



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάλυση και αξιολόγηση των υπάρχουσών τεχνολογιών για την υλοποίηση
Εξαιρετικής Αξιοπιστίας και Χαμηλής Καθυστέρησης στις Επικοινωνίες (Ultra-
Reliable Low Latency Communications – URLLC)**

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ
A.M. mscacs22027

Επιβλέπων Καθηγητής;
Δρ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΥΡΟΜΜΑΤΗΣ

Αθήνα 2024

Εξεταστική επιτροπή:

<p>Κωνσταντίνος Μαυρομάτης Επιβλέπων Καθηγητής</p>	<p>Ιωάννης Βογιατζής Καθηγητής</p>	<p>Χρήστος Τρούσσας Επίκουρος Καθηγητής</p>
--	--	---

Ημερομηνία εξέτασης 10/04/2024

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Παναγιώτης Χρονόπουλος του Ανδρέα, με αριθμό μητρώου mscacs22027 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

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

Ο Δηλών
Παναγιώτης Χρονόπουλος



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώθηκε μετά από επίμονες προσπάθειες, σε ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο, όπως αυτό της επεξεργασίας κειμένου. Την προσπάθειά μου αυτή υποστήριξε ο επιβλέπων καθηγητής μου, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο "Ανάλυση και αξιολόγηση των υπάρχουσών τεχνολογιών για την υλοποίηση Εξαιρετικής Αξιοπιστίας και Χαμηλής Καθυστέρησης στις Επικοινωνίες (Ultra-Reliable Low Latency Communications – URLLC)" έχει ως στόχο να εξετάσει εκτενώς τις σύγχρονες τεχνολογίες που διαμορφώνουν το πεδίο των επικοινωνιών, εστιάζοντας στην επίτευξη αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης.

Αρχικά, παρουσιάζεται η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών, εστιάζοντας στη μετάβαση από το 4G στο 5G. Αναλύονται οι βασικές αρχές της αρχιτεκτονικής του 5G, καθώς και τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά όπως MIMO, HARQ, και mMTC.

Ειδικότερα, εξετάζονται οι τεχνολογίες LTE-NR που αποτελούν τον πυρήνα των επικοινωνιών 5ης γενιάς. Στη συνέχεια, εστιάζεται στις εφαρμογές της URLLC, όπως η βιομηχανία του διαδικτύου, η υγεία, τα αυτόνομα οχήματα και άλλα σενάρια χρήσης που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία.

Το κύριο ζητούμενο είναι η κριτική ανασκόπηση και αξιολόγηση των υπάρχουσών τεχνολογιών, με έμφαση στα πλεονεκτήματα και περιορισμούς κάθε μιας. Το έργο ολοκληρώνεται με μια προοπτική για μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα της URLLC, προσφέροντας έτσι μια ολοκληρωμένη εικόνα των προοπτικών της τεχνολογίας.

Η εξασφάλιση εξαιρετικά αξιόπιστης και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίας (URLLC) για ασύρματα δίκτυα 5G και πέραν αυτού είναι κεφαλαιώδους σημασίας και λαμβάνει επί του παρόντος τεράστια προσοχή στην ακαδημαϊκή κοινότητα και τη βιομηχανία. Στον πυρήνα της, η URLLC επιβάλλει την απομάκρυνση από τις αναμενόμενες προσεγγίσεις σχεδιασμού δικτύων με βάση τη χρησιμότητα, στις οποίες η στήριξη σε μέσες ποσότητες (π.χ. μέση απόδοση, μέση καθυστέρηση και μέσος χρόνος απόκρισης) δεν είναι επιλογή, αλλά μια αναγκαιότητα. Αντ' αυτού, είναι ένα πλαίσιο αρχών κλιμακούμενο, το οποίο λαμβάνει υπόψη καθυστέρηση, την αξιοπιστία, το μέγεθος των πακέτων, την αρχιτεκτονική του δικτύου και την τοπολογία (σε πρόσβαση, άκρο και πυρήνα) και την απόφαση - λήψη αποφάσεων, υπό συνθήκες αβεβαιότητας λείπει πολύ. Ο γενικός στόχος αυτού του άρθρου είναι ένα πρώτο βήμα για την κάλυψη αυτού του κενού.

Προς την κατεύθυνση αυτού του οράματος, αφού δώσουμε ορισμούς για την καθυστέρηση και την αξιοπιστία, εξετάζουμε προσεκτικά διάφορους παράγοντες ενεργοποίησης του URLLC και τις εγγενείς τους αντισταθμίσεις. Στη συνέχεια, εστιάζουμε την προσοχή μας σε μια πληθώρα τεχνικών και μεθοδολογιών που αφορούν τις απαιτήσεις της εξαιρετικά αξιόπιστης και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίας, καθώς και στις εφαρμογές τους μέσω επιλεγμένων περιπτώσεων χρήσης. Τα αποτελέσματα αυτά παρέχουν σαφείς γνώσεις για το σχεδιασμό χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας ασύρματων δικτύων.

ABSTRACT

The thesis entitled "Analysis and Evaluation of Existing Technologies for Realizing Ultra-Reliable Low Latency Communications (URLLC)" aims to comprehensively examine the current technologies that are shaping the field of communications, focusing on achieving reliability and low latency.

First, the evolution of telecommunication technologies is presented, focusing on the transition from 4G to 5G. The basic principles of 5G architecture are analyzed, as well as the most important features such as MIMO, HARQ, and mMTC.

In particular, the LTE-NR technologies at the core of 5th generation communications are examined. It then focuses on URLLC applications such as industrial internet, healthcare, autonomous vehicles and other usage scenarios that require low latency and high reliability.

The main focus is to critically review and evaluate existing technologies, with an emphasis on the advantages and limitations of each. The project concludes with a perspective on future developments in the URLLC field, thus offering a comprehensive view of the technology's potential.

Ensuring highly reliable and low-latency communication (URLLC) for 5G wireless networks and beyond is of capital importance and is currently receiving tremendous attention in academia and industry. At its core, URLLC necessitates a move away from expected utility-based network design approaches, in which reliance on average quantities (e.g., average throughput, average delay, and average response time) is not an option but a necessity. Instead, a principled and scalable framework that takes into account latency, reliability, packet size, network architecture and topology (at the access, edge and core), and decision making under uncertainty is sorely lacking. The overall goal of this paper is a first step to fill this gap.

Towards this vision, after providing definitions of delay and reliability, we carefully consider various URLLC triggers and their inherent trade-offs. We then focus our attention on a variety of techniques and methodologies that address the requirements of highly reliable and low-latency communication, as well as as their applications through selected use cases. These results provide clear insights for the design of low-latency and high-reliability wireless networks.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	17
2.1 Από το 1G στο 4G.....	17
2.2 Η δεύτερη γενιά (2G)	17
2.3 Η τρίτη γενιά (3G)	18
2.4 Η ITU	18
3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G	20
3.1 Συνολική αρχιτεκτονική συστήματος 5G	21
3.2 Συνολική αρχιτεκτονική RAN	23
3.3 Αρχιτεκτονική κεντρικού δικτύου	25
3.4 5G/NR - Αρχιτεκτονική στοίβας ραδιοφωνικών πρωτοκόλλων	25
3.4.1 Επισκόπηση υψηλού επιπέδου	25
3.4.2 Ροή μηνυμάτων στο σύστημα.....	27
3.4.3 Επισκόπηση της στοίβας ραδιοεπικοινωνιών L2.....	28
3.4.4 Στρώμα PHY	30
3.5 Massive MIMO τεχνολογία.....	30
3.5.1 Τι είναι το Massive MIMO;	31
3.5.2 Massive MIMO τεχνικές.....	31
3.5.3 Τα οφέλη του Massive MIMO	35
3.5.4 Το μέλλον του Massive MIMO	35
3.6 Το 5G στο IoT	36
3.6.1 Υγειονομική περίθαλψη	38
3.6.2 Έξυπνη Πόλη	39
3.6.3 Έξυπνα Drones	41
3.6.4 Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα	43
3.6.5 Ηλεκτρονικό εμπόριο	44
3.6.6 Ο ρόλος του 5G στο δίκτυο οχημάτων για έξυπνα οχήματα σε έξυπνες πόλεις.....	45
3.6.7 Προχωρημένες εφαρμογές και υπηρεσίες IoV.....	46
3.6.8 Ποια είναι τα οφέλη του 5G για το IoT;	47

3.6.9 Βασικά πλεονεκτήματα του 5G για το IoT.....	48
3.6.10 Περιπτώσεις χρήσης 5G στο IoT.....	48
3.6.11 Πώς το 5G ανοίγει νέες ευκαιρίες στο IoT.....	49
3.6.12 Μελλοντικές προοπτικές για τις τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας.....	50
3.7 Μειονεκτήματα της τεχνολογίας 5G.....	51
4. URLLC.....	54
4.1 URLLC: Τι είναι και πώς λειτουργεί.....	55
4.1.1 Βασικοί παράγοντες για το URLLC.....	55
4.2 Εξελιγμένες νέες αρχιτεκτονικές για να ανταποκριθούν σε νέες απαιτήσεις.....	62
4.3 Σχεδιασμός χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας.....	64
4.4 Ενοποιημένο πλαίσιο διεπαφής αέρα για URLLC.....	64
4.5 Απαιτήσεις και KPIs για την 5G URLLC.....	64
4.6 Σχεδιασμός στρώματος PHY/MAC για 5G URLLC.....	65
4.6.1 Low Latency.....	66
4.6.2 Συχνές ευκαιρίες μετάδοσης:.....	67
4.6.3 Ευέλικτης μετάδοσης Διάρκεια:.....	67
4.6.4 Μειωμένος χρόνος επεξεργασίας στο UE/gNB:.....	69
4.6.5 Δομή του καναλιού δεδομένων:.....	69
4.6.6 Κωδικοποίηση καναλιού.....	70
4.6.7 Μεταδόσεις UL χωρίς επιχορήγηση:.....	71
4.6.8 Ευέλικτη δομή πλαισίου για TDD:.....	71
4.7 Υψηλή αξιοπιστία.....	72
4.8 Πολυπλεξία URLLC και άλλης κυκλοφορίας.....	73
4.8.1 Επίδραση ουράς της κυκλοφορίας URLLC.....	73
4.8.2 Σχεδίαση δυναμικής πολυπλεξίας:.....	76
4.9 Σχεδιασμός ανώτερου στρώματος και αρχιτεκτονική δικτύου για 5G URLLC.....	78
4.10 QoS.....	79
4.11 Mobile Edge Computing (MEC).....	81
4.12 Υψηλή αξιοπιστία από πλεονεκτήματα μετάδοσης σε επίπεδο χρήστη.....	82
4.13 Ενεργοποιητές υπολογιστικής άκρων.....	83
4.14 Υποστήριξη χαμηλής καθυστέρησης με μια νέα κατάσταση RRC_INACTIVE.....	86
4.15 Απόδοση, πιθανές βελτιώσεις και προκλήσεις.....	87
4.16 Θέματα ασφαλείας.....	88

4.16.1 Άλλες βασικές διαφορές από το EPS (σύστημα 4G)	89
4.17 Πολυπλεξία UL eMBB και URLLC	90
4.17.1 Η ένδειξη επικάλυψης και η ρητή ανατροφοδότηση HARQ ACK	92
4.18 Αναδυόμενες εφαρμογές URLLC	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1-1 ΠΟΛΥΑΡΙΘΜΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟ NR 5G	15
ΕΙΚΟΝΑ 2-1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	17
ΕΙΚΟΝΑ 3-1 ΡΟΛΟΙ ΤΩΝ ΜΕΡΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ 5G	21
ΕΙΚΟΝΑ 3-2 ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	23
ΕΙΚΟΝΑ 3-3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ RAN	23
ΕΙΚΟΝΑ 3-4 INTERFACE / TRANSPORT	25
ΕΙΚΟΝΑ 3-5 PROTOCOL STACK	26
ΕΙΚΟΝΑ 3-6 RADIO ACCESS – CORE NETWORK	27
ΕΙΚΟΝΑ 3-7 ΡΟΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	28
ΕΙΚΟΝΑ 3-8 ΣΤΟΙΒΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ	29
ΕΙΚΟΝΑ 3-9 ΣΤΡΩΜΑ ΡΗΥ	30
ΕΙΚΟΝΑ 3-10 ΈΝΑ ΡΑΔΙΟΣΗΜΑ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΑΡΕΙ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΟΜΠΟΥ ΚΑΙ ΔΕΚΤΗ ---	32
ΕΙΚΟΝΑ 3-11 ΤΟ BEAMFORMING ΕΣΤΙΑΖΕΙ ΕΝΑ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΣΗΜΑ ΣΕ ΜΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ -----	33
ΕΙΚΟΝΑ 3-12 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΕΝΟΣ ΜΑΖΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΙΜΟ	34
ΕΙΚΟΝΑ 3-13 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ 5G	37
ΕΙΚΟΝΑ 3-14 5G HEALTH	38
ΕΙΚΟΝΑ 3-15 5G SMART CITY	39
ΕΙΚΟΝΑ 3-16 5G DRONES	42
ΕΙΚΟΝΑ 3-17 ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	46
ΕΙΚΟΝΑ 3-18 ΙΟΥ APPLICATIONS	47
ΕΙΚΟΝΑ 3-19 5G ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	48
ΕΙΚΟΝΑ 3-20 ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΤΙΤΛΟ	49
ΕΙΚΟΝΑ 3-21 5G EDGE COMPUTING	50
ΕΙΚΟΝΑ 3-22 ΣΗΜΑΝΣΗ ΤΩΝ URLLC UES ΓΙΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΜΕ ΤΑ EMBB UES ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ CG	51
ΕΙΚΟΝΑ 4-1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	55
ΕΙΚΟΝΑ 4-2 ΤΤΙ BUNDLING	56
ΕΙΚΟΝΑ 4-3 CONNECTED INTELLIGENT EDGE	58
ΕΙΚΟΝΑ 4-4 ΝΟΜΑ	59
ΕΙΚΟΝΑ 4-5 LEO/MEO	60
ΕΙΚΟΝΑ 4-6 FDD - TDD	61
ΕΙΚΟΝΑ 4-7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΧΑΜΗΛΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΚΑΙ ΥΨΗΛΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ -----	62
ΕΙΚΟΝΑ 4-8 Ε2Ε LATENCY	63
ΕΙΚΟΝΑ 4-9 SCENARIOS	65

ΕΙΚΟΝΑ 4-10 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ DL ΚΑΙ ΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	66
ΕΙΚΟΝΑ 4-11 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΣΧΙΣΜΗΣ ΚΑΙ ΜΙΝΙ ΣΧΙΣΜΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΥΠΟΦΕΡΟΝΤΩΝ	68
ΕΙΚΟΝΑ 4-12 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	68
ΕΙΚΟΝΑ 4-13 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΕΜΒΒ ΚΑΙ URLLC	69
ΕΙΚΟΝΑ 4-14 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ HARQ ROUND-TRIP ΜΕ ΕΠΙΘΕΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ UE ΚΑΙ ΣΤΟΝ GNB	70
ΕΙΚΟΝΑ 4-15 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΕΡΔΟΥΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΤΑΧΥΤΕΡΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ HARQ	71
ΕΙΚΟΝΑ 4-16 ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ, ΧΡΗΣΗΣ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΥ ΑΦΙΞΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΥΡΑΣ M/D/M/M ΜΕ M=10	75
ΕΙΚΟΝΑ 4-17 Ο ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΦΙΞΗΣ POISSON ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΠΟΡΩΝ ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΟΥ $P_{LOSS}=1E-5$ ΣΕ ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΜΟΝΗΣ M/D/M/M	75
ΕΙΚΟΝΑ 4-18 ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ DL PREEMPTION	77
ΕΙΚΟΝΑ 4-19 ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ PRE-EMPTION INDICATION	77
ΕΙΚΟΝΑ 4-20 ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗ UL PRE-EMPTION	78
ΕΙΚΟΝΑ 4-21 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΧΡΗΣΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΗ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΖΕΥΞΗΣ	86
ΕΙΚΟΝΑ 4-22 UE USEFUL PATH GAIN STATISTICS FOR DL SETUP, IMT-2020 URLLC UMA CONFIG A/B IN CHANNEL MODEL A/B	88
ΕΙΚΟΝΑ 4-23 UE USEFUL PATH GAIN STATISTICS FOR UL SETUP, IMT-2020 URLLC UMA CONFIG A/B IN CHANNEL MODEL A/B	88
ΕΙΚΟΝΑ 4-24 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	89
ΕΙΚΟΝΑ 4-25 ΣΥΓΚΡΟΥΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ UL URLLC CG ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΕΜΒΒ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΙΠΛΗΣ ΔΙΑΙΡΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (FDD)	91
ΕΙΚΟΝΑ 4-26 ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ	94

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

3GPP	Third-Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation mobile communications
5G	Next generation mobile communications
5Qis	5G Quality of Service Indicators
AC	Authentication Confirmation
ACK	Acknowledgment
AF	Application Function
AKA	Authentication and Key Agreement
AMF	Access Mobility Function
AN	Access Network
AR	Augmented Reality
ARP	Address Resolution Protocol
AS	Access Stratum
ARPF	Authentication credential Repository and Processing Function
AUSF	Authentication Server Function
BLER	Block Error Rate
CA	Carrier Aggregation
CBG	Cod Block Group
CDG	Cumulative Distribution Function
CN	Core Network
CQI	Channel Quality Indication
CSI	Channel State Information
CU	Control Unit
DCI	Downlink Control Information
DL	Downlink
DMRS	DeModulation Reference Signal
DN	Data Node or Data Network
DNAI	Dynamic Network Access Identifier
DNN	Data Network Name
DRB	Digital Radio Broadcasting
DU	Distributed Units
EAP	Extensible Authentication Protocol
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
EPS	Evolved Packet System
FDD	Frequency-Division Duplexing
GBR	Guaranteed Bit Rate
GFBR	Guaranteed Flow Bit Rate
gNB	Next-Generation NodeB

GPSI	General Purpose Serial Interface
GUTI	Global Universal Transport Interface
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
I-UPF	Inter User Plane Function
ICP	Internet Content Provider
IE	Initial UE identity
IEs	Internet Elements
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IoT	Internet of Things
ISP	Internet Service Provider
KAMF	Key Access & Mobility Function
KSEAF	Key Security & Anchor Function
KPI	Key Performance Indicator
LAN	Local Area Network
LCP	Logical Channel Prioritization
LCH	Logical Channel
LDPC	Low-Density Parity Check
LLC	Low Latency Communications
LLS	Low Latency Socket
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MBSFN	Multimedia Broadcast multicast service Single Frequency Network
MCC	Mobile Country Code
MCS	Modulation Coding Scheme
MEC	Multi-access Edge Computing
MFBR	Max Flow Bit Rate
MNC	Mobile Network Codes
MO/MT	Mobile Originating/Mobile Terminating
MR	Mixed Reality
MSC	Mobile Switching Center
MSIN	Mobile Subscription Identification Number
MTC	Machine-Type Communications
NAI	Network Access Identifier
NAK	Negative Acknowledgment
NAS	Non-Access Stratum
NEF	Network Element Function

NF	Network Functions
NFV	Network Functions Virtualization
NG-RAN	Next Generation Radio Access Network
NSSAI	Network Slice Selection Assistance Information
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDN	Packet Data Network
PDSCH	Packet Data Shared CHannel
PDU	Protocol Data Unit
PGW	PDN Gateway
PHY	Physical Layer
PCF	Point Coordination Function
PDCCH	Physical Downlink Control CHannel
PLMN	Public Land Mobile Network
PRB	Physical Resource Block
PUCCH	Physical Uplink Control CHannel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QCI	QoS class identifier
QFI	Quality of service Flow ID
QoS	Quality of Service
RA	Radio Access
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RB	Resource Block
RFC	Remote Function Cell
RLC	Radio Link Control
RLF	Remote Line Failure
RNA	RAN Notification Area
RQA	Reflective QoS Attribute
RQoS	Reflective QoS
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RTT	Round-Trip Transmission
TA	Tracking Area
Tx	Transmitter
RAT	Radio Access Technology
Rx	Receiver

S/NR	Signal to Noise Ratio
SCS	Subcarrier Spacing
SDAP	Service Data Adaption Protocol
SDF	Service Data Flow
SDN	Software-Defined Networking
SDU	Service Rata Unit
SEAF	SEcurity Anchor Function
SGW	Serving GateWay
SINR	Signal-To-Interference-Plus-Noise Ratio
SMC	Security Mode Command
SMF	Session Management Function
SNR	Signal-To-Noise Ratio
SPS	Signaling Protocols & Switching
SR	Scheduling Request
SSC	Session and Service Continuity
SUCI	SUBscription Concealed Identifier
SUPI	SUBscription Permanent Identifier
TA	Timing Advance (Parameter)
TBS	Transmission Block Selection
TDD	Time-Division Duplexing
TTI	Transmission Time Interval
TX	Transmit
UCI	Universal Communications Identifier
UDM	Unified Data Management
UE	User Equipment
UL	Uplink
UL CL	Uplink Classifier
UP	User Plane
UPF	User Plane Function
URA	UTRAN Registration Areas
URLLC	Ultra-Reliable, Low-Latency Communications
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VR	Virtual Reality

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Κατανόηση του πλαισίου της URLLC
- Σημασία υψηλής αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης στις επικοινωνίες
- Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Νέες υπηρεσίες και εφαρμογές που απαιτούν χαμηλότερη καθυστέρηση, καλύτερη αξιοπιστία, μαζική πυκνότητα σύνδεσης και βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση εμφανίζονται με έναν πρωτοφανή τρόπο. Διάφορα προηγμένα χαρακτηριστικά καθιστούν το 5G μοναδικά καλά προσαρμοσμένο για να ανταποκριθεί σε όλες αυτές τις απαιτήσεις και να εκμεταλλευτεί αυτές τις αγοραστικές ευκαιρίες. Ένα παράδειγμα είναι η **Εξαιρετικά Αξιόπιστη Επικοινωνία Χαμηλής Καθυστέρησης (URLLC)**, ένα σύνολο χαρακτηριστικών σχεδιασμένο για την υποστήριξη εφαρμογών κρίσιμων για την αποστολή, όπως το βιομηχανικό διαδίκτυο, οι έξυπνοι πίνακες, οι απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις και τα έξυπνα συστήματα μεταφορών. Με το 4G LTE, η καθυστέρηση βρίσκεται περίπου στα *4 milliseconds* στο πλαίσιο του 3GPP Release 14. Η URLLC είναι μέρος του Release 15 και έχει στόχο το *1 millisecond*. Η URLLC είναι επίσης ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν ασφάλεια από άκρο σε άκρο και αξιοπιστία 99,999%, και είναι σχεδόν προδιαγεγραμμένη χρονικά όσον αφορά τα όρια παράδοσης πακέτων. Αυτός ο συνδυασμός ικανοτήτων απαιτεί σχεδόν μια θεμελιώδη διαφορετική προσέγγιση στον σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος σε σύγκριση με τις προηγούμενες τεχνολογίες κινητής ασύρματης επικοινωνίας.

Αυτή η εργασία περιγράφει τις αρχές επίτευξης του URLLC, ενώ τις συγκρίνει με την παραδοσιακή μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στη θεωρία της πληροφορίας και της επικοινωνίας και εξηγεί γιατί απαιτείται μια νέα προσέγγιση. Επισημαίνει επίσης τις βασικές απαιτήσεις των υπηρεσιών URLLC και παρέχει μια επισκόπηση των επικοινωνιών URLLC με έμφαση στις τεχνικές προκλήσεις και λύσεις. Περαιτέρω, το παρόν έγγραφο εξετάζει τα εξής:

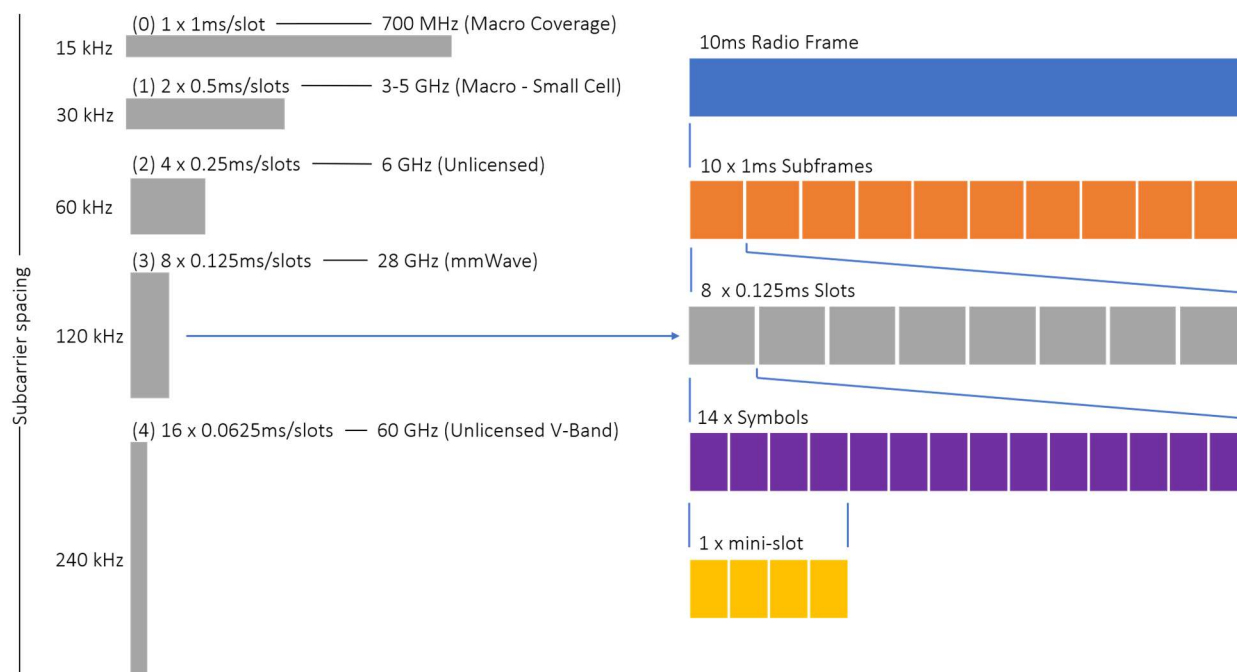
- Αρχές σχεδιασμού για την ενεργοποίηση των υπηρεσιών URLLC στο 5G, πολλές από τις οποίες έχουν εξεταστεί ως στοιχεία εργασίας στα πρότυπα 3GPP Release 15 και που θα αποτελέσουν μέρος της πρώτης έκδοσης για το 5G New Radio (NR)
- Ζητήματα φυσικού επιπέδου, τεχνολογίες που επιτρέπουν, δομή πακέτων και πλαισίων, σχήματα πολυπλεξίας, τεχνικές κωδικοποίησης και βελτίωσης της αξιοπιστίας
- Θεωρητική ανάλυση ουρών αναμονής και δεδομένα επιδόσεων που υποστηρίζουν το σχεδιασμό συστημάτων

- Τα δομικά στοιχεία σε ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας για την υποστήριξη συνδέσεων URLLC στο πλαίσιο βασικών εφαρμογών και υπηρεσιών

Η εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC), η οποία εισήχθη στην έκδοση 15 του 3GPP για την κάλυψη των απαιτήσεων του ITU-R M.2083, είναι ένας από τους βασικούς πυλώνες του 5G New Radio (NR). Ως το βασικό χαρακτηριστικό που απαιτείται για την υποστήριξη πυκνών δικτύων αισθητήρων από τελικά σημεία IoT, αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα για μια σειρά μοναδικών περιπτώσεων χρήσης στους τομείς της μεταποίησης, της μετάδοσης ενέργειας, των μεταφορών και της υγειονομικής περίθαλψης. Με την ανάγκη υποστήριξης καθυστερήσεων από άκρο σε άκρο τόσο χαμηλών όσο τα 5ms, ο προϋπολογισμός καθυστέρησης για μεμονωμένες διεπαφές μπορεί να είναι μόλις 1ms. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να γίνονται βελτιστοποιήσεις σε κάθε βήμα της διαδικασίας μετάδοσης της άνω και κάτω ζεύξης. Αν και εκτός του πεδίου εφαρμογής των προδιαγραφών 3GPP, η ανάγκη μείωσης των χρόνων απόκρισης της επεξεργασίας δεδομένων οδηγεί επίσης στην εμφάνιση στρατηγικών υπολογισμού άκρων με υψηλή κατανομή.

Η τεχνική προδιαγραφή (TS) 38.912 της 3GPP πραγματοποίησε μια μελέτη σχετικά με τη νέα τεχνολογία πρόσβασης ραδιοεπικοινωνίας (NR), η οποία έθεσε τις βάσεις για τις προδιαγραφές του προτύπου, όπως οι TS 38.201-202 και TS 38.2011-215. Αυτά τα έγγραφα περιγράφουν λεπτομερώς τα φυσικά κανάλια και τις τεχνικές διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια 5G. Πολλές από αυτές τις τεχνολογίες είτε απευθύνονται άμεσα σε επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης είτε καθορίζουν προσεγγίσεις που υποστηρίζουν τη συνύπαρξη δεδομένων χαμηλής καθυστέρησης και άλλων χαρακτηριστικών κίνησης, που συνήθως αναφέρονται ως πολυ-ομοιομορφία. Υπάρχουν πέντε σταθερές αριθμολογίες OFDM (απόσταση υποφερόντων) στο 5G, η πρώτη (0) επιτρέπει τη συνύπαρξη με το τρέχον ραδιόφωνο 4G/LTE και όλες μπορούν να αναμιχθούν στον πομπό για περαιτέρω ευελιξία. Χρησιμοποιώντας τον κλασικό ορισμό της αριθμολογίας, η παράμετρος του διαστήματος υποφερόντων μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με το συμβάν ανάπτυξης. Για παράδειγμα, μια μακροκυψέλη 700MHz που χρησιμοποιεί απόσταση 15 kHz για ευρεία κάλυψη ή μια μικροκυψέλη mmWave 28 GHz που χρησιμοποιεί απόσταση 120 kHz για την παροχή ενισχυμένης κινητής ευρυζωνικότητας (eMBB).

Ανάλυση και αξιολόγηση URLLC



Εικόνα 1-1 Πολυαριθμολογία στο NR 5G

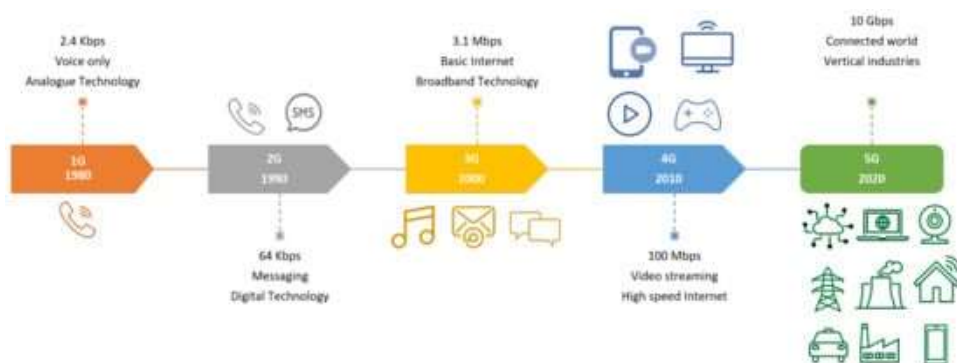
Ειδικότερα για την αντιμετώπιση του ζητήματος των επικοινωνιών χαμηλής καθυστέρησης, το νέο ραδιόφωνο επιτρέπει ένα μεταβλητό χρονικό διάστημα μετάδοσης (TTI) το οποίο μπορεί να κλιμακωθεί από 1ms, την (συμβατή) ρύθμιση που είναι σταθερή στο LTE, έως ~140 μικροδευτερόλεπτα, ανάλογα με το αν ο στόχος είναι η φασματική αποδοτικότητα (eMBB) ή η χαμηλή καθυστέρηση (URLLC). Ο μέγιστος αριθμός αναμεταδόσεων μπορεί επίσης να ρυθμιστεί ανάλογα με τον τύπο της κίνησης (π.χ. 2 για URLLC και 4 για eMBB). Επιπλέον, ως μπόνους, το NR επιτρέπει την πολυπλεξία διαφορετικών TTI στην ίδια συχνότητα, έτσι ώστε το φάσμα να μπορεί να διαμοιραστεί χωρίς η ευαίσθητη στην καθυστέρηση κυκλοφορία να κολλάει περιμένοντας να ολοκληρωθούν οι πιο αργές μεταδόσεις. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση των συστοιχιών κεραιών MIMO υποστηρίζουν επίσης τις εξελίξεις στη μείωση των καθυστερήσεων, συγκεκριμένα το αυτοτελές ολοκληρωμένο υποπλαίσιο, όπου οι μεταδόσεις από την κεραία RF και οι επιβεβαιώσεις από τον εξοπλισμό χρήστη πραγματοποιούνται στο ίδιο υποπλαίσιο.

Υπάρχει και μια άλλη τροποποίηση στη δομή του πλαισίου NR, που περιγράφεται στο TS 38.912, η οποία συμβάλλει σημαντικά στην παράδοση του URLLC. Κάθε σχισμή μετάδοσης περιλαμβάνει 14 σύμβολα OFDM και κάθε σύμβολο OFDM αντιπροσωπεύει μια μεμονωμένη ροή bit που χρησιμοποιεί τετραγωνική διαμόρφωση φάσης (QPSK / 4-QAM) ή 16, 64 ή 128 αστερισμούς τετραγωνικής διαμόρφωσης πλάτους (QAM). Με αριθμολογίες που χρησιμοποιούν ευρύτερες υποφέρουσες και υψηλότερες τάξεις διαμόρφωσης QAM, οι προδιαγραφές 5G μας επιτρέπουν να δημιουργήσουμε μια μίνι-θυρίδα από ένα υποσύνολο (π.χ. 2 ή 4) των μεμονωμένων συμβόλων OFDM. Αυτό παρέχει τη δυνατότητα εξυπηρέτησης κρίσιμων ροών κίνησης με λεπτή κοκκομετρία χρονοπρογραμματισμού για τη μείωση της καθυστέρησης

μετάδοσης. Όσο χαμηλότερη είναι η ταχύτητα μετάδοσης, τόσο μικρότερη γίνεται η απόσταση υποφερόντων και τόσο λιγότερες μίνι-θυρίδες ανά θυρίδα μπορούμε να δημιουργήσουμε. Ενώ αυτή η εξάρτηση από τα κύματα mmWaves μπορεί να κάνει τους αρνητές του 5G να αμφισβητούν την αξία των mini-slots, η πλειονότητα των πρώιμων εφαρμογών URLLC θα προέρχεται από ελεγχόμενα περιβάλλοντα παραγωγής επιχειρήσεων, όπου η χρήση των υψηλότερων ζωνών θα είναι ευκολότερη και επομένως πιο διαδεδομένη.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι τηλεπικοινωνίες χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους και μέσα, τα οποία μπορεί να είναι ασύρματα και ενσύρματα, για την υποστήριξη της επικοινωνίας πληροφοριών σε απόσταση μεταξύ δύο ή περισσότερων κόμβων που σχηματίζουν ένα δίκτυο. Η επανάσταση των τηλεπικοινωνιών, και ιδίως των ασύρματων κινητών επικοινωνιών, έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο καθώς εξελίχθηκε μέσα από διάφορες γενιές, όπως φαίνεται στο Σχήμα. Η εξέλιξη αυτή χαρακτηρίζεται από την τεχνική υλοποίηση ενός συγκεκριμένου προτύπου, συμπεριλαμβανομένων νέων τεχνικών και χαρακτηριστικών που το διαφοροποιούν από την προηγούμενη γενιά.



Εικόνα 2-1 Διάφορες μέθοδοι τηλεπικοινωνιών

2.1 Από το 1G στο 4G

Η πρώτη γενιά (1G) κινητών επικοινωνιών εισήχθη στις αρχές της δεκαετίας του 1980, υποστήριζε μόνο φωνητικές κλήσεις και χρησιμοποιούσε αναλογικά ραδιοσήματα. Στην 1G χρησιμοποιήθηκε το σχήμα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας (FDMA), το οποίο διαιρεί τη συχνότητα σε κανάλια και αναθέτει κάθε κανάλι σε έναν μόνο χρήστη κάθε φορά. Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 1G είχε κακή ποιότητα φωνής, δεν υποστήριζε περιαγωγή και οι κλήσεις δεν ήταν κρυπτογραφημένες. Σε ένα δίκτυο 1G, η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων ήταν περίπου 2,4 Kbps.

2.2 Η δεύτερη γενιά (2G) εισήχθη τη δεκαετία του 1990 και χρησιμοποιούσε ψηφιακά ραδιοσήματα με βελτιωμένη ποιότητα φωνής και αυξημένη χωρητικότητα ρυθμού δεδομένων. Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM) ήταν ένα ψηφιακό πρότυπο για την 2G και υποστήριζε υπηρεσίες δεδομένων όπως η Υπηρεσία Σύντομων Μηνυμάτων (SMS) και η Υπηρεσία Πολυμεσικών Μηνυμάτων (MMS). Η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA) και η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA) ήταν τα δύο συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν στο 2G. Το TDMA διαιρεί τα σήματα σε χρονοθυρίδες και αναθέτει σε κάθε χρήστη έναν μοναδικό κωδικό που παράγεται από ένα CDMA. Η 2G είχε ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων που κυμαίνονταν από 30 έως 35 Kbps. Μια μεταγενέστερη έκδοση του 2G, γνωστή

ως Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE), ήταν θεωρητικά ικανή για ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων έως και 1 Mbps.

2.3 Η τρίτη γενιά (3G) εμφανίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 2000. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) καθόρισε τις απαιτήσεις 3G ως μέρος του έργου International Mobile Telephone 2000 (IMT-2000), επίσης γνωστό ως Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) επειδή επιτρέπει την παγκόσμια περιαγωγή. Η κύρια διάκριση μεταξύ 2G και 3G ήταν ότι το 3G χρησιμοποιούσε μεταγωγή πακέτων αντί για μεταγωγή κυκλώματος, η οποία επέτρεπε την πρόσβαση σε εφαρμογές Διαδικτύου και βασική ροή πολυμέσων. Το 3G υποστηρίζει αρχικά ρυθμό μεταφοράς δεδομένων 200 Kbps, αλλά οι επόμενες εκδόσεις υποστηρίζουν έως και 3,1 Mbps.

2.4 Η ITU δημοσίευσε τις απαιτήσεις για την IMT-Advanced, γνωστή και ως κινητή επικοινωνία **τέταρτης γενιάς (4G)**, το 2008. Το Long-Term Evolution (LTE) έγινε το βιομηχανικό πρότυπο μετά την εισαγωγή του 4G στις αρχές της δεκαετίας του 2010. Οι βασικές τεχνολογίες του 4G ήταν η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) και η πολλαπλή είσοδος και πολλαπλή έξοδος (MIMO). Το OFDM διαιρεί ένα ψηφιακό σήμα σε πολλά κανάλια στενής ζώνης με διαφορετικές συχνότητες. Επιπλέον, η κύρια διαφορά μεταξύ του 3G και του 4G ήταν ότι το 4G βασιζόταν εξ ολοκλήρου στο πρωτόκολλο διαδικτύου (IP). Το 4G επέτρεψε τη ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας (HD) και την πρόσβαση στο Διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας με ρυθμούς δεδομένων έως και 100 Mbps.

Με περισσότερες από 7,95 δισεκατομμύρια συνδέσεις, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν γίνει η κύρια και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία επικοινωνιών [3]. Ωστόσο, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούνται όχι μόνο από ανθρώπους, αλλά και από μια σειρά άλλων συσκευών που είναι συλλογικά γνωστές ως Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Δισεκατομμύρια IoT αναμένεται να συνδεθούν παγκοσμίως κατά την επόμενη δεκαετία, δημιουργώντας ένα νέο καταναμημένο οικοσύστημα που ονομάζεται Διαδίκτυο των πάντων (IoE) [4]. Με τη μεγάλη κλίμακα διασύνδεση ανθρώπων και πραγμάτων, θα υπάρξει τεράστια αύξηση της κίνησης δεδομένων, η οποία επιβαρύνει την τρέχουσα γενιά ασύρματων κινητών επικοινωνιών. Ως εκ τούτου, τροφοδοτούμενοι από την άνευ προηγουμένου αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων συσκευών, της κινητής κυκλοφορίας δεδομένων και των περιορισμών των τεχνολογιών 4G, η βιομηχανία και η ακαδημαϊκή κοινότητα εστιάζουν τις προσπάθειές τους στον καθορισμό των προδιαγραφών για την πέμπτη γενιά (5G) των ασύρματων κινητών επικοινωνιών.

Περισσότερες από 1.000 πόλεις στον κόσμο έχουν πληθυσμό άνω των 500.000 ατόμων και σχεδόν το 55% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε πόλεις, ενώ το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί στο 68% μέχρι το 2050. Με την αύξηση της μετεγκατάστασης των ανθρώπων στον αστικό χώρο, προκύπτουν νέες προκλήσεις, οι οποίες απαιτούν από τις πόλεις να τις διαχειριστούν. Αυτό έχει οδηγήσει σε παγκόσμιες πρωτοβουλίες για να γίνουν οι πόλεις πιο βιώσιμες με τη βοήθεια της τεχνολογικής προόδου. Στόχος αυτών των πρωτοβουλιών είναι να γίνουν οι πόλεις πιο έξυπνες, γεγονός που οδήγησε στην έννοια της έξυπνης πόλης. Οι έξυπνες πόλεις στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών μέσω της διαχείρισης των δημόσιων πόρων, δίνοντας έμφαση στην άνεση, τη συντήρηση και τη βιωσιμότητα. Το

Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things, IoT) είναι ένα παράδειγμα επικοινωνίας που επιτρέπει στα καθημερινά αντικείμενα να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του Διαδικτύου. Το παράδειγμα του IoT βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς διαφορετικούς τομείς, όπως η μεταποίηση, η υγειονομική περίθαλψη, η διαχείριση ενέργειας και υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, η αυτοκινητοβιομηχανία και οι δημόσιες μεταφορές και πολλοί άλλοι. Το IoT θα προωθήσει διάφορες εφαρμογές για την παροχή νέων υπηρεσιών σε πολίτες, εταιρείες και δημόσιες διοικήσεις. Επιπλέον, η εφαρμογή του παραδείγματος του IoT σε ένα αστικό πλαίσιο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι ανταποκρίνεται στην ανάγκη πολλών εθνικών κυβερνήσεων να υιοθετήσουν λύσεις βασισμένες στις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) στη διαχείριση των δημόσιων υποθέσεων, υλοποιώντας έτσι τη λεγόμενη έννοια της έξυπνης πόλης. Σύμφωνα με την IoT Analytics, τα τρία κορυφαία έργα IoT το 2018 ήταν οι έξυπνες πόλεις, η συνδεδεμένη βιομηχανία και τα συνδεδεμένα κτίρια [10]. Επιπλέον, η παγκόσμια αγορά έξυπνων πόλεων αναμένεται να αυξηθεί από 410,8 δισεκατομμύρια δολάρια το 2020 σε 820,7 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2025, με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 14,8 τοις εκατό.

3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G

Το 5G είναι η πρώτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας που από το σχεδιασμό της απευθύνεται σε ένα ευρύ φάσμα αναγκών των βιομηχανιών. Το 5G προσφέρει απεριόριστη κινητή ευρυζωνική εμπειρία, παρέχει μαζική συνδεσιμότητα για τα πάντα, από έξυπνες συσκευές που κρατά ο άνθρωπος μέχρι αισθητήρες και μηχανές, και το σημαντικότερο, έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει κρίσιμες επικοινωνίες μηχανών με άμεση δράση και εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία.

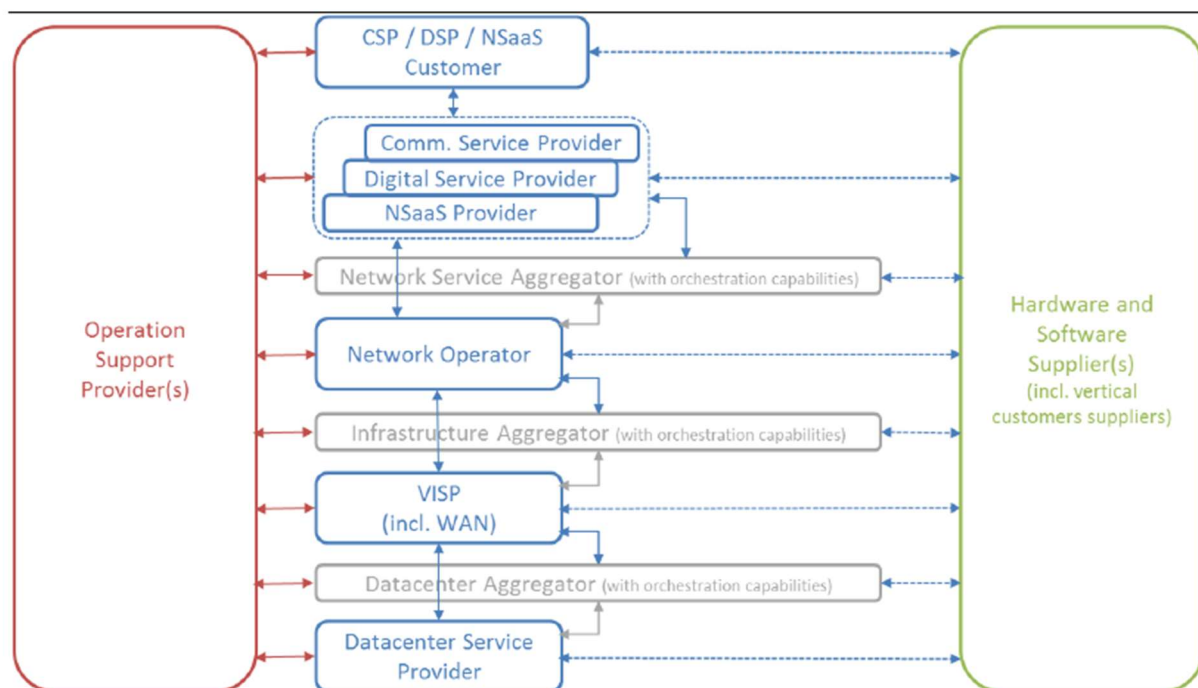
Επισκόπηση

Τα δίκτυα 5G στοχεύουν στην ικανοποίηση των απαιτήσεων μιας εξαιρετικά κινητής και πλήρως συνδεδεμένης κοινωνίας. Η συνύπαρξη ανθρωποκεντρικών και μηχανοκεντρικών εφαρμογών θα καθορίσει πολύ διαφορετικές λειτουργικές απαιτήσεις και απαιτήσεις επιδόσεων που θα πρέπει να υποστηρίζουν τα δίκτυα 5G. Στο πλαίσιο του συστήματος 5G (5GS), η τμηματοποίηση του δικτύου από άκρο σε άκρο (E2E), η αρχιτεκτονική βασισμένη σε υπηρεσίες, το Software-Defined Networking (SDN) και η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV) θεωρούνται οι θεμελιώδεις πυλώνες για την υποστήριξη των ετερογενών βασικών δεικτών απόδοσης (KPI) των νέων περιπτώσεων χρήσης με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Το 5GS δίνει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας τις μοναδικές ευκαιρίες να προσφέρουν νέες υπηρεσίες σε καταναλωτές, επιχειρήσεις, κάθετους κλάδους και τρίτους μισθωτές καλύπτοντας τις αντίστοιχες απαιτήσεις τους. Για τον σκοπό αυτό, τα συνεργατικά ερευνητικά έργα φάσης I/III της Σύμπραξης Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα Υποδομών 5G (5G PPP), καθώς και οι φορείς τυποποίησης έχουν προσδιορίσει και αναπτύξει τα κύρια στοιχεία της αρχιτεκτονικής 5G.

Οι ρόλοι του 3GPP ορίζονται από τη σκοπιά ενός φορέα εκμετάλλευσης. Τα συνεργατικά ερευνητικά έργα της φάσης I/III της 5G PPP έχουν επεκτείνει αυτούς τους ρόλους ώστε να επιτρέπουν διάφορες πιθανές σχέσεις πελάτη-πάροχου μεταξύ κάθετων φορέων, φορέων εκμετάλλευσης και άλλων ενδιαφερομένων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-1 (προσαρμοσμένο από το [2-6]):

- **Service Customer (SC):** χρησιμοποιεί υπηρεσίες που προσφέρονται από έναν πάροχο υπηρεσιών (ΠΑ). Στο πλαίσιο του 5G, οι κάθετες βιομηχανίες θεωρούνται ως ένας από τους σημαντικότερους SC.
- **Πάροχος υπηρεσιών (SP):** περιλαμβάνει τρεις επιμέρους ρόλους, ανάλογα με την υπηρεσία που προσφέρεται στον SC: Πάροχος υπηρεσιών επικοινωνίας που προσφέρει παραδοσιακές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, Πάροχος ψηφιακών υπηρεσιών που προσφέρει ψηφιακές υπηρεσίες, όπως βελτιωμένη κινητή ευρυζωνικότητα και IoT σε διάφορες κάθετες βιομηχανίες, ή Πάροχος υπηρεσιών δικτύου ως υπηρεσία (NSaaS) που προσφέρει ένα κομμάτι δικτύου μαζί με τις υπηρεσίες που μπορεί να υποστηρίξει και να διαμορφώνει. Οι SP σχεδιάζουν, κατασκευάζουν και λειτουργούν υπηρεσίες χρησιμοποιώντας συγκεντρωτικές υπηρεσίες δικτύου.

- **Διαχειριστής δικτύου (NOP):** υπεύθυνος για την ενορχήστρωση των πόρων, ενδεχομένως από πολλούς παρόχους εικονικής υποδομής (VISP). Ο NOP χρησιμοποιεί συγκεντρωτικές υπηρεσίες εικονικοποιημένης υποδομής για το σχεδιασμό, τη δημιουργία και τη λειτουργία υπηρεσιών δικτύου που προσφέρονται στους SP.
- **Πάροχος υπηρεσιών υποδομής εικονικοποίησης (VISP):** Παρέχει υπηρεσίες εικονικοποιημένης υποδομής και σχεδιάζει, κατασκευάζει και λειτουργεί υποδομές εικονικοποίησης [2-1]. Η υποδομή περιλαμβάνει δικτύωση (π.χ. για κινητές μεταφορές) και υπολογιστικούς πόρους (π.χ. από υπολογιστικές πλατφόρμες).
- **Πάροχος υπηρεσιών κέντρου δεδομένων (DCSP):** Παρέχει υπηρεσίες κέντρου δεδομένων και σχεδιάζει, κατασκευάζει και λειτουργεί τα κέντρα δεδομένων του. Ένας DCSP διαφέρει από έναν VISP προσφέροντας "ακατέργαστους" πόρους (π.χ. κεντρικούς εξυπηρετητές) σε μάλλον κεντρικές τοποθεσίες και απλές υπηρεσίες για την κατανάλωση αυτών των ακατέργαστων πόρων. Ένα VISP προσφέρει μάλλον πρόσβαση σε ποικίλους πόρους συγκεντρώνοντας πολλαπλούς τεχνολογικούς τομείς και καθιστώντας τους προσβάσιμους μέσω ενός ενιαίου API.



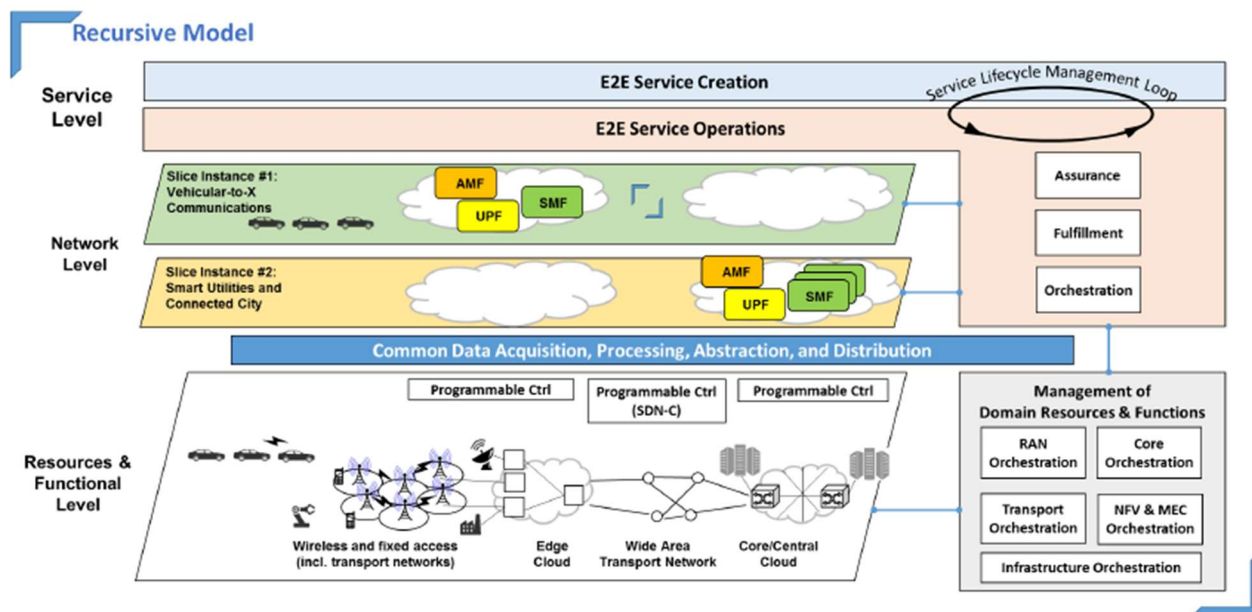
Εικόνα 3-1 Ρόλοι των μερών στο οικοσύστημα 5G

3.1 Συνολική αρχιτεκτονική συστήματος 5G

Οι προοπτικές της τμηματοποίησης του δικτύου, δηλαδή της εκτέλεσης πολλαπλών λογικών περιπτώσεων κινητών δικτύων σε μια κοινή υποδομή, απαιτούν συνεχή συμφιλίωση των πελατοκεντρικών συμφωνιών επιπέδου υπηρεσιών (SLA) με τις δυνατότητες απόδοσης του δικτύου σε επίπεδο υποδομής. Οι πελάτες υπηρεσιών, π.χ. από τις κάθετες βιομηχανίες, ζητούν τη δημιουργία υπηρεσιών (τηλε)επικοινωνίας παρέχοντας στους παρόχους υπηρεσιών περιγραφές απαιτήσεων υπηρεσιών κατά παραγγελία. Στο παρελθόν, οι πάροχοι εκτελούσαν την εν λόγω αντιστοίχιση με χειροκίνητο τρόπο σε περιορισμένο αριθμό τύπων υπηρεσιών/τμημάτων (κυρίως ευρυζωνική κινητή τηλεφωνία, φωνή και SMS). Με την αύξηση του αριθμού τέτοιων αιτημάτων πελατών, ένα πλαίσιο E2E για τη δημιουργία υπηρεσιών και τη λειτουργία υπηρεσιών θα πρέπει επομένως να παρουσιάζει ένα σημαντικά αυξημένο επίπεδο αυτοματοποίησης για τη διαχείριση του κύκλου ζωής των περιπτώσεων φέτας δικτύου.

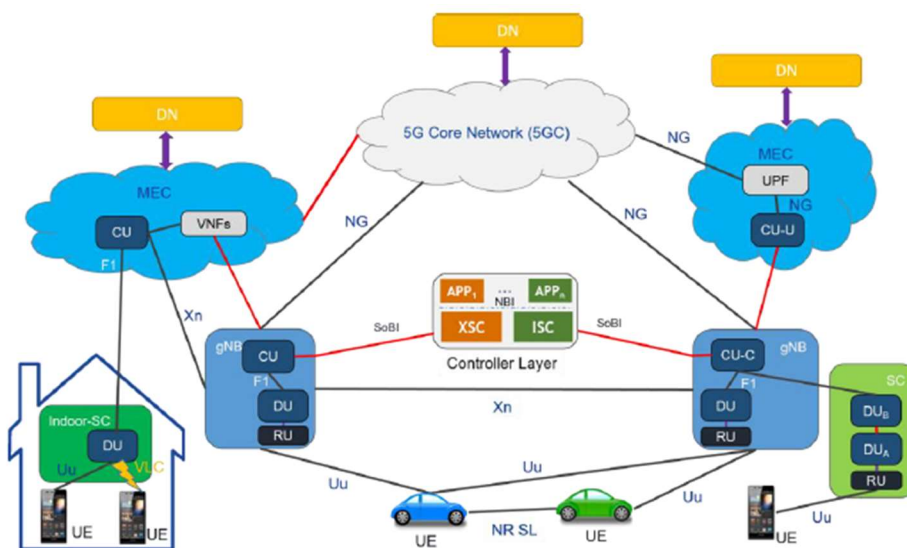
Σε **επίπεδο υπηρεσιών**, η αυτοματοποίηση της διαχείρισης του κύκλου ζωής πρέπει να υλοποιείται από λειτουργίες κλειστού βρόχου Service Assurance, Service Fulfilment και Service Orchestration που καλύπτουν όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής: φάση προετοιμασίας, φάση ενσάρκωσης, φάση διαμόρφωσης και ενεργοποίησης, φάση εκτέλεσης και φάση παροπλισμού. Δύο θεμελιώδεις τεχνολογικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τη λογισμική ανάπτυξη, π.χ. την εικονικοποίηση των λειτουργιών δικτύου, καθώς και τις προγραμματισμένες από λογισμικό λειτουργίες δικτύου και τους πόρους υποδομής. Οι λειτουργίες λειτουργίας **υπηρεσιών E2E** αλληλεπιδρούν με τις **λειτουργίες διαχείρισης πόρων και λειτουργιών τομέα**. Παραδείγματα τομέων είναι το RAN, το δίκτυο πυρήνα και το δίκτυο μεταφοράς, καθώς και το NFV και το MEC. Εκτός από την ενορχήστρωση, οι διαδικασίες κλειστού βρόχου για την εκπλήρωση των πόρων, τη διασφάλιση των πόρων και την ευφυΐα του δικτύου αποτελούν δομικά στοιχεία σε κάθε τομέα διαχείρισης. Σε ένα πιο λεπτό χρονικό και χωρικό επίπεδο, οι ελεγκτές συγκεκριμένων τομέων, συμπεριλαμβανομένων των ελεγκτών SDN, μπορούν να προγραμματιστούν για την αποτελεσματική εκτέλεση πολιτικών και κανόνων στο **επίπεδο πόρων και λειτουργιών**.

Τέλος, μια κοινή πλατφόρμα, στην οποία τα δεδομένα μπορούν να προσπελαστούν από οντότητες του συστήματος από όλα τα επίπεδα, χρησιμοποιεί κλιμακούμενη διακυβέρνηση έκθεσης δεδομένων και μηχανισμούς ελέγχου πρόσβασης για την παροχή υπηρεσιών απόκτησης, επεξεργασίας, αφαίρεσης και διανομής δεδομένων. Αυτό περιλαμβάνει δεδομένα που σχετίζονται με τους συνδρομητές, το δίκτυο και τους υποκείμενους πόρους, τα κομμάτια δικτύου και τις περιπτώσεις υπηρεσιών και, εάν απαιτείται από τον κάθετο πελάτη, τις εφαρμογές.



Εικόνα 3-2 Γενική Αρχιτεκτονική

3.2 Συνολική αρχιτεκτονική RAN



Εικόνα 3-3 Αρχιτεκτονική RAN

Η συνολική αρχιτεκτονική του δικτύου ραδιοπρόσβασης (RAN) βασίζεται σε μια βασική αρχιτεκτονική που περιλαμβάνει τη συναίνεση της φάσης 1 του 5GPP και τις τελευταίες προδιαγραφές της έκδοσης 3GPP για το NG-RAN, που περιλαμβάνουν την προσθήκη του επιπέδου SDAP (Service Data Adaptation Protocol) και της διασύνδεσης F1 με τη διάσπαση Centralized Unit - Distributed Unit (CU-DU). Η καινοτόμος αρχιτεκτονική είναι ικανή να παρέχει κάλυψη μικρών κυψελών (SC) σε πολλαπλούς φορείς εκμετάλλευσης "ως υπηρεσία", εμπλουτισμένη με μια

αρχιτεκτονική δύο επιπέδων που περιλαμβάνει μια πρώτη κατανεμημένη βαθμίδα για την παροχή υπηρεσιών χαμηλής καθυστέρησης και μια δεύτερη κεντρική βαθμίδα για την παροχή υψηλής επεξεργαστικής ισχύος για εφαρμογές δικτύου έντασης υπολογισμών. Η ευελιξία της αρχιτεκτονικής ενισχύεται περαιτέρω με τεχνικές εικονικοποίησης υψηλής απόδοσης για την απομόνωση δεδομένων, τη μείωση της καθυστέρησης και την αποδοτικότητα των πόρων, καθώς και με την ενορχήστρωση ελαφρών εικονικών πόρων που επιτρέπουν την αποτελεσματική τοποθέτηση και τη ζωντανή μετανάστευση εικονικοποιημένων λειτουργιών δικτύου (VNF). Ειδικότερα, η προτεινόμενη λύση προβλέπει την εικονικοποίηση και τον καταμερισμό της χωρητικότητας των μικρών κυψελών, ενώ ταυτόχρονα στοχεύει στην υποστήριξη βελτιωμένων υπηρεσιών νέφους ακμής, εμπλουτίζοντας την υποδομή δικτύου με ένα νέφος ακμής.

Η CU μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε τμήμα του επιπέδου ελέγχου (Control Plane, CP), το οποίο αναφέρεται ως CU-C ή CU-CP, και σε τμήμα του επιπέδου χρήστη (User Plane, UP), το οποίο αναφέρεται ως CU-U ή CU-UP. Ο εν λόγω διαχωρισμός επιτρέπει την υλοποίηση των CU-C και CU-U σε διαφορετικές θέσεις. Μια άλλη πρόσθετη επιλογή διάσπασης είναι η διάσπαση κατώτερου στρώματος, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα DU. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα DU μπορεί να λειτουργεί ως μικρή κυψέλη. Η αρχιτεκτονική RAN ενισχύει τη βασική αρχιτεκτονική με λειτουργικά μοντέλα που προκύπτουν από τις καινοτομίες του 5GPP, όπως περιγράφεται στις ακόλουθες ενότητες. Μια τέτοια επέκταση είναι το επίπεδο ελεγκτή, το οποίο επιτρέπει την προγραμματισιμότητα του RAN, όσον αφορά τις λειτουργίες ελέγχου του RAN, ως συγκεκριμένες υλοποιήσεις εφαρμογών (APP). Οι APP μπορούν να εκτελούνται στη North-Bound Interface (NBI) μέσω του cross-Slice Controller (XSC) και του Intra-Slice Controller (ISC), και η επικοινωνία με το RAN μπορεί να διατηρηθεί μέσω της South-Bound Interface (SoBI). Μπορεί να φανταστεί κανείς ότι οι εν λόγω APP παρέχουν λειτουργίες ελέγχου αργής κλίμακας και μπορούν να υποστηρίξουν τις λειτουργίες ελέγχου του RAN, όπως η διαχείριση ραδιοπόρων (RRM). Για την ικανοποίηση των πιο απαιτητικών περιπτώσεων χρήσης, συμπεριλαμβανομένων των κρίσιμων για την ασφάλεια εφαρμογών οχημάτων, προβλέπεται η συνεργασία πολλαπλών συνδέσεων- επιπλέον, εισάγονται τοπικές διαδρομές από άκρο σε άκρο για την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης μεταξύ οχημάτων και χρηστών του δρόμου που βρίσκονται σε αντίστοιχη εγγύτητα.

Η χρήση της τεχνολογίας εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου (NFV) επιτρέπει την ανάπτυξη πολλαπλών μικρών κυψελών (όπως gNBs επικοινωνίας ορατού φωτός σε κτίρια) χωρίς κόστος σηματοδότησης με τον πυρήνα 5G. Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3-1, πολλαπλές μικρές κυψέλες μπορούν να θεωρηθούν ως μία μικρή κυψέλη με την ανάπτυξη ενός VNF στο σύννεφο ως μια μορφή Multi-access Edge Computing (MEC). Τα άλλα πιθανά σενάρια ανάπτυξης για τις μικρές κυψέλες είναι είτε όλες οι μικρές κυψέλες να συνδέονται απευθείας με τον πυρήνα 5G χρησιμοποιώντας διεπαφή NG, με αποτέλεσμα να τις βλέπει και να τις διαχειρίζεται ο πυρήνας 5G, είτε να υιοθετηθεί τρόπος διπλής συνδεσιμότητας. Η χρήση VNFs μειώνει σημαντικά τη σηματοδότηση σε σύγκριση με τα άλλα πιθανά σενάρια ανάπτυξης.

3.3 Αρχιτεκτονική κεντρικού δικτύου

Η υποστήριξη της πολυεκπομπής, της μετάδοσης και του ολοκληρωμένου πλαισίου ανάλυσης δεδομένων στο 5GS συζητείται με αναφορά στην αρχιτεκτονική του συστήματος 3GPP που ορίζεται στην έκδοση 15. Αρχικά, παρέχουμε μια επισκόπηση των διεπαφών στο 5G CN, συμπεριλαμβανομένης της διεπαφής μεταξύ του CN και του RAN, ώστε να βοηθήσουμε στην κατανόηση των απαιτήσεων στο δίκτυο μεταφοράς όσον αφορά τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα μεταφοράς σε αυτές τις διεπαφές. Μία από τις θεμελιώδεις έννοιες στο σχεδιασμό του 5GS είναι ο διαχωρισμός του επιπέδου χρήστη και του επιπέδου ελέγχου. Οι ΕΦ ελέγχου προσφέρουν τις υπηρεσίες τους σε άλλους ΕΦ ελέγχου μέσω μιας διεπαφής βασισμένης σε υπηρεσίες (SBI) που βασίζεται στη μεταφορά HTTP. Η επικοινωνία μεταξύ του επιπέδου ελέγχου και του επιπέδου χρήστη του CN, δηλαδή μεταξύ της λειτουργίας διαχείρισης συνόδου (SMF) και της λειτουργίας του επιπέδου χρήστη (UPF), πραγματοποιείται μέσω του σημείου αναφοράς N4, το οποίο χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο ελέγχου προώθησης πακέτων (PFCP) και το General Packet Radio System Tunneling Protocol User Plane (GTP-U) για τα τμήματα του επιπέδου ελέγχου και του επιπέδου χρήστη αυτής της διεπαφής αντίστοιχα. Τόσο το PFCP όσο και το GTP-U μεταφέρονται πάνω από το IP/UDP. Το GTP-U χρησιμοποιείται επίσης μεταξύ των UPF και μεταξύ του UPF και του δικτύου πρόσβασης. Το πρωτόκολλο ελέγχου μεταξύ του CN και του δικτύου πρόσβασης στο σημείο αναφοράς N2 είναι το πρωτόκολλο εφαρμογής NG [4-4], το οποίο μεταφέρεται χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο μετάδοσης ελέγχου ροής (SCTP). Οι απαιτήσεις μεταφοράς του 5G CN συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Interface / reference point	Transport
SBI	HTTP
N4	IP/UDP/PFCP and IP/UDP/GTP-U
User Plane (N3 and N9)	GTP-U
N2	IP/SCTP/NGAP

Εικόνα 3-4 Interface / Transport

3.4 5G/NR - Αρχιτεκτονική στοίβας ραδιοφωνικών πρωτοκόλλων

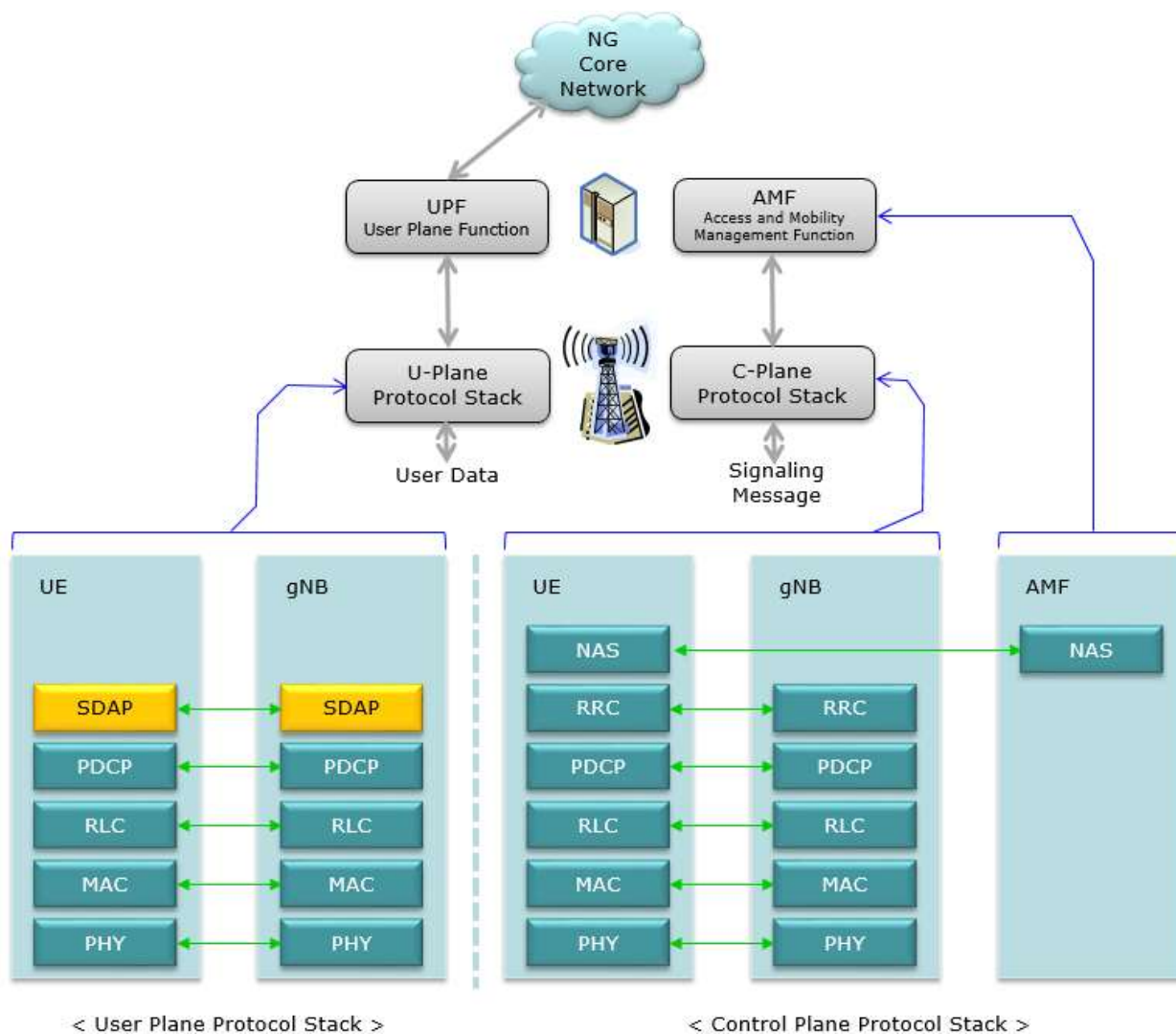
3.4.1 Επισκόπηση υψηλού επιπέδου

Όπως και στο LTE / WCDMA, η στοίβα ραδιοφωνικών πρωτοκόλλων NR έχει δύο διαφορετικές στοίβες ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων που επεξεργάζεται η στοίβα. Εάν τα δεδομένα είναι μήνυμα σηματοδότησης, περνούν από τη στοίβα C-plane και εάν είναι δεδομένα χρήστη, περνούν από τη στοίβα U-plane. Τόσο το U-Plane όσο και το C-Plane αποτελούνται από μια κοινή δομή : PHY <-> MAC <-> RLC <-> PDCP, αλλά τα στοιχεία που βρίσκονται πάνω στο PHY/MAC/RLC/PDCP διαφέρουν μεταξύ του C-Plane και του U-Plane. Στην περίπτωση του U-Plane, ένα επίπεδο που ονομάζεται SDAP βρίσκεται στην κορυφή της ραδιοσυστοιχίας και το SDP συνδέεται με το UPF (User Plane Function). Στην περίπτωση του C-Plane, τα

Ανάλυση και αξιολόγηση URLLC

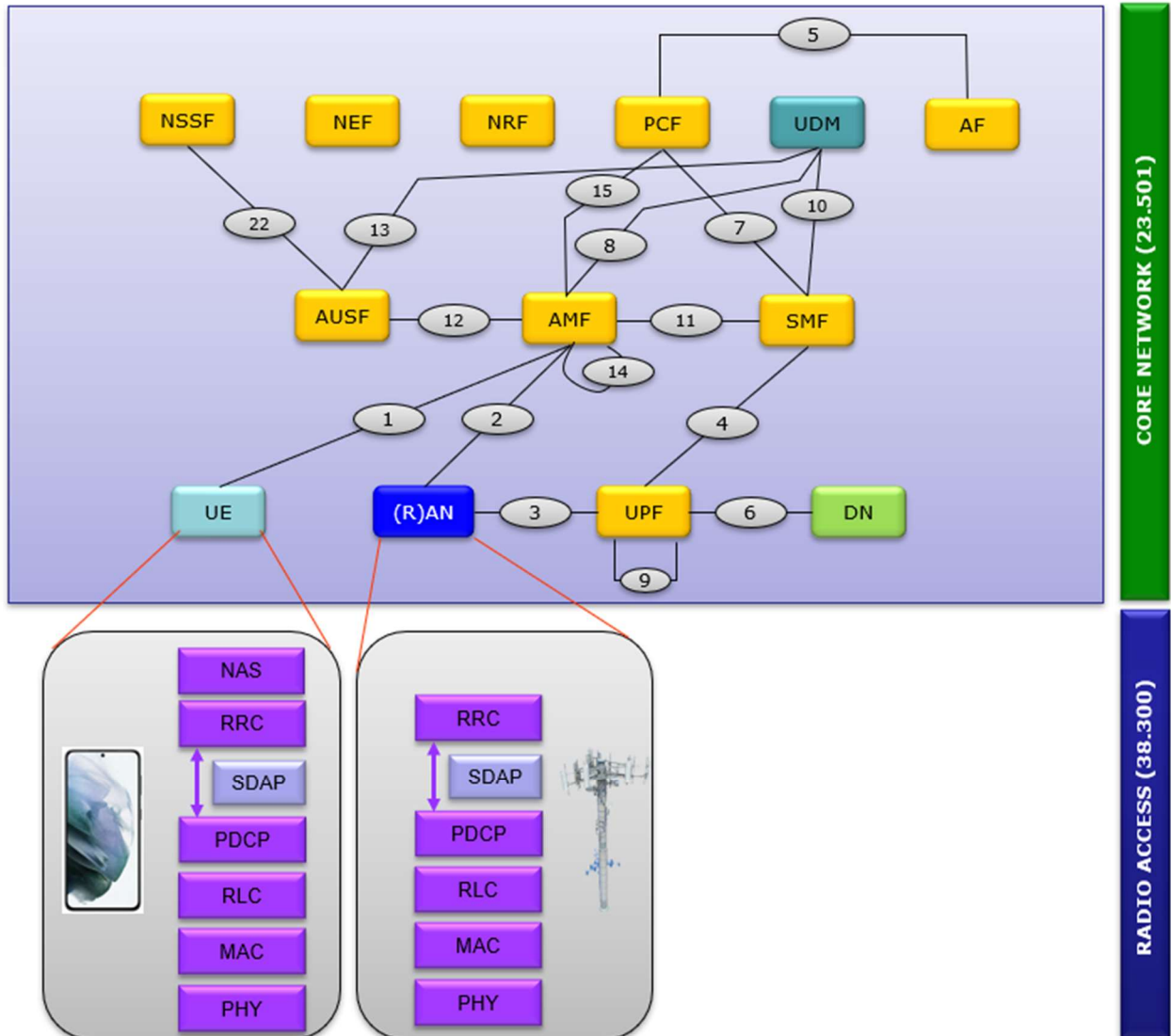
δύο στρώματα RRC και NAS βρίσκονται στην κορυφή της στοίβας. Το επίπεδο NAS συνδέεται με το AMF (Access and Mobility Management Function).

Όλα αυτά μπορούν να περιγραφούν σε ένα μπλοκ διάγραμμα όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 3-5 Protocol Stack

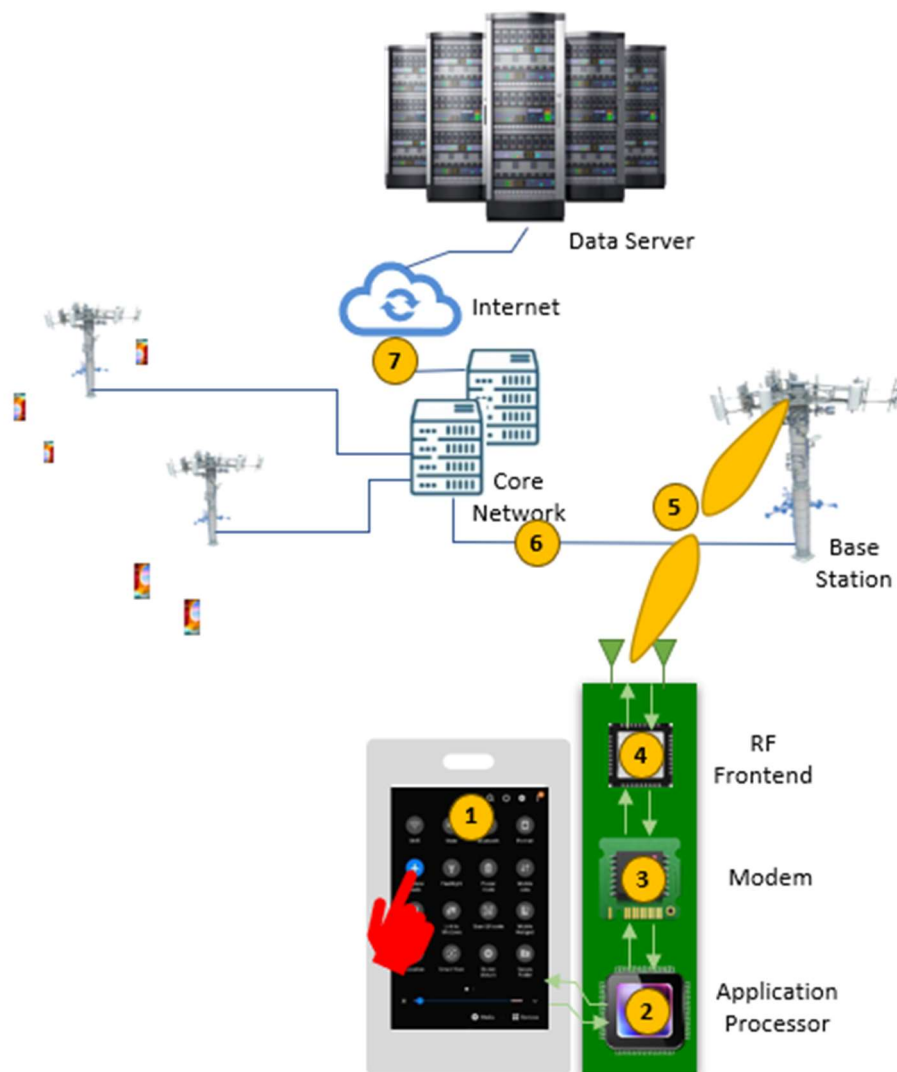
Αναλύοντας την αρχιτεκτονική σε πιο λεπτομερές επίπεδο, μπορεί να απεικονιστεί ως εξής. Ολόκληρο το σύστημα αποτελείται από δύο μέρη: το στοιχείο Radio Access και το στοιχείο Core Network. Το κύριο συστατικό των τμημάτων ραδιοπρόσβασης είναι το UE (π.χ. κινητό τηλέφωνο) και το RAN (π.χ. gNB, eNB κ.λπ.) και τα συστατικά του κεντρικού δικτύου είναι τα υπόλοιπα τμήματα εκτός του UE και του RAN.



Εικόνα 3-6 Radio Access – Core Network

3.4.2 Ροή μηνυμάτων στο σύστημα

Πρόκειται για την παρουσίαση της συνολικής ροής σήματος μέσω ολόκληρου του συστήματος με έμφαση στο δίκτυο ραδιοπρόσβασης.

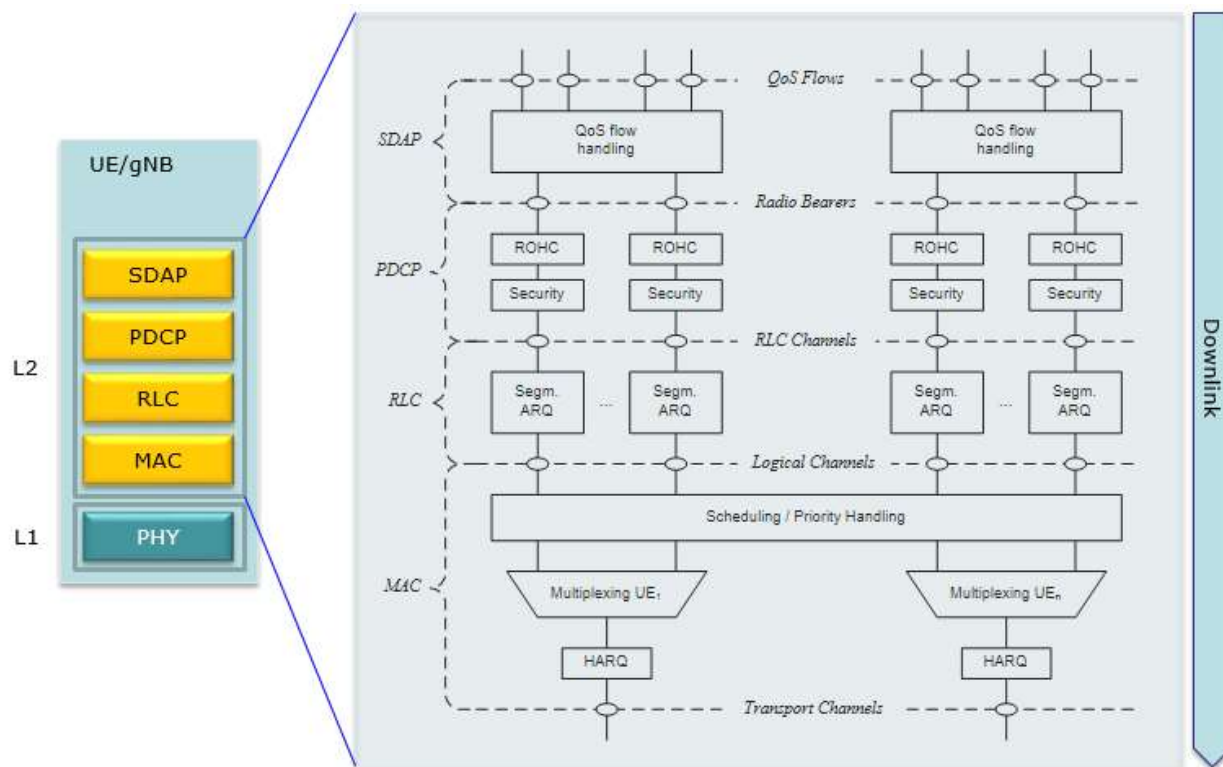


Εικόνα 3-7 Ροή μηνυμάτων στο σύστημα

3.4.3 Επισκόπηση της στοίβας ραδιοεπικοινωνιών L2

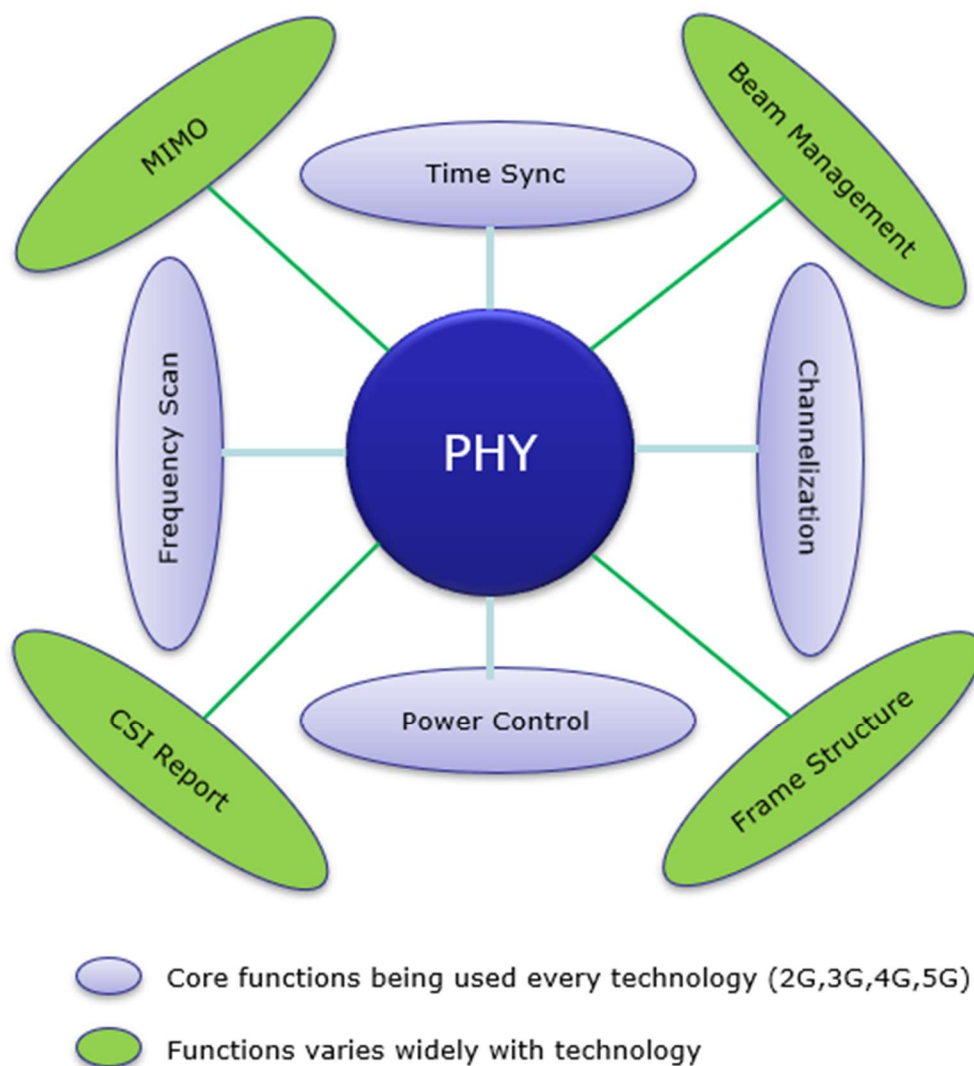
Ας δούμε τώρα ένα βήμα πιο πέρα στη στοίβα πρωτοκόλλων. Η δομή της στοίβας κατερχόμενης ζεύξης L2 μπορεί να απεικονιστεί όπως φαίνεται παρακάτω. Εκτός από το νέο στρώμα που ονομάζεται SDAP, θα παρατηρούσαμε ότι η συνολική δομή είναι σχεδόν πανομοιότυπη με τη δομή LTE L2. Η NR υποστηρίζει από την αρχή τη συνάθροιση φορέων, τα δεδομένα για κάθε φορέα επεξεργάζονται ξεχωριστά για κάθε φορέα στα SDAP, PDCP, RLC και πολυπλέκονται/προγραμματίζονται στο κοινό επίπεδο MAC. Αυτό είναι επίσης το ίδιο με το LTE Rel 10 ή υψηλότερο.

Ανάλυση και αξιολόγηση URLLC



Εικόνα 3-8 Στοιβά πρωτοκόλλων

3.4.4 Στρώμα PHY



Εικόνα 3-9 Στρώμα PHY

3.5 Massive MIMO τεχνολογία

Για να ανταποκριθούν στις απαιτητικές απαιτήσεις που ορίζονται στις διεθνείς προδιαγραφές για το 5G, οι μηχανικοί υιοθέτησαν μια θεμελιωδώς διαφορετική προσέγγιση στο σχεδιασμό ασύρματων δικτύων. Η αύξηση της απόδοσης του νέου ραδιοφώνου 5G (NR) βασίζεται σε μια σειρά βασικών τεχνολογιών (συμπεριλαμβανομένων των Massive MIMO και Beamforming) και στη χρήση του OFDM, μιας τεχνικής διαμόρφωσης υψηλής απόδοσης φάσματος, και του φάσματος mmWave.

Σε αυτήν την ενότητα, εξετάζουμε πιο προσεκτικά το Massive MIMO, έναν βασικό παράγοντα ενεργοποίησης του 5G, και τον ρόλο του στην αύξηση της απόδοσης και της χωρητικότητας δεδομένων.

3.5.1 Τι είναι το Massive MIMO;

Το MIMO, (multiple-input, multiple-output) είναι μια τεχνολογία κεραίας ραδιοφώνου που αναπτύσσει πολλαπλές κεραίες τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη για να αυξήσει την ποιότητα, την απόδοση και τη χωρητικότητα της ραδιοζεύξης. Το MIMO χρησιμοποιεί τεχνικές γνωστές ως χωρική ποικιλομορφία και χωρική πολυπλεξία για τη μετάδοση ανεξάρτητων και χωριστά κωδικοποιημένων σημάτων δεδομένων, γνωστών ως "ροές", επαναχρησιμοποιώντας την ίδια χρονική περίοδο και τον ίδιο πόρο συχνότητας.

Στο MIMO πολλών χρηστών (MU-MIMO), ο πομπός στέλνει ταυτόχρονα διαφορετικές ροές σε διαφορετικούς χρήστες χρησιμοποιώντας τον ίδιο πόρο χρόνου και συχνότητας, αυξάνοντας έτσι τη χωρητικότητα του δικτύου. Η φασματική απόδοση και χωρητικότητα μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη πρόσθετων κεραιών για την υποστήριξη περισσότερων ροών, μέχρι το σημείο όπου η κατανομή ισχύος και οι παρεμβολές μεταξύ των χρηστών έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένα κέρδη και, τελικά, απώλειες.

Το MIMO χρησιμοποιείται σε πολλές σύγχρονες ασύρματες τεχνολογίες και ραδιοσυχνότητες, όπως το Wi-Fi και το Long-Term Evolution (LTE). Ο 3GPP, ο παγκόσμιος οργανισμός που είναι υπεύθυνος για τον καθορισμό των ασύρματων προτύπων, καθόρισε για πρώτη φορά το MIMO για LTE το 2008, στην Έκδοσή του 8. Αυτή η αρχική παραλλαγή χρησιμοποιούσε δύο πομπούς και δύο δέκτες, 2x2 MIMO, και οι επακόλουθες αυξήσεις στην επεξεργαστική ισχύ επέτρεψαν τη χρήση περισσότερες ταυτόχρονες ροές δεδομένων σε ασύρματα δίκτυα με τρέχοντα δίκτυα 4G LTE που χρησιμοποιούν 4x4 MIMO.

Τα πολύ μικρά μήκη κύματος σε συχνότητες mmWave έχουν ως αποτέλεσμα μικρότερες διαστάσεις κεραίας και για 5G NR, το 3GPP έχει καθορίσει 32 κεραίες (32 x 32 MIMO) στην Έκδοση 15, οι οποίες θα αυξηθούν σε 64 και πλέον σε μελλοντικές εκδόσεις. Αυτή η επέκταση στο μέγεθος της κεραίας MIMO οδήγησε στον όρο Massive MIMO.

3.5.2 Massive MIMO τεχνικές

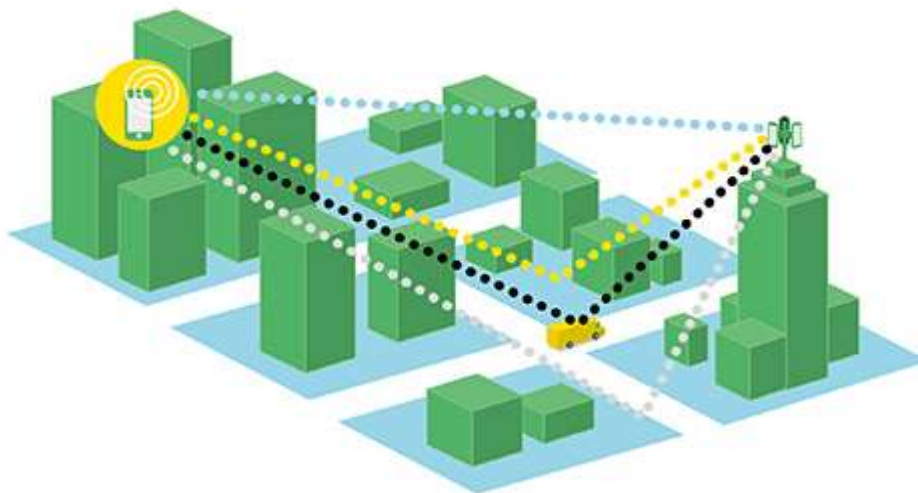
Το τεράστιο MIMO βασίζεται στις τρεις βασικές έννοιες της χωρικής ποικιλομορφίας, της χωρικής πολυπλεξίας και της διαμόρφωσης δέσμης. Το MIMO βασίζεται στο γεγονός ότι ένα ραδιοσήμα μεταξύ πομπού και δέκτη φιλτράρεται από το περιβάλλον του, με αντανάκλασεις από κτίρια και άλλα εμπόδια που έχουν ως αποτέλεσμα πολλαπλές διαδρομές σήματος (βλ. Εικόνα 1, δεξιά).

Τα διάφορα ανακλώμενα σήματα θα φτάσουν στην κεραία λήψης με διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις, επίπεδα εξασθένησης και κατεύθυνση διαδρομής. Όταν αναπτύσσονται πολλαπλές κεραίες λήψης, κάθε κεραία λαμβάνει μια ελαφρώς

διαφορετική έκδοση του σήματος, η οποία μπορεί να συνδυαστεί μαθηματικά για τη βελτίωση της ποιότητας του μεταδιδόμενου σήματος.

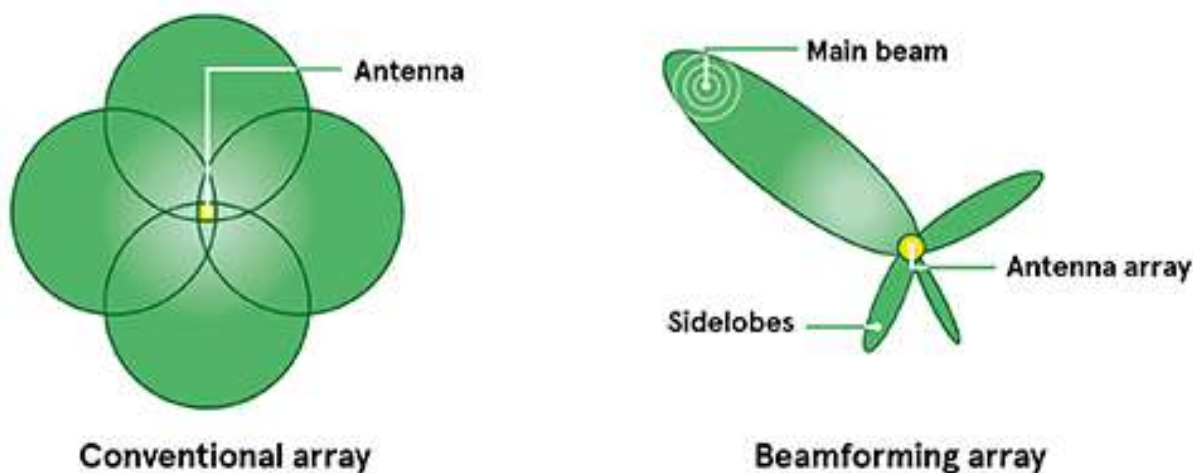
Αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως χωρική ποικιλομορφία, καθώς οι κεραίες των δεκτών είναι χωρικά διαχωρισμένες μεταξύ τους. Η χωρική ποικιλομορφία επιτυγχάνεται επίσης με τη μετάδοση του ραδιοφωνικού σήματος σε πολλαπλές κεραίες, με κάθε κεραία, σε ορισμένες περιπτώσεις, να στέλνει τροποποιημένες εκδόσεις του σήματος.

Ενώ η χωρική ποικιλομορφία αυξάνει την αξιοπιστία της ραδιοζεύξης, η χωρική πολυπλεξία αυξάνει τη χωρητικότητα της ραδιοζεύξης χρησιμοποιώντας τις πολλαπλές διαδρομές μετάβασης ως πρόσθετα κανάλια για τη μεταφορά δεδομένων. Η χωρική πολυπλεξία επιτρέπει την αποστολή πολλαπλών, μοναδικών ροών δεδομένων μεταξύ του πομπού και του δέκτη, αυξάνοντας σημαντικά την απόδοση και επίσης επιτρέποντας σε πολλούς χρήστες του δικτύου να υποστηρίζονται από έναν μόνο πομπό, εξ ου και ο όρος MU-MIMO.



Εικόνα 3-10 Ένα ραδιοσήμα μπορεί να πάρει πολλαπλές διαδρομές μεταξύ πομπού και δέκτη

Το Beamforming χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες κεραίας για την εστίαση ενός ασύρματου σήματος σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, αντί για τη μετάδοση σε μια ευρεία περιοχή.



Εικόνα 3-11 Το Beamforming εστιάζει ένα ασύρματο σήμα σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση

Η διαμόρφωση δέσμης είναι μια άλλη βασική ασύρματη τεχνική που λειτουργεί σε συνδυασμό με το Massive MIMO για την αύξηση της απόδοσης και της χωρητικότητας του δικτύου.

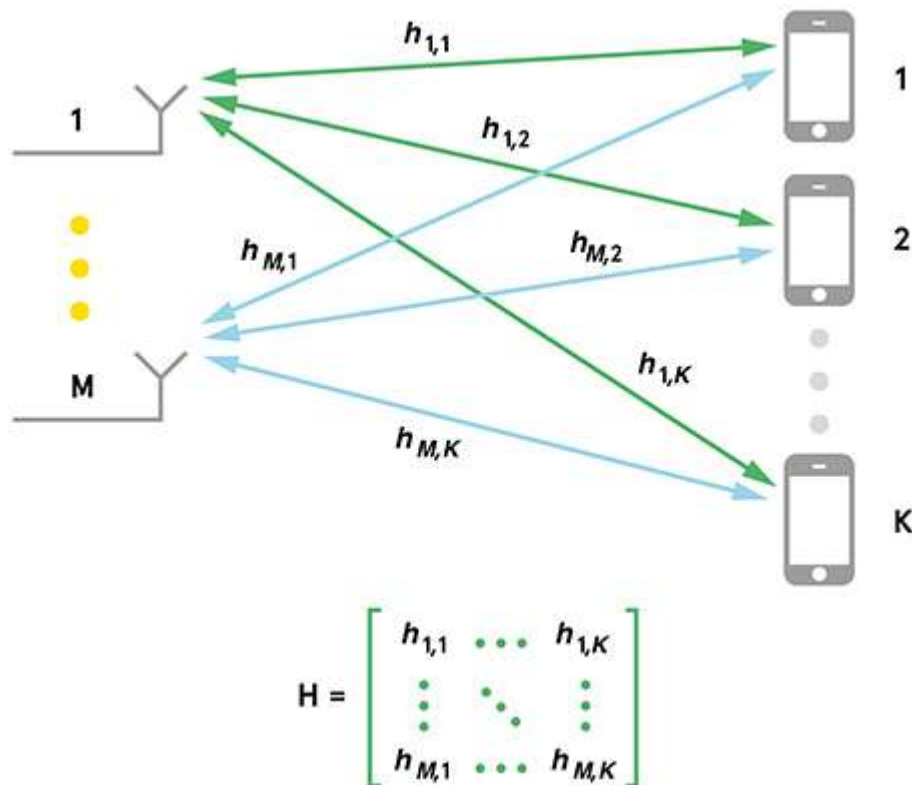
Το Beamforming χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες κεραίας για να εστιάζει το ασύρματο σήμα σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, αντί να εκπέμπει σε μια ευρεία περιοχή. Αυτή η τεχνική μειώνει τις παρεμβολές μεταξύ δεσμών που κατευθύνονται σε διαφορετικές κατευθύνσεις, επιτρέποντας την ανάπτυξη μεγαλύτερων συστοιχιών κεραιών.

Ο μεγάλος αριθμός κεραιών σε ένα σύστημα Massive MIMO επιτρέπει τη διαμόρφωση 3D δέσμης, η οποία δημιουργεί τόσο οριζόντιες όσο και κάθετες δέσμες προς τους χρήστες, αυξάνοντας τους ρυθμούς δεδομένων (και τη χωρητικότητα) για όλους τους χρήστες — ιδιαίτερα χρήσιμο σε αστικές περιοχές με πολυώροφα κτίρια.

Τόσο το δίκτυο όσο και οι συνδεδεμένες κινητές συσκευές στα συστήματα MIMO πρέπει να είναι στενά συντονισμένα. Οι σύνθετοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν χωρικές πληροφορίες που λαμβάνονται από ένα σήμα αναφοράς πληροφοριών κατάστασης καναλιού, (CSI-RS) για να επιτρέψουν στον σταθμό βάσης να επικοινωνεί με πολλές συσκευές ταυτόχρονα και ανεξάρτητα. Το CSI-RS είναι ένας τύπος πιλοτικού σήματος που αποστέλλεται από το σταθμό βάσης στο UE, το οποίο επιτρέπει στον UE να υπολογίσει τις Πληροφορίες κατάστασης καναλιού (CSI) και να τις αναφέρει στο σταθμό βάσης.

Το CSI περιγράφει πώς το σήμα διαδίδεται από πομπό σε δέκτη και περιλαμβάνει πληροφορίες για το πώς αυτό το σήμα υποφέρει από επιδράσεις όπως η διασπορά,

η εξασθένιση και η αποσύνθεση ισχύος σε απόσταση. Για να ανακτήσει τη μεταδιδόμενη ροή δεδομένων στον δέκτη, ο αποκωδικοποιητής του συστήματος MIMO πρέπει να εκτελέσει σημαντικό βαθμό επεξεργασίας σήματος, χρησιμοποιώντας το CSI για να αναπαραστήσει τη συνάρτηση μεταφοράς καναλιού σε μορφή μήτρας (βλ. σχήμα, παρακάτω).



Εικόνα 3-12 Πληροφορίες κατάστασης καναλιού που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό ενός μαζικού συστήματος MIMO

Ο πίνακας μεταφοράς καναλιού ορίζεται ως:

$$[R] = [H] \times [T]$$

Όπου [R] είναι η σειρά των σημάτων που λαμβάνονται στις διάφορες κεραίες στη συστοιχία MIMO, το [H] αντιπροσωπεύει τις ιδιότητες κάθε διαδρομής σήματος και το [T] τις διάφορες ροές δεδομένων που μεταδίδονται μέσω του δικτύου.

Ο αποκωδικοποιητής κατασκευάζει τη μήτρα μεταφοράς καναλιού υπολογίζοντας τις μεμονωμένες ιδιότητες καναλιού, h_{11} , h_{12} , κ.λπ. από το CSI. Στη συνέχεια, οι μεμονωμένες ροές δεδομένων ανακατασκευάζονται πολλαπλασιάζοντας το λαμβανόμενο σήμα με το αντίστροφο του πίνακα μεταφοράς:

$$[T] = [H]^{-1} \times [R]$$

Η εκτίμηση των μεμονωμένων ιδιοτήτων καναλιού και ο υπολογισμός της μήτρας αντίστροφου καναλιού είναι υπολογιστικά εντατική και μπορεί να προσθέσει σημαντικά έξοδα στο δίκτυο, ιδιαίτερα καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κεραιών.

Η παραπάνω περιγραφή είναι κάπως απλοποιημένη καθώς υπάρχουν στην πραγματικότητα διάφορες τεχνικές για την απόκτηση και τον υπολογισμό του CSI που εξαρτώνται από παράγοντες όπως οι τεχνικές πολυπλεξίας που χρησιμοποιούνται, (TDD ή FDD), οι συχνότητες σήματος και η ποσότητα κίνησης του UE. Αυτή η περιοχή αποτελεί αντικείμενο πολλών συνεχιζόμενων ερευνών για το πώς προηγμένες τεχνικές όπως η νευρωνική δικτύωση μπορούν να ενισχύσουν την αξιοπιστία και την ακρίβεια του Massive MIMO.

3.5.3 Τα οφέλη του Massive MIMO

Ως βασικό δομικό στοιχείο του 5G NR, το τεράστιο MIMO φέρνει πολλαπλά οφέλη τόσο στους χειριστές δικτύου όσο και στους τελικούς χρήστες. Η τεχνολογία βελτιώνει σημαντικά τη φασματική απόδοση, παρέχοντας μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου για την ίδια ποσότητα φάσματος, επιτρέποντας έτσι στους χειριστές να μεγιστοποιήσουν τις επενδύσεις τους σε αυτόν τον ακριβό πόρο.

Καθώς αναπτύσσονται τα δίκτυα 5G, θα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα του δικτύου προκειμένου να παραδοθούν οι απαιτούμενοι ρυθμοί δεδομένων και να υποστηριχθεί ο υψηλός αριθμός συνδέσεων, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές. Το τεράστιο MIMO, σε συνδυασμό με την τεχνολογία beamforming επιτρέπει την εξαιρετικά στοχευμένη χρήση του φάσματος, αφαιρώντας τα τρέχοντα σημεία συμφόρησης απόδοσης, υποστηρίζοντας μεγαλύτερο αριθμό χρηστών στην κυψέλη και βελτιώνοντας την εμπειρία του τελικού χρήστη σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Άλλα πιθανά οφέλη περιλαμβάνουν υψηλότερη αξιοπιστία σύνδεσης μαζί με αυξημένη αντίσταση σε παρεμβολές και σκόπιμη εμπλοκή, λόγω του αυξημένου αριθμού διαδρομών σήματος. Τα τεράστια δίκτυα MIMO θα ανταποκρίνονται επίσης περισσότερο σε συσκευές που εκπέμπουν σε υψηλότερες συχνότητες, γεγονός που θα βελτιώσει την κάλυψη, ιδιαίτερα σε εσωτερικούς χώρους.

3.5.4 Το μέλλον του Massive MIMO

Καθώς τα δίκτυα 5G θα αναπτυχθούν, η χρήση του Massive MIMO θα επεκταθεί, με όλο και μεγαλύτερες συστοιχίες κεραιών να γίνονται εφικτές καθώς εξελίσσονται οι προδιαγραφές τεχνολογίας και 3GPP. Το mmWave είναι το κλειδί για την απόδοση και τη χωρητικότητα 5G και οι μαζικές συστοιχίες MIMO που μπορούν να λειτουργούν σε αυτές τις συχνότητες θα γίνουν σύντομα mainstream. Η NEC, για παράδειγμα, έχει αναπτύξει μια πρωτότυπη συστοιχία 24 κεραιών ικανή να λειτουργεί στα 28 GHz και τα εμπορικά συστήματα Massive MIMO, με 64 συστοιχίες ή περισσότερες, θα είναι σύντομα mainstream σε συχνότητες κάτω των 6 GHz και mmWave.

Αυτές οι αναπτύξεις θα διευκολυνθούν από την παράλληλη εξέλιξη των Advanced Antenna Systems (AAS), τα οποία ενσωματώνουν τις συστοιχίες κεραιών με το σχετικό υλικό και λογισμικό μετάδοσης ραδιοσυχνοτήτων, καθώς και την ικανότητα επεξεργασίας σήματος που απαιτείται από τη διαμόρφωση δέσμης και το MIMO. Καθώς το mmWave συρρικνώνει το μέγεθος των κεραιών και επίσης των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, αυτά τα AAS θα γίνουν μικρότερα, παίζοντας βασικό ρόλο στην πυκνότητα του δικτύου και θα αναπτυχθούν για να παρέχουν κάλυψη 5G σε εσωτερικούς χώρους.

3.6 Το 5G στο IoT

Περιπτώσεις χρήσης 5G και έννοιες συστήματος

Η κινητή και ασύρματη επικοινωνία γίνεται όλο και περισσότερο ο κύριος τρόπος πρόσβασης των ανθρώπων και των μηχανών σε πληροφορίες και υπηρεσίες. Ακόμα και αυτή τη στιγμή ίσως διαβάσετε αυτό το κείμενο στο κινητό σας, στο tablet ή σε παρόμοια συμβατή ασύρματη συσκευή.



Εικόνα 3-13 Περιπτώσεις χρήσης 5G

Προκειμένου να γίνει αυτό το όραμα πραγματικότητα, οι δυνατότητες του συστήματος 5G πρέπει να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευελιξία από τις προηγούμενες γενιές και να περιλαμβάνουν πιο εκτεταμένη ολοκλήρωση που να περιλαμβάνει όχι μόνο τα παραδοσιακά δίκτυα ραδιοπρόσβασης, αλλά και τα δίκτυα πυρήνα, τα επίπεδα μεταφοράς και τα επίπεδα εφαρμογών.

Αυτό απαιτεί έναν νέο τρόπο σκέψης στην ασύρματη πρόσβαση 5G, την αρχιτεκτονική δικτύων και τις εφαρμογές.

Το όραμα του 5G είναι η πρόσβαση σε πληροφορίες και η κοινή χρήση δεδομένων που είναι δυνατή οπουδήποτε και οποτεδήποτε σε οποιονδήποτε και οτιδήποτε.

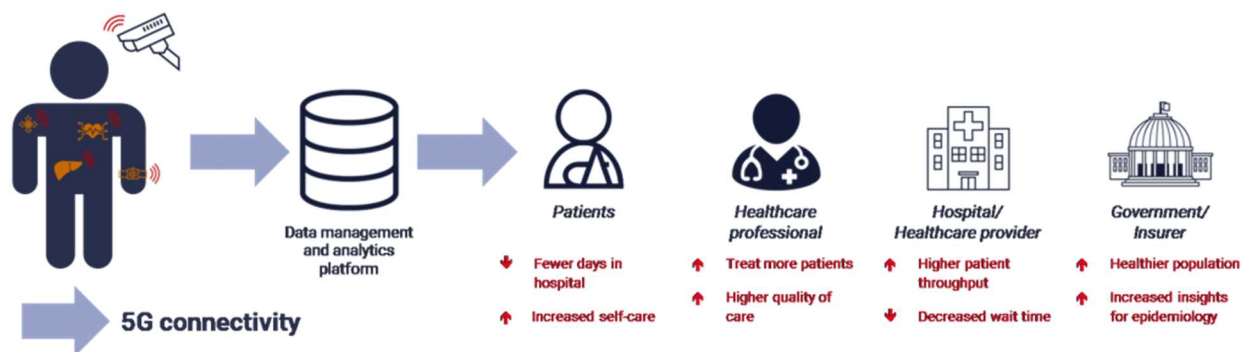
Το 5G επεκτείνει τη χρήση των ανθρωποκεντρικών επικοινωνιών ώστε να περιλαμβάνει τόσο ανθρωποκεντρικές όσο και μηχανοκεντρικές επικοινωνίες.

Οι δύο παραπάνω παράγοντες θα οδηγήσουν σε κοινωνικοοικονομικές αλλαγές που δεν είναι ακόμη φανταστικές, συμπεριλαμβανομένων των βελτιώσεων στην παραγωγικότητα, τη βιωσιμότητα, την ψυχαγωγία και την ευημερία.

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται περιπτώσεις χρήσης του 5G με έμφαση στην ανάλυση των προκλήσεων και τον εντοπισμό ερευνητικών ευκαιριών.

3.6.1 Υγειονομική περίθαλψη

Ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης επεκτείνεται γρήγορα, κυρίως λόγω των προόδων στη μηχανική μάθηση που εφαρμόζονται στον ιατρικό τομέα. Σε πρόσφατη μελέτη. Με την υιοθέτηση του 5G, διαμορφώνονται νέες περιπτώσεις χρήσης έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης, όπως η τηλεϊατρική, η τηλεχειρουργική και οι έξυπνες ιατρικές συσκευές.



Εικόνα 3-14 5G health

Το 5G θα είναι το θεμέλιο της τηλεϊατρικής στις χώρες όπου η ενσύρματη υποδομή δεν είναι καλά ανεπτυγμένη. Οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας 5G θα επιτρέψουν την αποτελεσματικότερη παροχή απομακρυσμένης διάγνωσης και υποστήριξης για παραϊατρικούς. Αυτό επιτρέπει έναν νέο και απρόσκοπτο τρόπο παροχής οικονομικά αποδοτικής και άμεσης υγειονομικής περίθαλψης, καθώς δεν περιορίζεται πλέον στις παραδοσιακές πρόσωπο με πρόσωπο διαβουλεύσεις σε εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης. Για να έχουμε συνδεδεμένη φροντίδα και τηλεϊατρική, απαιτείται 5G για να εγγυάται χαμηλή καθυστέρηση και ροή βίντεο υψηλής ποιότητας.

Η τηλεχειρουργική μπορεί επίσης να επωφεληθεί από τη χαμηλή καθυστέρηση και το υψηλό εύρος ζώνης του 5G. Η τηλεχειρουργική επιτρέπει στους χειρουργούς να εκτελούν χειρουργική επέμβαση σε πραγματικό χρόνο, ακόμη και όταν δεν βρίσκονται φυσικά στην ίδια θέση, χρησιμοποιώντας ένα τηλεχειριστήριο για τη διενέργεια της επέμβασης. Αν και το 4G επαρκεί για μετάδοση βίντεο σε πραγματικό χρόνο υπό ιδανικές συνθήκες, η σχετικά υψηλή καθυστέρηση του το καθιστά άχρηστο για τηλεχειρουργική. Μένει να μελετηθεί εάν το 5G, με τη βελτιωμένη καθυστέρηση και το αυξημένο εύρος ζώνης του, είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της τηλεχειρουργικής.

Ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους ασθενείς με χρόνιες παθήσεις επισκέπτονται το νοσοκομείο είναι η έλλειψη ιατρικού εξοπλισμού στο σπίτι για τη μέτρηση και την παρακολούθηση των ζωτικών σημείων του σώματος. Το 5G θα μειώσει το βάρος των νοσοκομειακών ελέγχων μεταφέροντας αυτή τη λειτουργία στην κοινότητα (π.χ. σε τοπικές κλινικές και σπίτια). Οι συσκευές που μπορούν να αναπτυχθούν στην κοινότητα θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες με ανίχνευση ζωτικών σημείων, ανίχνευση βιοδεικτών, αναλυτικά στοιχεία βίντεο, chatbot και μηχανισμό

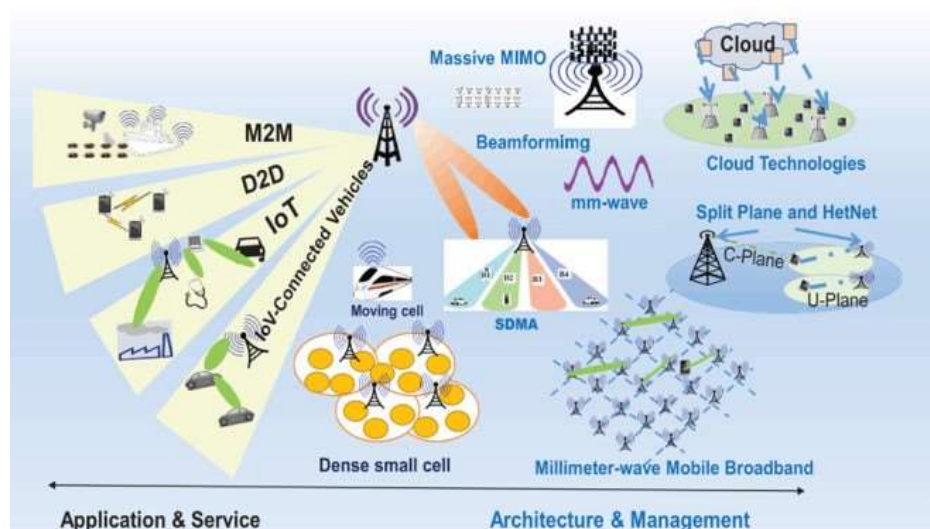
παρέμβασης με δυνατότητα AI (π.χ. ένα μοντέλο που μπορεί να προβλέψει την εξέλιξη της νόσου). Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά είναι πιο εφικτά στην εποχή του 5G.

Η τεράστια αγορά Internet of Medical Things (IoMT) προβλέπεται να αυξηθεί από 8 σε 33 εκατομμύρια αποστολές τα επόμενα χρόνια. Τα IoMT είναι κλινικά wearables που αποτελούνται από ιατρικές συσκευές παρακολούθησης χαμηλής ισχύος που επιτρέπουν την παρακολούθηση της κατάστασης ενός ασθενούς. Μια τέτοια ενσωματωμένη συσκευή λαμβάνει πληροφορίες από διάφορους αισθητήρες και στέλνει προεπεξεργασμένα δεδομένα σε παρόχους υγειονομικής περίθαλψης που ενδέχεται να προσαρμόσουν τις δόσεις των φαρμάκων ή να αλλάξουν τη συμπεριφορική θεραπεία.

Οι προκλήσεις ασφάλειας και απορρήτου στην εποχή του 5G αφορούν επίσης τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης και του IoMT. Με μια σειρά πρόσφατων παραβιάσεων ασφάλειας στα συστήματα διαχείρισης ιατρικών δεδομένων, η ασφάλεια και το απόρρητο αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην ψηφιοποίηση της υγειονομικής περίθαλψης. Επιπλέον, οι αυστηρές οδηγίες επεξεργασίας προσωπικών δεδομένων, όπως ο GDPR, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Μένει να μελετηθεί εάν η εικονικοποίηση 5G θα μπορούσε να αντιμετωπίσει αυτές τις ανησυχίες.

3.6.2 Έξυπνη Πόλη

Τα βασικά χαρακτηριστικά του 5G, όπως η υψηλή ταχύτητα, οι μαζικές συνδέσεις και η εικονικοποίηση, θα επιτρέψουν την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων. Μια έξυπνη πόλη είναι μια βιώσιμη πόλη που χρησιμοποιεί έξυπνες λύσεις για τη βελτίωση της υποδομής και την παροχή καλύτερων υπηρεσιών στην κοινότητα. Μεταξύ των λύσεων έξυπνων πόλεων, αναφέρουμε συσχετισμένα συστήματα κυκλοφορίας, δημόσια ασφάλεια, ασφάλεια και επιτήρηση. Ένας βασικός στόχος μιας έξυπνης πόλης είναι να παρέχει συνοχή μεταξύ της ποικιλίας των αναπτυγμένων συστημάτων.



Εικόνα 3-15 5G smart city

Παρακάτω, απαριθμούμε μερικές εφαρμογές έξυπνων πόλεων που ενδέχεται να βελτιωθούν με τεχνολογίες 5G. Πρώτον, τα έξυπνα σπίτια μπορούν να υλοποιηθούν με πολλές διασυνδεδεμένες συσκευές και με γρήγορη πρόσβαση στο Διαδίκτυο που απαιτείται για την παρακολούθηση της ασφάλειας. Δεύτερον, η έξυπνη εκπαίδευση θα μπορούσε να ενεργοποιηθεί με σταθερή συνδεσιμότητα και υψηλό εύρος ζώνης. Οι μαθητές θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε έναν τεράστιο αριθμό διαδικτυακών μαθημάτων και ακόμη και να συμμετέχουν εξ αποστάσεως σε μαθήματα σε πραγματικό χρόνο. Τρίτον, η έξυπνη ασφάλεια και επιτήρηση θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν με αξιόπιστες συνδέσεις και την ενσωμάτωση παρακολούθησης βίντεο σε πραγματικό χρόνο από διάφορες τοποθεσίες. Αυτό επιτρέπει την άμεση απόκριση έκτακτης ανάγκης και την επιτήρηση των κυκλοφοριακών συνθηκών, των ατυχημάτων, των τραπεζών και των ATM, των καταστημάτων, των δρόμων, μεταξύ άλλων. Τέλος, η έξυπνη ισχύς θα μπορούσε να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας τεχνολογία έξυπνου δικτύου που αποτελείται από έξυπνους μετρητές, αισθητήρες και συστήματα διαχείρισης δεδομένων. Μια έξυπνη λύση ισχύος μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου, ενώ εντοπίζει τις διακοπές ρεύματος σε πραγματικό χρόνο.

Επί του παρόντος, οι έξυπνες πόλεις δεν υλοποιούνται αποτελεσματικά λόγω έλλειψης ισχυρής συνδεσιμότητας. Απαιτείται σταθερή συνδεσιμότητα χαμηλής καθυστέρησης οπουδήποτε και οποτεδήποτε μέσα σε μια έξυπνη πόλη. Υπολογίζεται ότι η αξιοπιστία του δικτύου σε μια έξυπνη πόλη θα πρέπει να είναι υψηλότερη από 99,9999%. Επιπλέον, η δικτυακή υποδομή μιας έξυπνης πόλης πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει έναν τεράστιο αριθμό συσκευών IoT. Το 5G ταιριάζει στις απαιτήσεις της συνδεσιμότητας έξυπνων πόλεων, με τη χαμηλή καθυστέρηση του 1 ms και την υψηλή πυκνότητα συσκευής έως και ένα εκατομμύριο συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

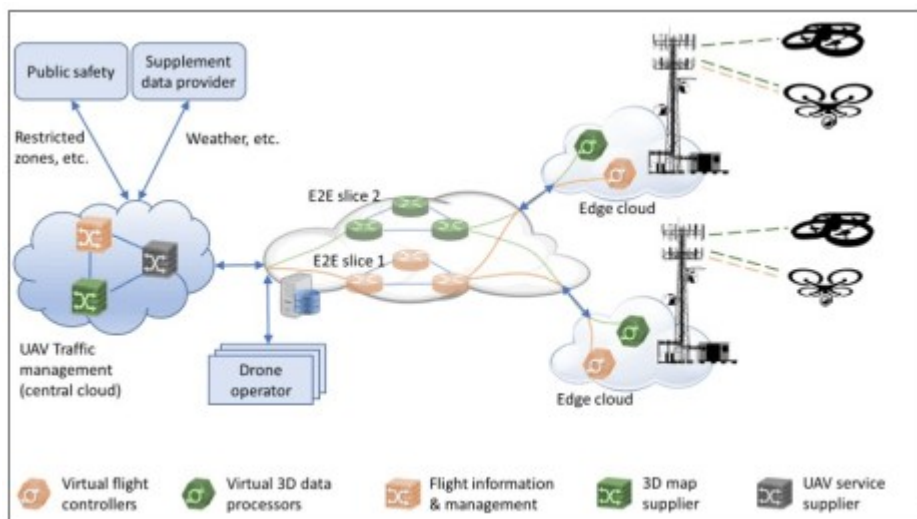
Μια άλλη πρόκληση στις έξυπνες πόλεις είναι η διασφάλιση της ενεργειακής απόδοσης των λύσεων παρακολούθησης. Αυτό αποτελεί πρόκληση στο πλαίσιο της μεγιστοποίησης της διάρκειας ζωής των αισθητήρων που λειτουργούν με μπαταρία και απαιτεί έξυπνη ανάπτυξη συσκευών, καθώς και αλγορίθμων για τον υπολογισμό της βέλτιστης αναλογίας επικοινωνίας προς υπολογισμό ανά συσκευή. Ωστόσο, η ενεργειακή απόδοση των τερματικών 5G θα μπορούσε να βελτιώσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών απομακρυσμένης παρακολούθησης. Ενώ τα οφέλη του 5G στις έξυπνες πόλεις είναι προφανή, ορισμένες προκλήσεις πρέπει να αντιμετωπιστούν. Πρώτον, με τη διασύνδεση ζωτικής σημασίας υποδομής της πόλης, υπάρχει υψηλός κίνδυνος ασφάλειας σε περίπτωση που οι επιτιθέμενοι καταφέρουν να συλλάβουν κρίσιμους κόμβους. Ο διαχωρισμός δικτύου είναι μια μερική λύση σε αυτό, όπου απομονώνονται διαφορετικές εφαρμογές έξυπνων πόλεων. Η εικονικοποίηση 5G παρουσιάζει ορισμένους κινδύνους ασφαλείας που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Δεύτερον, ο μεγάλος όγκος δεδομένων από τα συστήματα επιτήρησης και παρακολούθησης θα ασκήσει υψηλή πίεση στην υποδομή δικτύου που συνδέει σταθμούς βάσης 5G με κεντρικές εγκαταστάσεις. Μια λύση σε αυτό είναι η χρήση υπολογιστών άκρων και ομίχλης όπου η μερική επεξεργασία με την απόρριψη άκαρπων δεδομένων μπορεί να γίνει πιο κοντά στην πηγή των δεδομένων.

Η υπάρχουσα υποδομή 4G, συμπεριλαμβανομένων των κεραιών κινητής τηλεφωνίας σε κτίρια, δεν επαρκεί για αυτόνομα αυτοκίνητα. Υπάρχει ανάγκη για σημαντικές ποσότητες κεραιών που βρίσκονται σε απόσταση μερικών εκατοντάδων μέτρων

μεταξύ τους για να είναι δυνατή η σταθερή επικοινωνία αυτοκινήτου με αυτοκίνητο. Το 5G, με την τεχνολογία D2D, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Επιπλέον, το D2D βοηθά στη σύντηξη αισθητήρων, έτσι ώστε τα αυτοκίνητα να μπορούν να έχουν καλύτερη εικόνα της κυκλοφορίας και της κατάστασης του δρόμου πέρα από το οπτικό τους πεδίο. Η ασύρματη επικοινωνία επιτρέπει στα οχήματα να μοιράζονται, μεταξύ τους ή με άλλους συμμετέχοντες, πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες του δρόμου και της κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X) περιλαμβάνει πολλαπλές μεθόδους επικοινωνίας, όπως Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-Infrastructure (V2I), Vehicle-to-Network (V2N), κι άλλα. Ο χαμηλός λανθάνων χρόνος του 5G θα επιτρέψει το V2V και τη διμοιρία οχημάτων, όπου τα οχήματα επικοινωνούν απευθείας για να μοιράζονται προειδοποιήσεις και οδικές συνθήκες σε πραγματικό χρόνο. Το V2I επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και στοιχείων υποδομής στην άκρη του δρόμου, όπως σήματα κυκλοφορίας, φανάρια και διαβάσεις πεζών. Η προβλεπόμενη αξιοπιστία του 5G στο 99,9999% θα επιτρέψει στο V2N να λειτουργεί ομαλά καθώς μπορεί να μοιράζεται πληροφορίες κίνησης σε πραγματικό χρόνο με την υποδομή ασύρματου δικτύου. Αυτές οι τεχνολογίες έξυπνων οχημάτων μπορούν να προβλέψουν πιθανούς κινδύνους ή να βοηθήσουν στον σχεδιασμό μιας βέλτιστης διαδρομής δεδομένων των συνθηκών κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, οι τεχνολογίες αυτές προβλέπεται να βελτιώσουν την ασφάλεια και να μειώσουν τους θανάτους, καθώς το 90% των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων οφείλονται σε ανθρώπινο λάθος. Ενώ το 5G θεωρείται ως η φυσική επιλογή για ασύρματες επικοινωνίες σε αυτόνομα αυτοκίνητα, υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Πρώτον, κρίσιμες αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται από το αυτόνομο αυτοκίνητο με βάση τη δική του επεξεργασία, έτσι ώστε ο χρόνος αντίδρασης να διατηρείται κάτω από 2 ms. Ακόμα κι αν το 5G έχει θεωρητικό λανθάνοντα χρόνο 1 ms, αυτή είναι η καλύτερη περίπτωση για τον σταθμό βάσης. Εάν απαιτούνται πολλά άλματα για τη λήψη των απαιτούμενων δεδομένων, η καθυστέρηση μπορεί να αυξηθεί πάνω από 2 ms. Για παράδειγμα, οι μετρήσεις μας σε ένα πραγματικό δίκτυο 5G δείχνουν RTT 6 ms σε έναν διακομιστή που βρίσκεται λίγα άλματα μακριά. Δεύτερον, υπάρχει η πρόκληση της εμπιστοσύνης και της αυθεντικότητας στα μηνύματα που λαμβάνει ένα όχημα από άλλες οντότητες. Στο πλαίσιο των θεμάτων ασφάλειας σε περιβάλλοντα 5G, υπάρχει επιτακτική ανάγκη να αξιολογηθεί ο αντίκτυπός τους σε κρίσιμα συστήματα, όπως τα αυτόνομα οχήματα.

3.6.3 Έξυπνα Drones

Η ευελιξία στην ανάπτυξη μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), γνωστών και ως drones, έχει επιτρέψει μια σειρά περιπτώσεων χρήσης όπως η εξάπλωση του Διαδικτύου σε απομακρυσμένες περιοχές, οι επικοινωνίες με τη δημόσια ασφάλεια, η αποκατάσταση καταστροφών, η ανίχνευση περιοχής πλημμύρας και οι ειδικές παραδόσεις. Η χρήση πολλαπλών drones, ή σμήνους drone, επιτρέπει τη διάδοση του Διαδικτύου σε περιοχές που δεν διαθέτουν αξιόπιστη συνδεσιμότητα. Σε αυτήν την περίπτωση χρήσης, πολλά drones πετούν αυτόνομα σε κοντινή απόσταση για να δημιουργήσουν ένα ασύρματο δίκτυο χωρίς κενά στη διανομή του σήματος στο έδαφος.



Εικόνα 3-16 5G drones

Η ανάπτυξη σταθμών βάσης UAV (π.χ. σταθμοί βάσης drone) μπορεί να επιταχυνθεί με 5G, ειδικά με τη χρήση της τεχνολογίας mmWave και ενός τεράστιου αριθμού συνδέσεων. Επί του παρόντος, το περιορισμένο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων κάτω των 6 GHz δεν είναι ικανό να υποστηρίξει έξυπνα drones και UAV. Με τη χρήση μεγαλύτερου φάσματος, μεταξύ 28 και 95 GHz (§2.1), το 5G επιτρέπει την αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ drones και χρηστών εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, το 5G θα επιτρέψει την ασύρματη ευρυζωνική σύνδεση για φορητές συσκευές με χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή πυκνότητα σύνδεσης.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του 5G, δηλαδή η ενεργειακή απόδοση, θα μπορούσε να έχει αντίκτυπο στους σταθμούς βάσης UAV. Αυτά τα UAV λειτουργούν με μπαταρίες και πρέπει να παρουσιάζουν ικανοποιητικό χρόνο λειτουργίας για να είναι δυνατή η αξιόπιστη συνδεσιμότητα. Ενώ εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως τα ηλιακά πάνελ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας, η ενεργειακή απόδοση του 5G είναι ένα συμπληρωματικό χαρακτηριστικό που μπορεί να παρατείνει τον χρόνο λειτουργίας. Τα drones που είναι συνδεδεμένα με 5G μπορούν να βοηθήσουν σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπου τα drones επικοινωνούν και μοιράζονται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο με χειριστές στο έδαφος. Αυτό αυξάνει την επιτυχία των αποστολών έρευνας και διάσωσης και επιτρέπει στις ομάδες ανακούφισης να αποστέλλουν ομάδες διάσωσης. Για παράδειγμα, αυτή η περίπτωση χρήσης μπορεί να εκτιμήσει γρήγορα τα επίπεδα των συντριμμιών και να διανείμει τους πόρους αποτελεσματικά. Η υιοθέτηση έξυπνων drones και 5G θα εκθέσει προκλήσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια, το απόρρητο και τη δημόσια ασφάλεια.

Εκτός από τις επιθέσεις στον κυβερνοχώρο DDoS, όπως αυτές που εκτοξεύονται με συσκευές IoT, τα drones θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη διεξαγωγή φυσικών επιθέσεων στον πληθυσμό μιας έξυπνης πόλης. Στο πλαίσιο των σταθμών βάσης UAV, πρέπει να υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ της υπηρεσίας παροχής Διαδικτύου και του επιπέδου ελέγχου UAV. Ο τεμαχισμός δικτύου και η εικονικοποίηση

θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση ορισμένων από τις προκλήσεις ασφαλείας των έξυπνων drones.

3.6.4 Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα

Σε μια μελέτη του Ινστιτούτου Επιχειρηματικής Αξίας της IBM, οι υποψήφιοι χρήστες του 5G προσβλέπουν σε εφαρμογές ψυχαγωγίας που βασίζονται σε τεχνολογίες VR και AR. Οι πιθανές περιπτώσεις χρήσης αυτών των διαδραστικών και καθηλωτικών τεχνολογιών είναι ευρείες και ποικίλες, αλλά η πλατφόρμα πίσω από αυτές τις επαναστατικές τεχνολογίες είναι η ίδια: ένας συνδυασμός σύνδεσης cloud, edge και 5G [58]. Επί του παρόντος, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν το VR, το AR και η μικτή πραγματικότητα σχετίζονται κυρίως με την έλλειψη κινητικότητας και την κακή εμπειρία χρήστη όσον αφορά την καθυστέρηση και τη χαμηλή ποιότητα βίντεο. Στο πλαίσιο του 5G, η κατανομημένη υπολογιστική άκρη θα είναι η κύρια τεχνολογία για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Με το υψηλό εύρος ζώνης και τη χαμηλή καθυστέρηση του 5G, το cloud και το edge computing μπορούν να προσφέρουν περιεχόμενο υψηλής ανάλυσης στα γυαλιά VR, επιτρέποντας ταυτόχρονα τη μεταφόρτωση υπολογισμού από τα γυαλιά VR στα ακραία cloudlets ή απευθείας στο cloud. Με αυτόν τον τρόπο, η παράδοση περιεχομένου θα είναι ταχύτερη, επιτρέποντας ομαλές εμπειρίες VR/AR. Ως μέρος της ψυχαγωγίας AR/VR, οι χρήστες ενδιαφέρονται για διαδραστικά παιχνίδια και καθηλωτική ροή αθλημάτων, ηλεκτρονικών αθλημάτων και ριάλιτι. Με το 5G, η εμπειρία παιχνιδιού βελτιώνεται λόγω των συνδέσεων χαμηλού λανθάνοντος χρόνου σε διακομιστές παιχνιδιών. Ταυτόχρονα, το υψηλό εύρος ζώνης του 5G επιτρέπει την επεξεργασία γραφικών σε ισχυρούς διακομιστές στο cloud ή στο edge, ενώ το βίντεο υψηλής ευκρίνειας μεταφέρεται πίσω στη συσκευή του παίκτη. Μια μελέτη από την Intel και το Owm προβλέπει ότι το 5G θα επιτρέψει έσοδα σχεδόν 50 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ έως το 2028 στη βιομηχανία τυχερών παιχνιδιών AR/VR. Πέρα από την ψυχαγωγία, το 5G θα συνδέει τους εργαζόμενους στο front-end και στο back-end σε μεγάλους οργανισμούς. Οι εργαζόμενοι στο Front-end είναι πάντα οι πρώτοι που αλληλεπιδρούν με έναν δυνητικό ή υπάρχοντα πελάτη ή κάνουν μια επίδειξη προϊόντος για την εταιρεία.

Είναι συχνά κρίσιμο για τους μεγάλους οργανισμούς να συνδέουν τον πελάτη, τον εργαζόμενο στο front-end και τον ηγέτη, πέρα από γεωγραφικά όρια. Με το 5G, τα εργαλεία επικοινωνίας θα υποστηρίξουν ανάδραση σε πραγματικό χρόνο που επιτρέπει στους κατανομημένους εργαζόμενους να ξεπεράσουν την καθυστέρηση επικοινωνίας και να ανταποκριθούν έγκαιρα στις ανάγκες των πελατών. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο, ειδικά σε περιβάλλον με γρήγορο ρυθμό. Επιπλέον, οραματιζόμαστε ότι το 5G θα επιτρέψει καλύτερες εμπειρίες στην εξ αποστάσεως εργασία. Η καθυστέρηση 5G είναι πολύ χαμηλότερη σε σύγκριση με τον ρυθμό ανανέωσης των συνηθισμένων οθονών, που είναι 60 Hz (ή 17 ms). Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα τερματικά που είναι συνδεδεμένα στο 5G δεν χρειάζεται να είναι παχύ πελάτες που εκτελούν ολόκληρο λειτουργικό σύστημα: μπορεί να είναι συσκευές χαμηλής κατανάλωσης εξοπλισμένες με ένα απλό πρόγραμμα περιήγησης. Το υψηλό εύρος ζώνης του 5G επιτρέπει τη ροή γραφικών UHD, όπου η μηχανή γραφικών 3D λειτουργεί σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή, για παράδειγμα σε ένα cloudlet.

Σε περιβάλλον 5G, αυτή η υπηρεσία υπολογιστών cloud θα υποστηρίζει ποιότητα εικόνας έως και 4K. Με αυτόν τον τρόπο, μια φορητή συσκευή συνδεδεμένη σε δίκτυο 5G μπορεί να χρησιμεύσει ως φορητός σταθμός εργασίας ή ως κονσόλα παιχνιδιών για κινητά. Προς το παρόν, αυτές οι υπηρεσίες δεν προσφέρουν εξαιρετική εμπειρία χρήστη, ειδικά για χρήστες κινητών, λόγω της υψηλής καθυστέρησης δικτύου. Ωστόσο, αναμένουμε βελτίωση με την υιοθέτηση του 5G.

3.6.5 Ηλεκτρονικό εμπόριο

Το ηλεκτρονικό εμπόριο, όπως οι ηλεκτρονικές αγορές, θα διαταραχθεί περαιτέρω από τις τεχνολογίες 5G. Η ροή βίντεο υψηλής ποιότητας και η ροή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο όχι μόνο θα προσφέρουν μια καθηλωτική εμπειρία αγορών με γρήγορες και εξατομικευμένες προτάσεις, αλλά θα επιτρέψουν επίσης δυναμικές επιλογές συνδυασμού και αντιστοίχισης. Για παράδειγμα, ένα έπιπλο μπορεί να προβληθεί από την οπτική γωνία ενός πραγματικού οικιακού περιβάλλοντος.

Ενώ το 4G έκανε δημοφιλείς τις ηλεκτρονικές αγορές, το 5G είναι πιθανό να το κάνει μερικά βήματα παραπέρα με την επαυξημένη πραγματικότητα, τον γρήγορο έλεγχο δεδομένων, τις συστάσεις και τη συνολική εμπειρία. Το 5G, μαζί με άλλες τεχνολογίες όπως το AI, το IoT και το blockchain, θα διαταράξουν το ηλεκτρονικό εμπόριο και τις χρηματοοικονομικές βιομηχανίες στο εγγύς μέλλον. Οι εταιρείες τεχνολογίας ηλεκτρονικού εμπορίου και χρηματοδότησης θα αμφισβητήσουν τις παραδοσιακές ή παλαιού τύπου τράπεζες με την προσφορά καλύτερης διαδικτυακής εμπειρίας πελατών μέσω 5G και AI.

Η ζήτηση για απρόσκοπτη εμπειρία ψηφιακής τραπεζικής θα μεταμορφώσει τις τραπεζικές υπηρεσίες. Οι διαδικτυακές μεταφορές, οι πληρωμές και οι αγορές τραπεζικών προϊόντων θα είναι ο κανόνας και η πίστη των πελατών θα γίνει αδύναμη λόγω των υψηλότερων προσδοκιών και της ευκολίας μετακίνησης των κεφαλαίων. Το 5G, το edge computing και το IoT πρόκειται να βελτιώσουν τόσο την παραδοσιακή όσο και την ψηφιακή τραπεζική εμπειρία. Πρώτον, το 5G με τη χαμηλή καθυστέρηση και την τεχνολογία εικονικοποίησης δικτύου μπορεί να επιτρέψει την ασφαλή αλλά ευέλικτη τοποθέτηση των αυτόματων ταμειακών μηχανών (ATM) και των σημείων πώλησης (POS) σε απομακρυσμένες περιοχές σε έξυπνες πόλεις ή στην ύπαιθρο.

Δεύτερον, οι συσκευές IoT, όπως τα έξυπνα ρολόγια και τα έξυπνα πορτοφόλια, θα χρησιμοποιούν 5G για ταχύτερη και ασφαλέστερη τραπεζική. Το AI έχει χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση του κέρδους στις συναλλαγές εξετάζοντας ιστορικά αρχεία, σχετικές ειδήσεις και πληροφορίες και την απόδοση του μοντέλου. Τα bot συναλλαγών γίνονται πιο έξυπνα, έχοντας τη δυνατότητα να μεγιστοποιούν τα κέρδη και να κάνουν μικρότερες ζημιές. Ενώ οι έμποροι ανθρώπων εξακολουθούν να κυριαρχούν, οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης αναπτύσσονται όλο και περισσότερο από εμπορικές εταιρείες. Με το 5G, η συνεργατική συναλλαγή σε πραγματικό χρόνο, είτε μεταξύ ανθρώπων είτε μεταξύ ανθρώπων και τεχνητής νοημοσύνης, καθίσταται εφικτή λόγω των χαμηλών καθυστερήσεων δικτύωσης.

3.6.6 Ο ρόλος του 5G στο δίκτυο οχημάτων για έξυπνα οχήματα σε έξυπνες πόλεις

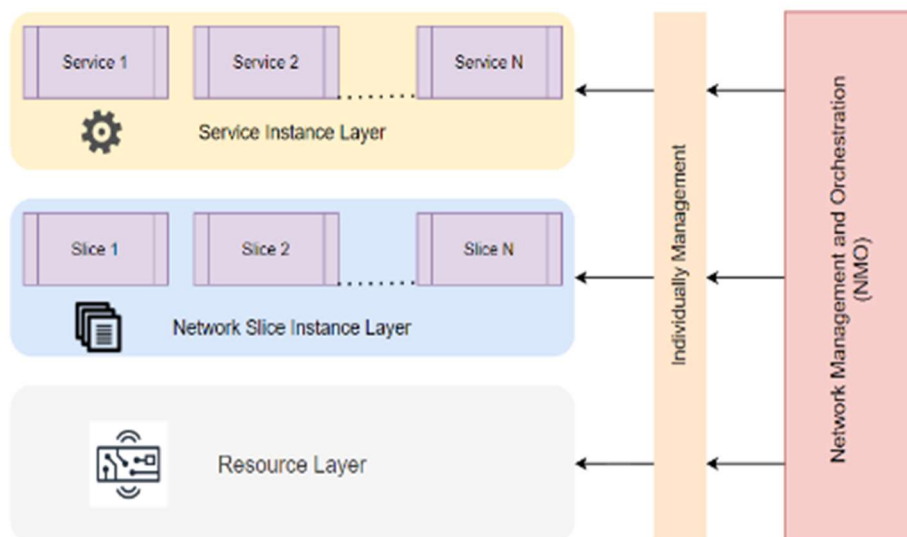
1) Slicing for QoS: Η δημιουργία τμημάτων όταν λαμβάνεται υπόψη η παράμετρος ποιότητας των υπηρεσιών σχετικά με συγκεκριμένες εφαρμογές για τελικούς χρήστες. Αυτός ο τύπος τεμαχισμού βασίζεται στην κοινή χρήση υπηρεσιών με μεγαλύτερη προτεραιότητα για τους χρήστες, όπως ροή βίντεο, gaming cloud, ιατρικά επείγοντα περιστατικά κ.λπ.

2) Τεμαχισμός για κοινή χρήση υποδομής: Η δυνατότητα κοινής χρήσης ολόκληρης της υποδομής, συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου RAN. Εάν ένας χειριστής που κατέχει ένα slice δώσει πρόσβαση και μοιράζεται την υποδομή του στους χρήστες του, το τμήμα θα μπορούσε να τροποποιηθεί και να προσαρμοστεί ευκολότερα, καθώς οι ενοικιαστές μπορούν να αλλάξουν τη δομή του. Όπως περιγράφει η NGMN Alliance στο έγγραφο, η έννοια του τεμαχισμού δικτύου αποτελείται από τρία λειτουργικά επίπεδα:

3) Επίπεδο παρουσίας υπηρεσιών: αντιπροσωπεύει τις υπηρεσίες που απαιτούνται από επιχειρηματικές εταιρείες ή τελικούς χρήστες. Ο χειριστής ή ένα τρίτο μέρος μπορεί να παρέχει τις υπηρεσίες και ένα παράδειγμα υπηρεσίας αντιπροσωπεύει κάθε υπηρεσία.

4) Επίπεδο παρουσίας κομματιού δικτύου: παρέχει χαρακτηριστικά δικτύου που απαιτούνται από το Επίπεδο παρουσίας υπηρεσίας. Για να δημιουργήσει ένα στιγμιότυπο τμήματος δικτύου, ο χειριστής χρησιμοποιεί ένα Σχέδιο τμημάτων δικτύου, μια λίστα φυσικών και λογικών απαιτήσεων, μια πλήρη περιγραφή της δομής, της διαμόρφωσης και των ροών εργασιών δημιουργίας και ελέγχου της παρουσίας τμημάτων δικτύου. Αυτό το επίπεδο μπορεί επίσης να αποτελείται από καμία ή από πολλές παρουσίες υποδικτύου που έχουν δημιουργηθεί με βάση σχεδιαγράμματα τμημάτων υποδικτύου.

5) Επίπεδο πόρων: αναφέρεται στις φυσικές και εικονικές λειτουργίες δικτύου που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ενός στιγμιότυπου slice. Σε αυτό το επίπεδο, η κατάμηση πόρων βασίζεται στη διαμόρφωση πόρων NFV Orchestrator και εφαρμογής. Σε αυτά τα τρία επίπεδα, προστίθεται η συνάρτηση Διαχείριση και Ενορχήστρωση Δικτύου (NMO) για να παρέχει διαχείριση και ενορχήστρωση στις λειτουργίες των τριών επιπέδων. Το NMO θα πρέπει να μπορεί να διαχειρίζεται κάθε κομμάτι ξεχωριστά.



Εικόνα 3-17 Εξαιρετικά αξιόπιστα τμήματα επικοινωνιών χαμηλής καθυστέρησης

3.6.7 Προχωρημένες εφαρμογές και υπηρεσίες IoV.

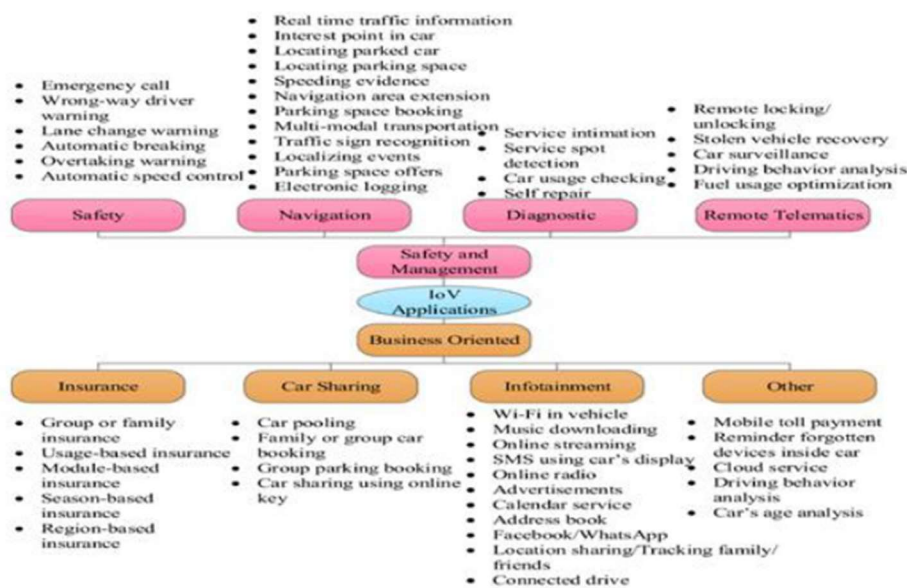
Το παγκόσμιο δίκτυο οχημάτων IoV – που ενεργοποιείται από διάφορες Τεχνολογίες Ασύρματης Πρόσβασης (WAT) περιλαμβάνει Διαδίκτυο και περιλαμβάνει ετερογενή δίκτυα πρόσβασης IoV – μπορεί να δει κανείς μια ειδική περίπτωση χρήσης του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT).

Τομείς στόχου IoV:

- Οδήγηση και ασφάλεια οχημάτων (βασική λειτουργία – σε VANET).
- Νέοι τομείς: διαχείριση κυκλοφορίας, επισκευή παραγωγής αυτοκινήτων και ασφάλιση οχημάτων, κατασκευή και επισκευή οδικών υποδομών, logistics και μεταφορές κ.λπ.

Τα χαρακτηριστικά του IoV είναι τα ακόλουθα:

- Επιχειρηματική αρχιτεκτονική
- Συνεργασία μεταξύ ετερογενών δικτύων, αξιόπιστη υπηρεσία Διαδικτύου
- Προσφερόμενοι τύποι επικοινωνίας: όλοι οι τύποι V2X. Επιπλέον, είναι δυνατή η λειτουργία "πάντα συνδεδεμένος"
- Υψηλή ικανότητα επεξεργασίας και ικανότητα λήψης αποφάσεων
- Συμβατότητα με οποιεσδήποτε προσωπικές συσκευές Επεκτασιμότητα και δυνατότητες ενσωμάτωσης διάφορων τεχνολογιών δικτύου/περιβάλλοντος - οι κύριες λειτουργίες παγκόσμιας ευαισθητοποίησης (Edge/cloud-assisted) μπορούν να βασιστούν στις υπηρεσίες υπολογιστών CC/Edge)



Εικόνα 3-18 IoV applications

3.6.8 Ποια είναι τα οφέλη του 5G για το IoT;

Με τη σύνδεση των πραγμάτων οι επιχειρήσεις μπορούν να αναπτύξουν νέα ή να βελτιώσουν υφιστάμενα προϊόντα, υπηρεσίες και επιχειρηματικές διαδικασίες. Από την αυτοκινητοβιομηχανία έως την έξυπνη κατασκευή και τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, ο ρόλος του IoT θα αυξηθεί σε σημασία, υπερβαίνοντας σχεδόν κάθε κλάδο. Επιπλέον, το IoT θα συνεχίσει να ωφελεί την κοινωνία, επιτρέποντας την εφαρμογή της κυβερνητικής πολιτικής. Για παράδειγμα, επιτρέποντας τον περαιτέρω έλεγχο της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και της κυμαινόμενης προσφοράς ή την ελαχιστοποίηση της σπατάλης κρίσιμων πόρων, όπως το νερό. Τα σημερινά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, γνωστά ως 2G, 3G και 4G, παρέχουν μια ισχυρή βάση για τη σύνδεση των πραγμάτων. Τα δίκτυα 2G, 3G και 4G αναπτύχθηκαν αρχικά για να επιτρέψουν την προσωπική επικοινωνία και τις κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες. Παρόλα αυτά, έχουν επίσης αποδειχθεί εξαιρετικά ικανά για τις απαιτήσεις του IoT, προσφέροντας τεχνικές δυνατότητες που ξεπερνούν τις περισσότερες υπάρχουσες περιπτώσεις χρήσης και με χαρακτηριστικά ιδιαίτερα κατάλληλα για το IoT.

Για παράδειγμα, η παγκόσμια τυποποίηση και η κάλυψη σημαίνουν ότι τα προϊόντα και οι υπηρεσίες μπορούν να κλιμακωθούν σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αξιοποίηση της κλίμακας του κλάδου της κινητής τηλεφωνίας και των δισεκατομμυρίων συνδεδεμένων κινητών τηλεφώνων επιτρέπει την αποδοτικότητα κόστους, την αξιοπιστία, την ασφάλεια και τη συνεχή ανάπτυξη των συσκευών, των τεχνολογιών δικτύου και των δυνατοτήτων των παρόχων υπηρεσιών.

3.6.9 Βασικά πλεονεκτήματα του 5G για το IoT

- Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα
- Εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης
- Πολύ ταχύτερα δεδομένα σε πόλεις, αστικές περιοχές και τοπικά δίκτυα
- Βελτιωμένες λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας για συσκευές που χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους
- Συνδεσιμότητα για την εποχή του διαδικτύου στις αγροτικές περιοχές, επειδή τα γερασμένα 2G και 3G θα αντικατασταθούν με σύγχρονο 5G



Εικόνα 3-19 5G πλεονεκτήματα

3.6.10 Περιπτώσεις χρήσης 5G στο IoT

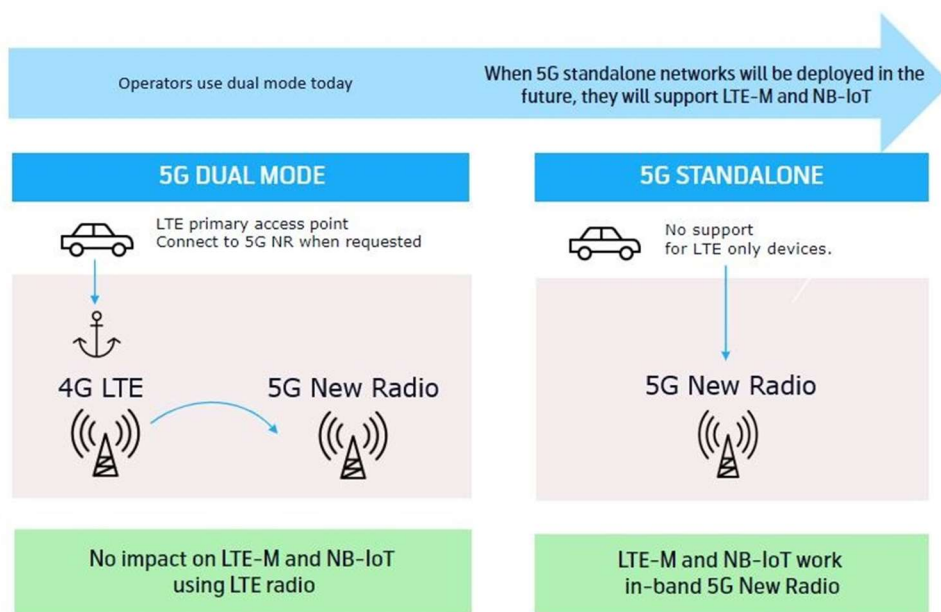
Το 5G είναι το πρώτο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που έχει σχεδιαστεί από την αρχή για την υποστήριξη περιπτώσεων χρήσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (βλ. Περιπτώσεις χρήσης του 5G για επιχειρήσεις). Όταν σχεδιάστηκε το 5G εξετάστηκε ένας αριθμός περιπτώσεων χρήσης, όπως η υποβοηθούμενη οδήγηση, τα ρομπότ παράδοσης, τα αυτοματοποιημένα οχήματα με οδηγό (AGV), τα συνδεδεμένα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και οι εφαρμογές δημόσιας ασφάλειας. Το πρότυπο περιλαμβάνει λειτουργίες για την υποστήριξη πολλών σεναρίων ανάπτυξης, για παράδειγμα:

Massive mobile IoT: Μαζική ανάπτυξη για αποδοτικές και απλούστερες συσκευές IoT, για παράδειγμα αισθητήρες. Αυτές οι συσκευές συχνά στέλνουν λίγα δεδομένα, αλλά το κόστος, η ενεργειακή απόδοση και η αξιόπιστη κάλυψη μπορεί να είναι κρίσιμα για να είναι η περίπτωση χρήσης σχετική. Η τεχνολογία 5G massive mobile IoT θα επιτρέψει συσκευές χαμηλού κόστους με διάρκεια ζωής μπαταρίας 10+ ετών και ενισχυμένη κάλυψη ακόμη και υπόγεια και σε απομακρυσμένες περιοχές. Μέρος της τεχνολογίας για την επίτευξη αυτού του στόχου έχει προωθηθεί με το 4G ως NB-IoT και LTE-M και έχει αναπτυχθεί σε πολλές χώρες πριν από την ανάπτυξη του 5G.

Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα: Το 5G Enhanced φέρνει περισσότερα δεδομένα. Σήμερα αυτό χρησιμοποιείται συχνά για ροή δεδομένων. Η ενισχυμένη

κινητή ευρυζωνικότητα δεν είναι σημαντική μόνο για την προσωπική επικοινωνία αλλά και για το IoT. Εδώ η έμφαση δίνεται στα περισσότερα δεδομένα και στην απόδοση.

Κρίσιμη επικοινωνία: Η τεχνολογία 5G βελτιώνει την προβλεψιμότητα και την ασφάλεια των δεδομένων, παρέχοντας γρήγορη απόκριση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, σε αυτόνομα οχήματα ή συνεργατικά ρομπότ στη βιομηχανία 4.0. Εδώ η εστίαση είναι στη γρήγορη λήψη αποφάσεων από τις συσκευές, χρησιμοποιώντας γρήγορα και προβλέψιμα χαρακτηριστικά υπηρεσιών.



Εικόνα 3-20 Δεν έχει τίτλο

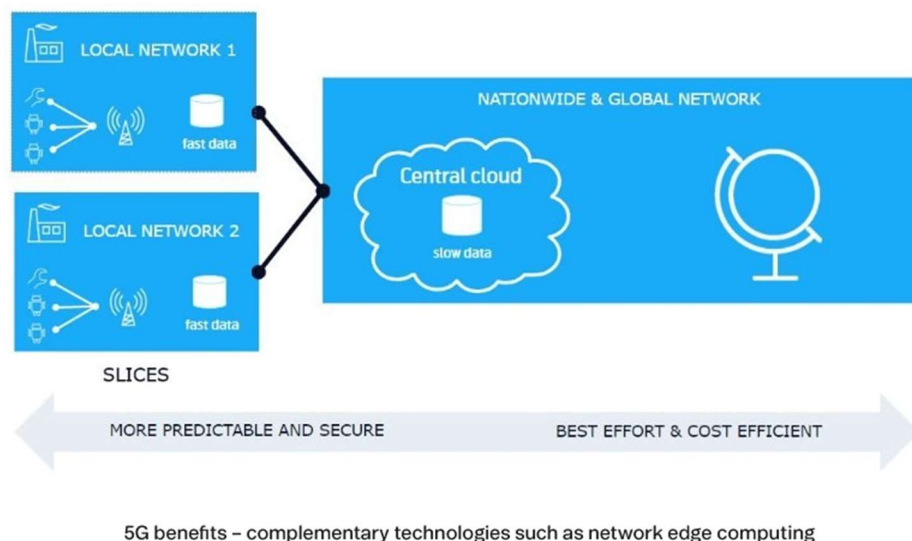
3.6.11 Πώς το 5G ανοίγει νέες ευκαιρίες στο IoT

Το 5G είναι σε καλή θέση για να υποστηρίξει περιπτώσεις χρήσης IoT που χρειάζονται συνεχή επικοινωνία υψηλής ταχύτητας ή βασίζονται σε γρήγορη ανάλυση δεδομένων και λήψη αποφάσεων για την επίτευξη επιχειρηματικών οφελών.

Με το 5G, οι εφαρμογές IoT θα αποκτήσουν επίσης μεγαλύτερο έλεγχο των χαρακτηριστικών του δικτύου και θα μπορούν να το προγραμματίζουν σύμφωνα με τις ανάγκες της περίπτωσης χρήσης. Για παράδειγμα, με το LTE-M και το NB-IoT υπάρχει λειτουργικότητα δικτύου που επιτρέπει βελτιωμένη κάλυψη ή μειωμένη κατανάλωση μπαταρίας για μια εφαρμογή (δείτε τον οδηγό μας σχετικά με τις διαφορές μεταξύ LTE-M και NB-IoT). Με την πάροδο του χρόνου θα είναι δυνατό να αποκτήσετε ακόμη μεγαλύτερο έλεγχο στα επίπεδα υπηρεσιών, στον τόπο επεξεργασίας των δεδομένων κ.λπ.

Συμπληρωματικές τεχνολογίες, όπως το network edge computing, θα μπορούσαν να το πάνε ακόμα πιο μακριά, επιτρέποντας την εκτέλεση της εφαρμογής σε

κατανεμημένους διακομιστές cloud που βρίσκονται κοντά στη συσκευή IoT και όχι σε ένα κεντρικό κέντρο δεδομένων cloud.



Εικόνα 3-21 5G edge computing

3.6.12 Μελλοντικές προοπτικές για τις τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας

Τόσο το 5G όσο και το 4G θα είναι διαθέσιμα για το ορατό μέλλον. Το 2G βρίσκεται σε εμπορική λειτουργία για περισσότερα από 30 χρόνια και το 4G/5G είναι πιθανό να λειτουργήσει για τουλάχιστον το ίδιο χρονικό διάστημα. Το 5G έχει σχεδιαστεί από τον αρχικό του σχεδιασμό για να συνυπάρχει με την τεχνολογία 4G. Για τις επιχειρήσεις αυτό σημαίνει ότι τόσο το 5G όσο και το 4G θα είναι διαθέσιμα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το Mobile IoT και ο δυναμικός διαμοιρασμός φάσματος είναι δύο παραδείγματα αυτής της συνύπαρξης.

Οι τεχνολογίες Mobile IoT LTE-M και NB-IoT σχεδιάστηκαν για το 5G, αλλά προωθήθηκαν για να λειτουργούν στο 4G. Τα LTE-M και NB-IoT σχεδιάστηκαν για αποδοτικότητα για συσκευές που χρησιμοποιούν λιγότερα δεδομένα, όπως αισθητήρες εγκατεστημένοι σε κτίρια, και είναι κατάλληλα για συσκευές που έχουν μέτριες απαιτήσεις δεδομένων, αλλά χρειάζονται μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και ολοκληρωμένη κάλυψη.

Ο δυναμικός διαμοιρασμός φάσματος επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών συνδεσιμότητας να εξυπηρετούν συσκευές 4G και 5G στις ίδιες ραδιοσυχνότητες.

Το 5G είναι επί του παρόντος διαθέσιμο κυρίως στις μεγάλες πόλεις του ανεπτυγμένου κόσμου για την αποφόρτιση του 4G σε πολυσύχναστες περιοχές. Σε μεγάλα τμήματα της Ευρώπης, το 5G, συχνά με τη μορφή LTE-M, θα αντικαταστήσει τόσο το 2G όσο

και το 3G. Αναμένουμε ότι το 5G σε εθνικό επίπεδο και η αντικατάσταση των 2G και 3G σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες θα είναι μια mainstream πραγματικότητα το 2025.

Επίσης, μετά το 2025, πιστεύουμε ότι οι τεχνολογίες 4G σε εθνικό επίπεδο θα συνεχίσουν να λειτουργούν, επειδή το 5G έχει σχεδιαστεί για να συνυπάρχει με το 4G και το 4G συνεχίζει να είναι μια πολύ αποδοτική τεχνολογία.

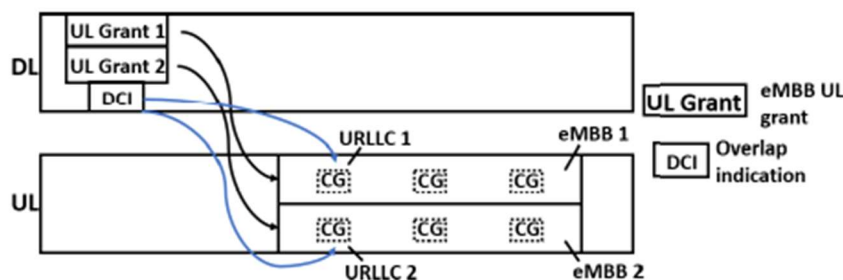
3.7 Μειονεκτήματα της τεχνολογίας 5G

1. Άμεση απαξίωση

Για τη μετάβαση στο δίκτυο 5G θα χρειαστούν συσκευές ικανές να υποστηρίξουν το δίκτυο 5G. Οι σημερινές συσκευές 4G δεν διαθέτουν αυτή τη δυνατότητα και θα ξεπεραστούν γρήγορα. Επιπλέον, μια σύνδεση 5G στο τηλέφωνο θα προκαλέσει σημαντική απορρόφηση ενέργειας, μειώνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ως εκ τούτου, οι παραγωγοί πρέπει να επενδύσουν σε καινοτόμες τεχνολογίες μπαταριών για να προστατεύσουν την μπαταρία από βλάβες και άλλα ζητήματα.

2. Αποκλεισμός της τεχνολογίας

Η ανάπτυξη του δικτύου 5G υποδηλώνει επίσης ότι δεν θα είναι άμεσα προσβάσιμο σε όσους έχουν τυπικό εισόδημα. Θα χρειαστεί περισσότερος χρόνος για να ολοκληρωθεί, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι πόροι.



Εικόνα 3-22 Σήμανση των URLLC UEs για επικάλυψη με τα eMBB UEs σε περιοχές CG

3. Ανεπαρκής υποδομή

Το δίκτυο 5G θα χρειαστεί μεγάλης κλίμακας, δαπανηρές επενδύσεις σε υποδομές για την ενίσχυση της χωρητικότητας και τη διεύρυνση της κάλυψης για να λειτουργήσει σωστά. Λόγω των σημαντικών δαπανών, οι κυβερνήσεις θα κληθούν να πληρώσουν για τη βέλτιστη λειτουργία του 5G- αυτή η κατάσταση θα προκαλέσει αναπόφευκτα καθυστερήσεις στην ανάπτυξή του.

Αν και το 5G λειτουργεί γρήγορα σε υψηλές ταχύτητες, δεν θα έχει την ίδια εμβέλεια με το 4G. Επιπλέον, οι μεγάλες κατασκευές και τα δέντρα ενδέχεται να εμποδίσουν τη συχνότητα του δικτύου 5G, γεγονός που θα προκαλέσει αρκετά προβλήματα. Εξαιτίας αυτού, η παροχή κάλυψης με πρόσθετους πύργους διαρκεί περισσότερο χρόνο και κοστίζει περισσότερο χρήματα. Η βροχή μπορεί επίσης να επηρεάσει την κάλυψη 5G, γεγονός που απαιτεί πρόσθετη θωράκιση.

4. Κίνδυνοι ασφαλείας και σωστή επεξεργασία των δεδομένων

Πιο αμφιλεγόμενη πτυχή των πλεονεκτημάτων έναντι των μειονεκτημάτων βρίσκεται εδώ, καθώς όλα αυτά απαιτούν την καλύτερη διαχείριση των δεδομένων. Και η αλήθεια είναι ότι όχι μόνο θέματα όπως οι προσεγγίσεις των Big Data ασχολούνται με τη διαχείριση όλων αυτών των πληροφοριών από επιχειρήσεις, ανθρώπους, ακόμη και κυβερνήσεις.

Η αύξηση του εύρους ζώνης καθιστά απλό για τους κλέφτες να αρπάξουν τη βάση δεδομένων. Επιπλέον, το λογισμικό που χρησιμοποιεί την καθιστά εκτεθειμένη σε επιθέσεις. Οι επιθέσεις είναι αρκετά πιθανές όταν το 5G συνδέεται με περισσότερες συσκευές. Ως αποτέλεσμα, οι οργανισμοί και οι εταιρείες θα πρέπει να επενδύσουν σε ένα κέντρο επιχειρήσεων ασφαλείας για να προστατεύσουν την υποδομή τους.

Περίληψη

Με βάση μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση, παρουσιάσαμε σε αυτήν την ενότητα ορισμένες βασικές περιπτώσεις χρήσης που πρόκειται να ενεργοποιηθούν από το 5G. Συνοψίζουμε την παρουσίασή μας επισημαίνοντας τις τάσεις και τις προκλήσεις που προβλέπουμε σε περίπτωση υιοθέτησης του 5G.

Αποτελεσματική Υγεία. Ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης έχει ένα τεράστιο μέγεθος αγοράς το οποίο πρόκειται να αυξηθεί με τη γήρανση του πληθυσμού σε όλο τον κόσμο. Το 5G, μαζί με τη Μηχανική Μάθηση και το IoT, πρόκειται να επιτρέψει πιο αποτελεσματική και οικονομικά προσιτή υγειονομική περίθαλψη, ακόμη και σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες. Ωστόσο, η πρόκληση στην απομακρυσμένη

υγειονομική περίθαλψη αντιπροσωπεύεται από την ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων των ασθενών.

Έξυπνη Πόλη. Οι έξυπνες πόλεις, συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων αυτοκινήτων, των έξυπνων drones και των έξυπνων δικτύων, θα επωφεληθούν από το 5G, καθώς μειώνει τον λανθάνοντα χρόνο, επιτρέπει το τεράστιο IoT και προσφέρει εξαιρετικά αξιόπιστη συνδεσιμότητα. Και πάλι, η κύρια πρόκληση αντιπροσωπεύεται από τους κινδύνους ασφαλείας που συνδέονται με την υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών. Απομένει να διερευνηθεί εάν η εικονικοποίηση και ο διαχωρισμός δικτύου στο 5G πρόκειται να μετριάσουν τους κινδύνους ασφαλείας ή να εισαγάγουν νέα ζητήματα.

Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα. Η εικονική και η επαυξημένη πραγματικότητα είναι ένας τομέας με τεράστιες επιχειρηματικές δυνατότητες που εκτείνεται τόσο στην ψυχαγωγία όσο και σε δραστηριότητες που σχετίζονται με την εργασία. Με το αυξημένο εύρος ζώνης και τη χαμηλή καθυστέρηση, το 5G θα δημιουργήσει μια καθηλωτική εμπειρία σε ταινίες και ζωντανή ροή, παιχνίδια, ριάλιτι, μεταξύ άλλων. Από την άλλη πλευρά, το 5G θα αυξήσει την παραγωγικότητα των επιχειρήσεων που χρησιμοποιούν υπολογιστές απομακρυσμένης επιφάνειας εργασίας.

Συμπεράσματα

Με το 5G στα πρόθυρα να υιοθετηθεί ως το επόμενο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, είναι απαραίτητο να αναλυθεί ο αντίκτυπος του στο τοπίο της πληροφορικής και της διαχείρισης δεδομένων. Σε αυτό το έγγραφο, αναλύσαμε τον ευρύ αντίκτυπο του 5G τόσο στις παραδοσιακές όσο και στις αναδυόμενες τεχνολογίες και μοιραστήκαμε την άποψή μας για τις μελλοντικές ερευνητικές προκλήσεις και ευκαιρίες. Ελπίζουμε αυτή η ανασκόπηση να χρησιμεύσει ως βάση για περαιτέρω μελέτη και ανάπτυξη σχετικών τεχνολογιών. Το 5G θα κάνει τον κόσμο ακόμα πιο πυκνά και στενά συνδεδεμένο και θα μας παρουσιάσει τεράστιες δυνατότητες και ευκαιρίες για να ξεπεράσουμε τις προκλήσεις που έχουμε μπροστά μας.

4. URLLC

Νέες υπηρεσίες και εφαρμογές που απαιτούν χαμηλότερη καθυστέρηση, καλύτερη αξιοπιστία, τεράστια πυκνότητα σύνδεσης και βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση αναδύονται με πρωτοφανή τρόπο. Μια ποικιλία προηγμένων χαρακτηριστικών καθιστούν 5G σε μοναδική θέση για να ικανοποιήσει όλες αυτές τις απαιτήσεις και να αξιοποιήσει αυτές τις ευκαιρίες της αγοράς.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC), ένα σύνολο χαρακτηριστικών που έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίξει κρίσιμων εφαρμογών, όπως το βιομηχανικό διαδίκτυο, τα έξυπνα δίκτυα, οι απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις και οι ευφυείς συστήματα μεταφορών.

Με το 4G LTE, η καθυστέρηση είναι σήμερα στην περιοχή των 4 χιλιοστών του δευτερολέπτου σύμφωνα με την έκδοση 14 του 3GPP. Το URLLC αποτελεί μέρος της Release 15 και έχει στόχο το 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου. Το URLLC είναι επίσης ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν end-to-end ασφάλεια και αξιοπιστία 99,999 τοις εκατό, και είναι σχεδόν ντετερμινιστική στα χρονικά όρια της παράδοσης πακέτων. Αυτό το συνδυασμός δυνατοτήτων απαιτεί σχεδόν μια ριζικά διαφορετική προσέγγιση στο σχεδιασμό του συστήματος και λειτουργίες σε σύγκριση με τις προηγούμενες ασύρματες τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας.

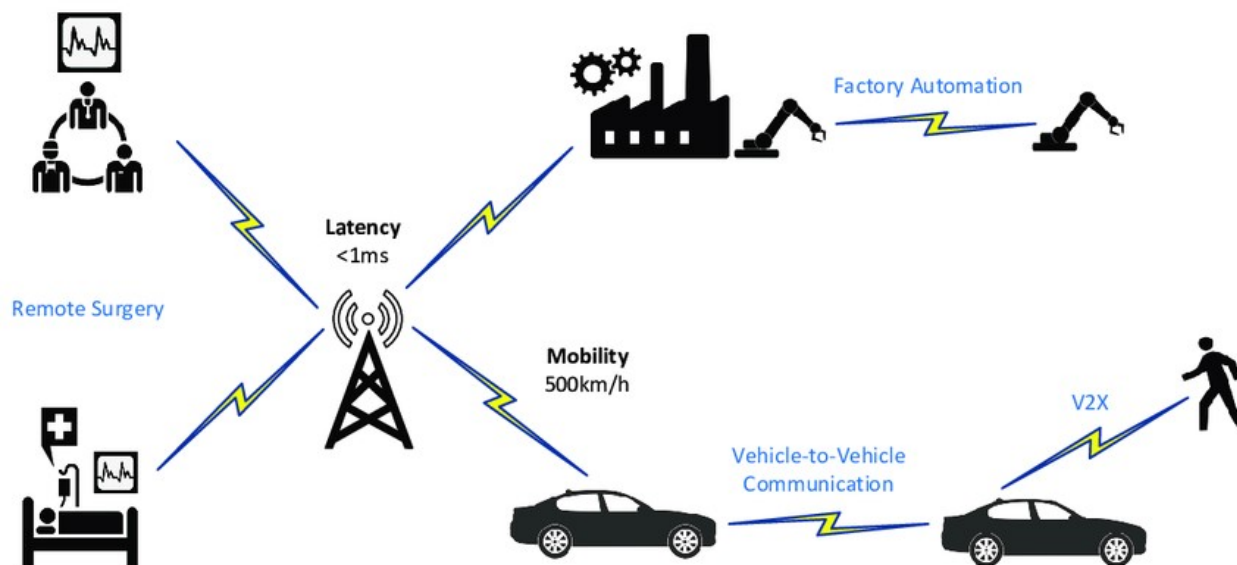
Το φυσικό επίπεδο είναι αναμφισβήτητο το πιο δύσκολο, επειδή η URLLC πρέπει να ικανοποιεί δύο αντικρουόμενες απαιτήσεις: χαμηλή καθυστέρηση και εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία. Αυτός ο συνδυασμός αποτελεί ένα πολύ διαφορετικό είδος ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε σύγκριση με τις παραδοσιακές κινητές ευρυζωνικές εφαρμογές.

Αυτό το λευκό έγγραφο περιγράφει τις αρχές επίτευξης του URLLC, ενώ τις συγκρίνει με την παραδοσιακή μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στη θεωρία της πληροφορίας και των επικοινωνιών και εξηγεί γιατί απαιτείται μια νέα προσέγγιση.

Επισημαίνει επίσης τις βασικές απαιτήσεις των υπηρεσιών URLLC και παρέχει μια επισκόπηση των επικοινωνιών URLLC με έμφαση στις τεχνικές προκλήσεις και λύσεις. Περαιτέρω, το παρόν έγγραφο εξετάζει τα εξής:

- Αρχές σχεδιασμού για την ενεργοποίηση υπηρεσιών URLLC στο 5G, πολλές από τις οποίες έχουν εξεταστεί ως στοιχεία εργασίας στα πρότυπα 3GPP Release 15 και θα αποτελέσουν μέρος της πρώτης έκδοσης για το 5G New Radio (NR).
- Ζητήματα φυσικού επιπέδου, τεχνολογίες που επιτρέπουν, δομή πακέτων και πλαισίων, σχήματα πολυπλεξίας, τεχνικές κωδικοποίησης και βελτίωσης της αξιοπιστίας
- Θεωρητική ανάλυση ουρών αναμονής και δεδομένα επιδόσεων που υποστηρίζουν το σχεδιασμό συστημάτων
- Τα δομικά στοιχεία σε ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας για την υποστήριξη συνδέσεων URLLC στο πλαίσιο βασικών εφαρμογών και υπηρεσιών

4.1 URLLC: Τι είναι και πώς λειτουργεί



Εικόνα 4-1 Παράδειγμα λειτουργίας

Η τεχνολογία Ultra-Reliable Low Latency Communications (URLLC), ένα υποσύνολο της αρχιτεκτονικής του δικτύου 5G, εξασφαλίζει αποτελεσματικότερο προγραμματισμό της μεταφοράς δεδομένων, επιτυγχάνοντας συντομότερες μεταδόσεις μέσω ενός μεγαλύτερου υποφορέα και ακόμη και προγραμματισμό επικαλυπτόμενων μεταδόσεων. Υποστηρίζει εξαιρετικά σημαντική μεταφορά δεδομένων που απαιτεί χαμηλή καθυστέρηση, όπως τα αυτοκινούμενα αυτοκίνητα και οι απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις.

4.1.1 Βασικοί παράγοντες για το URLLC

Σε αυτή την ενότητα εξετάζονται οι βασικοί παράγοντες για την επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας.

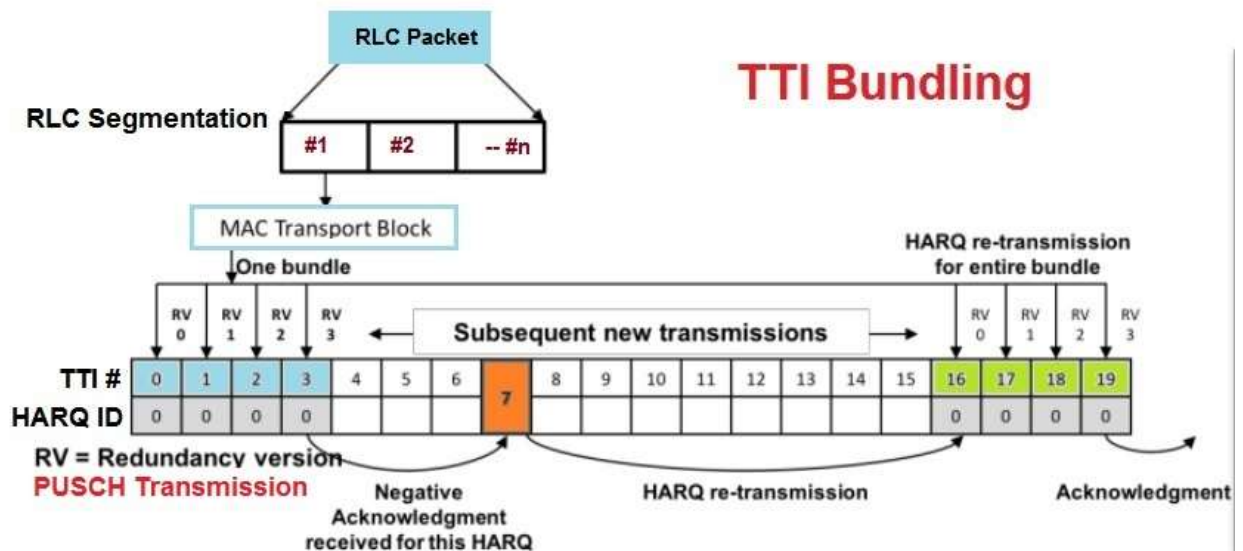
Χαμηλή καθυστέρηση

Η ανάλυση της καθυστέρησης αποδίδει ντετερμινιστικές και τυχαίες συνιστώσες που είτε είναι σταθερές είτε κλιμακώνονται με τον αριθμό των κόμβων. Ενώ η ντετερμινιστική συνιστώσα ορίζει την ελάχιστη καθυστέρηση, οι τυχαίες συνιστώσες

επηρεάζουν την κατανομή της καθυστέρησης και πιο συγκεκριμένα τις ουρές της. Οι ντετερμινιστικές συνιστώσες καθυστέρησης αποτελούνται από το χρόνο για τη μετάδοση πληροφοριών και γενικών εξόδων (δηλ. bit ισοτιμίας, σήματα αναφοράς και δεδομένα ελέγχου) και τους χρόνους αναμονής μεταξύ των μεταδόσεων. Οι τυχαίες συνιστώσες περιλαμβάνουν το χρόνο για την επαναμετάδοση πληροφοριών και τα γενικά έξοδα όταν είναι απαραίτητο, τις καθυστερήσεις στην ουρά αναμονής, τους τυχαίους χρόνους επαναφοράς και άλλες καθυστερήσεις επεξεργασίας/υπολογισμού.

Στη συνέχεια, εξετάζονται διάφοροι παράγοντες για την επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης:

- **Σύντομο χρονικό διάστημα μετάδοσης (TTI), σύντομη δομή πλαισίου και υβριδικό αίτημα αυτόματης επανάληψης (HARQ):** η μείωση της διάρκειας του TTI (π.χ. από 1 ms στο LTE σε 0,125 ms όπως στο νέο ραδιόφωνο 5G) με τη χρήση λιγότερων συμβόλων OFDM2 ανά TTI και η συντόμευση των συμβόλων OFDM μέσω μεγαλύτερης απόστασης μεταξύ των υποφορέων, καθώς και η μείωση του χρόνου διαδρομής HARQ (RTT) μειώνουν την καθυστέρηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι απαιτείται λιγότερος χρόνος για να υπάρξουν αρκετές αναμεταδόσεις HARQ ώστε να επιτευχθεί ένας στόχος αξιοπιστίας και να γίνει ανεκτή μεγαλύτερη καθυστέρηση στην ουρά πριν από την προθεσμία (λόγω των περιορισμών των αναμεταδόσεων HARQ). Επιπλέον, η μείωση της διάρκειας του συμβόλου OFDM αυξάνει την απόσταση των υποφορέων και, ως εκ τούτου, λιγότερα μπλοκ πόρων είναι διαθέσιμα στο πεδίο της συχνότητας προκαλώντας μεγαλύτερο αποτέλεσμα αναμονής στην ουρά. Από την άλλη πλευρά, η μικρότερη διάρκεια TTI εισάγει περισσότερη επιβάρυνση ελέγχου μειώνοντας έτσι τη χωρητικότητα (χαμηλότερη διαθεσιμότητα πόρων για άλλες μεταδόσεις δεδομένων URLLC). Αυτό το μειονέκτημα μπορεί να αμβλυθεί με τη χρήση μετάδοσης χωρίς επιχορήγηση στην ανοδική ζεύξη. Στην κάτω ζεύξη, απαιτούνται μεγαλύτερες TTI σε υψηλά προσφερόμενα φορτία για να αντιμετωπιστούν μη αμελητέες καθυστερήσεις ουράς.

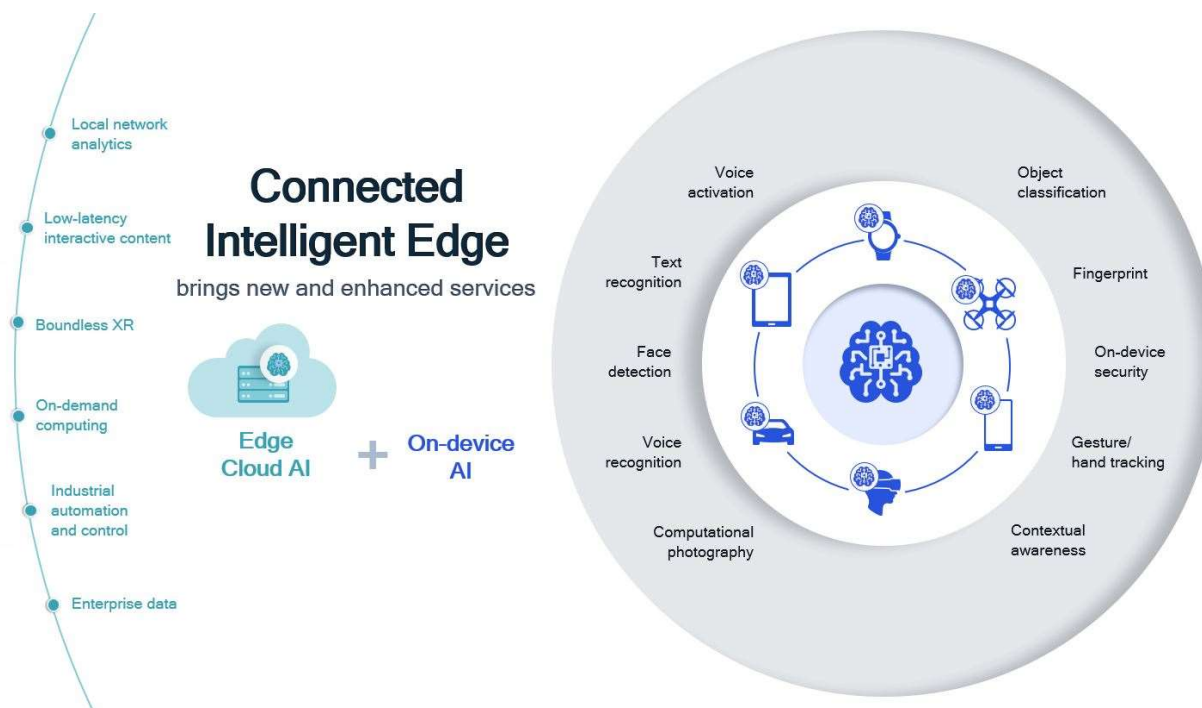


Εικόνα 4-2 TTI bundling

- **Πολυπλεξία eMBB/URLLC:** Αν και η στατική/ημι-στατική κατανομή των πόρων μεταξύ των μεταδόσεων eMBB και URLLC μπορεί να είναι προτιμότερη από την άποψη της καθυστέρησης/αξιοπιστίας, είναι αναποτελεσματική από

την άποψη της χρήσης των πόρων του συστήματος, απαιτώντας μια λύση δυναμικής πολυπλεξίας. Η επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας του συστήματος για το URLLC απαιτεί τη διάθεση περισσότερων πόρων του τομέα συχνότητας σε μια μετάδοση ανοδικής ζεύξης (UL) αντί της ενίσχυσης της ισχύος σε πόρους στενής ζώνης. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται πόροι ευρείας ζώνης για τη μετάδοση UL του URLLC για την επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας με χαμηλή καθυστέρηση. Επιπλέον, απαιτούνται έξυπνες τεχνικές χρονοπρογραμματισμού για την προτίμηση άλλης προγραμματισμένης κίνησης όταν ένα πακέτο χαμηλής καθυστέρησης φτάνει στη μέση του πλαισίου (δηλαδή, διακόπτοντας την τρέχουσα μετάδοση eMBB). Ταυτόχρονα, η κυκλοφορία eMBB θα πρέπει να επηρεάζεται ελάχιστα κατά τη μεγιστοποίηση της χωρητικότητας διακοπής URLLC.

- **Κρυφή αποθήκευση δεδομένων, υπολογισμός και τεμαχισμός:** προώθηση της κρυφής αποθήκευσης δεδομένων και των υπολογιστικών πόρων στην άκρη του δικτύου έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά την καθυστέρηση. Η τάση αυτή θα συνεχιστεί αμείωτη με την έλευση εφαρμογών έντασης πόρων (π.χ. επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα) και άλλων κρίσιμων για την αποστολή εφαρμογές (π.χ. αυτόνομη οδήγηση). Παράλληλα, ο τεμαχισμός δικτύων θα διαδραματίσει επίσης καθοριστικό ρόλο στην κατανομή αποκλειστικής προσωρινής αποθήκευσης, εύρους ζώνης και υπολογιστικών πόρων (φέτες).
- **Μηχανική εκμάθηση και τεχνητή νοημοσύνη (AI) στην άκρη του δικτύου:** Η μηχανική εκμάθηση βρίσκεται στα θεμέλια των προληπτικών και χαμηλής καθυστέρησης δικτύων. Η παραδοσιακή ML βασίζεται στην παραδοχή ενός και μόνο κόμβου (σε κεντρική τοποθεσία) με πρόσβαση στο παγκόσμιο σύνολο δεδομένων και ένα τεράστιο όγκο αποθήκευσης και υπολογιστών, που κοσκινίζει αυτά τα δεδομένα για ταξινόμηση και εξαγωγή συμπερασμάτων.



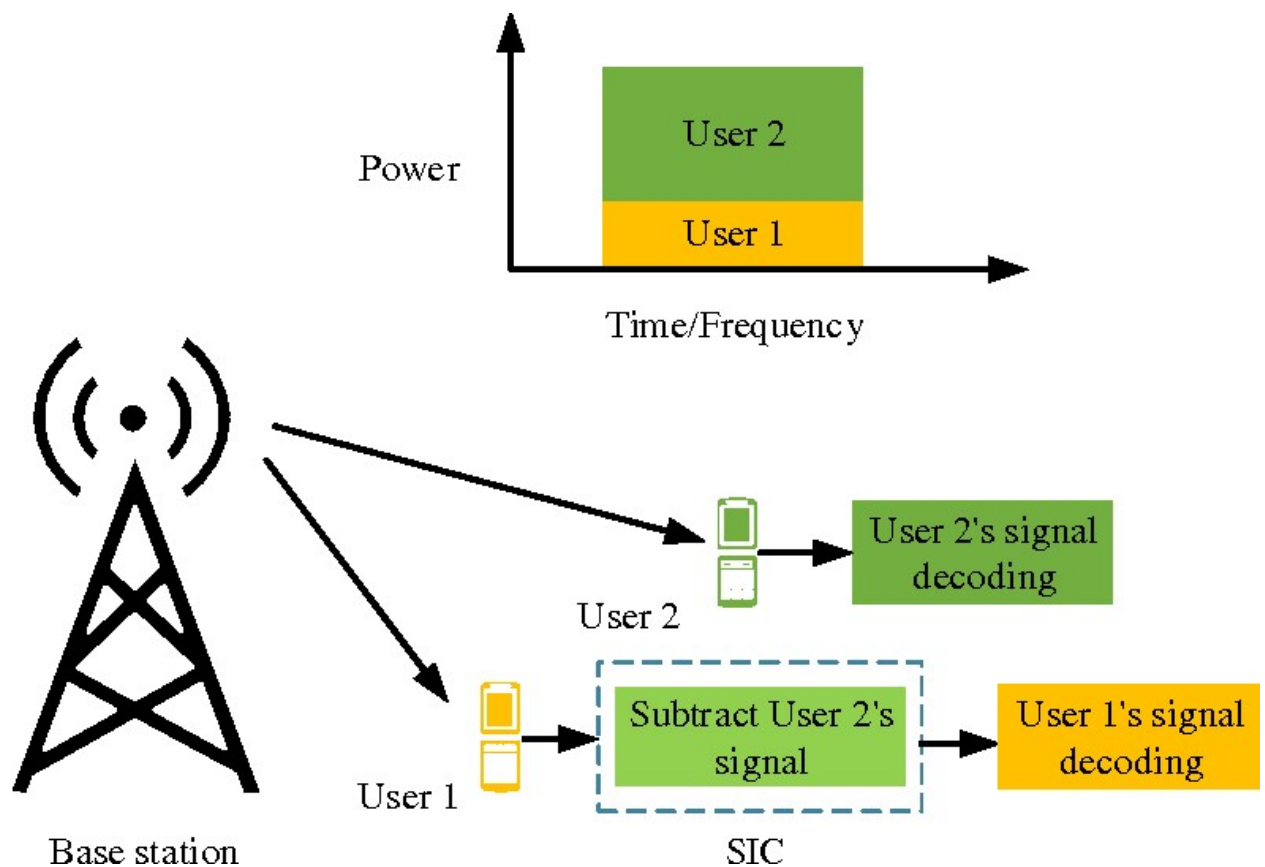
Εικόνα 4-3 Connected Intelligent Edge

- **Grant-free εναντίον grant-based access:** Αυτό σχετίζεται με το δυναμικό χρονοπρογραμματισμό της ζεύξης ανόδου ή με βάση τον ανταγωνισμό. πρόσβαση για σποραδική/καταιγιστική κίνηση έναντι μόνιμου προγραμματισμού για περιοδική κίνηση. Γρήγορη ζεύξη ανόδου πρόσβαση υποστηρίζεται για τις συσκευές εκ των προτέρων σε βάρος της χαμηλότερης χωρητικότητας (λόγω της εκ των προτέρων κατανομής πόρων).

Για τον ημι-μόνιμο προγραμματισμό οι χρησιμοποιήσιμοι πόροι μπορούν να ανακατανεμηθούν στην κίνηση eMBB. Σε μια άλλη λύση που αναφέρεται ως ημι-διαρκής χρονοπρογραμματισμός με βάση την ομάδα, η πρόσβαση με βάση τον ανταγωνισμό διεξάγεται μέσα σε μια ομάδα χρηστών με παρόμοια χαρακτηριστικά, μειώνοντας έτσι τις συγκρούσεις μέσα στην ομάδα. Στην περίπτωση αυτή ο σταθμός βάσης ελέγχει το φορτίο και προσαρμόζει δυναμικά το μέγεθος της δεξαμενής πόρων. Για τις αναμεταδόσεις, ο BS θα μπορούσε επίσης να προγραμματίσει προληπτικά μια ευκαιρία αναμετάδοσης που μοιράζεται από μια ομάδα UEs με παρόμοια κίνηση για καλύτερη αξιοποίηση των πόρων. Από την άλλη πλευρά, η πρόσβαση χωρίς επιχορήγηση συντομεύει τη διαδικασία για την ανάθεση πόρων άνω ζεύξης, με την οποία παραλείπεται η φάση κράτησης.

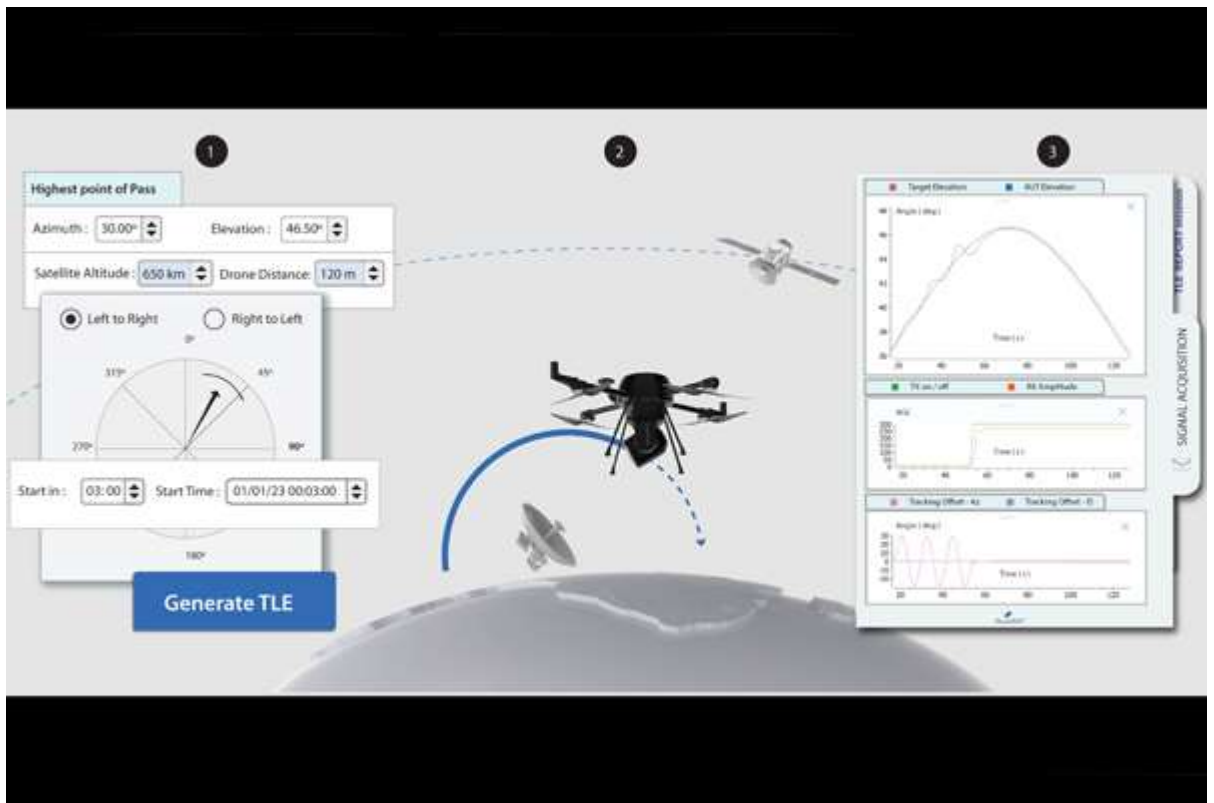
- **Μη ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (NOMA):** Η NOMA (και οι παραλλαγές της) μειώνει την καθυστέρηση υποστηρίζοντας πολύ περισσότερους χρήστες από τις συμβατικές προσεγγίσεις που βασίζονται σε ορθογώνια, αξιοποιώντας την πολυπλεξία ισχύος ή το πεδίο κώδικα στην ανερχόμενη ζεύξη, χρησιμοποιώντας στη συνέχεια διαδοχική ακύρωση παρεμβολών (SIC) ή πιο προηγμένα σχήματα δέκτη (π.χ., πέρασμα μηνυμάτων ή λήψη Turbo). Ωστόσο, δεν είναι καλά κατανοητά τα ζητήματα που σχετίζονται με τις ατελείς

πληροφορίες κατάστασης καναλιού (CSI), τη διάταξη των χρηστών, την καθυστέρηση επεξεργασίας λόγω πολυπλεξίας και άλλες δυναμικές που επηρεάζουν την καθυστέρηση (και την αξιοπιστία).



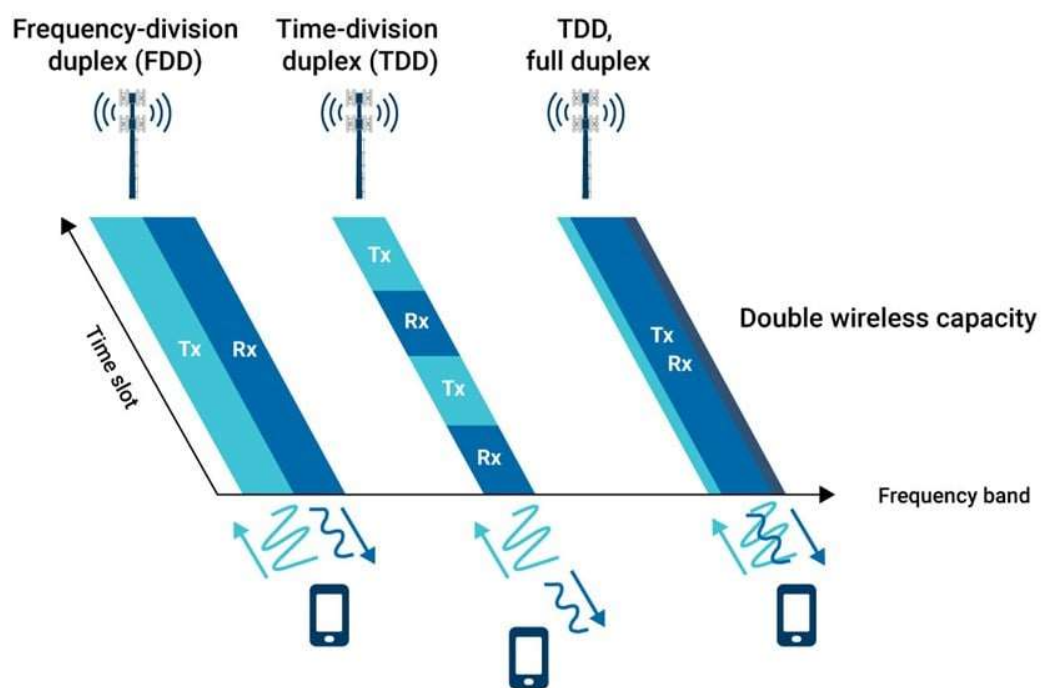
Εικόνα 4-4 NOMA

- **Δορυφόροι χαμηλής/μέσης τροχιάς (LEO/MEO) και μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV):** Γενικά, η σύνδεση επίγειων σταθμών βάσης με το κεντρικό δίκτυο απαιτεί ενσύρματη αναμετάδοση. Ωστόσο, οι ενσύρματες συνδέσεις είναι δαπανηρές και μερικές φορές ανέφικτες λόγω γεωγραφικών περιορισμών, όπως οι απομακρυσμένες περιοχές. Στην περίπτωση αυτή, τα UAV μπορούν να επιτρέψουν μια αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης ασύρματη συνδεσιμότητα backhaul για επίγεια δίκτυα. Επιπλέον, για εφαρμογές μεγάλης εμβέλειας ή σε αγροτικές περιοχές, οι δορυφόροι LEO είναι ο μόνος τρόπος για τη μείωση της καθυστέρησης backhaul στην οποία μια υβριδική αρχιτεκτονική αποτελούμενη από αερόστατα, LEOs/MEOs και άλλα στρατοσφαιρικά οχήματα είναι ενεργοποιητές επικοινωνίας χαμηλής καθυστέρησης.

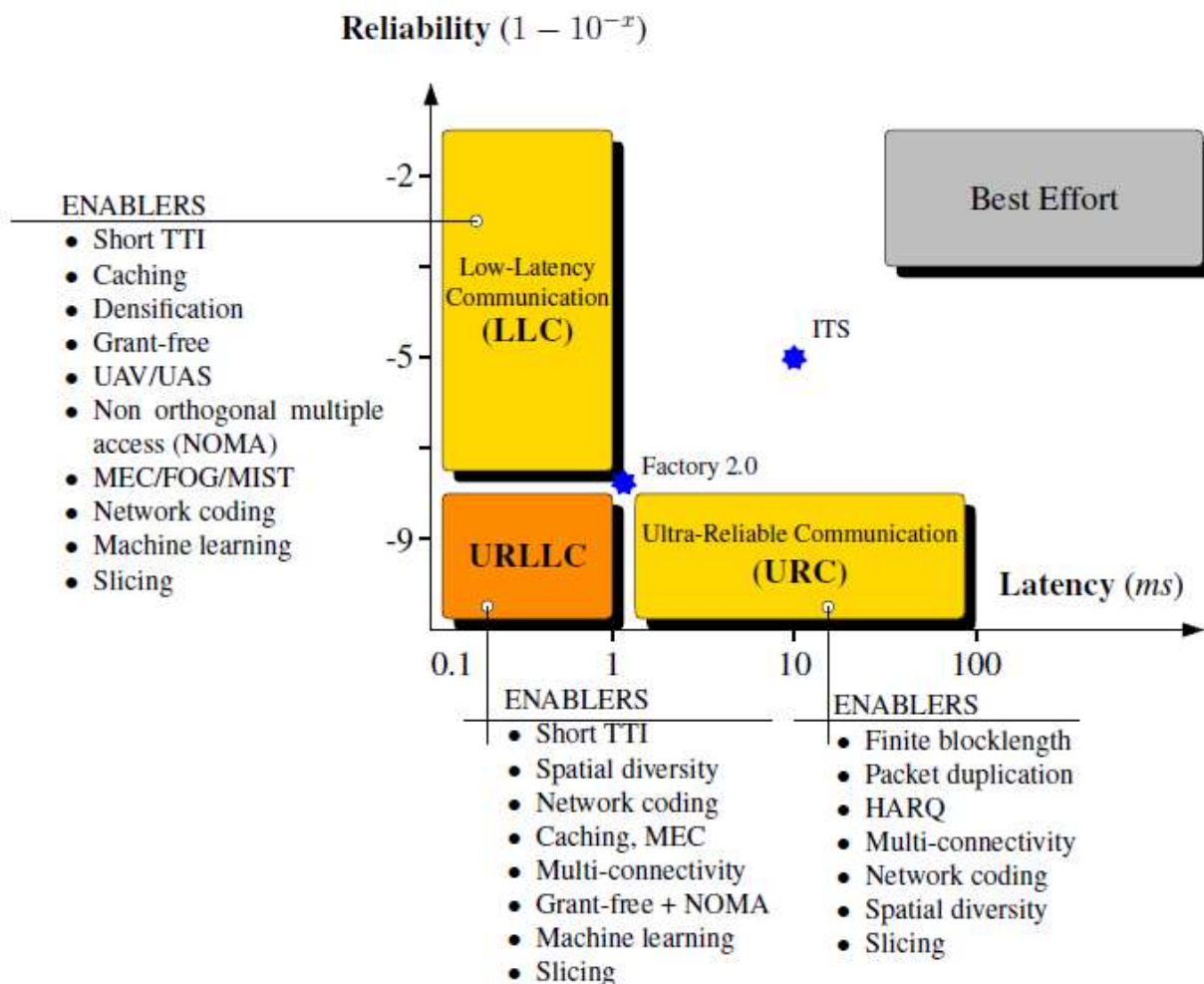


Εικόνα 4-5 LEO/MEO

- **Κοινή ευέλικτη κατανομή πόρων για ανερχόμενη/κατερχόμενη ζεύξη:** Για συστήματα διπλής ζεύξης με διαίρεση χρόνου (TDD), απαιτείται κοινή κατανομή ανερχόμενης/κατερχόμενης ζεύξης και αλληλεπίδραση του μήκους της χρονοθυρίδας σε σχέση με το κόστος μεταγωγής (ή turn around). Το θέμα αυτό έχει μελετηθεί στο πλαίσιο του LTE-A. Εδώ, για το σύστημα διπλής διαίρεσης συχνότητας (FDD) διερευνώνται τόσο η εξέλιξη του LTE όσο και το νέο ραδιόφωνο (NR), ενώ για το TDD διερευνάται μόνο το NR, δεδομένου ότι το LTE TDD δεν εξετάζεται για τις βελτιώσεις URLLC.



Εικόνα 4-6 FDD - TDD



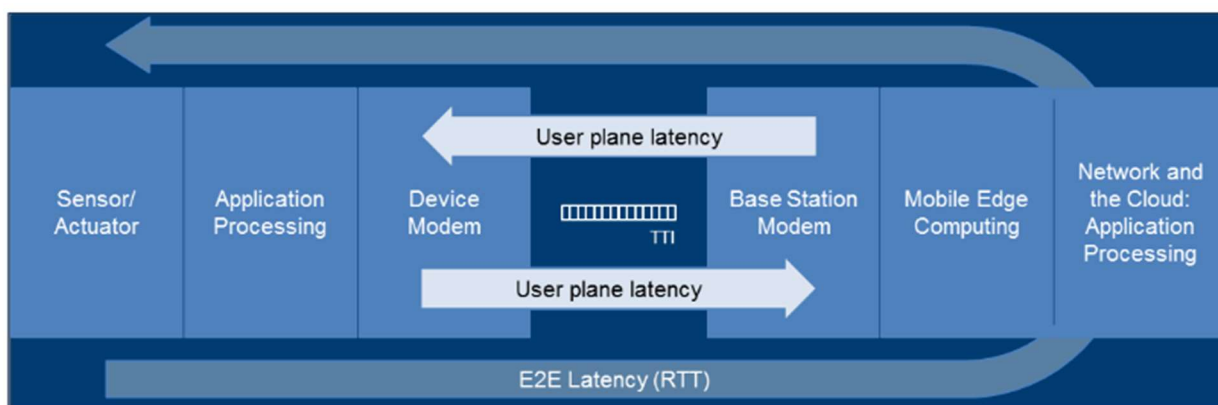
Εικόνα 4-7 Ανάλυση των βασικών παραγόντων για χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία

4.2 Εξελιγμένες νέες αρχιτεκτονικές για να ανταποκριθούν σε νέες απαιτήσεις

Ένας αυξανόμενος αριθμός κρίσιμων εφαρμογών έχει αυστηρές επιδόσεις και αξιοπιστία επικοινωνίας. απαιτήσεις. Οι επικοινωνίες με οχήματα, τρένα υψηλής ταχύτητας, μη επανδρωμένα αεροσκάφη και βιομηχανικά ρομπότ είναι μερικά μόνο από τις παραδείγματα εφαρμογών όπου η ασύρματη σύνδεση πρέπει να πληροί είτε υψηλή αξιοπιστία (για παράδειγμα, <math>< 10^{-5}</math> πτώση πακέτου ρυθμό) ή απαιτήσεις χαμηλής καθυστέρησης (για παράδειγμα, ~1 ms), ή και τα δύο ταυτόχρονα. Αυτές οι εφαρμογές συχνά έχουν επίσης ισχυρές απαιτήσεις ασφάλειας.

Για την ικανοποίηση όλων αυτών των απαιτήσεων, το 5G συνδυάζει το URLLC με υπηρεσίες ενισχυμένης κινητής ευρυζωνικότητας (eMBB) κάτω από ένα ενοποιημένο πλαίσιο διεπαφής αέρα 5G. Για την επίτευξη του στόχου του 1 χιλιοστού του δευτερολέπτου, το βασικό πρόβλημα που χρειάζεται που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η καθυστέρηση του δικτύου από άκρο σε άκρο. Αυτή είναι η χρονική περίοδος από τη στιγμή που, για παράδειγμα, ένας Internet of Things (IoT) αισθητήρας μεταδίδει

δεδομένα μέχρι το σημείο που ολοκληρώνεται η επεξεργασία στο back end του δικτύου, και οι επακόλουθες επικοινωνίες παράγονται από το δίκτυο ως απάντηση και λαμβάνονται στον αισθητήρα.



Εικόνα 4-8 E2E Latency

Η καθυστέρηση επιπέδου χρήστη είναι ο χρόνος που απαιτείται για την επιτυχή παράδοση ενός πακέτου ή μηνύματος επιπέδου εφαρμογής στο επίπεδο ραδιοφωνικού πρωτοκόλλου από το σημείο εισόδου της μονάδας δεδομένων υπηρεσίας (SDU) στο αντίστοιχο σημείο εξόδου (TR 38.913). Ο χρόνος κυκλικής διαδρομής (RTT) περιλαμβάνει τις συνεισφορές καθυστέρησης επιπέδου χρήστη, τους χρόνους επεξεργασίας της εφαρμογής και τις καθυστερήσεις του δικτύου μεταφοράς.

Οι χρόνοι επεξεργασίας του μόντεμ, το χρονικό διάστημα μετάδοσης ραδιοφώνου (TTI) και η μέση συνεισφορά των επαναμεταδόσεων του υβριδικού αυτόματου αιτήματος επανάληψης (HARQ) συμβάλλουν στην καθυστέρηση του επιπέδου χρήστη. Το 5G αναμένεται να μειώσει σημαντικά την καθυστέρηση του επιπέδου χρήστη σε λιγότερο από 1 ms. Για παράδειγμα, οι τυπικές παράμετροι 5G με απόσταση υποφερόντων 60 kHz και TTI 2 συμβόλων OFDM επιτρέπουν καθυστέρηση επιπέδου χρήστη σημαντικά μικρότερη από 1 ms. Αναμένεται ότι το Multi-Access Edge Computing (MEC), μια λύση που αναπτύσσεται σήμερα σε πολλά ιδιωτικά δίκτυα 4G/LTE, μπορεί να εξαλείψει καθυστερήσεις δικτύου περίπου 100 ms από την καθυστέρηση από άκρο σε άκρο.

Υπάρχει γενική συναίνεση ότι το μέλλον πολλών βιομηχανικών συστημάτων ελέγχου, ασφάλειας της κυκλοφορίας, ιατρικών και διαδικτυακών υπηρεσιών εξαρτάται από την ασύρματη συνδεσιμότητα με εγγυημένη, συνεπή καθυστέρηση 1 ms ή λιγότερο και εξαιρετικά αυστηρή αξιοπιστία με ρυθμούς σφάλματος μπλοκ (BLER) τόσο χαμηλούς όσο 10⁻⁹. Η αυξημένη χωρητικότητα θα επιτευχθεί με τη χρήση υψηλότερων ζωνών φάσματος και με πυκνώσεις δικτύων. Ταυτόχρονα, οι τεχνολογίες ασύρματων δικτύων και συσκευών πρέπει επίσης να εξελιχθούν ώστε να συμβάλουν στην ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης και στη μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας. Το παρόν έγγραφο εξηγεί διάφορες τεχνικές URLLC που έχουν ήδη υιοθετηθεί και εξετάζονται επί του παρόντος από το 3GPP 5G NR.

4.3 Σχεδιασμός χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας: εδώ είναι μια περίληψη των βασικών στοιχείων του αέρα 5G διασύνδεσης, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

- Ολοκληρωμένη δομή πλαισίου (για παράδειγμα, αυτοτελής δομή υποδοχής και μίνι υποδοχή χαμηλής καθυστέρησης δομές)
- Σχεδιασμός γρήγορης ανατροπής και ευέλικτου HARQ
- Αποτελεσματικός διαμοιρασμός πόρων ελέγχου και δεδομένων και έλεγχος/δεδομένα πολλαπλών ζεύξεων/πολλαπλών φορέων ποικιλομορφίας μετάδοσης
- Σχήμα πολλαπλής πρόσβασης χαμηλής καθυστέρησης και μετάδοση uplink με βάση την ελεύθερη χορήγηση με αυτόνομη αναμετάδοση και
- Προηγμένα σχήματα κωδικοποίησης καναλιού για την υποστήριξη της κυκλοφορίας URLLC

4.4 Ενοποιημένο πλαίσιο διεπαφής αέρα για URLLC: Είναι σημαντικό να μπορεί να προγραμματιστεί γρήγορα η κρίσιμη για την αποστολή κυκλοφορία, ώστε να πληρούνται οι αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης χωρίς να καταναλώνεται υπερβολικοί πόροι ραδιοδιεπαφής. Η παρούσα εργασία περιγράφει έναν ευέλικτο και κλιμακούμενο σχεδιασμό ενοποιημένης διεπαφής αέρα για την ικανοποίηση των απαιτήσεων τόσο του URLLC όσο και του eMBB με βάση τα εξής:

- Κλιμακούμενο και ενοποιημένο πλαίσιο σχεδιασμού eMBB και URLLC για την κάλυψη διαφορετικών σεναρίων, συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών χώρων, των μικρών κυψελών, των αστικών μακρο/μικρο- και των τρένων υψηλής ταχύτητας.
- Δυναμική πολυπλεξία των URLLC και eMBB για αποδοτική χρήση του φάσματος
- Ένδειξη προαίρεσης για τη διασφάλιση ισχυρών επιδόσεων
- Επαναμετάδοση με βάση την ομάδα κωδικών μπλοκ (CBG) για βελτιωμένο σχεδιασμό HARQ

4.5 Απαιτήσεις και KPIs για την 5G URLLC

Με βάση τις περιπτώσεις χρήσης και τις εφαρμογές που περιγράφονται παραπάνω, η 3GPP έχει καθορίσει κανονιστικές απαιτήσεις για το σύστημα 5G. Αυτό περιλαμβάνει απαιτήσεις υπηρεσιών και KPIs για ιδιωτικά δίκτυα, βιομηχανικό αυτοματισμό, AR, VR και το απτικό διαδίκτυο. Αυτές οι απαιτήσεις θα προσδιοριστούν πλήρως με τις δυνατότητες URLLC που ορίζονται στις ομάδες 3GPP Radio Access Network (RAN)

και Services and Systems Aspects (SA). Το 3GPP έχει επωφεληθεί πρόσφατα από την εισροή μη παραδοσιακών συμμετεχόντων που θα ήθελαν να χρησιμοποιήσουν το 5G για να εξυπηρετήσουν νέες αγορές, όπως ο βιομηχανικός αυτοματισμός, η ψυχαγωγία και τα συστήματα μεταφορών. Η έρευνα και οι απαιτήσεις τους έχουν ενσωματωθεί σε πρόσφατες μελέτες και στοιχεία εργασίας.

Για την έκδοση 16 του 3GPP, η SA1 ενίσχυσε τις εργασίες αυτές με μελέτες σχετικά με την ενσωμάτωση του 5G με τοπικά δίκτυα (LAN), επικοινωνίες για αυτοματισμό σε κάθετους τομείς όπως ο αυτοματισμός εργοστασίων, οι μεταφορές και η κατασκευή προγραμμάτων, και επιχειρηματικά μοντέλα για το slicing δικτύου. Για τα πιο πρόσφατα κανονιστικά KPI του 3GPP για το URLLC, μπορούμε να παραπέμψουμε απευθείας στις προδιαγραφές του 3GPP. Βλέπε τον ακόλουθο συνοπτικό πίνακα 12 (συμπεριλαμβανομένων των εγκεκριμένων αιτημάτων αλλαγής (CRs) μέχρι τον Μάιο του 2018). Αυτοί οι αριθμοί θα βελτιωθούν περαιτέρω για την έκδοση 16 του 3GPP.

Scenario	Max. allowed end-to-end latency (note 2)	Survival time	Communication service availability (note 3)	Reliability (note 3)	User experienced data rate	Payload size (note 4)	Traffic density (note 5)	Connection density (note 6)	Service area dimension (note 7)
Discrete automation	10 ms	0 ms	99,99percent	99,99percent	10 Mbps	Small to big	1 Tbps/km ²	100 000/km ²	1000 x 1000 x 30 m
Process automation – remote control	60 ms	100 ms	99,9999 percent	99,9999percent	1 Mbps up to 100 Mbps	Small to big	100 Gbps/km ²	1 000/km ²	300 x 300 x 50 m
Process automation – monitoring	60 ms	100 ms	99,9percent	99,9percent	1 Mbps	Small	10 Gbps/km ²	10 000/km ²	300 x 300 x 50
Electricity distribution – medium voltage	40 ms	25 ms	99,9percent	99,9percent	10 Mbps	Small to big	10 Gbps/km ²	1 000/km ²	100 km along power line
Electricity distribution – high voltage (note 2)	5 ms	10 ms	99,9999 percent	99,9999percent	10 Mbps	Small	100 Gbps/km ²	1 000/km ² (note 8)	200 km along power line
Intelligent transport systems – infrastructure backhaul	30 ms	100 ms	99,9999 percent	99,9999percent	10 Mbps	Small to big	10 Gbps/km ²	1 000/km ²	2 km along a road

Εικόνα 4-9 Scenarios

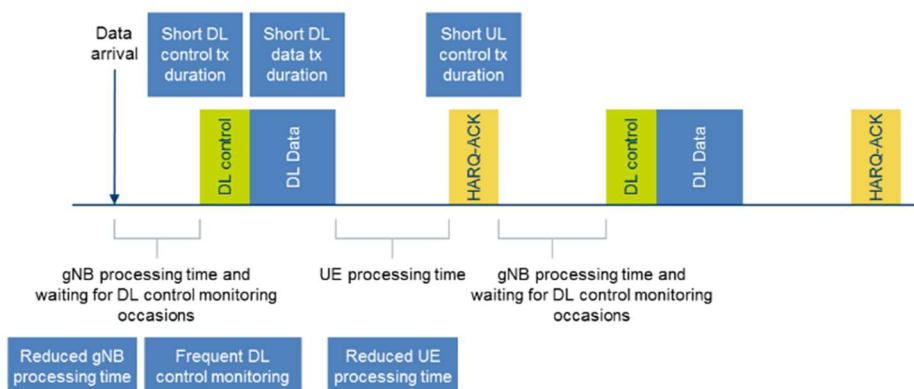
4.6 Σχεδιασμός στρώματος PHY/MAC για 5G URLLC

Οι περιπτώσεις χρήσης URLLC έχουν πολύ αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά την καθυστέρηση και την αξιοπιστία. Αυτό δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις για τα κυψελοειδή δίκτυα λόγω μεταβλητών όπως οι παρεμβολές επίπεδα παρεμβολής, εξασθένιση καναλιού και μετακινήσεις εξοπλισμού χρήστη (UE). Η παρούσα ενότητα

εξετάζει τις δυνατότητες τεχνολογίες στη σχεδίαση του φυσικού ελέγχου και του ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (PHY/MAC) του 5G που υποστηρίζουν χαμηλή καθυστέρηση, υψηλή αξιοπιστία και την αποτελεσματική πολυπλεξία μεταξύ URLLC και άλλης κυκλοφορίας στο σύστημα.

4.6.1 Low Latency

Οι περιπτώσεις χρήσης URLLC μπορεί να έχουν πολύ αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης, τόσο χαμηλές όσο 5 ms για καθυστέρηση από άκρο σε άκρο. Λαμβάνοντας υπόψη τα διάφορα στοιχεία του δικτύου από άκρο σε άκρο, ο προϋπολογισμός για την καθυστέρηση της διεπαφής αέρα μπορεί να είναι πολύ περιορισμένος (για παράδειγμα, 1 ms ή και λιγότερο). Για να επιτευχθεί τόσο χαμηλή καθυστέρηση, κάθε βήμα της παράδοσης δεδομένων πρέπει να βελτιστοποιηθεί. Το σχήμα απεικονίζει τις συνιστώσες καθυστέρησης σε κάθε βήμα μιας κατερχόμενης ζεύξης (DL) μετάδοσης δεδομένων και τους αντίστοιχους μηχανισμούς για τη μείωση της καθυστέρησης.



Εικόνα 4-10 Συνιστώσες καθυστέρησης μιας μετάδοσης DL και οι μηχανισμοί μείωσης της καθυστέρησης

Συνιστώσες καθυστέρησης μιας μετάδοσης DL και οι μηχανισμοί μείωσης της καθυστέρησης.

Ορισμένες βασικές τεχνικές στο επίπεδο PHY/MAC για τη μείωση της καθυστέρησης περιλαμβάνουν τα εξής:

- Συχνές ευκαιρίες μετάδοσης που ελαχιστοποιούν το χρόνο αναμονής
- Ευέλικτη διάρκεια μετάδοσης (μικρή διάρκεια τόσο για το κανάλι δεδομένων όσο και για το κανάλι ελέγχου)
- Σύντομος χρόνος επεξεργασίας UE
- Σύντομος χρόνος επεξεργασίας κόμβου επόμενης γενιάς (gNB)
- Μετάδοση UL χωρίς χορήγηση (ή διαμορφωμένη χορήγηση)
- Ευέλικτη δομή πλαισίων για διπλή μετάδοση με διαίρεση χρόνου (TDD)

4.6.2 Συχνές ευκαιρίες μετάδοσης:

Για ένα σύστημα βασισμένο στον προγραμματισμό, όταν έρχεται ένα πακέτο δεδομένων, πρέπει να περιμένει για τις ευκαιρίες μετάδοσης. Οι βασικές πτυχές είναι οι εξής:

- Συχνές ευκαιρίες παρακολούθησης για το κανάλι ελέγχου DL
- Συχνές ευκαιρίες για το UE να μεταδώσει αίτημα χρονοπρογραμματισμού (SR) στην ανοδική ζεύξη (UL).
- Ευέλικτος χρονοπρογραμματισμός μεταξύ του φυσικού καναλιού ελέγχου κάτω ζεύξης (PDCCH) και του φυσικού κοινού καναλιού κάτω ζεύξης/φυσικού κοινού καναλιού άνω ζεύξης (PDSCH/PUSCH).

Στο DL, το κανάλι ελέγχου DL χρησιμοποιείται για τη μεταφορά πληροφοριών προγραμματισμού για τη μετάδοση δεδομένων DL και UL.

Τυπικά, ένα UE δεν παρακολουθεί συνεχώς τον έλεγχο DL για λόγους κατανάλωσης ισχύος. Ωστόσο, ο έλεγχος ελέγχου ελέγχου είναι πολύ σημαντικός, για την υπηρεσία URLLC, για να μειωθεί ο χρόνος αναμονής για την παράδοση των πληροφοριών ελέγχου, το UE πρέπει να παρακολουθεί το κανάλι ελέγχου DL συχνά. Η περιοδικότητα παρακολούθησης μπορεί να είναι τόσο χαμηλή όσο μία ή μερικές ορθογωνικές

Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM), εάν είναι απαραίτητο.

Στο UL, για μετάδοση με βάση τον προγραμματισμό, όταν ένα πακέτο δεδομένων φτάνει στο UE, το UE πρέπει να στείλει ένα SR στον gNB για να ζητήσει την κατανομή πόρων UL. Για να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος αναμονής για την αποστολή του χρονοπρογραμματισμού αιτήματος, η περιοδικότητα της διαμόρφωσης πόρων SR πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή.

Επιπλέον, ο ευέλικτος χρονοπρογραμματισμός μεταξύ του καναλιού ελέγχου DL και του καναλιού δεδομένων DL/UL μπορεί να επιτρέψει την gNB να προγραμματίσει ένα πακέτο δεδομένων μόλις ο πόρος γίνει διαθέσιμος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για συστήματα διπλής διαίρεσης χρόνου (TDD) όπου το DL και το UL πολυπλέκονται με διαίρεση χρόνου.

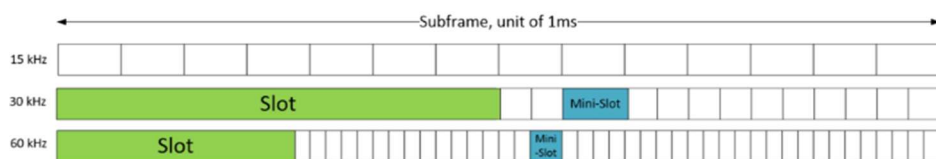
4.6.3 Ευέλικτης μετάδοσης Διάρκεια:

Ο πραγματικός χρόνος μετάδοσης είναι επίσης ένα σημαντικό στοιχείο της καθυστέρησης over-the-air, η οποία μπορεί να μειωθεί με την υποστήριξη μικρής διάρκειας για τα κανάλια δεδομένων και ελέγχου.

Στο 5G NR υποστηρίζεται ευέλικτη διάρκεια μετάδοσης. Για τα κανάλια δεδομένων DL και UL, οι μικρές διάρκειες μετάδοσης μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση μεγαλύτερης απόστασης υποφορέων (επομένως, μικρότερη διάρκεια συμβόλου/θυρίδας) και/ή μικρών μονάδων χρονοπρογραμματισμού, όπως οι μίνι

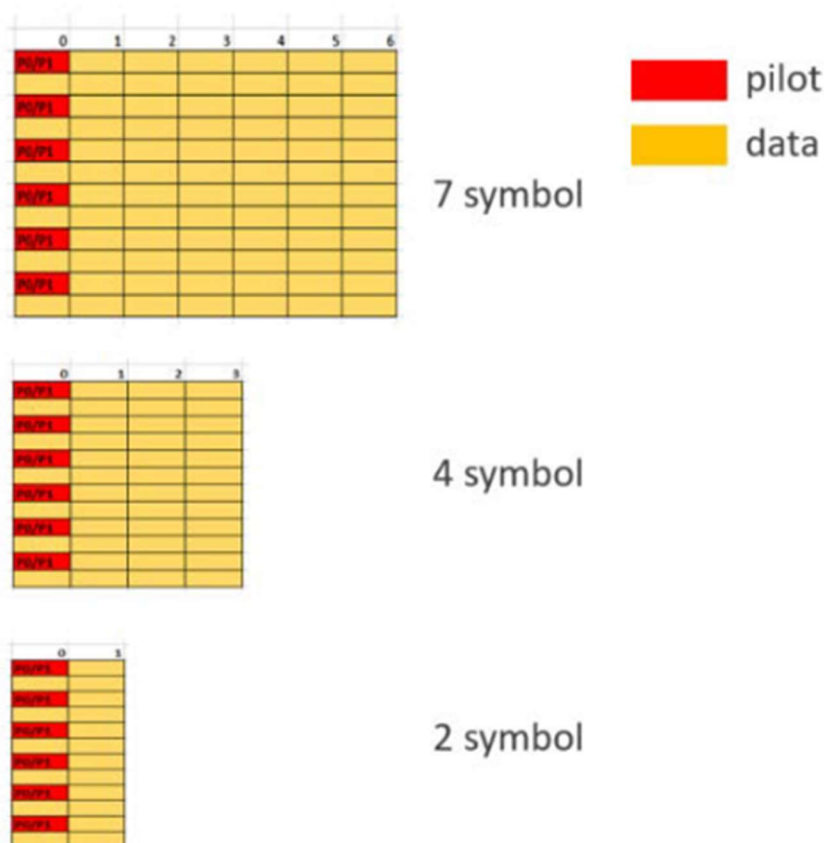
Ανάλυση και αξιολόγηση URLLC

θυρίδες, οι οποίες μπορεί να είναι τόσο μικρές όσο ένα σύμβολο OFDM, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα.



Εικόνα 4-11 Απεικόνιση της δομής σχισμής και μίνι σχισμής για διαφορετικές αποστάσεις υποφερόντων

Ορισμένα παραδείγματα ευέλικτης διάρκειας μετάδοσης δεδομένων με μίνι σχισμές απεικονίζονται στο Σχήμα 4.3, με μήκος μίνι σχισμής 2, 4 και 7 συμβόλων OFDM για μετάδοση PDSCH. Διαφορετικές διάρκειες μετάδοσης δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη διαφορετικών συμβιβασμών καθυστέρησης έναντι αποδοτικότητας φάσματος. Για παράδειγμα, όταν χρησιμοποιείται απόσταση υποφερόντων (SCS) = 30kHz, επιτυγχάνεται διάρκεια μετάδοσης 70us, 140us, 250us με μίνι σχισμή 2 συμβόλων, 4 συμβόλων, 7 συμβόλων σε αντίθεση με 0,5 ms με βάση τη μετάδοση με βάση τη σχισμή, γεγονός που καταδεικνύει σημαντική μείωση της καθυστέρησης με την υιοθέτηση μικρής διάρκειας μετάδοσης.



Εικόνα 4-12 Απεικόνιση διαφορετικής διάρκειας μετάδοσης δεδομένων

Το παρακάτω σχήμα παρέχει ένα παράδειγμα χρήσης διαφορετικών διαστημάτων χρονοπρογραμματισμού για την κυκλοφορία URLLC και eMBB, όπου ο χρονοπρογραμματισμός με βάση τις μίνι χρονοθυρίδες χρησιμοποιείται για το URLLC για γρήγορη παράδοση πακέτων, ενώ ο χρονοπρογραμματισμός με βάση τις χρονοθυρίδες χρησιμοποιείται για το eMBB για καλύτερη αποδοτικότητα φάσματος.



Εικόνα 4-13 Απεικόνιση των διαφορετικών διαστημάτων χρονοπρογραμματισμού για την κίνηση eMBB και URLLC

Ομοίως, οι μικρές διάρκειες μετάδοσης για το κανάλι ελέγχου DL (το οποίο μεταφέρει τις πληροφορίες χρονοπρογραμματισμού για τα κανάλια δεδομένων DL και UL) και το κανάλι ελέγχου UL (το οποίο παρέχει πληροφορίες ελέγχου UL, όπως το υβριδικό HARQ-ACK)) μπορούν να επιτευχθούν με μεγαλύτερα μεγέθη. απόσταση μεταξύ των υποφορέων και/ή μια μικρή μονάδα πόρων στο χρόνο. Το κανάλι ελέγχου DL/UL μπορεί να μεταδοθεί χρησιμοποιώντας ένα μόνο σύμβολο OFDM.

4.6.4 Μειωμένος χρόνος επεξεργασίας στο UE/gNB:

HARQ είναι μια βασική τεχνική για την εξασφάλιση υψηλής αξιοπιστίας με καλή απόδοση σε επίπεδο σύνδεσης με ανατροφοδότηση. Ο χρόνος επεξεργασίας ανακύκλωσης είναι μια άλλη σημαντική πτυχή των βελτιώσεων για την επίτευξη χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας ταυτόχρονα: η γρήγορη ανακύκλωση της επεξεργασίας μειώνει την καθυστέρηση, ενώ οι πολλαπλές ευκαιρίες μετάδοσης με ανατροφοδότηση επιβεβαίωσης/αρνητικής επιβεβαίωσης (ACK/NAK) εγγυάται υψηλή αξιοπιστία της παράδοσης των πακέτων δεδομένων.

4.6.5 Δομή του καναλιού δεδομένων:

- Σήμα αναφοράς αποδιαμόρφωσης με εμπρόσθιο φορτίο (DMRS): Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3, η θέση του πιλότου (επομένως, DMRS) στο κανάλι δεδομένων είναι σημαντική για την καθυστέρηση επεξεργασίας αποδιαμόρφωσης και αποκωδικοποίησης στο δέκτη. Η τοποθέτηση όλων των DMRS στην αρχή της μετάδοσης δεδομένων (αντί να κατανέμονται στη σχισμή όπως στο LTE) επιτρέπει στο δέκτη να ξεκινήσει αμέσως την εκτίμηση του καναλιού, χωρίς να περιμένει τα μεταγενέστερα σύμβολα.

- Δεν υπάρχει παρεμβολή στο πεδίο του χρόνου: Η παρεμβολή σε διαφορετικά σύμβολα OFDM παρέχει καλή χρονική ποικιλομορφία όταν η χρονική διάρκεια είναι αρκετά μεγάλη. Ωστόσο, εμποδίζει την επεξεργασία με διασωλήνωση στο

δέκτη, καθώς ο δέκτης πρέπει να περιμένει να λάβει όλα τα σύμβολα που πρέπει να λάβει πριν να γίνει η αποδιαπλοκή και στη συνέχεια να προχωρήσει στην αποκωδικοποίηση. Η μη παρεμβολή σε όλη τη διάρκεια του χρόνου θα επέτρεπε την δέκτη να επεξεργάζεται κάθε σύμβολο μόλις το λάβει.

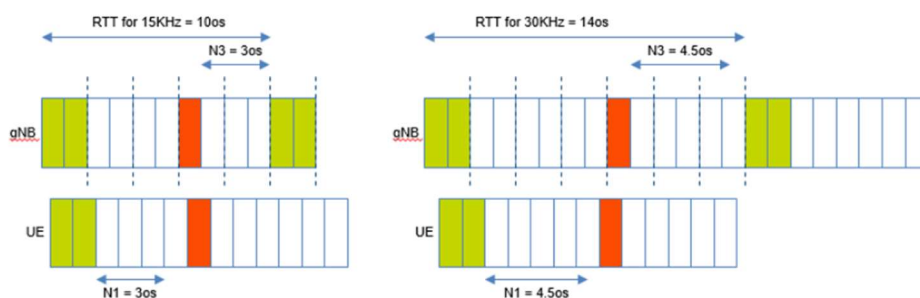
- Χαρτογράφηση πρώτα στη συχνότητα: Παρομοίως, η χαρτογράφηση με προτεραιότητα τη συχνότητα επιτρέπει επίσης την αντιστοίχιση συμβόλου προς σύμβολο. επεξεργασία στο δέκτη.

4.6.6 Κωδικοποίηση καναλιού

- Ο σχεδιασμός του κώδικα καναλιού για το URLLC θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την πολυπλοκότητα της αποκωδικοποίησης και το χρόνο επεξεργασίας.

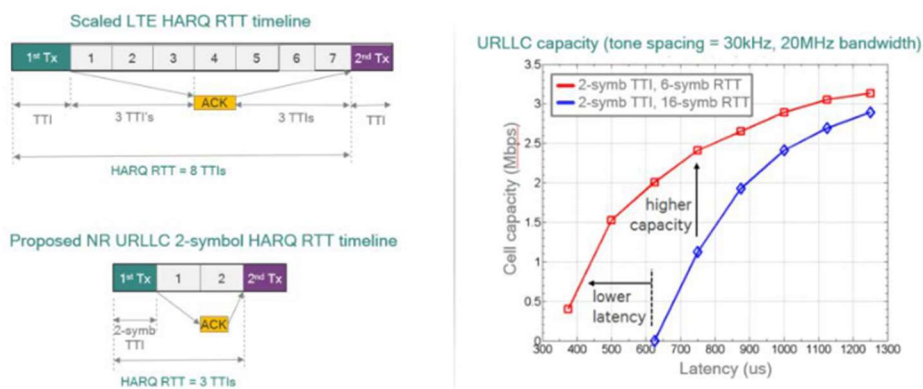
Θα πρέπει να επιτρέπει την αποτελεσματική παραλληλοποίηση της διαδικασίας αποκωδικοποίησης για τη μείωση της καθυστέρησης. Ο κώδικας ελέγχου ισότητας χαμηλής πυκνότητας (LDPC) είναι ένας καλός υποψήφιος κωδικοποίησης καναλιού για το 5G URLLC λόγω του υψηλού παραλληλισμού του αποκωδικοποιητή, χάρη στην κυκλική δομή του κώδικα LDPC του 5G NR.

Με τη σημαντική μείωση του χρόνου επεξεργασίας στο UE και στον gNB, η μετάδοση του HARQ Round Trip Transmission (RTT) μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Το παρακάτω σχήμα παρέχει παραδείγματα RTT για αποστάσεις υποφερόντων 15 kHz και 30 kHz. Για 15 kHz, ο χρόνος επεξεργασίας τόσο στο UE όσο και στο gNB θεωρείται ότι είναι 3 σύμβολα, γεγονός που οδηγεί σε RTT 10 συμβόλων (< 1 ms). Για 30 kHz, το RTT είναι 14 σύμβολα (0,5 ms), υποθέτοντας χρόνο επεξεργασίας 4,5 συμβόλων στο UE και στον gNB. Αυτό είναι σημαντικά ταχύτερο turnaround από το RTT των 8 ms στο LTE. Σημειώστε ότι ο χρόνος επεξεργασίας του gNB για την ανίχνευση ανάδρασης ACK/NAK και τον προγραμματισμό επαναμετάδοσης δεν καθορίζεται και εναπόκειται στην υλοποίηση του gNB. Θεωρητικά, η τιμή N3 μπορεί να είναι τόσο χαμηλή όσο ο gNB είναι σε θέση να υποστηρίξει.



Εικόνα 4-14 Παραδείγματα χρόνου διαδρομής HARQ Round-trip με επιθετικό χρονοδιάγραμμα επεξεργασίας στο UE και στον gNB

Ορισμένα παραδείγματα διαφορετικών χρονοδιαγραμμάτων HARQ παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί. Μπορεί να φανεί ότι το αυστηρότερο χρονοδιάγραμμα HARQ μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη χωρητικότητα του συστήματος URLLC.



Εικόνα 4-15 Παραδείγματα κέρδους επιδόσεων από το ταχύτερο χρονοδιάγραμμα HARQ

4.6.7 Μεταδόσεις UL χωρίς επιχορήγηση:

Η κανονική μετάδοση UL με βάση τον προγραμματισμό (ή με βάση την παραχώρηση) απαιτεί από το UE να μεταδώσει πρώτα ένα αίτημα προγραμματισμού και στη συνέχεια να περιμένει την παραχώρηση UL από τον gNB. Παρόλο που το χρονοδιάγραμμα στο 5G έχει μειωθεί σημαντικά σε σύγκριση με το LTE, αυτή η πρόσθετη χειραψία μεταξύ UE και gNB μπορεί ακόμα να αποτελέσει πρόκληση για την ικανοποίηση της απαίτησης καθυστέρησης URLLC 1 ms ή λιγότερο σε ορισμένα σενάρια. Για παράδειγμα, σε ένα σενάριο TDD ενός φορέα, η εναλλαγή χειραψίας UE και gNB μπορεί να συνεπάγεται υπερβολική αρχική επιβάρυνση χρόνου. Οι μεταδόσεις UL χωρίς παραχώρηση (ή αλλιώς διαμορφωμένη παραχώρηση στο 3GPP) επιτρέπουν στον gNB να διαμορφώνει περιοδικούς πόρους UL για ένα UE—όταν το UE έχει δεδομένα, μπορεί να μεταδώσει στους διαμορφωμένους πόρους χωρίς την ανάγκη για δυναμική παραχώρηση UL. Αυτό βελτιώνει την καθυστέρηση UL, και η πρόσθετη εξοικονόμηση μπορεί μερικές φορές να είναι κρίσιμη για την ικανοποίηση της πιο αυστηρής απαίτησης καθυστέρησης.

4.6.8 Ευέλικτη δομή πλαισίου για TDD:

Η URLLC, ιδίως η πτυχή της χαμηλής καθυστέρησης, είναι ενδεχομένως πιο δύσκολη για την TDD από ό,τι για τη Διπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (FDD). Αυτό συμβαίνει επειδή τα TDD DL και UL πρέπει να μοιράζονται τους πόρους με τρόπο TDM, ο οποίος εισάγει πρόσθετη καθυστέρηση. Η περισσότερη κυκλοφορία είναι απρόβλεπτη. Έτσι, προκειμένου να είναι σε θέση να παραδώσει ένα πακέτο DL ή UL και την αντίστοιχη σηματοδότηση ελέγχου με ελάχιστη καθυστέρηση, είναι σημαντικό να υπάρχει μια ευέλικτη δομή πλαισίου που να επιτρέπει τη γρήγορη εναλλαγή μεταξύ DL και UL και επίσης να επιτρέπει στον gNB να προσδιορίζει δυναμικά την κατεύθυνση DL ή UL με βάση την κυκλοφορία.

4.7 Υψηλή αξιοπιστία

Οι μεταδόσεις HARQ είναι ένας παραδοσιακός και αποτελεσματικός τρόπος στα ασύρματα συστήματα για την επίτευξη αποδοτικής μετάδοσης και χαμηλού υπολειμματικού BLER μετά από πολλαπλές μεταδόσεις HARQ. Ωστόσο, όταν η απαίτηση υψηλής αξιοπιστίας συνδυάζεται με χαμηλή καθυστέρηση, μπορεί να υπάρχουν πολύ περιορισμένες δυνατότητες για HARQ αναμεταδόσεις εντός του προϋπολογισμού καθυστέρησης. Για να επιτευχθεί υψηλή αξιοπιστία της τάξης του 10⁻⁵ ή και χαμηλότερη για παράδοση δεδομένων με περιορισμένο αριθμό μεταδόσεων HARQ, κάθε κανάλι διασύνδεσης αέρα πρέπει να είναι σχεδιαστεί με στόχο υψηλής αξιοπιστίας. Στο επίπεδο PHY του 5G NR, οι ακόλουθες τεχνικές πτυχές έχουν για τη βελτίωση της αξιοπιστίας:

• Κανάλια δεδομένων

- Κωδικοποίηση καναλιού
 - Κώδικας καναλιού που διευκολύνει την αποτελεσματική υποστήριξη HARQ
 - Κώδικας καναλιού που έχει σχεδιαστεί με βελτιστοποίηση του ορίου σφάλματος
- Βελτιώσεις στην αναφορά Channel State Information (CSI)
 - Για τις υπηρεσίες eMBB, ο στόχος BLER για την έκθεση CSI είναι 10 τοις εκατό. Αυτό θα αποτελούσε αναντιστοιχία εάν για τον προγραμματισμό απαιτείται χαμηλότερος στόχος BLER. Επομένως, θα ήταν επιθυμητή η υποστήριξη χαμηλότερου στόχου BLER (για παράδειγμα, 10⁻⁵) για την αναφορά CSI και τον αντίστοιχο πίνακα CQI εκτός από την κανονική αναφορά CSI 10 τοις εκατό.
- Βελτιώσεις πίνακα MCS
 - Το χαμηλότερο BLER μπορεί να επιτευχθεί σε βάρος της χαμηλότερης φασματικής απόδοσης. Επιπλέον, η χαμηλή καθυστέρηση έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες μεταδόσεις HARQ. Επομένως, το URLLC απαιτεί καταχωρίσεις χαμηλότερης φασματικής απόδοσης στον πίνακα Modulation Coding Scheme (MCS)
- Χρόνος / συχνότητα / χωρική ποικιλομορφία
 - Η χρονική ποικιλομορφία μπορεί να είναι δύσκολη για εφαρμογές χαμηλής καθυστέρησης, καθώς το πακέτο δεν μπορεί να εκτείνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω της απαίτησης καθυστέρησης. Ωστόσο, η συχνότητα και η χωρική ποικιλομορφία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της αξιοπιστίας. Αυτό περιλαμβάνει συστήματα μετάδοσης άλματος συχνότητας και χωρικής ποικιλομορφίας (για παράδειγμα, ποδηλασία προκωδικοποίησης). Ένα πακέτο μπορεί επίσης να μεταδοθεί από πολλαπλά, μη συντοπισμένα σημεία μετάδοσης (multi-TRP) για να επιτευχθεί διαφορετικό επίπεδο χωρικής ποικιλομορφίας.

- **Κανάλι ελέγχου**

- Για το κανάλι ελέγχου DL, το μέγεθος του ωφέλιμου φορτίου έχει σημασία επειδή επηρεάζει την απαιτούμενη αναλογία σήματος προς παρεμβολή και θόρυβο (SINR) που απαιτείται για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου BLER. Επομένως, μια συμπαγής πληροφορία ελέγχου κάτω ζεύξης (DCI) με μικρό μέγεθος ωφέλιμου φορτίου είναι χρήσιμη για τη βελτίωση της αξιοπιστίας

ο Ομοίως, για το κανάλι ελέγχου UL, το μικρότερο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου είναι επίσης χρήσιμο. Μπορεί να επιτευχθεί, για παράδειγμα, με τη μη πολυπλεξία της ανάδρασης HARQ-ACK με άλλες πληροφορίες ελέγχου UL για να εγγραφεί την αξιόπιστη παράδοση της ανάδρασης HARQ-ACK

ο Επιπλέον, μπορούν να υποστηριχθούν υψηλότερα επίπεδα συνάθροισης για το κανάλι ελέγχου DL για μείωση του ενεργού ρυθμού κωδικού

- **Επαναλήψεις για κανάλια δεδομένων και ελέγχου**

- Η επανάληψη είναι μια κοινή προσέγγιση για τη βελτίωση της κάλυψης και της αξιοπιστίας. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν δεν υπάρχει επαρκής χρόνος για την επεξεργασία και την παροχή σχολίων HARQ ACK/NAK από το UE. Οι επαναλήψεις μπορούν να εφαρμοστούν σε όλα τα κανάλια δεδομένων και ελέγχου DL/UL

Η αξιοπιστία μπορεί επιπλέον να βελτιωθεί με την ενεργοποίηση της αντιγραφής πακέτων υψηλότερου επιπέδου, όπως η αντιγραφή πακέτων με το Πρωτόκολλο Σύγκλισης Πακέτων Δεδομένων (PDCP).

4.8 Πολυπλεξία URLLC και άλλης κυκλοφορίας

4.8.1 Επίδραση ουράς της κυκλοφορίας URLLC

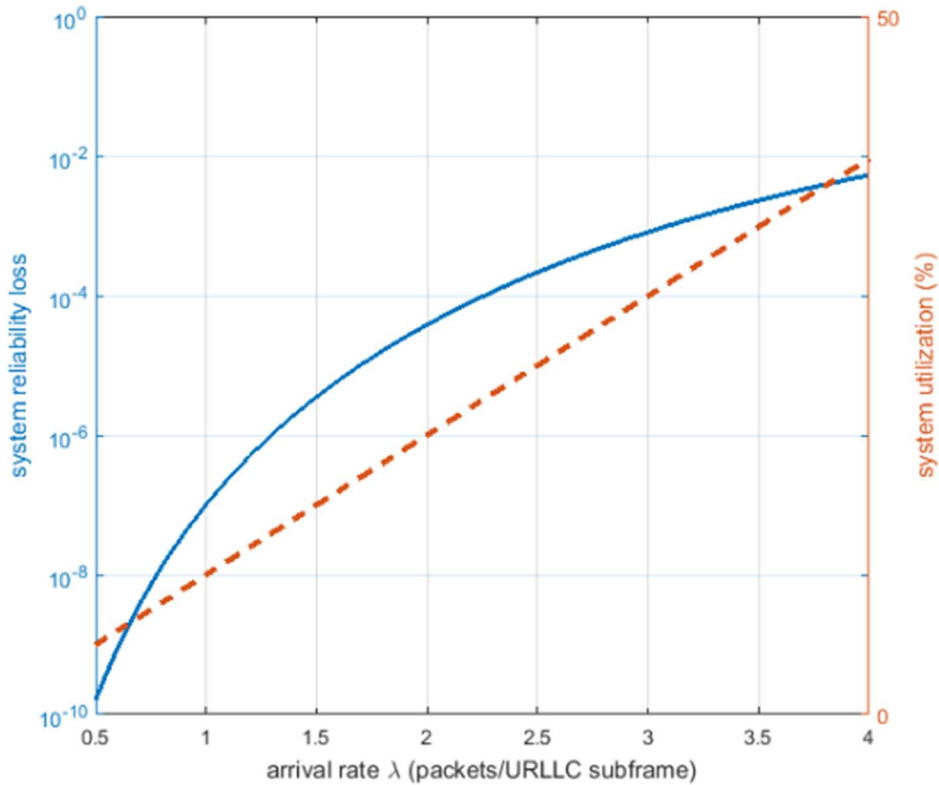
Σε ένα RAN, η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση L2-προς-L2 μιας επιτυχημένης μετάδοσης δεδομένων αποτελείται από: καθυστέρηση χρονοπρογραμματισμού (ο χρόνος μεταξύ της άφιξης του πακέτου και της επόμενης στιγμής χρονοπρογραμματισμού), καθυστέρηση ουράς, καθυστέρηση μετάδοσης, καθυστέρηση επεξεργασίας και αποκωδικοποίησης από την πλευρά του δέκτη και πολλαπλές RTTs HARQ. Η καθυστέρηση ουράς προκύπτει από τη στατιστική πολυπλεξία των ροών δεδομένων που προορίζονται για πολλαπλούς χρήστες URLLC. Οι ροές δεδομένων μπορεί επίσης να είναι σποραδικές και εκρηκτικές λόγω των μοντέλων κίνησης των διαφόρων περιπτώσεων χρήσης URLLC.

Το φαινόμενο της ουράς πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των συστημάτων URLLC λόγω της απαίτησης σκληρής καθυστέρησης. Γενικά, απαιτείται επαρκής αριθμός αναμεταδόσεων HARQ για την επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας, ενώ αφήνεται αρκετό περιθώριο καθυστέρησης από το όριο σκληρής καθυστέρησης για τον μετριασμό του φαινομένου της ουράς αναμονής, το οποίο επιδεινώνεται καθώς αυξάνεται ο παραδεκτός φόρτος κίνησης. Αυτή η προσέγγιση μεγιστοποιεί τη φασματική αποδοτικότητα για τις υπηρεσίες URLLC.

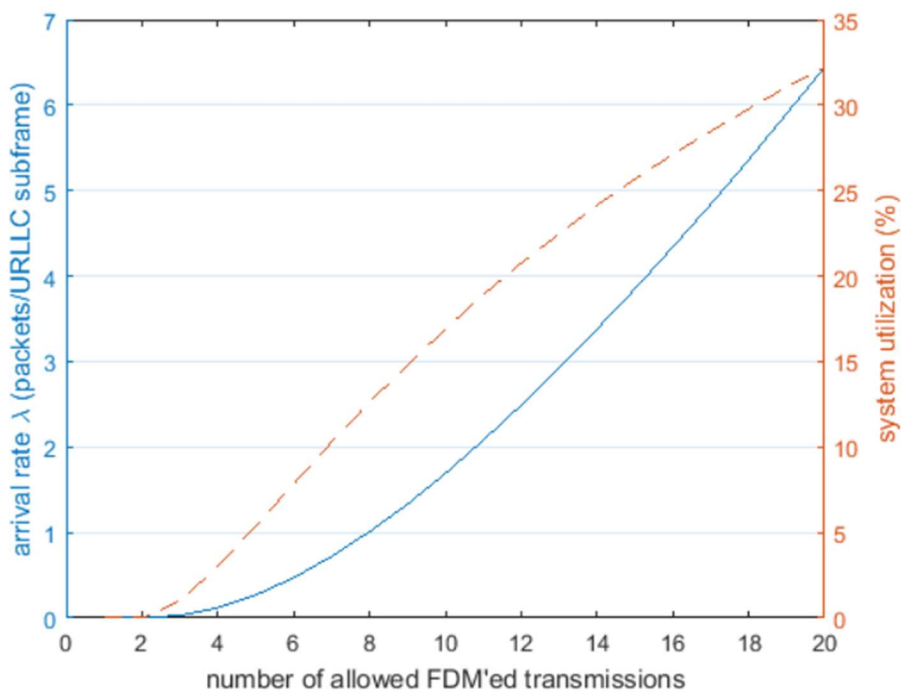
Για να αποκτήσουμε ποιοτικές γνώσεις σχετικά με τη σχέση μεταξύ της χωρητικότητας URLLC και της σκληρής καθυστέρησης εξηγείται ένα μοντέλο ουράς M/M/m/k:

- Το πρώτο M σημαίνει αφίξεις πακέτων Poisson
- Το δεύτερο M σημαίνει εκθετικούς χρόνους εξυπηρέτησης, οι οποίοι αντικατοπτρίζουν το γεγονός ότι ο χρόνος για την αποκωδικοποίηση ενός πακέτου δεδομένων μετά από πολλαπλές αναμεταδόσεις HARQ ακολουθεί περίπου μια γεωμετρική κατανομή (Αυτή είναι μόνο μια προσέγγιση με την έννοια ότι ένα πακέτο εξυπηρετείται συνεχώς στο μοντέλο ουράς, αλλά οι πόροι διατίθενται μεταξύ των αναμεταδόσεων HARQ του πακέτου στο ασύρματο δίκτυο)
- Ο συμβολισμός m υποδεικνύει τον αριθμό των επιτρεπόμενων ταυτόχρονων μεταδόσεων, ο οποίος είναι ανάλογος με το εύρος ζώνης του συστήματος που είναι διαθέσιμο στις υπηρεσίες URLLC
- Ο συμβολισμός k σημαίνει ότι εάν ένα εισερχόμενο πακέτο παρατηρήσει k πακέτα που εκκρεμούν στο σύστημα για μερικά $k > m$, συμπεριλαμβανομένων των πακέτων που βρίσκονται στην ουρά και υποβάλλονται σε αναμετάδοση HARQ, θα απορριφθεί από το δίκτυο.

Ανάλυση και αξιολόγηση URLLC



Εικόνα 4-16 Σχέση μεταξύ απώλειας αξιοπιστίας συστήματος, χρήσης πόρων και ρυθμού άφιξης πακέτων για μοντέλο ουράς $M/D/m/m$ με $m=10$



Εικόνα 4-17 Ο μέγιστος υποστηριζόμενος ρυθμός άφιξης Poisson και η χρήση πόρων υπό την αξιοπιστία του $p_{loss}=1e-5$ σε ένα μοντέλο αναμονής $M/D/m/m$

4.8.2 Σχεδίαση δυναμικής πολυπλεξίας:

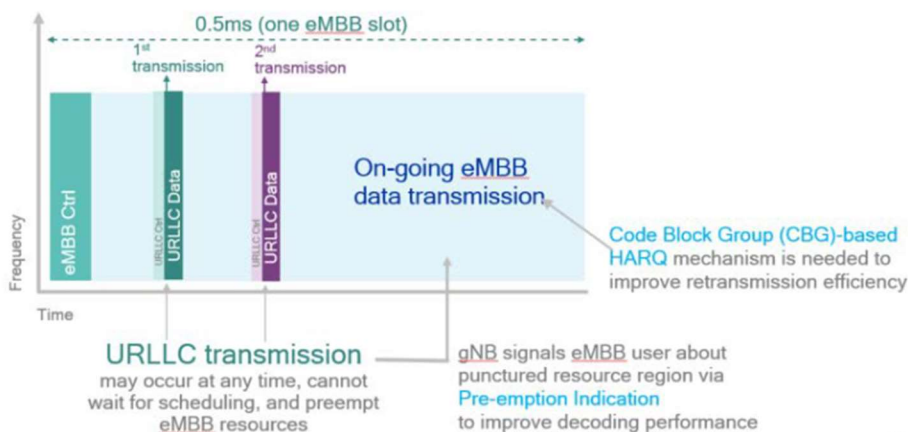
Το σύστημα 5G έχει σχεδιαστεί για να μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικά διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών στο ίδιο δίκτυο. Όταν εξετάζετε την πολυπλεξία του URLLC και άλλων τύπων επισκεψιμότητας, όπως το eMBB, η απόδοση του URLLC πρέπει να είναι εγγυημένη και ταυτόχρονα να λαμβάνεται υπόψη η αποτελεσματικότητα.

Η απλή προσέγγιση είναι η ημι-στατική κατάτμηση των πόρων για URLLC και άλλη επισκεψιμότητα. Ωστόσο, αυτό είναι αναποτελεσματικό από την άποψη της χρήσης πόρων. Αυτό συμβαίνει επειδή οι πόροι δεν μπορούν να μοιραστούν δυναμικά μεταξύ URLLC και άλλης επισκεψιμότητας και η αποτελεσματικότητα του trunking χάνεται, όπως φαίνεται στην ανάλυση ουράς προηγούμενως. Επομένως, ορισμένες βελτιώσεις θα ήταν επιθυμητές για να επιτραπεί η δυναμική κοινή χρήση πόρων μεταξύ της επισκεψιμότητας, ενώ θα εξακολουθούσε να είναι σε θέση να εγγυάται την απόδοση του URLLC. Η προκαταβολή DL και UL είναι ένας τέτοιος τύπος βελτίωσης.

Με τη δυναμική κοινή χρήση πόρων μεταξύ διαφορετικών επισκεψιμότητας, μπορεί να προκύψει ότι όταν φτάνει η επισκεψιμότητα URLLC, δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμοι πόροι επειδή έχουν ήδη κατανεμηθεί σε άλλη επισκεψιμότητα. Η Preemption επιτρέπει στο gNB να σηματοδοτήσει τον UE με συνεχιζόμενη μετάδοση/λήψη για να σταματήσει ή να σταματήσει προσωρινά τη μετάδοση/λήψη και να χρησιμοποιήσει τους ελευθερωμένους πόρους για να προγραμματίσει γρήγορα την κυκλοφορία URLLC.

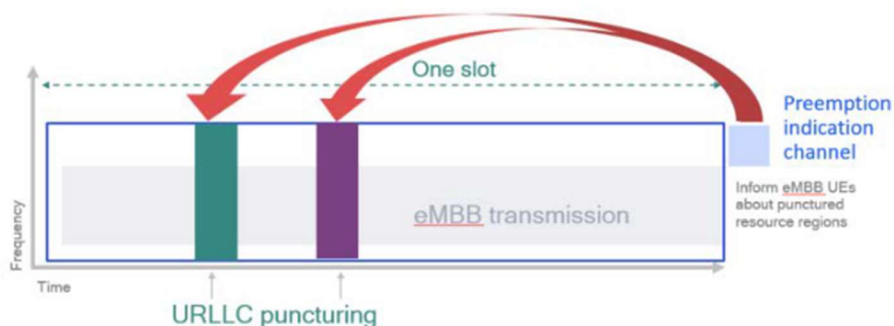
Στο DL, η ίδια η προκατάληψη μπορεί να γίνει με την εφαρμογή χρονοπρογραμματιστή gNB. Αλλά κάποια σηματοδότηση προς τις προκαταρκτικές UEs θα ήταν χρήσιμη για τον μετριασμό της επίδρασης της προκοπής. Αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου υπάρχει μια συνεχιζόμενη μετάδοση eMBB με μεγάλη διάρκεια, το εισερχόμενο πακέτο URLLC δεν μπορεί να περιμένει και προλαμβάνει μέρος των εκπομπών eMBB. Για μια μετάδοση eMBB με μεγάλο μέγεθος μπλοκ μεταφοράς, η χρήση αναμετάδοσης HARQ βάσει ομάδας μπλοκ κώδικα μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα επιτρέποντας την αναμετάδοση μόνο των ομάδων μπλοκ κώδικα κατά λάθος (όχι ολόκληρου του μπλοκ μεταφοράς).

Ανάλυση και αξιολόγηση URLLC



Εικόνα 4-18 Εικονογράφηση του DL Preemption

Εναλλακτικά, ή συμπληρωματικά, το gNB μπορεί να μεταδώσει μια ένδειξη προκοπής στους UEs του eMBB για να ενημερώσει σχετικά με τους διατηρημένους πόρους, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, έτσι ώστε το UE να μπορεί να το λάβει υπόψη στη διαδικασία αποκωδικοποίησης για να βελτιώσει την απόδοση αποκωδικοποίησης. Η ένδειξη preemption στο παρακάτω σχήμα μεταδίδεται στην αρχή της επόμενης υποδοχής, αντί να μεταδίδεται τη στιγμή της preemption, προκειμένου να μην δημιουργείται πρόσθετη επιβάρυνση στους eMBB UEs ώστε να παρακολουθούν πολύ συχνά το κανάλι ελέγχου.

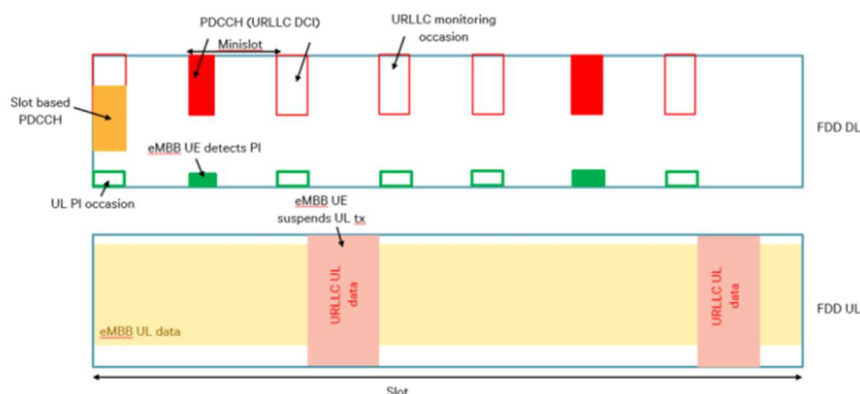


Εικόνα 4-19 Εικονογράφηση του Pre-emption Indication

Η έννοια της UL preemption είναι παρόμοια. Το gNB μπορεί να προγραμματίσει την κίνηση URLLC στο UL χρησιμοποιώντας τους πόρους που έχουν ήδη εκχωρηθεί σε άλλους UE. Σε αυτήν την περίπτωση, είναι σημαντικό για το gNB να δώσει σήμα στους άλλους UE για να σταματήσουν την τρέχουσα μετάδοση τη στιγμή που λαμβάνεται η απόφαση προκαταβολής.

Με αυτόν τον τρόπο, η τρέχουσα μετάδοση μπορεί να σταματήσει εγκαίρως και να μην παρεμποδίσει την πρόσφατα προγραμματισμένη κυκλοφορία URLLC.

Αυτό σημαίνει ότι αυτοί οι UE eMBB πρέπει να παρακολουθούν συχνά την ένδειξη προκοπής, όπως σε κάθε mini-slot ή κάθε λίγα mini-slots, ενώ εκπέμπουν στο UL. Η έννοια της UL preemption απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4-20 Εικονογράφηση UL Pre-emption

Για ένα UE που υποστηρίζει τόσο το URLLC όσο και άλλους τύπους κίνησης, θα ήταν απαραίτητοι μηχανισμοί πολυπλεξίας και ιεράρχησης προτεραιοτήτων εντός της ΕΕ. Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC) θα πρέπει να παρέχει τον μηχανισμό για να ιεραρχήσετε και να πολυπλέξετε διαφορετικούς τύπους κίνησης.

Επιπλέον, η διαφοροποίηση της κυκλοφορίας στο φυσικό επίπεδο είναι επίσης ευεργετική για την ιεράρχηση και την πολυπλεξία καναλιών, παρόλο που παραδοσιακά το φυσικό επίπεδο δεν γνωρίζει τον τύπο υπηρεσίας. Για παράδειγμα, το HARQ-ACK για URLLC μπορεί να έχει υψηλότερη προτεραιότητα από τη μετάδοση δεδομένων χαμηλότερης προτεραιότητας και η μετάδοση UL χωρίς επιχορήγηση για το URLLC μπορεί να έχει υψηλότερη προτεραιότητα από τη μετάδοση UL που βασίζεται σε επιχορηγήσεις για επισκεψιμότητα χαμηλότερης προτεραιότητας. Η μετάδοση δεδομένων URLLC μικρότερης διάρκειας και χαμηλής καθυστέρησης μπορεί να έχει προτεραιότητα έναντι της ήδη προγραμματισμένης μετάδοσης δεδομένων μεγάλης διάρκειας.

4.9 Σχεδιασμός ανώτερου στρώματος και αρχιτεκτονική δικτύου για 5G URLLC

Το 3GPP δίνει τη δυνατότητα σε πολλές βελτιώσεις συστήματος και βασικών δικτύων στις Εκδόσεις 15 και 16 να υποστηρίζουν τις απαιτήσεις URLLC για πτυχές λανθάνοντος χρόνου, τρεμούλιασης και αξιοπιστίας στο σύστημα 5G. Μερικές από αυτές τις βελτιώσεις περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Λειτουργία QoS που βασίζεται σε ροή με υποστήριξη για ανακλαστικό QoS και τυποποιημένα 5QI

- Υποστήριξη για το MEC, το οποίο επιτρέπει την αποτελεσματική παροχή υπηρεσιών μέσω μειωμένης καθυστέρησης από άκρο σε άκρο και φόρτου στο δίκτυο μεταφορών. Υπάρχουν αρκετοί ενεργοποιητές MEC στο σύστημα 5G:
 - ✚ Επιλογή Λειτουργίας επιπέδου χρήστη (UPF) για τη δρομολόγηση της κίνησης του χρήστη στο τοπικό δίκτυο δεδομένων. Το κεντρικό δίκτυο 5G επιλέγει την κίνηση που θα δρομολογηθεί και θα κατευθύνεται στις εφαρμογές στο τοπικό δίκτυο δεδομένων
 - ✚ Πολλαπλές διαδρομές δεδομένων με περιττή μετάδοση στο επίπεδο χρήστη για να διασφαλιστεί η αξιόπιστη παράδοση των δεδομένων της εφαρμογής. Αυτό βοηθά στη μετάδοση δεδομένων με μεγαλύτερη αξιοπιστία από ό,τι με μία απλή σήραγγα επιπέδου χρήστη των N3 και N9 και Λειτουργίες Δικτύου (NF) στη διαδρομή επιπέδου χρήστη
 - Συνέχεια συνεδρίας και υπηρεσίας για να ενεργοποιηθεί η UE και η κινητικότητα εφαρμογών. Συνεδρίες μονάδας δεδομένων πρωτοκόλλου IPv6 (PDU) πολλαπλών οικιακών συνδέσεων για την υποστήριξη της συνέχισης της υπηρεσίας πριν από τη διακοπή για την υποστήριξη της λειτουργίας 3 Session and Service Continuity (SSC) και την ταυτόχρονη πρόσβαση σε τοπικές υπηρεσίες και internet με διαφορετικά προθέματα IPv6
 - Επιρροή της λειτουργίας εφαρμογής στην (επανα)επιλογή UPF και τη δρομολόγηση της κυκλοφορίας μέσω της Λειτουργίας Συντονισμού Σημείου (PCF) ή της Συνάρτησης Στοιχείου Δικτύου (NEF)
 - ο Έκθεση σε δυνατότητες δικτύου με κεντρικό δίκτυο 5G και λειτουργία εφαρμογής που παρέχουν πληροφορίες μεταξύ τους μέσω NEF
- Υποστήριξη για UE και ελεγχόμενες από το δίκτυο, πάντα ενεργοποιημένες συνεδρίες PDU για την ενεργοποίηση μεταδόσεων χαμηλής καθυστέρησης.
- Ενεργοποίηση μιας νέας κατάστασης ελέγχου πόρων ραδιοφώνου (RRC), RRC_INACTIVE, η οποία επιτρέπει σε ένα UE σε συνδεδεμένη κατάσταση όταν δεν εκπέμπει ή δεν λαμβάνει δεδομένα να επιτύχει απόδοση ισχύος συγκρίσιμη με εκείνη ενός UE σε αδράνεια.

4.10 QoS

Μία από τις βασικές απαιτήσεις για τις υπηρεσίες URLLC είναι οι αυστηροί στόχοι QoS από άκρο σε άκρο που περιλαμβάνουν χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και υψηλή αξιοπιστία. Η εκπλήρωση αυτών είναι δύσκολη για τα συστήματα 5G επειδή διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση QoS από άκρο σε άκρο, όπως η κάλυψη, η

συνετή χρήση των πόρων του συστήματος και του δικτύου (UPF/RAN/UE) και ο σχεδιασμός του δικτύου μεταφορών.

Η διαφοροποίηση QoS σε μια συνεδρία PDU ορίζεται από την QoS Flow, η οποία προσδιορίζεται από ένα QoS Flow ID (QFI). Η επισκεψιμότητα που σχετίζεται με το ίδιο QFI λαμβάνει την ίδια θεραπεία προώθησης QoS. Το QFI χρησιμοποιείται ως σήμανση U-plane στις διεπαφές N3/N9 και είναι μοναδικό σε μια περίοδο λειτουργίας PDU. Κάθε ροή QoS σχετίζεται με ένα σύνολο χαρακτηριστικών QoS (προϋπολογισμός καθυστέρησης πακέτου, ποσοστό σφάλματος πακέτου, επίπεδο προτεραιότητας) και τιμή Πρωτοκόλλου Ανάλυσης Διεύθυνσης (ARP). Εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης bit (GBR) Οι ροές QoS, επιπλέον, σχετίζονται με τον Εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης bit ροής (GFBR), τον μέγιστο ρυθμό ροής bit (MFBR) και τον έλεγχο ειδοποιήσεων. Ορίζεται ένα τυποποιημένο σύνολο δεικτών QoS 5G (5QI) και δείχνει ένα σύνολο χαρακτηριστικών QoS. Το 5QI είναι παρόμοιο με το QoS Class Identifier (QCI) στο Evolved Packet System (EPS). Ορίζεται επίσης ένας νέος «τύπος πόρων», το Delay Critical GBR.

Υπάρχουν δύο τρόποι για τον έλεγχο των ροών QoS:

1. Για ροές QoS εκτός GBR με τυποποιημένα 5QI, η τυποποιημένη τιμή 5QI μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως QFI και θεωρείται προεπιλεγμένη τιμή ARP. Σε αυτήν την περίπτωση, δεν απαιτείται πρόσθετη σηματοδότηση N2 τη στιγμή που ξεκινά η κυκλοφορία για τις αντίστοιχες ροές QoS
2. Για ροές QoS GBR και μη GBR, όλες οι απαραίτητες παράμετροι QoS που αντιστοιχούν σε ένα QFI αποστέλλονται ως προφίλ QoS στο RAN είτε στην εγκατάσταση συνεδρίας PDU είτε κατά τη δημιουργία ή τροποποίηση της ροής QoS

Στο 5G, δεν υπάρχει κομιστής από άκρο σε άκρο όπως στο Evolved Packet System (EPS). Η σήμανση QoS ανά πακέτο πραγματοποιείται στην κεφαλίδα ενθυλάκωσης N3 τόσο στο UL όσο και στο DL για να διαφοροποιηθούν οι Ροές QoS. Το RAN συνεχίζει να χρησιμοποιεί ψηφιακή ραδιοφωνική μετάδοση (DRB). Όλα τα πακέτα σε ένα DRB λαμβάνουν την ίδια επεξεργασία QoS.

Μια νέα πτυχή στο 5G είναι η ευελιξία στο RAN για τη σύνδεση ροών QoS σε DRB. Η σήμανση QoS ανά πακέτο πραγματοποιείται στο Πρωτόκολλο Προσαρμογής Δεδομένων Προσαρμογής Υπηρεσιών (SDAP) με επικεφαλίδα ραδιοφώνου. Το UE καθορίζει τη σύνδεση QoS δεδομένων UL είτε μέσω Reflective QoS (RQoS) με βάση τη σήμανση QoS δεδομένων DL είτε μέσω ρητής σηματοδότησης QoS.

Το 5GS επιτρέπει σε πολλά τυποποιημένα 5QI να υποστηρίζουν εφαρμογές που βασίζονται σε URLLC.

Το RQoS χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση της ανάγκης για σηματοδότηση επιπέδου ελέγχου (N1). Το RQoS επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ενός παράγωγου κανόνα QoS στο UE με βάση τη λαμβανόμενη κίνηση κατερχόμενης ζεύξης. Ο UE

επιθεωρεί το IP 5-tup στο πακέτο κατερχόμενης ζεύξης, δημιουργεί ένα φίλτρο πακέτου «καθρέφτη» και συσχετίζει το QoS του πακέτου κατερχόμενης ζεύξης με το πακέτο ανερχόμενης ζεύξης. Το φίλτρο του κατοπτρικού πακέτου και το συσχετισμένο QoS αποτελούν τον κανόνα QoS που προκύπτει.

Το UE χρησιμοποιεί τον εξαγόμενο κανόνα QoS για να δεσμεύσει τα αντίστοιχα πακέτα ανερχόμενης ζεύξης στην ίδια ροή QoS. Το UE υποδεικνύει υποστήριξη για RQoS κατά την εγκατάσταση της συνεδρίας PDU και υποδεικνύει επίσης τον αριθμό των υποστηριζόμενων φίλτρων πακέτων για παραγόμενους κανόνες QoS. Το Reflective QoS Attribute (RQA) είναι μια προαιρετική παράμετρος που σχετίζεται με μια ροή QoS που υποδεικνύει ότι συγκεκριμένη κίνηση (όχι απαραίτητα όλη) που μεταφέρεται σε αυτήν τη ροή QoS υπόκειται σε Reflective QoS. Μόνο όταν το RQA σηματοδοτείται για μια ροή QoS, το RAN επιτρέπει τη μεταφορά του ανακλαστικού δείκτη QoS (RQI) (επομένως, προσθέτει την κεφαλίδα SDAP).

Όταν το κεντρικό δίκτυο 5G καθορίζει ότι το RQoS πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για ένα συγκεκριμένο Service Data Flow (SDF), ορίζει το RQI σε κάθε πακέτο αυτού του SDF. Το RQI μεταφέρεται στην κεφαλίδα ενθυλάκωσης πακέτου στο N3 και η διασύνδεση over-the-air στην κεφαλίδα SDAP.

4.11 Mobile Edge Computing (MEC)

Τα συστήματα 5G οδηγούνται από τη χρήση λογισμικού και τεχνολογίας εικονικοποίησης πληροφορικής προς την ανάπτυξη τηλεπικοινωνιακής υποδομής, λειτουργιών και εφαρμογών. Το Edge computing επιτρέπει στις υπηρεσίες χειριστή και τρίτων να φιλοξενοούνται κοντά στο σημείο πρόσβασης του UE. Το MEC επιτρέπει στους προγραμματιστές εφαρμογών και τους παρόχους περιεχομένου να χρησιμοποιούν δυνατότητες υπολογιστικού νέφους και υπηρεσίες πληροφορικής στην άκρη του δικτύου.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι χρήστες να έχουν μεγαλύτερη εγγύτητα σε πληροφορίες με βάση τα συμφραζόμενα με χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο στα δεδομένα τους, καθώς και υψηλό εύρος ζώνης και ευαισθητοποίηση τοποθεσίας. Αυτό έχει επίσης ως αποτέλεσμα την αποτελεσματική χρήση των πόρων ραδιοφώνου και δικτύου μειώνοντας το φορτίο στο δίκτυο μεταφορών.

Το MEC χρησιμοποιεί μια πλατφόρμα εικονικοποίησης για την εκτέλεση εφαρμογών στην άκρη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Αυτή η υποδομή εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου (NFV) μπορεί να είναι αφιερωμένη στο MEC ή να είναι κοινόχρηστη με άλλες λειτουργίες ή εφαρμογές δικτύου. Όπου είναι δυνατόν, η MEC χρησιμοποιεί την οντότητα διαχείρισης υποδομής NFV.

Τα τρέχοντα συστήματα 3GPP επιτρέπουν στους χειριστές να εκθέτουν ορισμένες δυνατότητες δικτύου, όπως η πολιτική QoS, σε τρίτους παρόχους υπηρεσιών Διαδικτύου/παρόχους περιεχομένου Διαδικτύου (ISP/ICP). Με το 5G, οι νέες

δυνατότητες δικτύου εκτίθενται στο τρίτο μέρος με νέους τρόπους όπου χρησιμοποιείται ένα αποκλειστικό τμήμα δικτύου για μια συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης. Αυτό επιτρέπει σε ένα τρίτο μέρος να διαχειρίζεται μια αξιόπιστη εφαρμογή τρίτου μέρους σε ένα περιβάλλον φιλοξενίας υπηρεσιών για να βελτιώσει την εμπειρία χρήστη και να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικά το backhaul και τους πόρους εφαρμογής.

Ενσωματώνονται διάφοροι μηχανισμοί για την ελαχιστοποίηση της χρήσης πόρων του επιπέδου χρήστη, συμπεριλαμβανομένης της προσωρινής αποθήκευσης εντός δικτύου και της τοποθέτησης μιας εφαρμογής σε ένα περιβάλλον φιλοξενίας υπηρεσίας πιο κοντά στον τελικό χρήστη. Αυτές οι προσπάθειες βελτιστοποίησης συμβάλλουν στη μείωση του λανθάνοντος χρόνου και στην αύξηση της αξιοπιστίας.

4.12 Υψηλή αξιοπιστία από πλεοντική μετάδοση σε επίπεδο χρήστη

Το 3GPP παρέχει τη βασική υποστήριξη για το URLLC εισάγοντας δομές TTI και χαρακτηριστικά L2/L3. Ορίζεται η ακόλουθη λειτουργικότητα L2:

Περιορισμοί Λογικής Προτεραιότητας Καναλιών (LCP): Αυτό βοηθά στην κράτηση των υπηρεσιών που απαιτούνται για πτυχές URLLC. Χρησιμοποιώντας περιορισμούς LCP στο MAC, η αντιστοίχιση ενός λογικού καναλιού μπορεί να περιοριστεί και να δεσμευτεί σε ένα υποσύνολο πόρων όπως κελιά, αριθμολογίες (διάστημα υποφορέων), διάρκειες μετάδοσης PUSCH και τον έλεγχο του λογικού καναλιού για τη χρήση των πόρων που διατίθενται για την κατεύθυνση της ανοδικής ζεύξης.

Διπλασιασμός πακέτων στο επίπεδο RAN: Η χρήση αντιγραφής πακέτων στο επίπεδο RAN επιτρέπει στο πακέτο να μεταδίδεται με δύο ανεξάρτητες διαδρομές ραδιοφώνου στη διεπαφή αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή μιας αντιστοίχισης ραδιοφωνικού φορέα σε δύο οντότητες Ελέγχου Ραδιοσυνδέσμου (RLC) και δύο λογικά κανάλια. Ο μηχανισμός αντιγραφής πακέτων αυξάνει περαιτέρω την αξιοπιστία και μειώνει τον λανθάνοντα χρόνο που θα εξυπηρετούσε τις υπηρεσίες URLLC. Ο μηχανισμός αντιγραφής πακέτων ισχύει μόνο για PDU δεδομένων PDCP αλλά όχι για PDU ελέγχου PDCP (επομένως, αποστέλλονται πάντα στην κύρια διαδρομή). Τα αρχικά πακέτα και τα διπλά πακέτα μεταδίδονται σε διαφορετικούς φορείς, αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, ένα από τα μονοπάτια αναμένεται να πετύχει όσον αφορά την προσέγγιση στην πλευρά του δέκτη.

Το 3GPP παρέχει τη βασική υποστήριξη για το URLLC εισάγοντας δομές TTI και χαρακτηριστικά L2/L3. Ορίζεται η ακόλουθη λειτουργικότητα L2:

Περιορισμοί Λογικής Προτεραιότητας Καναλιών (LCP): Αυτό βοηθά στη κράτηση των υπηρεσιών που απαιτούνται για πτυχές URLLC. Χρησιμοποιώντας περιορισμούς LCP στο MAC, η αντιστοίχιση ενός λογικού καναλιού μπορεί να περιοριστεί και να δεσμευτεί σε ένα υποσύνολο πόρων όπως κελιά, αριθμολογίες (διάστημα υποφορέων), διάρκειες μετάδοσης PUSCH και τον έλεγχο του λογικού καναλιού για τη χρήση των πόρων που διατίθενται για την κατεύθυνση της ανοδικής ζεύξης.

Διπλασιασμός πακέτων στο επίπεδο RAN: Η χρήση αντιγραφής πακέτων στο επίπεδο RAN επιτρέπει στο πακέτο να μεταδίδεται με δύο ανεξάρτητες διαδρομές ραδιοφώνου στη διεπαφή αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή μιας αντιστοίχισης ραδιοφωνικού φορέα σε δύο οντότητες Ελέγχου Ραδιοσυνδέσμου (RLC) και δύο λογικά κανάλια. Ο μηχανισμός αντιγραφής πακέτων αυξάνει περαιτέρω την αξιοπιστία και μειώνει τον λανθάνοντα χρόνο που θα εξυπηρετούσε τις υπηρεσίες URLLC. Ο μηχανισμός αντιγραφής πακέτων ισχύει μόνο για PDU δεδομένων PDCP αλλά όχι για PDU ελέγχου PDCP (επομένως, αποστέλλονται πάντα στην κύρια διαδρομή). Τα αρχικά πακέτα και τα διπλά πακέτα μεταδίδονται σε διαφορετικούς φορείς, αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, ένα από τα μονοπάτια αναμένεται να πετύχει όσον αφορά την προσέγγιση στην πλευρά του δέκτη.

4.13 Ενεργοποιητές υπολογιστικής άκρων

Τα συστήματα 5G επιτρέπουν τον υπολογισμό αιχμής μέσω μιας ποικιλίας ενεργοποιητών, 17 μερικοί από τους οποίους είναι οι ακόλουθοι:

Ευέλικτη τοποθέτηση UPF: Στο σύστημα 5G, η σήραγγα N3 παρέχεται με ευαισθησία συνεδρίας PDU. Στο EPS, όλες οι συνδέσεις δικτύου πακέτων δεδομένων (PDN) στο ίδιο PDN τερματίζονται στην ίδια πύλη PDN (PGW). Ωστόσο, στο σύστημα 5G, πολλές συνεδρίες PDU στο ίδιο δίκτυο δεδομένων δεν χρειάζεται να τερματίζονται στην ίδια Λειτουργία Σχεδίου Χρήστη (UPF) (N6). Ο αριθμός των UPF για μια συνεδρία PDU δεν επιβάλλεται από την προδιαγραφή. Για ένα UE με πολλαπλές περιόδους σύνδεσης PDU, δεν υπάρχει ανάγκη για ένα υποχρεωτικό "σημείο σύγκλισης" παρόμοιο με την πύλη εξυπηρέτησης (SGW). Έτσι, πέρα από το Δίκτυο Πρόσβασης (AN), οι διαδρομές επιπέδου χρήστη διαφορετικών περιόδων σύνδεσης PDU (στο ίδιο ή σε διαφορετικό Όνομα δικτύου δεδομένων (DNN) που ανήκουν στην ίδια UE ενδέχεται να είναι εντελώς διαχωρισμένες. Αυτό σημαίνει επίσης ότι για τις UE της κατάστασης αδράνειας, μπορεί να υπάρχει ένας ξεχωριστός κόμβος προσωρινής αποθήκευσης ανά περίοδο λειτουργίας PDU. Το δίκτυο πυρήνα 5G επιλέγει ένα UPF κοντά στο UE και εκτελεί τη διεύθυνση της κυκλοφορίας από το UPF στο τοπικό δίκτυο δεδομένων μέσω μιας διεπαφής N6.

Αυτό μπορεί να βασίζεται στα δεδομένα συνδρομής της EE, την τοποθεσία της EE και πληροφορίες από τη λειτουργία της εφαρμογής, την πολιτική ή άλλοι σχετικοί κανόνες κυκλοφορίας. Για τις απαιτήσεις χαμηλής καθυστέρησης του URLLC, το UPF μπορεί να συγκεντρωθεί με το RAN.

Επιλογή επιπέδου χρήστη: Το κεντρικό δίκτυο 5G (επανα)επιλέγει το UPF για να δρομολογήσει την κίνηση του χρήστη στο τοπικό δίκτυο δεδομένων. Η επιλογή και η επανεπιλογή του UPF εκτελούνται από το SMF λαμβάνοντας υπόψη σενάρια ανάπτυξης UPF όπως ένα κεντρικά τοποθετημένο UPF και ένα καταμεμημένο UPF

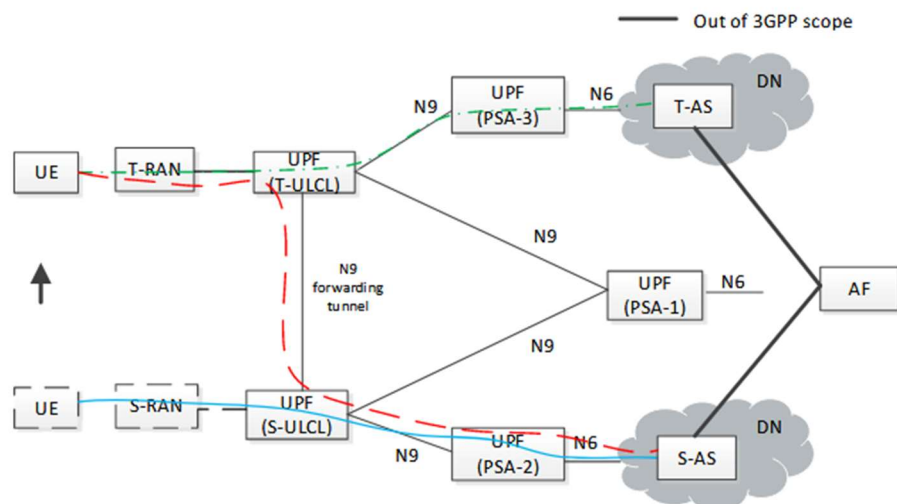
που βρίσκεται κοντά ή στην τοποθεσία του δικτύου πρόσβασης. Η επιλογή UPF επιτρέπει επίσης την ανάπτυξη του UPF με διαφορετικές δυνατότητες.

Το SMF μπορεί να εξετάσει διαφορετικές παραμέτρους και πληροφορίες κατά την επιλογή και την επανεπιλογή του UPF. Αυτά περιλαμβάνουν το δυναμικό φορτίο του UPF, τη θέση UPF, τις πληροφορίες τοποθεσίας UE, τη δυνατότητα UPF και τη λειτουργικότητα που απαιτείται για τη συγκεκριμένη περίοδο λειτουργίας UE, Όνομα δικτύου δεδομένων (DNN), τύπο περιόδου σύνδεσης PDU, λειτουργία συνεδρίας και συνέχειας υπηρεσίας (SSC) που έχει επιλεγεί για την περίοδο λειτουργίας PDU, προφίλ συνδρομής UE στην Ενοποιημένη Διαχείριση Δεδομένων (UDM) και πολιτικές τοπικού χειριστή.

Τοπική δρομολόγηση και διεύθυνση κυκλοφορίας: Το κεντρικό δίκτυο 5G επιλέγει την κίνηση που θα δρομολογηθεί στις εφαρμογές του τοπικού δικτύου δεδομένων. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση μιας μεμονωμένης συνεδρίας PDU με πολλαπλές αγκυρώσεις συνεδρίας PDU (UL CL / IP v6 multi-homing). Προκειμένου να υποστηριχθεί η επιλεκτική δρομολόγηση κυκλοφορίας στον Κόμβο Δεδομένων (DN) ή για να υποστηριχθεί η λειτουργία SSC 3 όπως περιγράφεται παρακάτω, το SMF μπορεί να ελέγχει τη διαδρομή δεδομένων μιας περιόδου λειτουργίας PDU, έτσι ώστε η περίοδος λειτουργίας PDU να αντιστοιχεί ταυτόχρονα σε πολλαπλές διεπαφές N6. Το UPF που τερματίζει καθεμία από αυτές τις διεπαφές λέγεται ότι υποστηρίζει τη λειτουργία PDU session Anchor. Κάθε άγκυρα συνεδρίας PDU που υποστηρίζει μια συνεδρία PDU παρέχει μια διαφορετική διαδρομή πρόσβασης στο ίδιο DN.

Συνεδρία PDU πολλαπλών εγκαταστάσεων με ταξινομητή ανοδικής σύνδεσης: Η συνάρτηση UP περιέχει τη λειτουργία Ταξινομητή Uplink (UL CL) που επιτρέπει την καθοδήγηση της τοπικής κυκλοφορίας σε τοπικές υπηρεσίες (για παράδειγμα, τοπικό διακομιστή CDN) και της υπόλοιπης κίνησης προς κεντρικές υπηρεσίες. Το UL CL εφαρμόζει κανόνες φιλτραρίσματος (για παράδειγμα, για να εξετάσει τη διεύθυνση IP προορισμού των πακέτων IP που αποστέλλονται από το UE) και καθορίζει τον τρόπο δρομολόγησης του πακέτου. Το UL CL υποστηρίζει επίσης συνδεσιμότητα σε τοπικό δίκτυο δεδομένων (για παράδειγμα, διοχέτευση σήραγγας), καθώς και φόρτιση, νόμιμη παρακολούθηση και επιβολή ρυθμού bit. Το UL CL ελέγχεται από το SMF πάνω από το N4.

Ένα UL CL για μια δεδομένη συνεδρία PDU μπορεί να εισαχθεί ή να αφαιρεθεί από το SMF on the fly και είναι διαφανές στο UE. Το UE χρησιμοποιεί την ίδια διεύθυνση IP για κίνηση που συνδέεται είτε σε τοπικό DN (όπου βρίσκεται ο διακομιστής υπολογιστών άκρων) είτε σε απομακρυσμένο DN.



Εικόνα 4-21 Δείγμα αρχιτεκτονικής δικτύου με σήραγγα προώθησης IP N9 μεταξύ Πηγής και Προορισμού ULCL

Συνέχεια συνεδρίας και υπηρεσίας για ενεργοποίηση UE και κινητικότητας εφαρμογών: Σε ένα σύστημα 5G, η περίοδος λειτουργίας PDU μπορεί να συσχετιστεί με πολλαπλά προθέματα IPv6. Το UE χρησιμοποιεί διαφορετικές διευθύνσεις IPv6 για πρόσβαση σε διαφορετικά DN. Ένα "κοινό" UPF, που αναφέρεται ως σημείο διακλάδωσης, κατευθύνει την κίνηση UL προς τη μία ή την άλλη άγκυρα IP με βάση το πρόθεμα πηγής του πακέτου. Η Ομάδα Εργασίας Μηχανικής Διαδικτύου (IETF) RFC 4191 χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση κανόνων στο UE για να επηρεάσει την επιλογή της διεύθυνσης πηγής.

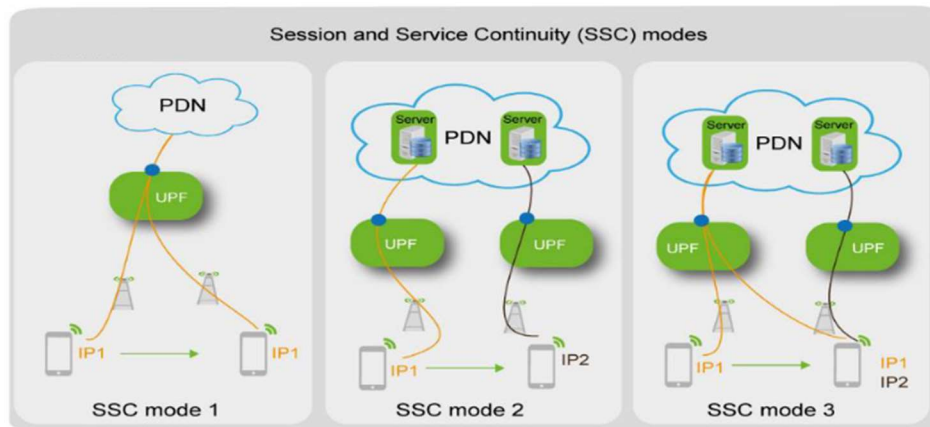
Αυτό αντιστοιχεί στο Σενάριο 1 που ορίζεται στο IETF RFC 7157 "IPv6 Multi-homing without Network Address Translation". Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη της συνέχειας υπηρεσίας make-before-break για την υποστήριξη της λειτουργίας SSC 3. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη ταυτόχρονης πρόσβασης σε μια τοπική υπηρεσία (για παράδειγμα, τοπικό διακομιστή CDN) και στο διαδίκτυο με διαφορετικό πρόθεμα IPv6.

Το σύστημα 5G υποστηρίζει τις ακόλουθες λειτουργίες συνεδρίας και συνεχούς υπηρεσίας (SSC).

- Λειτουργία SSC 1: Το ίδιο UPF διατηρείται ανεξάρτητα από την τεχνολογία πρόσβασης στο δίκτυο που χρησιμοποιεί ένας UE
- Λειτουργία SSC 2: Το ίδιο UPF διατηρείται μόνο σε ένα υποσύνολο (επομένως, ένα ή περισσότερα, αλλά όχι όλα) των σημείων προσάρτησης του δικτύου πρόσβασης (για παράδειγμα, κελιά και RAT), που αναφέρονται ως περιοχή εξυπηρέτησης του UPF. Όταν το UE φεύγει από την περιοχή εξυπηρέτησης ενός UPF, θα εξυπηρετείται από ένα διαφορετικό UPF κατάλληλο για το νέο σημείο σύνδεσης του UE στο δίκτυο

- Λειτουργία SSC 3: Σε αυτήν τη λειτουργία, το δίκτυο επιτρέπει τη δημιουργία συνδεσιμότητας UE μέσω ενός νέου UPF στο ίδιο δίκτυο δεδομένων πριν τερματιστεί η σύνδεση μεταξύ του UE και του προηγούμενου UPF.

Όταν ισχύουν συνθήκες ενεργοποίησης, το δίκτυο επιλέγει ένα UPF-στόχο κατάλληλο για το νέο σημείο σύνδεσης του UE στο δίκτυο. Ενώ και τα δύο UPF είναι ενεργά, το UE είτε επανασυνδέει ενεργά εφαρμογές από την προηγούμενη στη νέα διεύθυνση/πρόθεμα, είτε εναλλακτικά, το UE περιμένει να τελειώσουν οι ροές που συνδέονται με την προηγούμενη διεύθυνση/πρόθεμα.

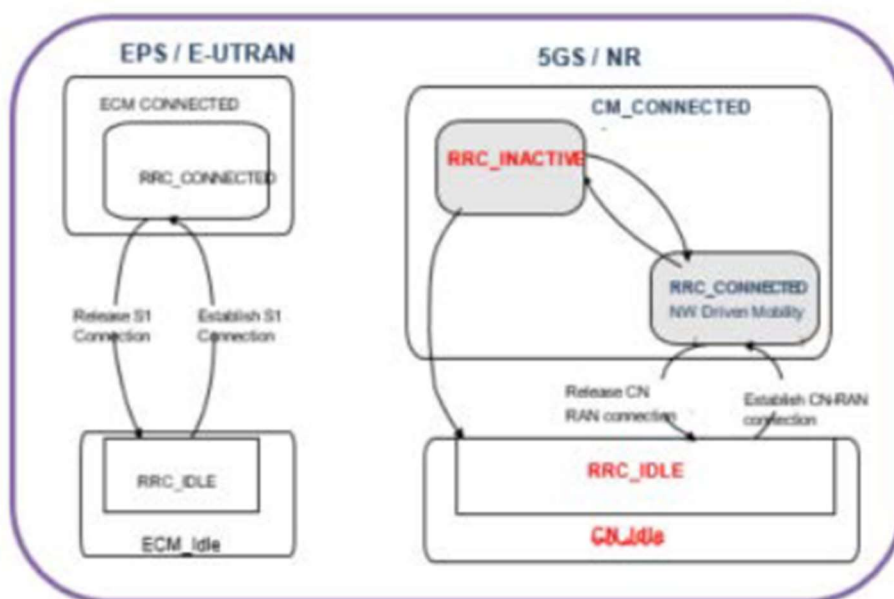


Εικόνα 4-21 Αρχιτεκτονική επιπέδου χρήστη για τον ταξινομητή ανερχόμενης ζεύξης

4.14 Υποστήριξη χαμηλής καθυστέρησης με μια νέα κατάσταση RRC_INACTIVE

Η κατάσταση εξοικονόμησης μπαταρίας RRC_INACTIVE που εισήχθη στην Έκδοση 15 καλύπτει την απαίτηση χαμηλής καθυστέρησης του URLLC σε κάποιο βαθμό. Η επισήμανση UE σε επίπεδο RAN βασίζεται στις περιοχές ειδοποίησης RAN (RNA)

οι οποίες είναι παρόμοιες με τις Περιοχές Καταχώρησης του Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) στο UTRAN. Το RNA είναι ειδικό για την UE και αποτελείται από ένα ή περισσότερα κύτταρα και είναι μικρότερο από την περιοχή παρακολούθησης.



Εικόνα 4-23 CN και RAN States για EPS/E-UTRAN και 5G S/NR

Μια πιθανή περίπτωση χρήσης της κινητικότητας χαμηλής καθυστέρησης είναι όπου το UE μετακινείται από την κατάσταση RRC_INACTIVE στην κατάσταση RRC_CONNECTED και συνδέεται με έναν άλλο κόμβο δικτύου πρόσβασης ραδιοφώνου επόμενης γενιάς (NG RAN) στον οποίο το περιβάλλον UE ΔΕΝ είναι διαθέσιμο αλλά προέλευση από κινητά/τερματισμός κινητής προέλευσης / Τα δεδομένα τερματισμού κινητής τηλεφωνίας (MO/MT) πρέπει να παραδίδονται με εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση. Σε αυτήν την περίπτωση, η πιθανή λύση είναι η μετάβαση στο CM_CONNECTED από το RRC_INACTIVE με τις ακόλουθες βελτιώσεις, ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση δεδομένων χρήστη με χαμηλή καθυστέρηση:

- Το RAN χρησιμοποιεί τις πληροφορίες QoS για να ανιχνεύσει εάν ζητείται το URLLC
- Όταν ο UE στέλνει το αίτημα συνέχισης RRC σε έναν κόμβο NG-RAN που δεν έχει το περιβάλλον UE, τότε το RAN μπορεί να αποφασίσει ότι ο κόμβος αγκύρωσης NG-RAN δεν θα κάνει μια αλλαγή διαδρομής του N3 στον νέο κόμβο NG-RAN αμέσως
- Το Mobile Switching Center (MSC) απεικονίζει πώς μπορούν να παραδοθούν δεδομένα χρήστη εξαιρετικά χαμηλού λανθάνοντος χρόνου για αυτήν την περίπτωση χρήσης

4.15 Απόδοση, πιθανές βελτιώσεις και προκλήσεις

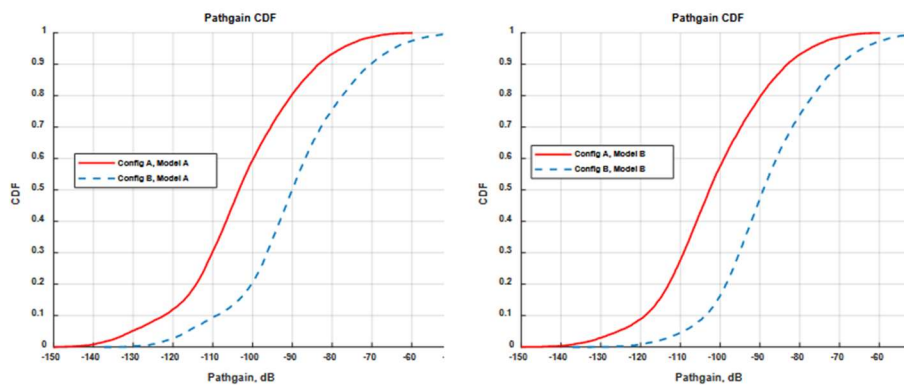
Αυτή η ενότητα παρουσιάζει ορισμένα προκαταρκτικά αποτελέσματα απόδοσης σχετικά με την αξιολόγηση της αξιοπιστίας χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία IMT-

Ανάλυση και αξιολόγηση URLLC

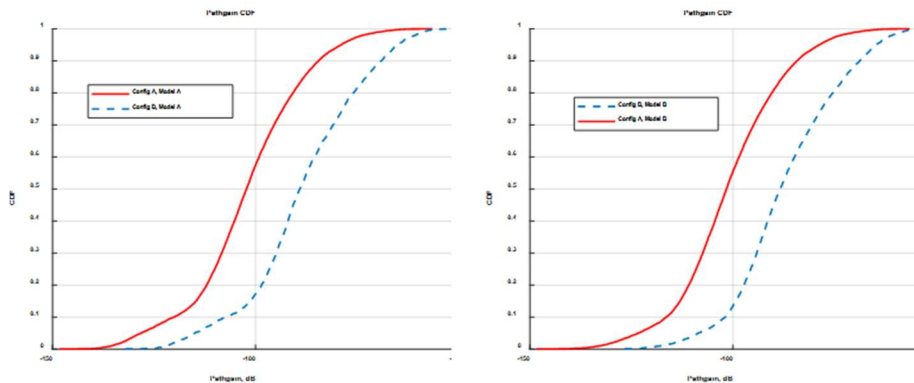
2020. 20 Η μεθοδολογία IMT-2020 για την αξιοπιστία ορίζεται από την ITU και προσδιορίζεται από το 3GPP.

Η ενότητα 6.1 περιγράφει τις υποθέσεις. Η ενότητα 6.2 εξετάζει την αξιοπιστία της DL και τον τρόπο αξιολόγησης της σε επίπεδο συστήματος και στη συνέχεια με μοντελοποίηση σε επίπεδο συνδέσμου των PDCCH και PDSCH.

Οι παραδοχές σε επίπεδο συστήματος που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσης συνοψίζονται στο παράρτημα στον Πίνακα Β.1. Ουσιαστικά, δύο φέρουσες συχνότητες λαμβάνονται υπόψη για την ανάλυση απόδοσης: 4 GHz (Config A) και 700 MHz (Config B).



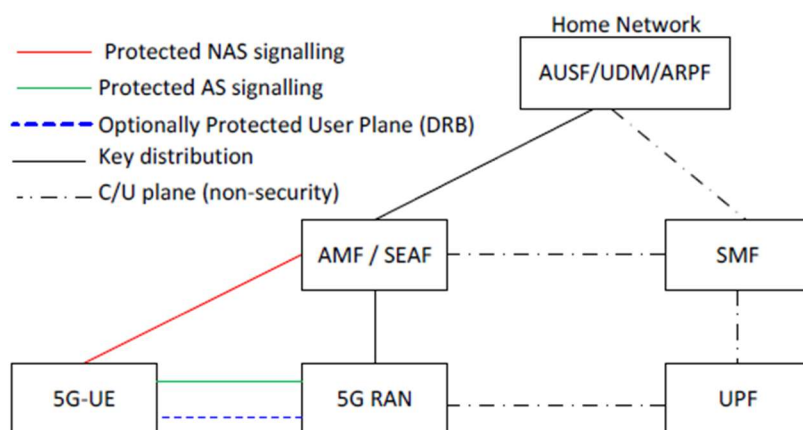
Εικόνα 4-22 UE Useful Path Gain Statistics for DL Setup, IMT-2020 URLLC UMa Config A/B in Channel Model A/B



Εικόνα 4-23 UE Useful Path Gain Statistics for UL Setup, IMT-2020 URLLC UMa Cngif A/B in Channel Model A/B

4.16 Θέματα ασφαλείας

Η αρχιτεκτονική ασφαλείας του 5GS παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα



Εικόνα 4-24 Αρχιτεκτονική ασφαλείας

Η λειτουργία διακομιστή ελέγχου ταυτότητας (AUSF), η ενοποιημένη διαχείριση δεδομένων (UDM) και η λειτουργία αποθετηρίου και επεξεργασίας διαπιστευτηρίων ελέγχου ταυτότητας (ARPF) βρίσκονται στο οικείο δίκτυο στην περίπτωση περιαγωγής. Η λειτουργία διακομιστή ελέγχου ταυτότητας (AUSF) είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο ταυτότητας UE. Η Ενιαία Διαχείριση Δεδομένων (UDM), συμπεριλαμβανομένης της Λειτουργίας Αποθετηρίου και Επεξεργασίας Πιστοποιητικών Αυθεντικοποίησης (ARPF), είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση και αποθήκευση πληροφοριών συνδρομής, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας των Πιστοποιητικών Αυθεντικοποίησης και Συμφωνίας Κλειδιού (AKA) 3GPP. Η UDM είναι επίσης υπεύθυνη για τον χειρισμό της ταυτοποίησης χρήστη (για παράδειγμα, αποθήκευση και διαχείριση του μόνιμου αναγνωριστικού συνδρομητή (SUPI) για κάθε συνδρομητή στο σύστημα 5G) και την εξουσιοδότηση πρόσβασης με βάση τα δεδομένα συνδρομής (για παράδειγμα, περιορισμοί περιαγωγής). Τα διαπιστευτήρια συνδρομής περιλαμβάνουν το σύνολο των τιμών στην καθολική μονάδα ταυτότητας συνδρομητή (USIM και ARPF), που αποτελείται τουλάχιστον από το(α) μακροπρόθεσμο(α) κλειδί(α) και το αναγνωριστικό συνδρομής SUPI, που χρησιμοποιούνται για τη μοναδική ταυτοποίηση μιας συνδρομής και την αμοιβαία αυθεντικοποίηση του UE και του κεντρικού δικτύου 5G.

4.16.1 Άλλες βασικές διαφορές από το EPS (σύστημα 4G)

Η ασφάλεια του 5G περιλαμβάνει αρκετές πρόσθετες βελτιώσεις σε σύγκριση με την ασφάλεια του EPS, οι οποίες ενδέχεται να εφαρμόζονται στο URLLC σε ορισμένες εφαρμογές.

Η αρχική προστασία NAS έχει εισαχθεί για την προστασία της εμπιστευτικότητας των στοιχείων πληροφορίας (IEs) που δεν απαιτούνται για την εγκαθίδρυση (ή τον προσδιορισμό) των πλαισίων ασφαλείας NAS μεταξύ του UE και του εξυπηρετούντος δικτύου. Μόλις το UE πιστοποιηθεί, η AMF κατανέμει την 5G- Globally Unique Temporary UE Identity (5G-GUTI), η οποία χρησιμοποιείται στα μηνύματα NAS από

το UE αντί του SUCI και από την AMF για την ταυτοποίηση του πλαισίου ασφαλείας 5G του UE.

Η ασφάλεια 5G περιλαμβάνει επίσης τις ακόλουθες βελτιώσεις:

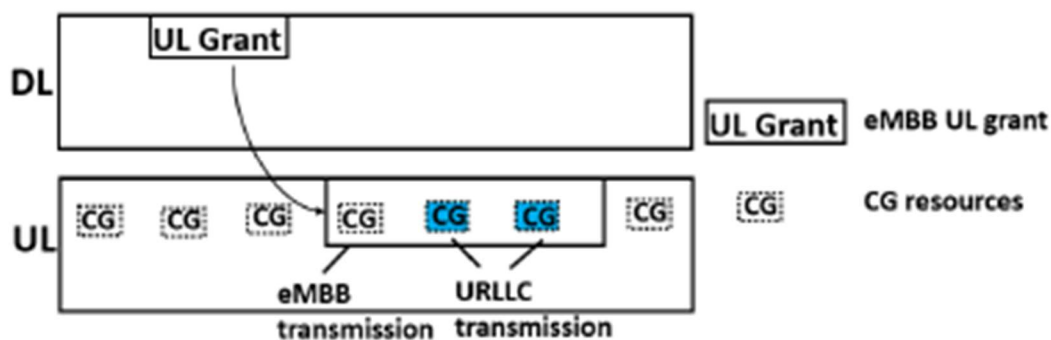
- Προστασία κατά την προσγείωση για χαρακτηριστικά ασφαλείας δικτύου που ενδέχεται να εισαχθούν σε μελλοντικές εκδόσεις
- Διαπραγμάτευση σε επίπεδο συνόδου ανά μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου (Per-PDU) για την προστασία εμπιστευτικότητας ή/και ακεραιότητας DRB της κυκλοφορίας του επιπέδου χρήστη.
- Αλλαγή κλειδιού άγκυρας κινητικότητας (AMF) χωρίς να απαιτείται νέος έλεγχος ταυτότητας.
- Βελτιωμένη ιεραρχία κλειδιών για την υποστήριξη μελλοντικών μοντέλων ανάπτυξης και υπηρεσιών.
- Εισαγωγή λειτουργίας άγκυρας ασφαλείας (SEAF) στο δίκτυο εξυπηρέτησης (KSEAF).
- Κλειδί που αφήνεται στο οικείο δίκτυο μετά τον πρωτογενή έλεγχο ταυτότητας (KAUSF).

4.17 Πολυπλεξία UL eMBB και URLLC

(Physical layer design for Ultra-Reliable Low-Latency Communications in 5G)
sorbonne univ

Πρόβλημα πολυπλεξίας URLLC και eMBB στους πόρους CG

Στο 5G ο gNB μπορεί να προγραμματίσει τους πόρους CG για τα URLLC UEs, αλλά δεν έχει καμία προηγούμενη πληροφορία για το ποιοι από αυτούς τους πόρους CG θα χρησιμοποιηθούν πραγματικά από τα URLLC UEs ή ποιοι από τους UEs της ομάδας που είναι συνδεδεμένοι στους πόρους θα χρησιμοποιήσουν έναν συγκεκριμένο πόρο. Εάν η κυψέλη είναι φορτωμένη και ο gNB προγραμματίζει κάποια eMBB UEs στον πόρο που επικαλύπτεται με την ευκαιρία CG, όπως φαίνεται στο σχήμα, θα υπάρξει σύγκρουση μετάδοσης μεταξύ των δυναμικά προγραμματισμένων μεταδόσεων eMBB και URLLC CG.



Εικόνα 4-25 Σύγκρουση μεταξύ της μετάδοσης UL URLLC CG και της δυναμικής μετάδοσης eMBB σε περίπτωση Διπλής διαίρεσης συχνότητας (FDD)

Όταν οι μεταδόσεις από τα UEs eMBB και URLLC στους πόρους CG επικαλύπτονται, αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερη πιθανότητα αποκωδικοποίησης λόγω χαμηλότερου προκύπτοντος λόγου σήματος προς παρεμβολή συν θόρυβο (SINR) και για τα δύο UEs.

Αυτό μπορεί να αποτελέσει σοβαρό πρόβλημα ιδίως για τα URLLC UEs λόγω των αυστηρών στόχων καθυστέρησης και αξιοπιστίας που έχουν θέσει.

Σε περίπτωση που ο gNB είναι σε θέση να αναγνωρίσει το URLLC UE από την ακολουθία DMRS, μπορεί να προσπαθήσει να επαναπρογραμματίσει γρήγορα το UE σε μη επικαλυπτόμενους πόρους εάν συμβεί σφάλμα.

Η αυξημένη παρεμβολή λόγω των επικαλυπτόμενων μεταδόσεων των eMBB και URLLC UE μπορεί να οδηγήσει σε μια καταστροφική κατάσταση, όταν ο gNB μπορεί να μην αναγνωρίσει καν το URLLC UE (DMRS miss-detection). Η τρέχουσα δομή HARQ στη μετάδοση UL για NR βασίζεται σε χρονοδιακόπτη, πράγμα που σημαίνει ότι κατά τη μετάδοση του πακέτου, το UE θα ξεκινήσει το χρονοδιακόπτη HARQ. Εάν λάβει μια επιχορήγηση UL για την εκ νέου μετάδοση του ίδιου TB από τον gNB, πραγματοποιεί την εκ νέου μετάδοση μέσω των πόρων που έχουν προγραμματιστεί από την επιχορήγηση UL. Εάν δεν λάβει καμία UL επιχορήγηση από τον gNB και λήξει ο χρονοδιακόπτης HARQ, θεωρεί ότι το TB αποκωδικοποιήθηκε επιτυχώς στον gNB και απορρίπτει τα δεδομένα στο buffer.

Η ανατροφοδότηση HARQ βάσει χρονοδιακόπτη και η δυναμική αναμετάδοση παραχώρησης UL είναι τυποποιημένες, επειδή αυτό ελαχιστοποιεί την επιβάρυνση ελέγχου για την αποστολή ανατροφοδότησης HARQ. Αυτό είναι λογικό γενικά, αλλά στις περιπτώσεις δυναμικής πολυπλεξίας UL, που οδηγεί σε επικαλυπτόμενες μεταδόσεις με τα CG UEs, όταν ο gNB δεν θα είναι σε θέση να αναγνωρίσει τα UEs που μεταδίδουν σε πόρους CG, τα UEs θα απορρίπτουν τα πακέτα τους και θα θεωρούν την επιτυχή ανίχνευση που οδηγεί σε σοβαρή υποβάθμιση των επιδόσεων για τα URLLC UEs.

4.17.1 Η ένδειξη επικάλυψης και η ρητή ανατροφοδότηση HARQ ACK

Στο παρόν κεφάλαιο προτείνεται μια στρατηγική δύο βημάτων για την αντιμετώπιση του προβλήματος των πολυπλεγμένων μεταδόσεων UL eMBB και URLLC στους πόρους CG. Στο πρώτο βήμα, κατά τον προγραμματισμό μιας δυναμικής μετάδοσης επιχορήγησης του eMBB UE στους πόρους CG, ο gNB στέλνει μια ένδειξη του επικαλυπτόμενου πόρου στα URLLC UEs. Καθώς ο gNB δεν γνωρίζει ποια από τα URLLC UEs που έχουν διαμορφωθεί για τους CG πόρους μπορεί να γίνουν ενεργά στο τρέχον διάστημα, αυτή η ένδειξη πρέπει να σταλεί σε όλα τα UEs που έχουν διαμορφωθεί με τους CG πόρους στο αλληλεπικαλυπτόμενο διάστημα. Με τη λήψη αυτής της ένδειξης επικάλυψης, τα UEs URLLC γνωρίζουν τους πόρους που έχουν προγραμματιστεί δυναμικά για άλλα UEs και σε περίπτωση μετάδοσης, οι μεταδόσεις τους θα ληφθούν με αυξημένη παρεμβολή.

Το δεύτερο βήμα της προτεινόμενης στρατηγικής περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση για τις επικαλυπτόμενες μεταδόσεις μιας ρητής δομής ανατροφοδότησης HARQ αντί της παλαιάς ανατροφοδότησης με βάση χρονοδιακόπτη. Η ένδειξη επικάλυψης πόρων μπορεί να εξυπηρετήσει αυτό το σκοπό, περιέχοντας μια σημαία 1 bit για να πει αν η ανατροφοδότηση γίνεται ρητή ή όχι. Κατά τη λήψη αυτής της ένδειξης, τα URLLC UEs, τα οποία μεταδίδουν στους επικαλυπτόμενους πόρους, αναμένουν να λάβουν τη ρητή ανατροφοδότηση HARQ από τον gNB για τις μεταδόσεις τους.

4.18 Αναδυόμενες εφαρμογές URLLC

Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζουμε εν συντομία τις αναδυόμενες κρίσιμες εφαρμογές, όπως η τηλεχειρουργική, οι ευφυείς μεταφορές και η αυτοματοποίηση της βιομηχανίας, των οποίων οι απαιτήσεις καθυστέρησης και αξιοπιστίας θα προσδιοριστούν. Άλλες πιθανές εφαρμογές του URLLC περιλαμβάνουν το απτικό Διαδίκτυο, την επταυξημένη/εικονική πραγματικότητα, την ανίχνευση σφαλμάτων, τον έλεγχο συχνότητας και τάσης στα έξυπνα δίκτυα.

A. Τηλεχειρουργική

Η εφαρμογή του URLLC στην τηλεχειρουργική έχει δύο κύριες περιπτώσεις χρήσης: (1) εξ αποστάσεως χειρουργικές διαβουλεύσεις και (2) εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση. Οι εξ αποστάσεως χειρουργικές διαβουλεύσεις μπορεί να συμβούν κατά τη διάρκεια πολύπλοκων διαδικασιών διάσωσης ζωής μετά από σοβαρά ατυχήματα με ασθενείς που έχουν επείγουσα ανάγκη υγείας και δεν μπορούν να περιμένουν να μεταφερθούν σε νοσοκομείο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι πρώτοι ανταποκριτές σε έναν τόπο ατυχήματος μπορεί να χρειαστεί να συνδεθούν με χειρουργούς στο νοσοκομείο για να λάβουν συμβουλές και καθοδήγηση για τη διενέργεια σύνθετων ιατρικών πράξεων. Από την άλλη πλευρά, σε ένα σενάριο απομακρυσμένης χειρουργικής επέμβασης, ολόκληρη η διαδικασία θεραπείας των ασθενών εκτελείται από έναν χειρουργό σε απομακρυσμένη τοποθεσία, όπου τα χέρια αντικαθίστανται από

ρομποτικούς βραχίονες. Σε αυτές τις δύο περιπτώσεις χρήσης, τα δίκτυα επικοινωνίας θα πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξουν την έγκαιρη και αξιόπιστη παράδοση ροής ήχου και βίντεο. Επιπλέον, το απτικό ανατροφοδότηση που ενεργοποιείται από διάφορους αισθητήρες που βρίσκονται στον χειρουργικό εξοπλισμό είναι επίσης απαραίτητη στην απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση, έτσι ώστε οι χειρουργοί να μπορούν να αισθάνονται τι αγγίζουν οι ρομποτικοί βραχίονες για ακριβείς αποφάσεις. λήψη αποφάσεων. Μεταξύ αυτών των τριών τύπων κίνησης, η απτική ανατροφοδότηση είναι αυτή που απαιτεί την αυστηρότερη απαίτηση καθυστέρησης με χρόνους διαδρομής από άκρο σε άκρο (RTTs) μικρότερους από 1ms. Όσον αφορά την αξιοπιστία, οι σπάνιες αποτυχίες μπορούν να γίνουν ανεκτές στις απομακρυσμένες χειρουργικές διαβουλεύσεις, ενώ η απομακρυσμένη χειρουργική απαιτεί ένα εξαιρετικά αξιόπιστο σύστημα (BLER κάτω από 10^{-9}), δεδομένου ότι οποιοδήποτε αισθητό σφάλμα μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικά αποτελέσματα.

B. Ευφυείς μεταφορές

Η υλοποίηση του URLLC μπορεί να ενισχύσει διάφορους τεχνολογικούς μετασχηματισμούς στον τομέα των μεταφορών, συμπεριλαμβανομένης της αυτοματοποιημένης οδήγησης, της οδικής ασφάλειας και των υπηρεσιών αποδοτικότητας της κυκλοφορίας κ.λπ. Αυτοί οι μετασχηματισμοί θα καταστήσουν τα αυτοκίνητα πλήρως συνδεδεμένα, έτσι ώστε να μπορούν να αντιδρούν σε όλο και πιο σύνθετες οδικές καταστάσεις συνεργαζόμενα με άλλους αντί να βασίζονται στις τοπικές πληροφορίες τους. Αυτές οι τάσεις θα απαιτήσουν την αξιόπιστη διάδοση πληροφοριών μεταξύ των οχημάτων σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, στην πλήρως αυτοματοποιημένη οδήγηση χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, τα οχήματα μπορούν να επωφεληθούν από τις πληροφορίες που λαμβάνουν από τις οδικές υποδομές ή άλλα οχήματα.

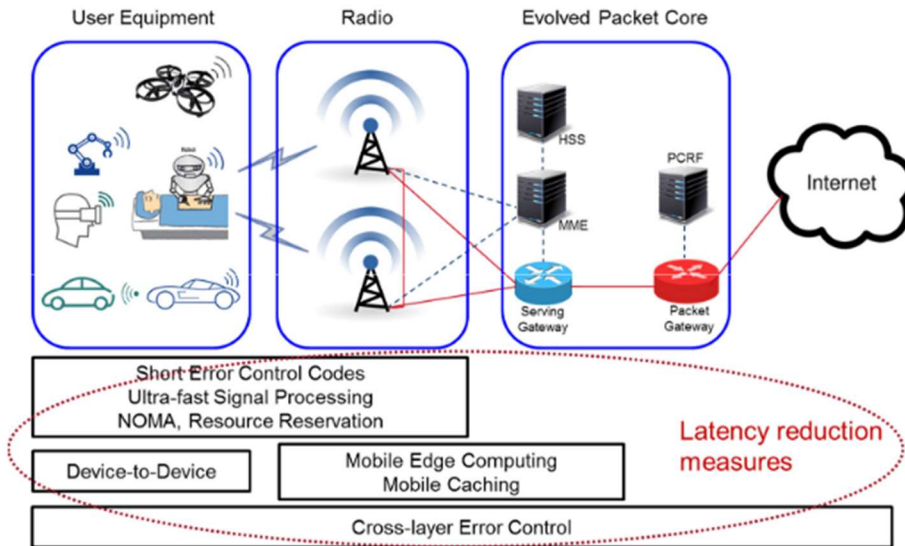
Οι τυπικές περιπτώσεις χρήσης αυτής της εφαρμογής είναι η αυτοματοποιημένη προσπέραση, η συνεργατική αποφυγή σύγκρουσης και η διμοιρία υψηλής πυκνότητας, οι οποίες απαιτούν καθυστέρηση από άκρο σε άκρο 5-10ms και BLER έως και 10^{-5} .

C. Αυτοματοποίηση της βιομηχανίας

Το URLLC είναι μία από τις τεχνολογίες που επιτρέπουν την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Σε αυτό το νέο βιομηχανικό όραμα, ο έλεγχος της βιομηχανίας αυτοματοποιείται με την ανάπτυξη δικτύων στα εργοστάσια. Οι τυπικές περιπτώσεις χρήσης βιομηχανικού αυτοματισμού που απαιτούν URLLC περιλαμβάνουν τον αυτοματισμό εργοστασίων, διεργασιών και συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Για να είναι δυνατές αυτές οι εφαρμογές, θα πρέπει να υποστηρίζεται καθυστέρηση από άκρο σε άκρο μικρότερη από 0,5ms και εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία με BLER 10^{-9} . Παραδοσιακά, τα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου βασίζονται ως επί το πλείστον σε ενσύρματα δίκτυα, επειδή οι υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις βιομηχανικές απαιτήσεις καθυστέρησης και αξιοπιστίας. Ωστόσο, η αντικατάσταση των χρησιμοποιούμενων σήμερα καλωδίων με ασύρματες συνδέσεις

Ανάλυση και αξιολόγηση URLLC

μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη: (1) μειωμένο κόστος κατασκευής, εγκατάστασης και συντήρησης- (2) υψηλότερη μακροπρόθεσμη αξιοπιστία, καθώς οι ενσύρματες συνδέσεις υποφέρουν από φθορά σε εφαρμογές κίνησης- (3) εγγενής ευελιξία ανάπτυξης.



Εικόνα 4-26 Αυτοματοποίηση βιομηχανίας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] MDPI. *The Role of 5G Technologies in a Smart City: The Case for Intelligent Transportation System*. <https://www.Mdpi.com/>. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/5188>
- [2] 5G Americas. *New Services & Applications with 5G Ultra-Reliable Low Latency Communications*. <https://www.5gamericas.org/new-services-applications-with-5g-ultra-reliable-low-latency-communications/>
- [3] 5G PPP (2019, June 19). *View on 5G Architecture*. <https://5g-Ppp.eu/>. https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2019/07/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper_v3.0_PublicConsultation.pdf
- [4] Share Technote. *5G/NR - Radio Protocol Stack Architecture*. <https://www.Sharetechnote.com/>. https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_RadioProtocolStackArchitecture.html
- [5] Avnet. *Understanding Massive MIMO technology*. <https://my.Avnet.com/>. <https://my.avnet.com/abacus/solutions/markets/communications/5g-solutions/understanding-massive-mimo-technology/>
- [6] Tech Trained (n.d.). *5G Use Cases and System Concepts*. <https://www.Techtrained.com/>. <https://www.techtrained.com/5g-use-cases-and-system-concepts/>
- [7] IEEE Xplore (2019, December 16). *The Disruptions of 5G on Data-driven Technologies and Applications*. <https://Arxiv.org/>. <https://arxiv.org/pdf/1909.08096.pdf>
- [8] IEEE (n.d.). *Role of 5G in Vehicular Network for Smart Vehicles in Smart Cities*. [Www.Researchgate.net](http://www.Researchgate.net). https://www.researchgate.net/publication/356378488_Role_of_5G_in_Vehicular_Network_for_Smart_Vehicles_in_Smart_Cities
- [9] Telenor IoT (n.d.). *What is 5G Technology and What Does 5G Mean for IoT?* <https://iot.Telenor.com/>. <https://iot.telenor.com/technologies/connectivity/5g/>
- [10] Salunkhe, K. (2023, April 14). *Advantages and disadvantages of 5G technology and their applications*. <https://www.Linkedin.com/>. <https://www.linkedin.com/pulse/advantages-disadvantages-5g-technology-applications-kajal-salunkhe>

- [11] Trung Kien Le. Physical layer design for ultra-reliable low-latency communications in 5G. Electronics. Sorbonne Université, 2021. English. (NNT : 2021SORUS198). (tel-03517138)
- [12] The University of Sydney, NSW 2006, Australia (n.d.). *Ultra-Reliable Low Latency Cellular Networks: Use Cases, Challenges and Approaches*. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1709/1709.00560.pdf>