέργειας, οι οποίες προϋποθέτουν περιοδική και σπάνια συνδεσιμότητα από τις εφαρμογές του cloud καθώς και οι απομακρυσμένες περιοχές είναι παραδείγματα του mIoT. Οι LPWA κυψελωτές τεχνολογίες είχαν παραχθεί στην κυκλοφορία-13 του 3GPP με μακροπρόθεσμη εξέλιξη για τις μηχανές (LTE-M) και στενοζωνικό Internet Of Things (NB-IoT), και περαιτέρω πρόοδοι είχαν προταθεί στην κυκλοφορία- 14, οι οποίες είναι ευθυγραμμισμένες με τις βελτιώσεις της 5G/B5G αρχιτεκτονικής.

Το 5G είναι στη φάση της ανάπτυξης του τα τελευταία χρόνια και τους περιορισμούς του οι οποίοι έχουν υπογραμμιστεί και ερευνηθεί επίσης. Το B5G είναι η εξέλιξη του 5G σε αντίθεση με το 6G το οποίο αναμένεται να είναι ένα επαναστατικό βήμα.



Εικόνα 22. Μια απεικόνιση ενός 5G-IoT ιδιωτικού δικτύου

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9826826>



Εικόνα 23. Η σύγκριση των προϋποθέσεων του 5G και του B5G

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9826826>

Το 5G/B5G ικανοποιεί τις προϋποθέσεις του IIoT

Εφόσον κατανοήσει κανείς τις θεμελιώδεις και απαραίτητες ανάγκες του IIoT, είναι κριτικό να εγκαθιδρυθούν αν τα τωρινά αλλά και μελλοντικά ασύρματα στάνταρ συναντάν αυτές τις προϋποθέσεις. Το τωρινό στάνταρ, 5G, παρέχει περιπτώσεις χρήσης οι οποίες δημιουργούν βιομηχανικά συστήματα πιο ευέλικτα, ωφέλιμα αλλά και αυτόνομα όσο συναντάν τις QoS προϋποθέσεις τόσο του 5G/B5G αλλά και του IIoT. Ορισμένοι από τους στόχους που μπορούν να υλοποιηθούν με B5G στο IIoT, είναι οι ακόλουθοι:

- οι βελτιστοποιημένες υπηρεσίες οι οποίες μπορούν να παραχθούν μέσα από την χρήση ενός αφοσιωμένου δικτύου και μιας ενοποιημένης συνδεσιμότητας
- Το στάνταρ εγγυάται 99.999% αξιοπιστία με καθυστέρηση μικρότερη από 1 ms στα περιβάλλοντα των ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency – RF)

- Αντικαθιστά τις ενσύρματες γραμμές του Ethernet με αναδιαμορφώσιμη επικοινωνιακή τεχνολογία

- Τα ιδιωτικά δίκτυα μπορούν να λειτουργήσουν τόσο σε αδειοδοτημένο όσο και σε μη αδειοδοτημένο φάσμα. (*Rahmadika S., 2019*)

6.2 5G/B5G-IIoT αναγνωριστικό

Το μοντέλο του συστήματος το οποίο απεικονίζεται παραπάνω, αναπαριστά υψηλού επιπέδου συνδεσιμότητα η οποία βρίσκεται στο 5G-IIoT δίκτυο. Το 5G/B5G - IIoT πρόκειται για μία ενσωμάτωση του 5G/B5G με το IIoT στα πλαίσια ενός ιδιωτικού 5G δικτύου. Η ένταξη αυτή του 5G/B5G στο IIoT είναι ικανή για την παροχή της ευρέους διαδεδομένης, ακαριαίας και απαιτούμενης συνδεσιμότητας για τις IIoT εφαρμογές. Ένα ιδιωτικό δίκτυο είναι αυτό το οποίο έχει τη δικό του κινητό πυρηνικό δίκτυο αλλά και μία αφοσιωμένη RAN. Είναι ένα ανεξάρτητα τοπικό διαχειρίσιμο και εύκολα ανεπτυγμένο δίκτυο. Αυτό προφανώς είναι μια προϋπόθεση ενός framework τόσο για ανάλυση των αποκτημένων δεδομένων όσο και για την επεξεργασία, αξιοποιώντας έτσι μονάδες διαβιομηχανικών αλλά και ενδο-βιομηχανικών συσκευών. Όπως απεικονίζεται και στο παραπάνω διάγραμμα, η B5G-IIoT αρχιτεκτονική διαχωρίζεται κυρίως σε πέντε επίπεδα.

- **Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer).**

Το επίπεδο αυτό συμπεριλαμβάνει τις IIoT εφαρμογές στο B5G, όπως τα έξυπνα πλέγματα, τις έξυπνες πόλεις, τα έξυπνα εργοστάσια, τα έξυπνα αυτοκίνητα, συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας των οχημάτων, την εκπαίδευση, αλλά και την υγεία. Οι μηχανές και οι συσκευές οι οποίες αποστέλλουν τα δεδομένα μέσω του διαδικτύου επίσης συμπεριλαμβάνονται στο επίπεδο αυτό.

- **Επίπεδο Αρχιτεκτονικής (Architecture Layer).**

Το επίπεδο της αρχιτεκτονικής, ενσωματώνει το cloud computing, την αναλυτική των μεγάλων δεδομένων (Big Data Analytic – BDA), καθώς και το Edge Computing με απώτερο στόχο την επεξεργασία των δεδομένων.

- **Επίπεδο Επικοινωνίας (Communication Layer).**

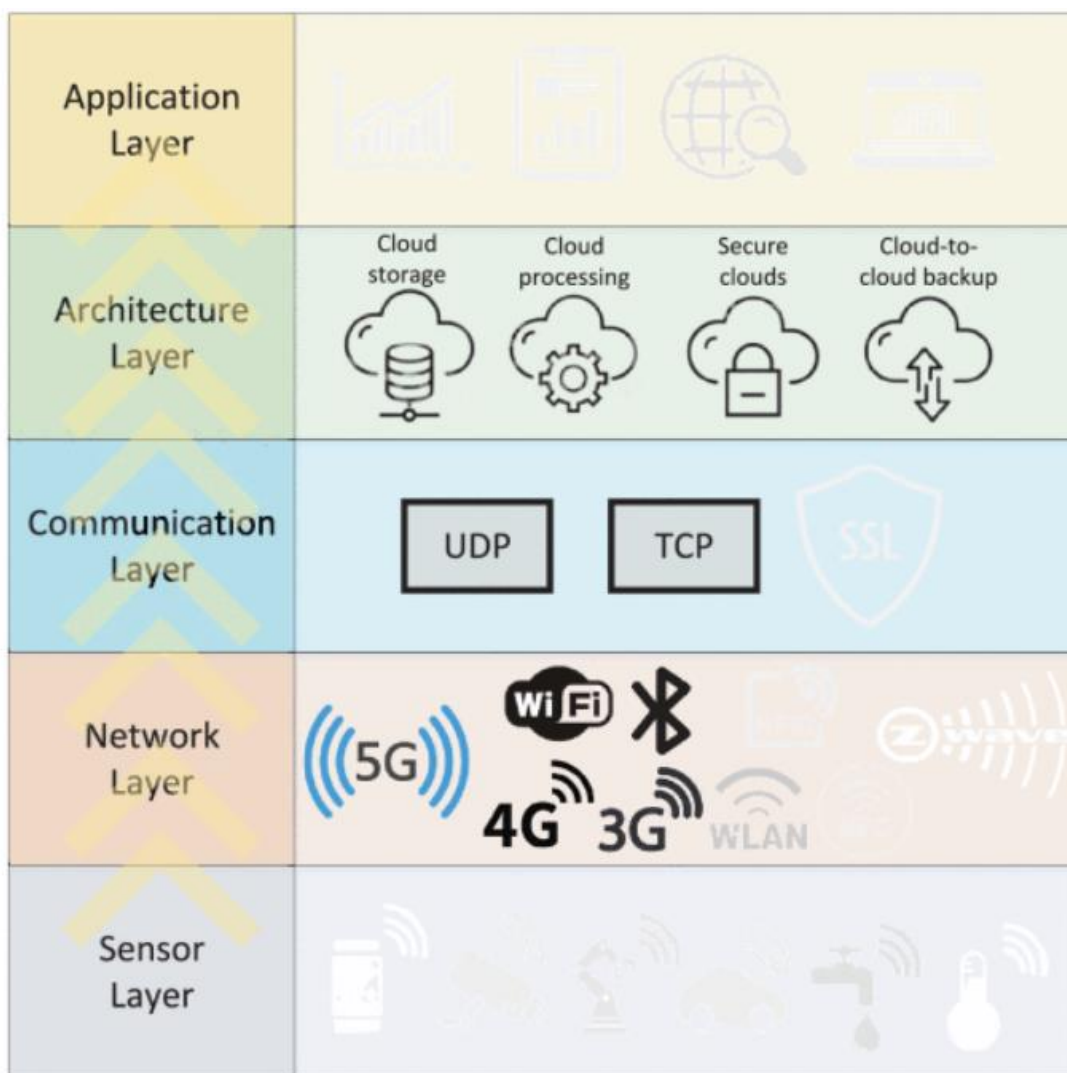
Το επίπεδο της επικοινωνίας του IIoT δικτύου μεταφέρει την πληροφορία μεταξύ όλων των επιπέδων και θεωρείται κριτικής σημασίας εξάρτημα στα πλαίσια του δικτύου.

- **Επίπεδο Δικτύου (Network Layer).**

Το επίπεδο αυτό συμπεριλαμβάνει τις τεχνολογίες επικοινωνίας όπως το δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης (Low Power Wide Area Network – LPWAN), Wi-Fi, Bluetooth, και 802.11x, που εξαρτάται από το εύρος καθώς και ποικίλους απαραίτητους παράγοντες.

- **Επίπεδο Αισθητήρων (Sensor Layer).**

Στο φυσικό επίπεδο, οι ενεργοποιητές και οι αισθητήρες είναι διαθέσιμοι. Αυτοί οι σένσορες είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή των δεδομένων και τη μετάδοση αυτών στο ανώτερο επίπεδο π.χ. επίπεδο δικτύου. **B. Sha 9**



Εικόνα 24. 5G-IoT αρχιτεκτονική

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9826826>

Το επίπεδο των αισθητήρων θεωρείται ως το σημαντικότερο επίπεδο στα πλαίσια ενός IIoT δικτύου. Ο κύριος λόγος για αυτό, είναι ο μεγάλος αριθμός των μικροσκοπικών αισθητήριων συσκευών στο σύστημα το οποίο χορηγεί τεράστιες ποσότητες δεδομένων μέσα στο δίκτυο. Ως αποτέλεσμα της περιορισμένης απόδοσης αυτών των αισθητήριων συσκευών, η απόδοση ή η τάση των πιο πάνω επιπέδων μπορεί να συμβιβαστούν. Επιπλέον, οι ικανότητες των αισθητήρων ποικίλων αισθητήριων συσκευών επηρεάζουν το συνολικό σύστημα. Λόγω της της ροής των δεδομένων και της τεράστιας συνδεσιμότητας, το μπουτιλιάρισμα (bottleneck) του IIoT είναι η περιορισμένη δικτυακή χωρητικότητα. Προκειμένου να ξεπεραστούν οι περιορισμένες επεξεργαστικές ικανότητες των IIoT συσκευών, τα πρόσφατα πλεονεκτήματα τόσο στο fog, στο edge όσο και στο cloud computing εκμεταλλεύονται. Επιπροσθέτως, οι αισθητήρες θα έπρεπε να έχουν έναν δραστικό χρόνο απόκρισης με απώτερο σκοπό να διευκολυνθούν λειτουργίες σε πραγματικό χρόνο. Έπειτα, η απόκριση θα πρέπει να είναι αξιόπιστη για μία προβολή μελλοντικών αποφάσεων αλλά και μια ακριβή πρόβλεψη. (Rahmadika S., 2019)

Ο μοντέρνος βιομηχανικός κλάδος έχει υποβληθεί σε μία τεχνολογική μεταμόρφωση. Εν τω μεταξύ, το IIoT προτείνει νέες προϋποθέσεις επικοινωνιακών τεχνολογιών. Κάθε IIoT εφαρμογή έχει ορισμένους στόχους σχεδιασμού προκειμένου να βελτιώσει τις QoS προϋθέσεις. Οι στόχοι κλειδί του σχεδιασμού όσον αφορά τις κριτικές IIoT εφαρμογές που απεικονίζονται και στο παρακάτω διάγραμμα. Οι στόχοι κλειδί του σχεδιασμού είναι οι εξής:

- **Ενέργεια:** Τυπικά, οι IoT συσκευές κατατάσσονται ως συσκευές χαμηλής ενέργειας (Low Power Devices – LPDs), με περιορισμένες ενσωματωμένες πηγές ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση του IIoT δικτύου, αυτά τα LPDs θα έπρεπε να αξιοποιήσουν αποδοτικά τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας τους με απώτερο σκοπό την επέκταση της ζωής τους.
- **Καθυστέρηση:** Γενικά, οι εφαρμογές B5G-IIoT είναι πολύ ευαίσθητες χρονικά. Ως απόρροια, μία ελάχιστη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο πρέπει να είναι σίγουρα λιγότερο από 1 ms, σε όλα τα είδη των επεξεργαστικών υπολογισμών, καθώς και εξάπλωσης στις B5G-IIoT εφαρμογές.
- **Παραγωγικότητα και κάλυψη:** Οι προϋποθέσεις QoS διαφέρουν από τις διαφορετικές B5G-IIoT εφαρμογές οι οποίες είναι ικανές να πραγματοποιηθούν αξιοποιώντας συγκεκριμένα αποδοτικά πρωτόκολλα. Τυπικά, οι B5G-IIoT εφαρμογές προϋποθέτουν μία διεκπεραιωτικότητα σε Gbps. Για μιάτην αποδοτική μεταφορά, οι IIoT συσκευές σε μεγάλο εύρος με ανθεκτικές μπαταρίες είναι επιτακτική ανάγκη να αξιοποιηθούν.

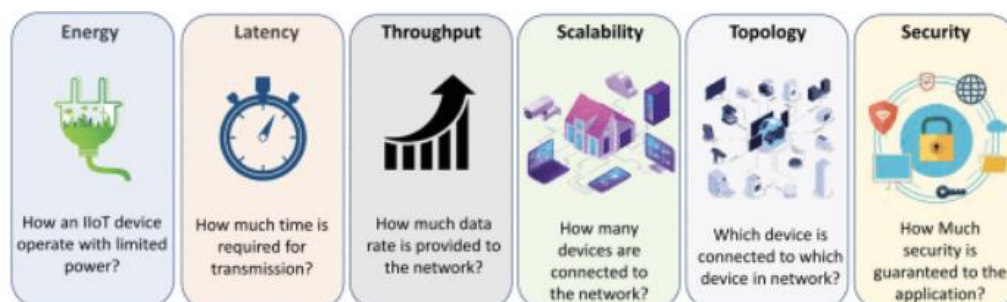
- **Τοπολογία Δικτύου:** Ο αριθμός των συσκευών οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους, όπως τις fog και cloud αρχιτεκτονικές, χρειάζεται να αποφασιστούν προσεκτικά για βελτιωμένο QoS. Επιπροσθέτως, η τοπολογία των δικτύων έχει πολύ σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση του QoS.
- **Ασφάλεια και προστασία:** Τη σημερινή εποχή, τόσο η ασφάλεια όσο και η προστασία είναι θέματα κριτικής σημασίας. Προκειμένου να αποφευχθούν η διαρροή των εμπιστευτικών πληροφοριών ή της απώλειας δεδομένων, η συλλογή δεδομένων και η επεξεργασία μεταξύ δια- και ενδο- B5G-IIoT εφαρμογών προϋποθέτουν αυστηρή ασφάλεια και προστασία.
- **Αξιοπιστία:** Πολλές B5G-IIoT εφαρμογές προϋποθέτουν εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία. Για παράδειγμα, στα πλαίσια ενός έξυπνου ιατροφαρμακευτικού συστήματος, είναι κριτικής σημασίας για τη μεταφορά δεδομένων αξιόπιστα. Επιπροσθέτως, οι QoS προϋποθέσεις στα πλαίσια του URLLC στο B5G-IIoT απαιτούν υψηλή αξιοπιστία σε μία ποικιλία ορισμένων εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο.
- **Οικονομικά αποδοτική:** Οι smart συσκευές χαμηλού κόστους B5G-IIoT καθώς και οι εφαρμογές πρέπει να εγκατασταθούν και να αξιοποιηθούν με απώτερο στόχο τη μείωση των εξόδων του κεφαλαίου (Capital Expenditure - CAPEX)/ καθώς και των λειτουργικών εξόδων (Operating Expenditure – OPEX). Η ανάπτυξη τέτοιου είδους εφαρμογών όπως τα έξυπνα εργοστάσια και οι βιομηχανίες πρέπει να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της αγοράς.
- **Προτυποποίηση:** Στο IIoT, τα πολλά B5G στάνταρ θα απασχολούνται. Η υλοποίηση των στάνταρ αυτών θα πρέπει να είναι συμβατή καθώς και ευέλικτη με τις IIoT συσκευές.
- **Συντήρηση των συσκευών:** Σε μία βιομηχανία ενός 4.0 περιβάλλοντος, οι ετερογενείς συσκευές προαπαιτούν μία συνεχή διαχείριση λόγω της συνδεσιμότητας μεταξύ τους αλλά και με το διαδίκτυο. Το SDN χρησιμοποιείται για να περιγράψει τέτοιου είδους αποτυχίες καθώς επίσης και την εξέλιξη των θεμάτων της συντήρησης των IIoT συσκευών.
- **Παρακολούθηση του δικτύου:** Συμφόρηση, κινητικότητα αλλά και υπερφόρτωση των IIoT συσκευών στα πλαίσια ενός ασύρματου δικτύου, το οποίο μπορεί να επηρεάσει την τοπολογία των δικτύων. Ως αποτέλεσμα, συχνή και συνεχή παρακολούθηση του συστήματος είναι αναπόφευκτη. Το πλήθος των έξυπνων συσκευών σε μία IIoT

εφαρμογή θα μεγαλώσει προοδευτικά. Συνεπώς, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερφόρτωση και η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι ρυθμίσεις του συστήματος θα πρέπει να είναι ικανές να προσαρμόζονται σε απόκριση του κυκλοφοριακού φορτίου και των προϋποθέσεων των δεδομένων.

- Διαμόρφωση και διαχείριση συστήματος: Είναι κριτικής σημασίας η ενδυνάμωση των συσκευών με αυτο-διαμόρφωση αλλά και ικανότητες ελέγχου, όπως επίσης και την αναδιαμόρφωση του δικτύου προκειμένου να φιλοξενήσει νέες συσκευές.

- Κλιμάκωση και ενσωμάτωση: Η κλιμάκωση θέτει ορισμένα προβλήματα, όπως πόσες έξυπνες συσκευές προϋποθέτονται με απώτερο στόχο την υποστήριξη ενός περιβάλλοντος βιομηχανικής εφαρμογής, πόσες συσκευές μπορούν να διαχειριστούν άνετα από έναν σέρβερ, καθώς επίσης και πως να σχεδιάζουν ένα σύστημα αποδοτικά μέσα στα περιοριστικά πλαίσια τόσο τα ενεργειακά όσο και του φάσματος. Επιπρόσθετα, η ενσωμάτωση του υβριδικού SDN με τις IIoT συσκευές χρειάζεται οπωσδήποτε να είναι συνεχής αλλά και βέλτιστη.

- Ετερογένεια και διαλειτουργικότητα: Οι ετερογενείς ευφυείς IIoT συσκευές πρέπει να επικοινωνούν αλλά και να ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλες συσκευές, όπως επίσης και να τα διαμοιράζουν μέσω του διαδικτύου. Η ενσωμάτωση αυξάνει ορισμένες σοβαρές προκλήσεις οι οποίες και πρέπει να απευθυνθούν. Επιπλέον, η προτυποποίηση απαιτείται για τη διαλειτουργικότητα των IIoT συσκευών.



Εικόνα 25. Στόχοι σχεδιασμού του 5G-IIoT

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9826826>

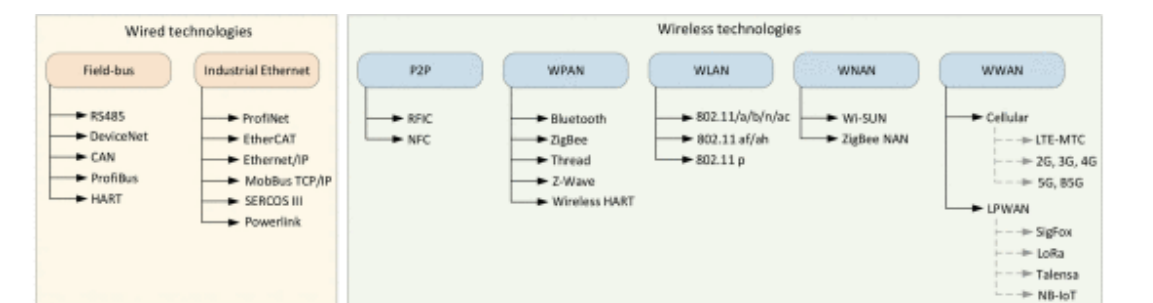
Ενεργοποιητικές και υπάρχουσες τεχνικές για 5G-IIoT

Τα IIoT δίκτυα έχουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στις ηλεκτρονικές συσκευές και στο βιομηχανικό εξοπλισμό και συνδέονται με δισεκατομμύρια ανθρώπων. Αυτές οι πολυάριθμες συσκευές υποστηρίζουν μία ποικιλία τεχνολογιών επικοινωνίας καθώς και

δικτυακών πρωτοκόλλων: επιπρόσθετα, εφοδιάζονται με μία ποικιλία μονάδων χωρητικότητας καθώς και επεξεργασίας δεδομένων οι οποίες λειτουργούν σε ένα εύρος επιπέδων ενέργειας. Κάθε συσκευή περιορίζεται από το QoS, την αποδοτικότητα φάσματος, την αποδοτικότητα της ενέργειας (EE), την ενέργεια, το κόστος, την ασφάλεια, την καθυστέρηση και τέλος την αξιοπιστία. Εν συνεχεία, θα συνοψίσουμε τις τεχνολογίες κληρονομιάς καθώς επίσης θα παρουσιαστούν ορισμένες 5G τεχνολογίες για το IIoT.

Τεχνολογίες κληρονομιάς

Οι βιομηχανικές επικοινωνιακές τεχνολογίες κατατάσσονται σε ενσύρματες και ασύρματες κατηγορίες βάσει των διαδικασιών μετάδοσης, καθώς ευθύνονται για το 85% της παγκόσμιας αγοράς. Παρακάτω απεικονίζονται οι IIoT τεχνολογίες επικοινωνίας.



Εικόνα 26. Ενσύρματες τεχνολογίες κληρονομιάς

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9826826>

Οι ενσύρματες τεχνολογίες περιλαμβάνουν βιομηχανικό ethernet και βιομηχανικό field-bus. Αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ του συστήματος ελέγχου των ορόφων, των συστημάτων ελέγχου, των κεντρών δεδομένων, καθώς και του παραδοσιακού Ethernet με περίπλοκη τοπολογία γραμμής που χρησιμοποιείται, γεγονός που συνεπάγεται ανεπαρκής ασφάλεια καθώς και σημαντικές καθυστερήσεις.

Προτυποποίηση του URLLC και του EMBB στο 5G-IIoT

Το IIoT προαπαιτεί αυστηρές προϋποθέσεις τόσο σε ασύρματα όσο και σε ενσύρματα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένης της καθυστέρησης, της παραγωγικότητας, της κάλυψης, της αξιοπιστίας, της αποδοτικότητας ενέργειας καθώς επίσης και της κινητικότητας. Τα ενεργοποιητικά χαρακτηριστικά καθώς και οι υπηρεσίες οι οποίες παρέχονται από το 5G/B5G, όπως το eMBB, το URLLC και το mMTC, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν το IIoT προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω τεχνολογίες σύμφωνα με τις QoS προϋποθέσεις του IIoT στα πλαίσια του eMBB και του URLLC. Το τμήμα αυτό αναλύει τις τεχνολογίες όσον αφορά την προτυποποίηση.

Services for 5G/B5G-IoT	Enabling Technologies	Communication Standards	References
URLLC	V2X communication	5G/B5G, NB-IoT	[81]–[93]
	Multi-RAT: CoMP, 4G-LTE, WiFi, 5G NR	LTE-M, WiFi/WiFi Halow, NB-IoT	[37], [53], [94]–[100]
	Instant and reserved scheduling	LoRa, NB-IoT, cellular	[34], [101]
	5G/B5G, 5G/B5G-NR	Cellular, LPWAN	[102]–[106]
	Packet and frame structure	LoRa, B5G	[53], [53], [107]–[113]
eMBB	B5G, B5G-NR	NB-IoT, LoRa	[114]–[120]
	Flexible data-rate (FD) communications	WWAN, WiFi/WiFi Halow, Bluetooth, ZigBee	[115], [121]–[125]
	NW techniques	B5G	[25], [53], [109], [126]–[132]
	Unlicensed spectrum based techniques	LTE-M, NB-IoT, LoRa, Talensa, Sigfox	[28], [29]
	Dense small cell network	WWAN, WiFi/ WiFi Halow, Bluetooth, ZigBee	[133]–[137]
	mm-Wave	B5G	[53], [114], [138]–[142]

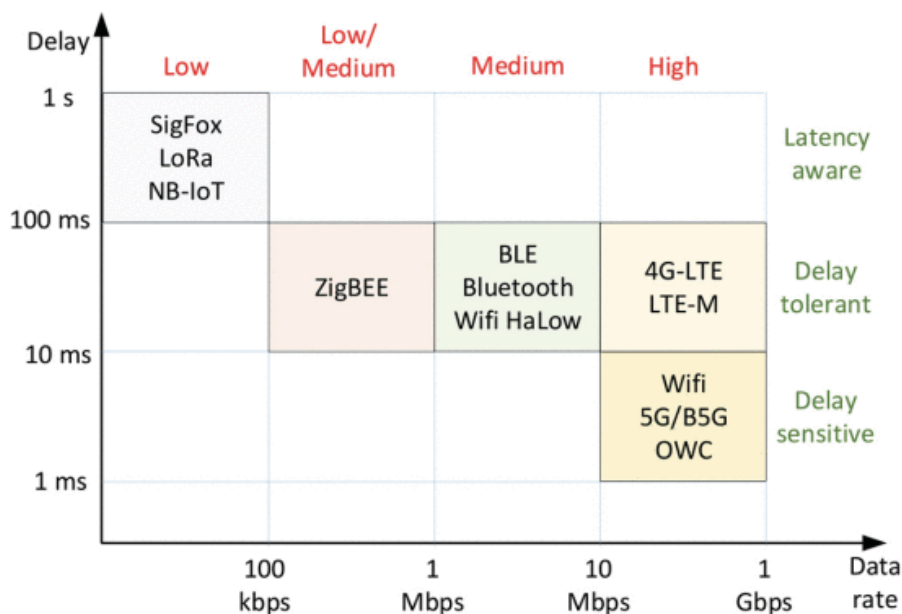
Εικόνα 27. Προτυποποίηση του URLLC και του eMBB στο 5G-IoT

Πηγή:<https://ieeexplore.ieee.org/document/9826826>

Ο παραπάνω πίνακας συνοψίζει τις ενεργοποιητικές τεχνολογίες-κλειδί επικοινωνίας. Οι τεχνολογίες αυτές στο B5G-IoT οι οποίες έχουν βοηθηθεί από το URLLC, είναι το 4G, το multi-RAT, το 5G/B5G, το LTE, καθώς και το V2X. Το COMP και το Multi-RAT, το 4G και LTE περιλαμβάνονται όλα στα B5G στάνταρ ως τεχνικές μείωσης καθυστέρησης για το URLLC. Αυτές οι τεχνικές βασίζονται κυρίως στην επικοινωνία mm-Wave, το UDN καθώς και την κυκλοφορία 16 του 3GPP στο D2D. Παρομοίως, το V2X είναι μία τεχνική επικοινωνίας που βασίζεται στις εφαρμογές που συμπεριλαμβάνει V2V, V2N και V2I επικοινωνίες. Το V2X προσκολλάται στα πολλαπλά πρωτόκολλα με απώτερο στόχο τη μείωση της καθυστέρησης καθώς και την αύξηση της αξιοπιστίας, όπως και τη διασφάλιση της συμβατότητας μέσα στα πλαίσια των IIoT εφαρμογών κριτικής σημασίας. Με παρόμοιο τρόπο, η 3GPP κυκλοφορία 15 και 16 απασχολούν ένα εύρος τόσο αδειοδοτημένων όσο και μη αδειοδοτημένων τεχνικών φάσματος, όπως το WWAN και το LPWAN, προκειμένου να ενεργοποιήσει την χρήση των κυματομορφών του B5G-NR, του 4G-LTE, του UDN αλλά και του 5G, έτσι ώστε να παραδώσει ελκυστικούς ρυθμούς δεδομένων πολλών Gigabit καθώς και συνδεσιμότητα πολλών σημείων σε καταναλωτές των εκάστοτε βιομηχανιών. (Rahmadika S., 2019)

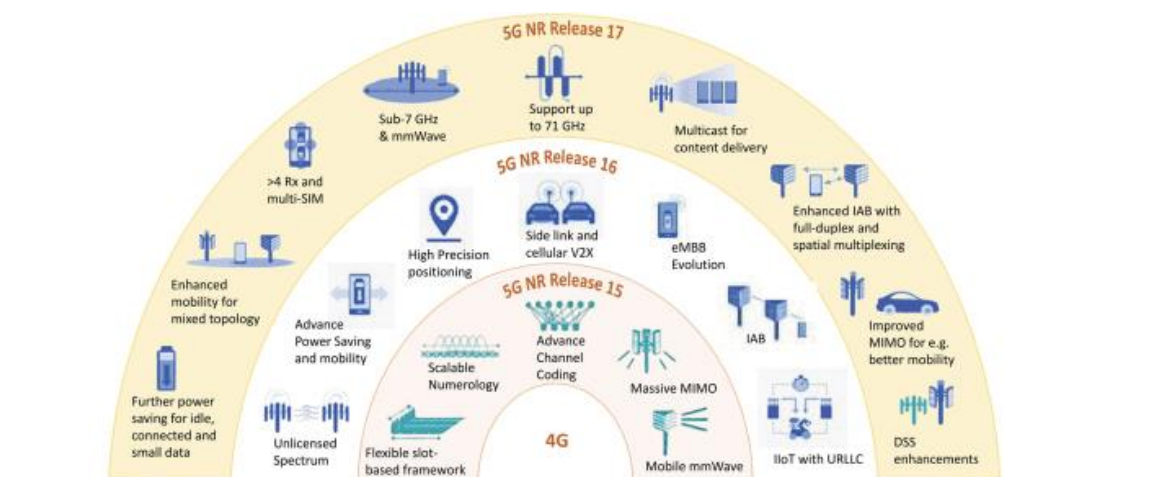
Το B5G-NR προσδιορίζει τρεις κύριους στόχους, ειδικότερα αυξημένη δικτυακή πυκνότητα, αυξημένο SE και πρόσβαση σε συγκροτήματα υψηλού φάσματος. Παρόλα αυτά, το eMBB ενσωματώνει πολλαπλές τεχνικές, όπως την B5G-NR επικοινωνία με το mm-Wave, το UDN, και την ευέλικτη επικοινωνία ρυθμού δεδομένων (Flexible Data-Rate–FD). Οι mm-Wave επικοινωνίες υποστηρίζουν ένα μεγάλο εύρος των IIoT εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένου των ευαίσθητων χρονικά, με ένα ρυθμό δεδομένων

που ανέρχεται μέχρι και Gbps. Στο παρακάτω διάγραμμα, συγκρίνονται ορισμένες B5G-IIoT επικοινωνιακές τεχνολογίες όσον αφορά τους ρυθμούς δεδομένων τους αλλά και προϋποθέσεις καθυστέρησης. Το 5G/B5G-IIoT στοχεύει στην παροχή βιομηχανικών υποδομών με επεκτασιμότητα και ευελιξία. Ως αποτέλεσμα της εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης, της υψηλής παραγωγικότητας και της υψηλής αξιοπιστίας του IIoT, είναι πιο αποδοτικό τόσο στον έλεγχο της αυτοματοποίησης όσο και των διαφόρων συστημάτων παρακολούθησης. Εν συνεχεία, στον τομέα αυτό αναλύονται διάφορες τυποποιήσεις αλλά και οι τεχνολογίες τους. Οι τεχνολογίες-κλειδί της 5G προτυποποίησης που μπορούν να συνεισφέρουν στην 5G-IIoT συμβατότητα απεικονίζονται παρακάτω.



Εικόνα 28. Ρυθμός δεδομένων εναντίον καθυστέρησης για τις διάφορες 5G-IIoT τεχνολογίες επικοινωνίας

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9826826>



Εικόνα 29. Τεχνικές της 5G προτυποποίησης οι οποίες συνεισφέρουν στο 5G-IIoT

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9826826>

Εφαρμογές του 5G-IIoT όσον αφορά το URLLC στο eMBB

Με την ανάδυση του 5G/B5G, ορισμένες IIoT εφαρμογές όπως η έξυπνη βιομηχανία, οι έξυπνες πόλεις στα πλαίσια ενός έξυπνου δικτύου, καθώς τα ευφυή δίκτυα κερδίζουν συγκεκριμένα προνόμια από τα επιφανή χαρακτηριστικά τους π.χ. το eMBB και το URLLC είναι δύο αξιοσημείωτες υπηρεσίες για τις IIoT εφαρμογές. Το eMBB εκπληρώνει την προϋποθέση της ευρυζωνικότητας των εντατικών σε δεδομένα IIoT εφαρμογών, λ.χ. το AR, το VR, καθώς και βιομηχανική παρακολούθηση βίντεο. Επιπρόσθετα, το eMBB προσφέρει έναν πολύ μεγαλύτερο ρυθμό δεδομένων μέχρι και την τάξη των Gbps.

6.3 Τεχνολογίες ενεργοποίησης και των στάνταρ για την ανταλλαγή μεταξύ του URLLC και του eMBB

Πολλές υπάρχουσες τεχνολογίες διαχειρίζονται την ανταλλαγή μεταξύ του URLLC και του eMBB. Παρόλα αυτά, παραμένει μία ερώτηση ανοιχτής έρευνας προκειμένου να αποκτήσει ένα βέλτιστο σημείο ανταλλαγής.

1) ΤΤΙ

Το ΤΤΙ στο LTE και το 5G NR μειώνεται στο 0.125 ms και το 1 ms, και αντιστοίχως συστήνοντας πιο φαρδιές διατάξεις μεταξύ των υπο-μεταφορέων. Η περαιτέρω βελτίωση η οποία αποκομίζεται μειώνοντας το RTT μεταξύ των HARQ επαναμεταδόσεων, το οποίο τελικά θα οδηγήσει σε μία σημαντική μείωση της καθυστέρησης. Με απώτερο στόχο την ικανοποίηση των περιορισμών του QoS σε αξιοπιστία, ο ελάχιστος χρόνος θα έπρεπε να καταναλωθεί κατά τη διάρκεια των HARQ μεταδόσεων. Παρόλα αυτά, η μείωση στη διάρκεια των συμβόλων και των αναπτυγμένων κενών μεταξύ των υπο-

φορέων, μειώνει επίσης τον επιτυγχάμενο ρυθμό και τις διαθέσιμες πηγές για τη μετάδοση. Επομένως, η ανταλλαγή αυτή είναι επιτακτική μεταξύ των πηγών των υπο-φορέων και της καθυστέρησης και των πηγών των υπο-φορέων.

2) Σύνθετο eMBB και URLLC

Για ένα αποδοτικό και βελτιστοποιημένο σύστημα, η διαίρεση των πηγών είναι στατική ή ημι-στατική μεταξύ του eMBB και του URLLC. Τυπικά, η υψηλή συχνότητα προαπαιτείται προκειμένου να επιτευχθεί ένας υψηλός βαθμός αξιοπιστίας πέραν της χαμηλής καθυστέρησης. Παρόλα αυτά, τα ευφυή και βελτιστοποιημένα σχήματα προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση πακετών χαμηλής καθυστέρησης, το ίδιο χρονικό διάστημα που το eMBB “χαλαρώνει”.

3) Δικτυακή διαστρωμάτωση και προσωρινή αποθήκευση του Edge

Ο υπολογισμός του cloud καθώς και το edge-caching, έχουν μετατοπίσει και μοιραστεί το φορτίο του δικτύου στις άκρες, και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η καθυστέρηση του URLLC. Παράλληλα, το επιπρόσθετο εύρος ζώνης καθώς και οι πηγές του caching έχουν αποκτηθεί μέσω της διαστρωμάτωσης δικτύων. Οι τεχνικές αυτές έχουν προσφέρει ένα σημαντικό boost σε ευαίσθητες εφαρμογές όπως το AR και το VR.

4) ML και AI

Το ML έχει αποκτήσει συντριπτική προσοχή από την επιστημονική κοινότητα κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Τυπικά, το ML εκτελεί τα σετ των παγκόσμιων δεδομένων για την αναδρομή και την κατηγοριοποίηση προκειμένου να προσεγγίσει μία λύση. Το AI μαζί με το ML, έχει παραδώσει ένα αξιόλογο κέρδος για τις QoS προϋποθέσεις του URLLC, επιλύοντας ένα ζήτημα σε μία κατανεμημένη μόδα, και επίσης αναφέρεται ως ένα AI και ML στην άκρη αλλά και στη συσκευή.

Ως το IIoT παρουσιάζεται, ο επαγγελματικός κόσμος αλλάζει ριζικά. Ο συνδιασμός ML/AI και το IIoT έχει την προοπτική να επανασχηματίσει τον τρόπο λειτουργίας των βιομηχανιών, των εταιριών και οικονομιών. Το ML/AI συμπέρασμα μπορεί να συμπληρώσει ή να αντικαταστήσει χειροκίνητες διεργασίες από αυτοματοποιημένα συστήματα χρησιμοποιώντας στατιστικά παράγωγες πράξεις στα πλαίσια ορισμένων κριτικών διεργασιών. Οι εταιρίες χρησιμοποιούν το ML/AI για το IIoT προκειμένου να εκτελέσει προγνωστικές ικανότητες σε μία ευρεία ποικιλία ορισμένων περιπτώσεων χρήσης οι οποίες επιτρέπουν την εταιρία να αποκτήσει μία νέα γνώση. Το ML/AI στα πλαίσια του IIoT μπορεί να ενσωματωθεί και να μεταμορφώσει τα δεδομένα σε ένα λογικό φόρματ. Αυτό μπορεί να χτίσει ένα ML/AI μοντέλο για την προσφορά ωφέλιμων

πληροφοριών. Το ML/AI στα πλαίσια του IIoT είναι ικανό να βελτιώσει τη λειτουργική αποδοτικότητα αποκαλύπτοντας ποια βήματα είναι περιττά και χρονοβόρα, και ποιες διεργασίες μπορούν να βελτιστοποιηθούν και να διαμορφωθούν πιο αποδοτικά. Μπορεί επίσης να παρέχει έλεγχο τόσο της μηχανής όσο και του λογισμικού χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, εκμηδενίζοντας τα λάθη και βελτιώνοντας την ακρίβεια. Δεν πρόκειται για υπερβολή να αναφερθεί πως το ML/AI και το IIoT είναι τα θεμέλια μίας προγνωστικής συντήρησης. Η προγνωστική αναλυτική πρόκειται για έναν τύπο ανάλυσης η οποία εξετάζει τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα και προβλέπει πιθανά μελλοντικά γεγονότα βάσει συγκεκριμένων γνώσεων. (*Rahmadika S., 2019*)

5) Παραχώρηση ελεύθερης πρόσβασης

Στο συνεχή προγραμματισμό, η ταχεία πρόσβαση στις πηγές της υψηλής προτεραιότητας είναι υποχρεωτική. Παρόλα αυτά, σε ημι-συνεχείς πηγές που δεν χρησιμοποιούνται, πρέπει να κατανεμηθεί στις επιμέρους eMBB εφαρμογές. Σε γενική επιτρεπόμενη πρόσβαση, το BS ελέγχει τις πηγές. Ωστόσο, στα πλαίσια της πρόσβασης αυτής η διαδικασία ανάθεσης των πηγών παραλείπεται πράγμα το οποίο τελικά βελτιώνει την καθυστέρηση του URLLC.

Συμπεράσματα

Εν κατακλείδι, υπήρξαν διάφορα συμπεράσματα τα οποία αποκομίστηκαν μέσα από την συγγραφή της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας. Σε πρώτη φάση, μέσα από την ανάλυση τόσο των προηγούμενων όσο και των μελλοντικών τεχνολογιών αντλήθηκαν διάφορες γενικές γνώσεις όσον αφορά τα δίκτυα, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν. Επιπρόσθετα, μέσα από την ενασχόληση μας σχετικά με τις τηλεπικοινωνίες εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης και εξαιρετικά υψηλής αξιοπιστίας (URLLCs) συνειδητοποιήσαμε πως παρότι η φύση των δικτύων αυτών κρίνεται πολύ απαιτητική είναι σίγουρο πως θα είναι οι θεμέλιοι λίθοι και των επόμενων γενιών των τηλεπικοινωνιών, γεγονός που τις χρήζει ακόμα πιο καίριες. Επιπροσθέτως, όλες οι βιομηχανίες από κοινού έχουν συμβάλλει τόσο παροντικά όσο και μελλοντικά, στα πλαίσια ενός αυτοματοποιημένου περιβάλλοντος το οποίο επρόκειτο να λειτουργήσει ως πυλώνας των μελλοντικών τηλεπικοινωνιών. Σε συμπερασματικό στάδιο, πέραν των εξειδικευμένων, γενικότερες γνώσεις πάνω στον χώρο των δικτύων καθώς μεγαλώνουμε σε μια ραγδαία αναπτυσσόμενη και εξελίξιμη τεχνολογική κοινωνία, στα πλαίσια της οποίας η διαβίωση μας θα είναι πολύ πιο ουσιώδης και ποιοτική με τη συνεισφορά των δικτύων αυτών.

Βιβλιογραφία

- Anand, A., De Veciana, G., & Shakkottai, S. (2020). Joint scheduling of URLLC and eMBB traffic in 5G wireless networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 28(2), 477-490.
- Ali, R., Zikria, Y. B., Bashir, A. K., Garg, S., & Kim, H. S. (2021). URLLC for 5G and beyond: Requirements, enabling incumbent technologies and network intelligence. *IEEE Access*, 9, 67064-67095.
- D'Errico, L., Franchi, F., Graziosi, F., Marotta, A., Rinaldi, C., Boschi, M., & Colarieti, A. (2019, April). Structural health monitoring and earthquake early warning on 5G uRLLC network. In *2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 783-786). IEEE.
- Franchi, F., Marotta, A., Rinaldi, C., Graziosi, F., & D'Errico, L. (2019, December). IoT-based disaster management system on 5G uRLLC network. In *2019 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)* (pp. 1-4). IEEE.
- Gattulli, V., Franchi, F., Graziosi, F., Marotta, A., Rinaldi, C., Potenza, F., & Sabatino, U. D. (2022). Design and evaluation of 5G-based architecture supporting data-driven digital twins updating and matching in seismic monitoring. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20(9), 4345-4365.
- Khan, B. S., Jangsher, S., Ahmed, A., & Al-Dweik, A. (2022). URLLC and eMBB in 5G Industrial IoT: A survey. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 3, 1134-1163.
- Li, Z., Uusitalo, M. A., Shariatmadari, H., & Singh, B. (2018, August). 5G URLLC: Design challenges and system concepts. In *2018 15th international symposium on wireless communication systems (ISWCS)* (pp. 1-6). IEEE.
- Popovski, P., Trillingsgaard, K. F., Simeone, O., & Durisi, G. (2018). 5G wireless network slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A communication-theoretic view. *IEEE Access*, 6, 55765-55779.
- Rahmadika, S., Lee, K., & Rhee, K. H. (2019, August). Blockchain-enabled 5g autonomous vehicular networks. In *2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)* (pp. 275-280). IEEE.
- Sun, H., Yang, J., Su, J., Wang, H., & Liu, D. (2021, November). Joint Resource Scheduling for Coexistence of URLLC and eMBB in 5G Wireless Networks. In *2021 Computing, Communications and IoT Applications (ComComAp)* (pp. 53-58). IEEE.
- Ohta, Y., Takechi, R., Takahashi, H., & Atsuta, R. (2020, May). NR-WLAN aggregation: Architecture for supporting URLLC in 5G IoT networks. In *2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)* (pp. 1-5). IEEE.
- Ghosh, A., Maeder, A., Baker, M., & Chandramouli, D. (2019). 5G evolution: A view on 5G cellular technology beyond 3GPP release 15. *IEEE access*, 7, 127639-127651.

S