



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Ψηφιακός Πολιτισμός, Έξυπνες Πόλεις, IoT και Προηγμένες Ψηφιακές
Τεχνολογίες»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Προσωρινή αποθήκευση στο άκρο του δικτύου για την αποτελεσματική διαχείριση καταστροφών σε οχηματικά δίκτυα Έκτης Γενιάς (6G) Disaster Aware Edge Caching in 6G Vehicular Network Architectures
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΚΑΡΤΕΛΙΑ
Πατρώνυμο	ΓΕΩΡΓΙΟΣ
Αριθμός Μητρώου	ΨΠΟΛ/ 20027
Επιβλέπων	Δρ Εμμανουήλ Σκόνδρας, Διδάσκων ΠΜΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δρ. Εμμανουήλ Σκόνδρας
Διδάσκων ΠΜΣ

Δημήτριος Βέργαδος
Καθηγητής

Διονύσιος Σωτηρόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος κρυφής μνήμης για την αποτελεσματική διανομή περιεχομένου σε οχήματα που επικοινωνούν μεταξύ τους σε Οχηματικά δίκτυα. Ο στόχος είναι να βελτιωθεί η απόδοση των δικτύων και η πρόσβαση στο περιεχόμενο, επιτρέποντας στα οχήματα να αποκτούν πρόσβαση σε κοντινά και αποθηκευμένα περιεχόμενα αντί να εξαρτώνται από μακρινές κεντρικές πηγές. Με την έλευση της τεχνολογίας 6G, γρήγορες και μαζικές μεταφορές δεδομένων είναι δυνατές μεταξύ των κινούμενων αντικειμένων.

Με την παρούσα εργασία, προτείνω ένα συγκεκριμένο σχήμα κρυφής μνήμης για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος. Αυτό περιλαμβάνει την τοποθέτηση μικρών αποθηκευτικών μονάδων κρυφής μνήμης σε στρατηγικά σημεία του οδικού δικτύου, όπως σε βάσεις στάθμευσης, σημεία πρόσβασης και δρομολογητές. Αυτές οι μονάδες κρυφής μνήμης αποθηκεύουν αντίγραφα δημοφιλούς περιεχομένου, όπως βίντεο, μουσική και εικόνες, που ζητούνται συχνά από τα οχήματα.

Τα οχήματα μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση σε αυτό το περιεχόμενο από τις μονάδες κρυφής μνήμης που βρίσκονται στην περιοχή τους, μειώνοντας την κίνηση δεδομένων στο δίκτυο και την καθυστέρηση που σχετίζεται με την ανάκτηση περιεχομένου από μακρινές πηγές. Εξετάζω επίσης τη χρήση αλγορίθμων και μηχανισμών για την αποτελεσματική διαχείριση των μονάδων κρυφής μνήμης σε περίπτωση κινδύνου (disaster) και την παροχή δημοφιλούς περιεχομένου για κοντινούς χρήστες μέσω επικοινωνίας 6G.

Η χρήση του προτεινόμενου αλγορίθμου κρυφής μνήμης για τη διανομή περιεχομένου σε οχήματα μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη απόδοση του δικτύου, μείωση της κίνησης δεδομένων και βελτιωμένη εμπειρία χρήστη. Επίσης, μπορεί να συμβάλει στην αποτελεσματική αξιοποίηση των πόρων του δικτύου και στην αποφυγή τυχόν φορτίων στις κεντρικές πηγές περιεχομένου. Επίσης συμβάλλει στην διαχείριση του περιεχομένου των οχημάτων σε περίπτωση κινδύνου (disaster management)

Ως εκ τούτου, η περιοχή της κρυφής μνήμης για τη διανομή περιεχομένου σε οχήματα αποτελεί ένα ενδιαφέρον πεδίο έρευνας, με πολλές τεχνικές και προσεγγίσεις που εξετάζονται για την ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων. Παρέχω μια επισκόπηση των σχετικών έργων και προτείνω ένα συγκεκριμένο σχήμα κρυφής μνήμης που μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική λύση για την απονομή περιεχομένου σε οχήματα σε Οχηματικά δίκτυα.

Abstract

This thesis deals with the development of a cache system for the efficient distribution of content to vehicles that communicate with each other in Vehicular networks. The goal is to improve network performance and content access by allowing vehicles to access nearby stored content instead of depending on distant central sources. With the advent of 6G technology, fast and massive data transfers are possible between moving objects.

A novel scheme for performing data caching at the edge of the vehicular network architecture is proposed. The scheme involves placing storage equipment at the edge of the network for performing caching of popular content such as videos, music and images that are frequently requested by vehicles.

Vehicles can access this content from caching units located in their place, reducing network data traffic and latency associated with retrieving content from distant sources. The use of mechanisms to efficiently manage cache units in case of disaster and deliver popular content to nearby users over 6G communication is examined.

Using the proposed caching algorithm to distribute content to vehicles can lead to improved network performance, reduced data traffic, and improved user experience. It can also contribute to the efficient use of network resources and avoidance of unnecessary loads on central content sources. It also contributes to the management of vehicle contents in case of disaster (disaster management).

Therefore, the scientific area of caching for content distribution in vehicles is an interesting field of research, with many techniques and approaches being considered to develop efficient systems. In this work, an overview of related literature is also performed.

Πίνακας Περιεχομένων

Abstract	3
Κατάλογος Ακρωνυμίων	6
Εισαγωγή.....	7
1. Εξέλιξη Ασύρματων Επικοινωνιών.....	9
1.1 1G	9
1.2 2G – GSM.....	9
1.3 3G – UMTS.....	10
1.4 4G – LTE.....	10
1.5 Σύγχρονη γενιά κινητής επικοινωνίας: 5G.....	10
1.5.1 Περιπτώσεις χρήσης του 5G	11
1.5.2 Βασικές τεχνολογίες του 5G	12
1.6 Επόμενη γενιά δικτύων κινητής επικοινωνίας: 6G	14
1.6.1 Περιπτώσεις χρήσης του 6G	14
1.6.2 Βασικές τεχνολογίες του 6G	16
1.7 Ανασκόπηση.....	19
2. Οχηματικά Δίκτυα 6 ^{ης} γενιάς.....	19
2.1 Αρχιτεκτονική Οχηματικών Δικτύων.....	21
2.2 Οχηματικά Δίκτυα vs Κινητά Ad Hoc Δίκτυα (MANET)	23
3. Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing)	24
3.1 Βασικά χαρακτηριστικά Υπολογιστικού Νέφους.....	24
3.1.1 Αναπτυξιακά μοντέλα	26
3.2 Κινητό Υπολογιστικό Νέφος.....	27
3.3.1 Πλεονεκτήματα του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους	28
3.3.2 Αρχιτεκτονική Κινητού Υπολογιστικού Νέφους	28
4. Mobile Edge Computing (MEC).....	29
5. Vehicular Cloud Computing	30
5.1 Αρχιτεκτονική Οχημάτων Υπολογιστικού Νέφους	31

6. Διανομή περιεχομένου σε Οχηματικά Δίκτυα μέσω Edge Caching	34
6.1 Αρχιτεκτονική	35
6.1.1 Vehicular Content Networks	38
6.1.2 Μοντέλο δικτύου	38
6.1.3 Μοντέλο επικοινωνίας	39
6.1.4 Μοντέλο διανομής περιεχομένου	39
6.2 Ανάλυση Caching για Διανομή Περιεχομένου	40
6.2.1 Αιτήματα Ανάκτησης Οχηματικού Περιεχομένου	40
6.2.2 Μοντέλο απόκτησης περιεχομένου	42
6.3 Caching περιεχομένου στα RSUs	46
7. Διαχείριση Καταστροφών (Disaster Management)	49
8. Η προτεινόμενη μεθοδολογία διαχείρισης καταστροφών μέσω πραγματοποίησης Edge Caching σε Οχηματικά Δίκτυα Έκτης Γενιάς (6G Vehicular Networks)	52
8.1 Ο προσομοιωτής δικτύων NS-3	52
8.2 Οι αλγόριθμοι προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου της προσομοίωσης	53
8.3 Ο προτεινόμενος αλγόριθμος του συστήματός μας	54
8.4 Η αρχιτεκτονική του συστήματος μας και οι παράμετροι που την αποτελούν	55
8.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης	57
9. Συμπεράσματα	68
Βιβλιογραφικές πηγές	69

Κατάλογος Ακρωνυμίων

1G	Πρώτη γενιά (First Generation) κινητής τηλεφωνίας
FDMA	Frequently Division Multiple Access
2G	Δεύτερη γενιά (Second Generation) κινητής τηλεφωνίας
GSM	Groupe Special Mobile
GPRS	General Packet Radio Service
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
3G	Τρίτη γενιά (Third Generation) κινητής τηλεφωνίας
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
4G	Τέταρτη γενιά (Fourth Generation) κινητής τηλεφωνίας
LTE	Long Term Evolution
5G	Πέμπτη γενιά (Fifth Generation) κινητής τηλεφωνίας
IoT	Internet of Things
WiFi	Wireless Fidelity
ML	Machine Learning
AI	Artificial Intelligence
IaaS	Infrastructure as a Service
PaaS	Platform as a Service
SaaS	Software as a Service
QoS	Quality of Services
KPIs	Key Performance Indicators
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
UDN	Ultra Dense Network
SDN	Software-defined networking
NFV	Network functions virtualization
6G	Έκτη γενιά (Sixth Generation) κινητής τηλεφωνίας
XR	Extended Reality
IoE	Internet of Everything
VR	Virtual Reality
AR	Augmented Reality
VANETs	Vehicular ad hoc networks
DSRC	Dedicated Short-Range Communication
MANETs	Mobile ad hoc networks
MCC	Mobile Cloud Computing
MEC	Mobile Edge Computing
VCC	Vehicular Cloud Computing
MAC	Mobile ad hoc Cloud
STaaS	Storage as a Service
ENaaS	Entertainment as a Service
VCNs	Vehicular Content Networks
EI	Edge Intelligence

Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή της ανταλλαγής πληροφοριών, η κινητικότητα των χρηστών γίνεται ολοένα και πιο κρίσιμη. Αυτό έχει οδηγήσει σε ταχύτερη ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας. Ενώ πριν από 30 χρόνια τα κινητά τηλέφωνα χρησίμευαν μόνο για κλήσεις, πλέον οι σύγχρονες συσκευές διαθέτουν τεράστια υπολογιστική ισχύ και μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης, καθιστώντας τα ουσιαστικά φορητούς υπολογιστές. Η μετάβαση από τα παραδοσιακά σταθερά δίκτυα σε πιο ευέλικτες και ποικιλόμορφες δομές αποτελεί μια πραγματική επανάσταση. Τα κυψελωτά δίκτυα βρίσκονται τώρα στην πέμπτη γενιά τους, γνωστή και ως 5G. Η τάση δείχνει ότι περίπου κάθε δέκα χρόνια, μια νέα γενιά τεχνολογίας εμφανίζεται.

Σκοπός είναι να παρουσιάσουμε μια επισκόπηση των δικτύων 5G και 6G, καθώς και των τεχνολογιών που τα υποστηρίζουν. Μια τέτοια ανασκόπηση είναι απαραίτητη για να εξετάσουμε τα τρέχοντα θέματα, αλλά και αυτά που αναμένεται να προκύψουν στο μέλλον.

Για την επίτευξη του στόχου να έχουμε ένα ασφαλές μέλλον των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, αυτή θα δώσουμε μια επισκόπηση των παλαιότερων γενεών δικτύων κινητής τηλεφωνίας (1G έως 4G), εισάγουμε βασικές πτυχές της τρέχουσας γενιάς (5G) και αναφέρουμε διαφορετικές δυνατότητες και προβλέψεις για το μέλλον (6G).

Στην σημερινή εποχή η τεχνολογία αναπτύσσεται με ταχύτερους ρυθμούς. Η εξέλιξη των υπολογιστών και των τεχνολογιών επικοινωνίας οδηγούν σε μια επαναστατική αλλαγή στην αυτοκινητοβιομηχανία. Η αυτοκινητοβιομηχανία επενδύει στην ενσωμάτωση περισσότερων τεχνολογικών χαρακτηριστικών στα οχήματα επιτρέποντας στους οδηγούς να έχουν πρόσβαση σε σύγχρονα ευφυή οχήματα για καθημερινή τους χρήση.

Ο τομέας του Οχηματικών Δικτύων (Vehicular Networks) έχει γίνει ένας σημαντικός τομέας έρευνας, λόγω της δυνατότητας του να διασφαλίζει άνεση των επιβατών και βελτίωση της οδικής κυκλοφορίας. Είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που όμως πολλές φορές είναι ευάλωτη σε διάφορα είδη επιθέσεων.

Με την παρούσα εργασία θα επιχειρήσουμε μια προσέγγιση στον τομέα των Οχηματικών Δικτύων και την ανάπτυξη ενός συστήματος κρυφής μνήμης για την αποτελεσματική διανομή περιεχομένου σε οχήματα που επικοινωνούν μεταξύ τους. Θα αναλύσουμε βασικές έννοιες των δικτύων αυτών.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εν λόγω εργασίας θα αναφερθούμε στην εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών, από 1G έως 4G. Σε κάθε γενιά, γίνεται μια σύντομη επισκόπηση. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στην τρέχουσα γενιά 5G. Αυτή η γενιά αναλύεται στις υποενότητες 1.5.1 και 1.5.2 με τις περιπτώσεις χρήσης και τις βασικές τεχνολογίες. Μετά τη σημερινή γενιά, η επόμενη υποενότητα παρουσιάζει την επόμενη γενιά κυψελοειδών δικτύων και βασικές τεχνολογίες για 6G. Τέλος, παρέχονται ορισμένα συμπεράσματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εν λόγω εργασίας θα αναφερθούμε σε βασικές έννοιες των Οχηματικών Δικτύων όπως ο ορισμός της έννοιας των Οχηματικών Δικτύων, μια ενδεικτική αρχιτεκτονική αναπαράσταση των κόμβων των συγκεκριμένων δικτύων καθώς και τις διαφορές των δικτύων αυτών με τις πιο παραδοσιακές έννοιες δικτύων όπως τα κινητά ad-hoc δίκτυα καθώς και κάποιες υπηρεσίες που παρέχουν αυτά τα δίκτυα.

Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται αναφορά στις αρχές λειτουργίας της Υπολογιστικής Νέφους (Cloud Computing), συμπεριλαμβανομένης της Κινητής Υπολογιστικής Νέφους (Mobile Cloud Computing). Σημειώνουμε ότι η Υπολογιστική Νέφος αποτελεί μία από τις τεχνολογίες κλειδιά των αρχιτεκτονικών ασύρματων δικτύων Πέμπτης και Έκτης Γενιάς (5G και 6G).

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η τεχνολογία και οι αρχές λειτουργίας του Mobile Edge Computing (MEC), το οποίο αποτελεί κι εκείνο (όπως η Υπολογιστική Νέφος) μία κρίσιμη τεχνολογία για την κατασκευή και την υποστήριξη των αρχιτεκτονικών ασύρματων δικτύων Πέμπτης και Έκτης Γενιάς (5G και 6G).

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η τεχνολογία των Οχηματικών Συστημάτων που ενσωματώνουν τεχνολογίες Υπολογιστικής Νέφους (Vehicular Cloud Computing) τα οποία αποτελούν βασικό τμήμα της παρούσας εργασίας, καθώς ο αλγόριθμος caching που περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο εφαρμόζεται κυρίως σε τέτοιου είδους αρχιτεκτονικές.

Στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται μεθοδολογίες διανομής και προσωρινής αποθήκευσης (caching) περιεχομένου σε οχηματικά δίκτυα. Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται επίσης η ενδεδειγμένη αρχιτεκτονική για τα Οχηματικά Συστήματα Διανομής Περιεχομένου (Vehicular Content Networks), καθώς και τα ενδεδειγμένα μοντέλα δικτύου, επικοινωνίας και διανομής περιεχομένου. Αναλύεται επίσης ένας αλγόριθμος για την υλοποίηση Edge Caching σε τέτοιου είδους συστήματα.

Στο έβδομο κεφάλαιο πραγματοποιείται αναφορά σε ζητήματα διαχείρισης καταστροφών και, τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο περιγράφεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος για τη διαχείριση καταστροφών μέσω πραγματοποίησης Edge Caching σε Οχηματικά Δίκτυα Έκτης Γενιάς (6G Vehicular Networks) και παρουσιάζονται τα απαραίτητα πειραματικά αποτελέσματα.

1. Εξέλιξη Ασύρματων Επικοινωνιών

Από το 1980, κάθε περίπου δέκα χρόνια εμφανίζεται μια νέα γενιά κινητών ασύρματων επικοινωνιών. Η πρώτη γενιά (1G) σηματοδότησε την έναρξη της κινητής τηλεφωνίας, ενώ η δεύτερη γενιά (2G) αποδείχθηκε ιδιαίτερα επιτυχημένη. Ακολούθησαν μερικές αποτυχημένες προσπάθειες που τελικά οδήγησαν στην εισαγωγή του 3G. Σύμφωνα με επίσημους ορισμούς, το 1G και το 2G επικεντρώθηκαν κυρίως στη φωνή, ενώ σταδιακά πρόσφεραν και κάποια δεδομένα. Σήμερα, υπάρχει μεγάλη συζήτηση για το τι θα φέρει το 5G και ποια χαρακτηριστικά θα έχει. Οι κύριες προσδοκίες περιλαμβάνουν πολύ υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, έως και 20 Gb/s, εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση, μόλις 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου, και πολύ υψηλή χωρητικότητα. Με την ανάπτυξη των δικτύων 5G και τις τεράστιες δυνατότητές τους, γεννάται το ερώτημα τι θα πρέπει να προσφέρει το 6G που δεν καλύπτεται από το 5G ή τις μακροπρόθεσμες εξελίξεις του. Τα δίκτυα 6G θα πρέπει να παρέχουν ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων και βελτιωμένη εμβέλεια, ενώ θα πρέπει να επιτρέπουν στους χρήστες να συνδέονται από οπουδήποτε.[1]

1.1 1G

Η πρώτη γενιά κινητής επικοινωνίας (1G) βασιζόταν στην αναλογική τεχνολογία και κυρίως υποστήριζε φωνητικές τηλεφωνικές κλήσεις από λίγες ή περισσότερες κινητές συσκευές. Αν και οι τηλεφωνικές κλήσεις παρείχαν καλή ποιότητα φωνής, ήταν αναξιόπιστες, ακριβές και ανασφαλείς. Η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης ήταν 2,4 kbps. Στο 1G, μόνο το τηλέφωνο χρειαζόταν πιστοποίηση στον σταθμό βάσης. Το προηγμένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας (AMPS) κυκλοφόρησε για πρώτη φορά στις ΗΠΑ και επέτρεπε στους χρήστες να πραγματοποιούν φωνητικές κλήσεις μέσα στην ίδια χώρα.

Ωστόσο, το 1G είχε πολλές αδυναμίες, όπως: i) Έλλειψη κρυπτογράφησης, κακή ποιότητα και ανεπαρκής ασφάλεια. ii) Περιορισμένος αριθμός χρηστών λόγω της τεχνολογίας FDMA (Διαίρεση Συχνότητας σε Πολλαπλές Πρόσβασης). iii) Μη ασφαλής έκθεση στην ακτινοβολία του σταθμού βάσης, έλλειψη διαδικασιών μεταφοράς. iv) Υποστήριζε μόνο φωνητικές υπηρεσίες και είχε ασυμβατότητες με άλλα συστήματα λόγω έλλειψης διεθνών προτύπων.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο διαδοχικών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, του 1G και του 2G, είναι ότι τα ραδιοσήματα που χρησιμοποιούν τα δίκτυα 1G είναι αναλογικά, ενώ τα δίκτυα 2G χρησιμοποιούν ψηφιακά σήματα.[2]

1.2 2G – GSM

Η δεύτερη γενιά κινητής επικοινωνίας (2G) ήταν μια σημαντική αναβάθμιση από το 1G. Εισήχθη το 1991 στη Φινλανδία. Το 2G χρησιμοποίησε το πρότυπο «Παγκόσμιο Σύστημα για Κινητές Επικοινωνίες» (GSM). Το GSM είναι ψηφιακό. Για να χρησιμοποιήσει το GSM, ένας χρήστης έπρεπε να χειριστεί ένα κινητό τηλέφωνο με κάρτα SIM, για να ενεργοποιήσει το τηλέφωνο σε ένα δεδομένο δίκτυο. Αυτό επέτρεψε στα τηλέφωνα να λειτουργούν σε διαφορετικές χώρες, κάτι που δεν ήταν δυνατό στο 1G.

Κατά τη διάρκεια σχεδόν μια δεκαετίας, το πρότυπο 2G βελτιώθηκε από το GSM σε «Παγκόσμια υπηρεσία ραδιοφωνικού πακέτου» (GPRS), EDGE και τέλος EDGE+. Αυτές οι βελτιώσεις δεν θεωρήθηκαν επίσημα μια νέα γενιά, αλλά ονομάζονται ανεπίσημα 2.5G(GPRS) και 2.75G(EDGE). Η μέγιστη ταχύτητα του 2G ήταν 40 kbit/s με GPRS, 236,8 kbit/s με EDGE και 1,3 Mbit/s με EDGE+. Με το δίκτυο 2G, οι χρήστες όχι μόνο μπορούσαν να έχουν φωνητικές κλήσεις, αλλά ήταν επίσης δυνατό για να στείλουν SMS ή MMS. Οι τηλεφωνικές κλήσεις έγιναν λιγότερο ακριβές στο 2G, το οποίο είναι ένα από τους λόγους για τους οποίους είχε παγκόσμια επιτυχία. Σήμερα, περίπου το 80% του παγκόσμιου πληθυσμού χρησιμοποιεί 2G για ασύρματες τηλεφωνικές κλήσεις. [1]

Τα χαρακτηριστικά αυτής της γενιάς είναι ότι i) διατύπωσε ένα ενοποιημένο διεθνές πρότυπο κινητής επικοινωνίας και προώθησε την ανάπτυξη της παγκόσμιας τεχνολογίας κινητής επικοινωνίας.

ii) παρείχε βελτιωμένες υπηρεσίες. iii) βελτιωμένη ασφάλεια δικτύου μέσω κρυπτογραφημένων αριθμών. και iv) βελτίωσε τη χωρητικότητα του συστήματος. και v) η διάρκεια ζωής της μπαταρίας του κινητού τηλεφώνου ήταν μεγαλύτερη επειδή το ραδιοφωνικό σήμα καταναλώνει λιγότερη ενέργεια. [2]

1.3 3G – UMTS

Η τρίτη γενιά κινητής επικοινωνίας (3G) παρουσίασε επιπλέον βελτιώσεις με βάση τα πρότυπα GPRS και EDGE του 2G. Στα κυψελοειδή δίκτυα 3G, η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων κυμαίνεται από 125 kbps έως 2 Mbps. Με περαιτέρω αναβαθμίσεις, όπως η πρόσβαση πακέτων υψηλής ταχύτητας (HSPA), το δίκτυο 3G μπόρεσε να προσφέρει ταχύτητες έως και 14 Mbit/s.

Όπως το 2G βελτίωσε την ασφάλεια σε σχέση με το 1G, το 3G βελτίωσε την ασφάλεια σε σχέση με το 2G. Εισήγαγε νέους αλγόριθμους κρυπτογράφησης, που, παρά τα εναπομείναντα τρωτά σημεία, ήταν γενικά πιο ασφαλείς από εκείνους του 2G. Επιπλέον, το 3G έδωσε τη δυνατότητα στις τελικές συσκευές να επαληθεύουν την ταυτότητα του δικτύου στο οποίο συνδέονται.[1]

Η τεχνολογία 3G έχει τη δυνατότητα να μεταδίδει δεδομένα με μεταγωγή πακέτων αποτελεσματικά, παρέχοντας μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Οι τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας 3G προσφέρουν πιο προηγμένες υπηρεσίες στους χρήστες κινητών. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω μεταγωγής πακέτων, ενώ οι φωνητικές κλήσεις χρησιμοποιούν μεταγωγή κυκλώματος. Επιπλέον, το 3G προσφέρει πρόσβαση στην Παγκόσμια Περιαγωγή. Οι χρήστες απολαμβάνουν μεγαλύτερη καθαρότητα στις φωνητικές κλήσεις, ταχύτερη επικοινωνία, πρόσβαση στο Διαδίκτυο, βιντεοκλήσεις, ανταλλαγής μηνυμάτων πολλαπλών μέσων (MMS), καθώς και παιχνίδια, μεταξύ άλλων. [2]

1.4 4G – LTE

Η τέταρτη γενιά κινητής επικοινωνίας (4G) είναι επίσης γνωστή ως LTE. Αν και η πρώτη έκδοση του προτύπου LTE δεν πληρούσε τις τεχνικές απαιτήσεις για να χαρακτηριστεί ως επίσημο 4G, οι μεταγενέστερες εκδόσεις (LTE Advanced) πληρούσαν αυτές τις προδιαγραφές και θα μπορούσαν να ονομαστούν 4G. Το LTE είναι ένα πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και αποτελεί εξέλιξη του GSM/UMTS. Με την ενίσχυση της ήδη υπάρχουσας τεχνολογίας, το 4G αύξησε σημαντικά τις ταχύτητες λήψης σε σύγκριση με το 3G. Ενώ το 3G είχε μέγιστη ταχύτητα λήψης 300 Mbit/s, το 4G μπόρεσε να φτάσει μέχρι και 1 Gbit/s (σε ιδανικές συνθήκες).

Οι αυξημένες ταχύτητες λήψης επέτρεψαν στους χρήστες να αξιοποιήσουν τις κινητές συσκευές τους για μια ευρύτερη γκάμα εφαρμογών. Μπορούσαν να παρακολουθήσουν HD τηλεόραση μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας ή να πραγματοποιήσουν βιντεοκλήσεις σχεδόν σε πραγματικό χρόνο. Οι περισσότερες σύγχρονες κινητές συσκευές υποστηρίζουν από 2G έως 4G.[2]

Το LTE είναι μια ασύρματη τεχνολογία πρόσβασης που χρησιμοποιεί πολυπλεξία ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM), η οποία επιτρέπει την εξελεγχόμενη μετάδοση πολλαπλών κεραιών και προσφέρει επεκτάσιμο εύρος ζώνης μετάδοσης έως 20 MHz. Η τεχνολογία MIMO είναι ένα βασικό στοιχείο του συστήματος, καθώς επιτρέπει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και πολλαπλές ροές μετάδοσης, βελτιώνοντας την απόδοση του φάσματος, ενισχύοντας την ποιότητα της σύνδεσης και μεταβάλλοντας τα μοτίβα ακτινοβολίας. [1]

1.5 Σύγχρονη γενιά κινητής επικοινωνίας: 5G

Με την εισαγωγή του 5G να έχει σχεδόν ολοκληρωθεί στις δυτικές και ασιατικές χώρες, η εφαρμογή του είναι ένα θέμα μεγάλου ενδιαφέροντος αυτή τη στιγμή. Αυτή η γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας δοκιμάζεται από το 2018 και θα προσφέρει ταχύτητες δεδομένων που φτάνουν μέχρι και

αρκετά Gbit/s, χρόνους καθυστέρησης περίπου 10 ms και μεγαλύτερη πυκνότητα συσκευών από ποτέ. Στα πρώτα χρόνια, το 5G θα λειτουργεί παράλληλα με το 4G (γνωστό και ως μη αυτόνομη λειτουργία), καθώς η αυτόνομη λειτουργία δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί πλήρως.

Το 5G φέρνει νέες περιπτώσεις χρήσης, καινοτόμες τεχνολογίες, και σύγχρονες προσεγγίσεις στην ασφάλεια. Αυτή η ενότητα εξετάζει τις διάφορες περιπτώσεις χρήσης του 5G και τις βασικές τεχνολογίες που το στηρίζουν.[3]

1.5.1 Περιπτώσεις χρήσης του 5G

Η πέμπτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας θα προσφέρει στους χρήστες ταχύτητες λήψης που θα φτάνουν έως και 10 Gbit/s, με καθυστερήσεις τόσο χαμηλές όσο ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Αυτό ανοίγει τον δρόμο για νέες περιπτώσεις χρήσης που δεν ήταν εφικτές με το 4G. Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζονται ορισμένες από τις περιπτώσεις χρήσης που καθιστούν το 5G μια τόσο καινοτόμο τεχνολογία.

Internet of Things, IoT:

Το IoT (Διαδίκτυο των Πραγμάτων) αναφέρεται στη χρήση έξυπνων αισθητήρων σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Αυτοί οι αισθητήρες συνδέονται μέσω Ethernet, δικτύων κινητής τηλεφωνίας, Bluetooth ή άλλων προτύπων επικοινωνίας. Με την έλευση του 5G, θα είναι δυνατή η επικοινωνία με πολλαπλές συσκευές ταυτόχρονα, με σχεδόν μηδενική καθυστέρηση. Επιπλέον, αυτές οι συσκευές θα μπορούν να συνδέονται χωρίς καλώδια ή σύνδεση Wi-Fi, καθιστώντας το IoT πολύ πιο ευέλικτο από πριν.

Οι λύσεις IoT μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορα πεδία. Στη βιομηχανία, οι συσκευές IoT μπορούν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών. Οι έξυπνες πόλεις θα μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων τους. Στη γεωργία, το IoT μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων ενώ αυξάνει τις αποδόσεις των καλλιεργειών. Στην υγειονομική περίθαλψη, το IoT μπορεί να βοηθήσει τους γιατρούς και τους νοσηλευτές να ανταποκρίνονται πιο γρήγορα και αποτελεσματικά στις ανάγκες των ασθενών.[3]

Αυτόνομη οδήγηση και drones:

Με την πρόοδο της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και της μηχανικής μάθησης (ML), οι μηχανές μπορούν πλέον να εκτελούν ορισμένες εργασίες αυτόνομα. Στις σημερινές εφαρμογές, βλέπουμε αυτοκίνητα χωρίς οδηγό, πλήρως αυτοματοποιημένα εργοστάσια και πολλά άλλα παραδείγματα. Η αυτόνομη οδήγηση και τα drones μπορούν να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά, εφόσον έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με κοντινές συσκευές χωρίς να προκαλούν σημαντική επιβάρυνση στο δίκτυο. Επιπλέον, η επικοινωνία με τον ελεγκτή τους μπορεί να γίνεται μέσω 5G αντί να βασίζεται σε ξεχωριστές συχνότητες, γεγονός που μπορεί να αυξήσει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση και τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Αυτό ανοίγει το δρόμο για νέες δυνατότητες, όπως drones που μπορούν να παραδίδουν μικρότερα πακέτα απευθείας στους χρήστες. Επίσης, η αυτονομία σε συνδυασμό με το 5G μπορεί να προσφέρει νέες εφαρμογές σε πολλούς τομείς, από τη βιομηχανία έως τις μεταφορές και την εφοδιαστική αλυσίδα.[3]

Cloud gaming:

Ονομάζεται gaming on demand ή game streaming, είναι ένας τύπος διαδικτυακού παιχνιδιού που βιντεοπαιχνίδια εκτελούνται σε απομακρυσμένους διακομιστές και μεταδίδονται (βίντεο, ήχος, κ.λπ.) απευθείας στη συσκευή ενός χρήστη ή πιο απλά, παίζουμε ένα παιχνίδι εξ αποστάσεως μέσω νέφους. Έρχεται σε αντίθεση με τα παραδοσιακά μέσα παιχνιδιού, όπου ένα παιχνίδι εκτελείται τοπικά στην κονσόλα βιντεοπαιχνιδιών, στον προσωπικό υπολογιστή ή στην κινητή συσκευή ενός χρήστη. [3]

Η πρόσφατη τάση για υποδομή, πλατφόρμα και λογισμικό ως υπηρεσία (IaaS, PaaS, SaaS) προωθεί την ιδέα του cloud gaming, καθιστώντας το πιο δημοφιλές στο μέλλον. Με την προσφορά αυτών των υπηρεσιών ως SaaS, οι εταιρείες μπορούν να διατηρούν το λογισμικό τους ενημερωμένο, ενώ οι χρήστες πληρώνουν μόνο για το χρόνο που χρησιμοποιούν αντί για μια πλήρη συνδρομή.

Το cloud gaming θα επωφεληθεί σημαντικά από την εισαγωγή του 5G, καθώς επιτρέπει σε συσκευές με χαμηλότερη υπολογιστική ισχύ να κάνουν streaming παιχνιδιών απευθείας από έναν διακομιστή, ενώ ο χρήστης στέλνει τα δεδομένα ελέγχου της συσκευής πίσω στον διακομιστή. Αυτή η μέθοδος streaming προσφέρει υψηλότερη ποιότητα από πριν. Οι δύο βασικοί δείκτες απόδοσης (KPIs) για το cloud gaming είναι η χαμηλή καθυστέρηση και η υψηλή απόδοση.[3]

1.5.2 Βασικές τεχνολογίες του 5G

Όπως κάθε προηγούμενη γενιά, το 5G εισάγει νέες τεχνολογίες στα συστήματα κινητής επικοινωνίας. Αυτές οι τεχνολογίες εξασφαλίζουν καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών (QoS), υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και επιχειρούν να ενισχύσουν την ασφάλεια σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές. Το δίκτυο πέμπτης γενιάς περιλαμβάνει αρκετές από αυτές τις νέες καινοτομίες. Αν και το 5G βασίζεται σε πολλές βασικές τεχνολογίες των προηγούμενων γενιών, αυτή η ενότητα επικεντρώνεται σε αυτά που φέρνουν τη διαφορά. Εξετάζονται οι νέες ραδιοσυχνότητες, η μαζική πολλαπλή είσοδος-πολλαπλή έξοδος (massive MIMO), η εξαιρετικά πυκνή δικτύωση, τα δίκτυα λογισμικού και η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (virtualization). [4]

Νέες ραδιοσυχνότητες:

Το πρότυπο 5G καθορίζει δύο κύριες ζώνες συχνοτήτων για το δίκτυο αυτό. Το πρώτο εύρος συχνοτήτων εκτείνεται από 410 MHz έως 7,125 MHz. Αυτό το φάσμα περιλαμβάνει τόσο συχνότητες που χρησιμοποιούνται ήδη από προηγούμενες γενιές δικτύων κινητής τηλεφωνίας όσο και νέες, αχρησιμοποίητες συχνότητες. Το νέο πρότυπο εισάγει επίσης ένα εντελώς νέο φάσμα συχνοτήτων, που εκτείνεται από 24,25 GHz έως 52,6 GHz. Αυτές οι ζώνες είναι γνωστές και ως mmWaves (χιλιοστοκύματα), καθώς το μήκος κύματος βρίσκεται στην περιοχή του χιλιοστού.

Το 5G μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τις προηγούμενες γενιές λόγω αυτών των νέων συχνοτήτων, αλλά ταυτόχρονα αντιμετωπίζει περιορισμούς, καθώς η κάλυψη σε αυτές τις συχνότητες είναι μικρότερη από εκείνη στις παραδοσιακές ζώνες.[4]

Τεράστια πολλαπλή είσοδο πολλαπλών εξόδων, massive MIMO:

Χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραιές και στα δύο άκρα της κινητής επικοινωνίας, ένα κανάλι μπορεί να πολυπλεχτεί περαιτέρω μέσω χωρικών διαστάσεων. Με αυτήν την τεχνική, οι κεραιές μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση, την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη χωρητικότητα του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με το διαχωρισμό της κυψέλης ενός κυψελοειδούς σταθμού βάσης σε τομείς, όπου κάθε τομέας μπορεί να εξυπηρετείται ανεξάρτητα από τους άλλους. Το Massive MIMO είναι μια βελτιωμένη έκδοσή του κλασικού MIMO, το οποίο συνήθως χρησιμοποιεί από δύο έως οκτώ κεραιές. Στο Massive MIMO, ο αριθμός των κεραιών μπορεί να φτάσει μέχρι και τις 1024.

Οι σταθμοί βάσης εξοπλισμένοι με Massive MIMO μπορούν να κλιμακωθούν ανάλογα με τον αριθμό των κεραιών που διαθέτουν. Όσο περισσότερες κεραιές έχει ένας σταθμός βάσης, τόσο περισσότερες συσκευές μπορεί να εξυπηρετήσει. Αυτό επιτρέπει στον σταθμό βάσης όχι μόνο να διαχειρίζεται περισσότερες συσκευές, αλλά και να στοχεύει τις συσκευές με μεγαλύτερη ακρίβεια, προσφέροντας καλύτερη ισχύ σήματος με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Η μεγαλύτερη ακρίβεια βοηθά τον σταθμό βάσης να επικοινωνεί με συσκευές που βρίσκονται πιο μακριά απ' ό,τι στο παρελθόν.[3]

Εξαιρετικά πυκνή δικτύωση, UDN:

Με την εισαγωγή νέων ραδιοσυχνοτήτων, το εύρος των κυψελών που χρησιμοποιούν αυτές τις συχνότητες μειώνεται δραματικά. Τα mmWaves έχουν δυσκολία στο να διεισδύσουν μέσα από τοίχους και παράθυρα και η εμβέλειά τους μπορεί να επηρεάζεται αρνητικά από καιρικές συνθήκες όπως βροχή ή χιόνι. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για ισχυρότερες κυψέλες ή για περισσότερες μικρότερες κυψέλες. Η χρήση των εξαιρετικά πυκνών δικτύων δεν αποτελεί πραγματικά μια νέα τεχνολογία, αλλά μάλλον μια αλλαγή προσέγγισης. Εισάγει μικρότερες κυψέλες, που μπορούν να καλύψουν έναν μικρό χώρο, αλλά είναι εξαιρετικά διαδεδομένες. Αυτές οι μικρότερες κυψέλες είναι πιο κατάλληλες για αστικά περιβάλλοντα, όπου η πυκνότητα των συσκευών είναι υψηλή.

Με το διαχωρισμό του δικτύου σε μεγαλύτερο αριθμό μικρότερων κυψελών, οι πόροι του δικτύου μπορούν να αξιοποιηθούν πιο αποτελεσματικά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με το διαχωρισμό του φυσικού χώρου σε μικρότερες περιοχές, οι οποίες είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητες μεταξύ τους. Έτσι, οι ίδιες συχνότητες μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν καλύτερα σε μια δεδομένη περιοχή. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε πολύ πυκνές περιοχές, όπως εμπορικά κέντρα ή στάδια.[4]

Δίκτυα καθορισμένα από λογισμικό, SDN:

Τα τελευταία χρόνια, η εγκατάσταση ενός δικτύου ήταν μια μακρά και περίπλοκη διαδικασία. Κάθε συσκευή έπρεπε να διαμορφωθεί ξεχωριστά και η απομακρυσμένη πρόσβαση ήταν δυνατή μόνο μέσω της διεύθυνσης IP της. Σήμερα, η διαχείριση ενός δικτύου μπορεί να γίνει από έναν κεντρικό ελεγκτή δικτύου, με τη χρήση προκαθορισμένων και τυποποιημένων διεπαφών επικοινωνίας μεταξύ του ελεγκτή και των μεταγωγέων που χρησιμοποιούνται. Αυτό καθιστά την ενσωμάτωση αλλαγών στο δίκτυο πιο απλή και λιγότερο επιρρεπή σε σφάλματα. Επιπλέον, το δίκτυο μπορεί να αντιδρά αυτόματα σε ορισμένα γεγονότα.

Στα Δίκτυα Καθορισμένα από Λογισμικό (SDN), το δίκτυο διαχωρίζεται σε επίπεδο ελέγχου και επίπεδο δεδομένων. Οι μεταγωγείς δικτύου γίνονται απλές συσκευές προώθησης δεδομένων που ελέγχονται από έναν κεντρικό ελεγκτή. Ο ελεγκτής έχει πλήρη επισκόπηση όλων των συσκευών του δικτύου και μπορεί να διαχειρίζεται δυναμικά τη ροή των δεδομένων. Αυτό επιτρέπει μια πιο συνολική οπτική του δικτύου, δίνοντας στους διαχειριστές τη δυνατότητα να αντιδρούν ευέλικτα σε νέες απειλές και απαιτήσεις.

Με έναν κεντρικό ελεγκτή δικτύου, οι διαχειριστές μπορούν να επωφεληθούν από υψηλότερο επίπεδο αυτοματισμού, καθώς ο ελεγκτής διαθέτει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για την εκτέλεση βασικών εργασιών. Αυτό προσφέρει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ευελιξία στη διαχείριση του δικτύου [4]

Εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου, NFV:

Η τάση της εικονικοποίησης έχει επεκταθεί και στις συσκευές δικτύου. Ειδικό υλικό που έχει σχεδιαστεί για συγκεκριμένες εργασίες μπορεί πλέον να μεταφερθεί σε εικονικές μηχανές (VMs) που τρέχουν στο δίκτυο. Αυτή η προσέγγιση ονομάζεται Εικονικοποίηση Λειτουργίας Δικτύου (NFV). Με το NFV, οι λειτουργίες του δικτύου, όπως το NAT, το DNS, τα τείχη προστασίας και άλλα, μπορούν να εκτελούνται σε εικονικές μηχανές. Αυτό επιτρέπει την τοποθέτηση λειτουργιών δικτύου σε διάφορα σημεία του δικτύου, παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία.

Δεδομένου ότι τα NFV είναι εικονικοποιημένα, απαιτούν έναν κεντρικό μηχανισμό διαχείρισης, γνωστό ως υπερεπιβλέπων (hypervisor), ο οποίος μπορεί να φιλοξενεί πολλά διαφορετικά φιλοξενούμενα λειτουργικά συστήματα (OS). Τα NFV εφαρμόζονται με τη χρήση διαφόρων εικονικών λειτουργιών δικτύου (VNFs), που εκτελούνται σε εικονικές μηχανές και διαχειρίζονται από ένα κεντρικό επίπεδο ελέγχου. Αυτό το κεντρικό επίπεδο διαχειρίζεται την κατανομή πόρων, τις εξαρτήσεις και τη διαθεσιμότητα, καθιστώντας το δίκτυο πιο ευέλικτο και δυναμικό.

Εάν οι απαιτήσεις του δικτύου αλλάξουν γρήγορα, οι λειτουργίες μπορούν να προσαρμοστούν δίνοντας στους πόρους τις κατάλληλες εικονικές μηχανές. Αυτό επιτρέπει ταχύτερη ανταπόκριση σε αλλαγές ή προβλήματα. Το NFV χρησιμοποιείται συχνά μαζί με τα Δίκτυα Καθοριζόμενα από Λογισμικό (SDN), καθώς και οι δύο τεχνολογίες είναι συμπληρωματικές σε κάποιο βαθμό. [4]

Τεμαχισμός πόρων δικτύου (Network slicing) :

Ο τεμαχισμός πόρων δικτύου επιτρέπει στους διαχειριστές να διαχωρίζουν τη φυσική υποδομή σε πολλαπλά λογικά δίκτυα, γνωστά ως slices, όπου το κάθε ένα έχει σχεδιαστεί για να ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις. Αυτό επιτυγχάνεται και ελέγχεται από έναν κεντρικό ελεγκτή που ονομάζεται Network Slice Manager (NSM). Τα slices συνυπάρχουν εντός του ίδιου δικτύου χωρίς να επιτρέπουν τη διασταυρούμενη κίνηση δεδομένων μεταξύ τους, διατηρώντας το περιεχόμενο κάθε slice απομονωμένο.

Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατό να έχουμε ένα δίκτυο με πολλαπλά slices, καθένα από τα οποία μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετική περίπτωση χρήσης και να έχει τις δικές του απαιτήσεις. Για παράδειγμα, ένα slice μπορεί να χρησιμοποιηθεί για IoT και αισθητήρες με χαμηλότερες συχνότητες και μικρότερους ρυθμούς δεδομένων, ενώ ένα άλλο slice μπορεί να εξυπηρετεί συσκευές που απαιτούν υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και ευρύ εύρος ζώνης. Αυτή η προσέγγιση καθιστά το δίκτυο πιο ανθεκτικό και αξιόπιστο, ενώ ταυτόχρονα παρέχει την απαιτούμενη ευελιξία. [4]

1.6 Επόμενη γενιά δικτύων κινητής επικοινωνίας: 6G

Παρότι η εισαγωγή του δικτύου 5G έχει σχεδόν ολοκληρωθεί, η παγκόσμια ερευνητική κοινότητα έχει ήδη στραφεί προς την επόμενη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Το 6G αναμένεται να εισαχθεί περίπου το 2030, ακολουθώντας τον 10ετή κύκλο ζωής των προηγούμενων γενεών. Αν και βρισκόμαστε ακόμη στα αρχικά στάδια του 5G, αξίζει να αρχίσουμε να σκεφτόμαστε το 6G, ώστε να διασφαλιστεί ότι θα είναι όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστο και ασφαλές. [5]

1.6.1 Περιπτώσεις χρήσης του 6G

Παρόλο που το 5G θα αντιμετωπίσει πολλά προβλήματα, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων για επικοινωνίες IoT, υπάρχουν ζητήματα που δεν θα μπορέσει να λύσει πλήρως. Το 6G θα απαιτήσει ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες και χαμηλότερους χρόνους καθυστέρησης. Στο 6G, είναι πιθανό να μιλάμε για ρυθμούς δεδομένων που φτάνουν περίπου το 1 Tbit/s και καθυστερήσεις μικρότερες από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου.

Εφαρμογές εκτεταμένης πραγματικότητας πολλαπλών αισθητηρίων (XR) :

Το 6G θα φέρει νέες περιπτώσεις χρήσης, όπως εφαρμογές XR (εκτεταμένης πραγματικότητας) πολλαπλών αισθητήρων. Σε αντίθεση με την εικονική πραγματικότητα, που είναι εντελώς ψηφιακή, και την επαυξημένη πραγματικότητα, που συνδυάζει τον πραγματικό κόσμο με μια ψηφιακή επικάλυψη πληροφοριών, η εκτεταμένη πραγματικότητα συνδυάζει και τα δύο. Το XR μάς επιτρέπει να βιώσουμε τον πραγματικό κόσμο με νέες ψηφιακές προσθήκες, παρέχοντας τη δυνατότητα χειρισμού τόσο του ψηφιακού όσο και του πραγματικού περιβάλλοντος. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση νέων τεχνολογιών για βελτιωμένες ανθρώπινες εμπειρίες, όπως η απτική ανάδραση και η ενσωμάτωση περισσότερων ανθρώπινων αισθήσεων.

Ενώ το 5G θα φέρει ήδη κάποια παραδείγματα εκτεταμένης πραγματικότητας, υπάρχουν ορισμένα προβλήματα. Το εύρος ζώνης του 5G ενδέχεται να μην είναι αρκετό για να υποστηρίξει συμπίεση εικόνας και βίντεο χωρίς απώλειες. Επιπλέον, οι τρέχοντες χρόνοι καθυστέρησης δεν είναι ιδανικοί για μια πραγματικά καθηλωτική εμπειρία. Το μέλλον του 6G θα επιδιώξει να λύσει αυτά τα προβλήματα, παρέχοντας υψηλότερο εύρος ζώνης και ακόμα μικρότερους χρόνους καθυστέρησης, καθιστώντας δυνατές νέες εφαρμογές εκτεταμένης πραγματικότητας με ανώτερη ποιότητα και απόκριση.

Συνδεδεμένη ρομποτική και αυτόνομα συστήματα :

Η συνδεδεμένη ρομποτική και τα αυτόνομα συστήματα θα γνωρίσουν επίσης ανάπτυξη με την έλευση του 6G. Αυτή η νέα γενιά δικτύων θα τους επιτρέψει να λαμβάνουν ακόμη πιο έξυπνες αποφάσεις σε μικρότερο χρόνο, επιτρέποντάς τους να επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο με διάφορους παράγοντες. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε αυτοκίνητα ή drones εντελώς χωρίς οδηγό, καθώς και σε πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα. Παρότι αυτά τα αυτοματοποιημένα συστήματα χρησιμοποιούνται ήδη σε διάφορες εφαρμογές, οι υψηλότεροι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων, η αξιοπιστία και οι χαμηλότεροι χρόνοι καθυστέρησης που θα προσφέρει το 6G θα επιτρέψουν την ανάπτυξη νέων εφαρμογών.

Αυτές οι εφαρμογές θα χρειαστούν ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και πολύ χαμηλή καθυστέρηση για να μπορούν να επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο και να κατεβάζουν χάρτες ή σχέδια υψηλής ανάλυσης. Ειδικά οι απαιτήσεις σε ρυθμούς δεδομένων και χαμηλούς χρόνους καθυστέρησης δεν μπορούν να καλυφθούν επαρκώς από το 5G. Είναι πολύ πιθανό να δούμε τέτοιες εφαρμογές να υλοποιούνται με την έλευση του 6G.

Ασύρματη αλληλεπίδραση εγκεφάλου-υπολογιστή :

Η ασύρματη αλληλεπίδραση εγκεφάλου-υπολογιστή θα επιτρέψει σε έναν χρήστη να επικοινωνεί με έναν υπολογιστή απλώς μέσω σκέψης. Αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε να βελτιώσει τη ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων, επιτρέποντας τον έλεγχο τεχνητών άκρων όπως θα ελέγχονταν τα φυσικά μέλη του σώματος. Η επικοινωνία θα πραγματοποιείται μέσω του κυψελοειδούς δικτύου, ανοίγοντας το δρόμο για τυποποιημένη επικοινωνία αντί για τα ειδικά πρότυπα του προμηθευτή. Αυτός ο τύπος επικοινωνίας απαιτεί καθυστέρηση κοντά στο μηδέν για να εξασφαλίσει μια ομαλή και υψηλής ποιότητας εμπειρία χρήστη.

Το 5G δεν μπορεί ακόμη να παρέχει το επίπεδο καθυστέρησης που απαιτείται για αυτή την εφαρμογή, επομένως η ασύρματη αλληλεπίδραση εγκεφάλου-υπολογιστή θα είναι εφικτή με το 6G. Αυτή η επερχόμενη γενιά θα προσφέρει ταχύτητες και χρόνους καθυστέρησης που θα επιτρέψουν την υλοποίηση αυτής της τεχνολογίας, ανοίγοντας νέες προοπτικές για τεχνητά άκρα και άλλες εφαρμογές που απαιτούν άμεση επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο.

Internet of Everything, IoE :

Στο 5G είδαμε την έλευση του IoT (Διαδίκτυο των Πραγμάτων), ενώ στο 6G, το επόμενο βήμα εξέλιξης είναι το IoE (Διαδίκτυο των Πάντων). Όπως υποδηλώνει το όνομα, ακόμη περισσότερες συσκευές και αντικείμενα θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και μέσω του διαδικτύου. Το IoE θα φέρει νέες περιπτώσεις χρήσης που δεν ήταν δυνατές προηγουμένως, καθώς οι ρυθμοί δεδομένων και η αξιοπιστία ήταν περιορισμένα. Για παράδειγμα, φανταστείτε ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα, όπου η συντήρηση, η διάγνωση και η λειτουργία γίνονται από ρομπότ, βασιζόμενα σε δεδομένα από συσκευές IoE.

Το 6G θα δώσει νέα ώθηση σε όλες τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν στο πλαίσιο του 5G και θα αποτελέσει ένα επιπλέον βήμα προς μια πλήρως ψηφιοποιημένη κοινωνία. Το IoE θα βασίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό στην αυτοματοποιημένη ανταλλαγή δεδομένων σε σχέση με το IoT, λόγω της έντονης χρήσης του στη βιομηχανία 4.0. Αυτές οι συσκευές και τα μηχανήματα θα απαιτήσουν εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αξιοπιστία και ελάχιστη καθυστέρηση.

Μια άλλη απαίτηση του IoE είναι η πυκνότητα του δικτύου. Καθώς οι υπάρχουσες υποδομές δεν μπορούν να το υποστηρίξουν πλήρως, το IoE αναμένεται να ανθίσει πραγματικά με την εισαγωγή του 6G, προσφέροντας τις απαιτούμενες προδιαγραφές για να επιτρέψει την ευρεία εφαρμογή του.

1.6.2 Βασικές τεχνολογίες του 6G

Οι περιπτώσεις χρήσης που αναφέρθηκαν προηγουμένως συνοδεύονται από διάφορες απαιτήσεις που πρέπει να καλυφθούν ώστε το 6G να κυκλοφορήσει επιτυχώς γύρω στο 2030. Αυτές οι απαιτήσεις απαιτούν νέες τεχνολογίες, καθώς προς το παρόν δεν μπορούν να υλοποιηθούν με τις υπάρχουσες λύσεις. Το 6G αναμένεται να έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Ρυθμούς λήψης της τάξης του 1 Tbit/s, καθυστερήσεις μικρότερες από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου και ακόμη υψηλότερη πυκνότητα σύνδεσης σε σχέση με το 5G. Επίσης, μια άλλη σημαντική απαίτηση είναι η ευρεία κάλυψη της επιφάνειας της γης με συνδεσιμότητα 6G.

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που πιθανόν να χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι στο 6G. Αυτή η ενότητα παρουσιάζει μερικές από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες που θα μπορούσαν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην υλοποίηση του 6G και να καταστήσουν εφικτές αυτές τις απαιτήσεις.

Προηγμένη τεχνητή νοημοσύνη (AI) και μηχανική μάθηση (machine learning):

Η προηγμένη τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η μηχανική εκμάθηση (ML) θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο 6G. Στο δίκτυο 6G, θα δημιουργείται ένας τεράστιος όγκος δεδομένων καθημερινά, και αν αυτά τα δεδομένα αναλυθούν εγκαίρως, μπορούν να προσφέρουν νέα γνώση για το δίκτυο. Οι τεχνολογίες AI και ML επιτρέπουν στο δίκτυο να αντιδρά πιο δυναμικά σε διάφορες καταστάσεις, με βάση τα εισερχόμενα δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν γρήγορα και με ακρίβεια, και μέσω της χρήσης του AI και του ML μπορούν να εντοπιστούν πιο σύνθετα μοτίβα δεδομένων.

Αυτές οι δυνατότητες καθιστούν το AI και το ML εξαιρετικά πολύτιμα για το δίκτυο επόμενης γενιάς. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση των πολιτικών ασφαλείας του δικτύου ή για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS) για όλους τους χρήστες. Ωστόσο, υπάρχει και ο κίνδυνος ότι οι επιτιθέμενοι θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν αυτές τις τεχνολογίες για κακόβουλους σκοπούς.

Terahertz communication, επικοινωνία ορατού φωτός & σχηματισμός δέσμης (beamforming) :

Με την αυξανόμενη χρήση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων, θα χρειαστούμε νέες ζώνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ασύρματη μετάδοση. Επίσης, για να επιτευχθεί ο στόχος του 1 Tbit/s, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε υψηλότερες συχνότητες. Υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων επιτυγχάνονται μέσω ευρύτερου φάσματος που μπορεί να πολυπλεχθεί σε περισσότερα κανάλια. Επιπλέον, οι υψηλότερες συχνότητες επιτρέπουν τη χρήση μικρότερων κεραιών, κάνοντας δυνατά τα συμπαγή ραδιοσυστήματα με πολλές κεραιές. Αυτό οδηγεί στις τεχνολογίες επικοινωνίας και στο ορατό φως.

Η επικοινωνία THz χρησιμοποιεί συχνότητες μεταξύ 0,1 και 10 THz για ασύρματη μετάδοση δεδομένων, ενώ η επικοινωνία μέσω ορατού φωτός χρησιμοποιεί κύματα στην περιοχή 400 - 800 THz. Και οι δύο τεχνολογίες έχουν το μειονέκτημα της περιορισμένης εμβέλειας, ακόμα και σε βέλτιστες συνθήκες. Τα κύματα THz δεν μπορούν να διαπεράσουν τοίχους κτιρίων και απορροφώνται ακόμη και από σταγόνες βροχής. Το ορατό φως απαιτεί γραμμή όρασης μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κοινά LED.

Η χρήση κυμάτων THz μαζί με δέσμες υψηλής κατεύθυνσης μπορεί να βελτιώσει την εμβέλεια, αρκεί να υπάρχει οπτική επαφή με την κεραία. Αυτές οι τεχνολογίες αποτελούν υποσχόμενες λύσεις για το μέλλον της ασύρματης επικοινωνίας, αν και οι εφαρμογές τους εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν τεχνικές προκλήσεις.

Κβαντική επικοινωνία (quantum communication) & υπολογιστική :

Τα τελευταία χρόνια, υπήρξαν σημαντικές εξελίξεις στον τομέα της κβαντικής επικοινωνίας και της κβαντικής υπολογιστικής. Παρόλο που οι σημερινοί κβαντικοί υπολογιστές είναι μεγάλων διαστάσεων και ευαίσθητοι σε περιβαλλοντικές μεταβολές, αυτό θα μπορούσε να αλλάξει δραστικά τα επόμενα χρόνια. Η κβαντική υπολογιστική θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στον κορμό του δικτύου, αυξάνοντας την ικανότητα του καναλιού μέσω νέων τεχνολογιών πολλαπλής πρόσβασης, οι οποίες σε παραδοσιακούς υπολογιστές θα απαιτούσαν πολύ υψηλή κατανάλωση ενέργειας.

Η κβαντική υπολογιστική επιτρέπει επίσης νέους τρόπους κρυπτογράφησης δεδομένων πριν από τη μετάδοσή τους μέσω δικτύου. Ένα από τα παραδείγματα αυτών των τεχνικών είναι η κβαντική διανομή κλειδιού (QKD), η οποία επιτρέπει σε δύο μέρη να επικοινωνούν χρησιμοποιώντας ένα κοινό τυχαίο κλειδί για την κωδικοποίηση και αποκρυπτογράφηση μηνυμάτων. Ένα βασικό πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι οποιαδήποτε προσπάθεια παραποίησης ή υποκλοπής του μηνύματος μπορεί να εντοπιστεί αμέσως.

Η κβαντική τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει την ασφάλεια των δικτύων και να προσφέρει νέες δυνατότητες στην κρυπτογράφηση και την επικοινωνία, καθιστώντας την μια σημαντική περιοχή έρευνας για μελλοντικά δίκτυα.

Βελτιστοποίηση της γεωγραφικής κάλυψης :

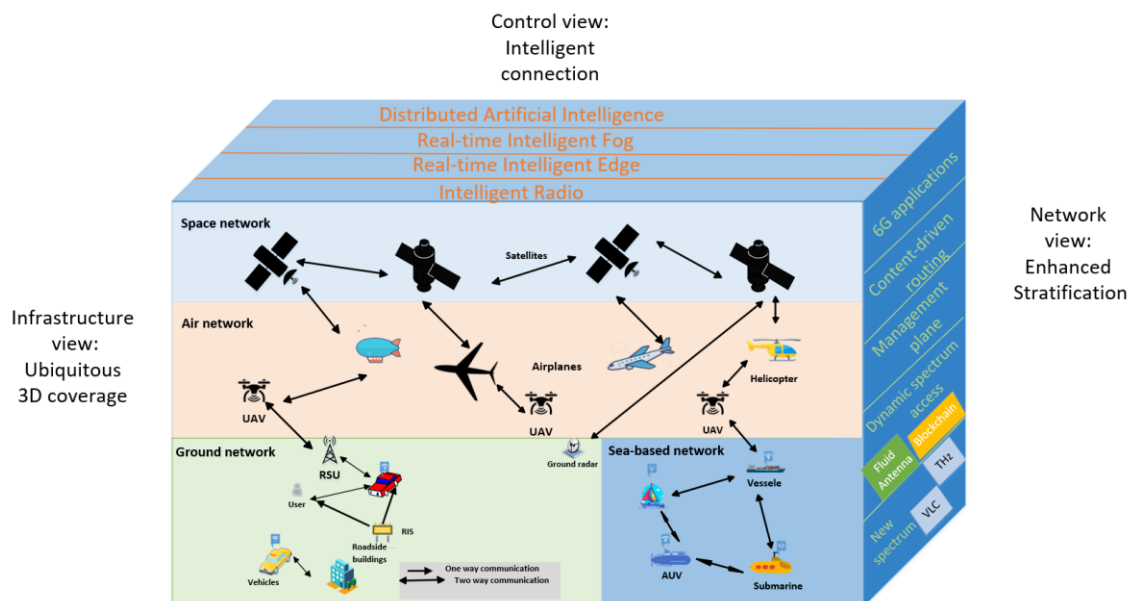
Για να επιτευχθεί η απαίτηση για κάλυψη 6G σχεδόν σε ολόκληρη την επιφάνεια της Γης, θα χρειαστούν νέοι τρόποι επικοινωνίας με το δίκτυο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση διαφόρων τεχνολογιών που ήδη χρησιμοποιούμε, όπως η δορυφορική επικοινωνία και τα αερομεταφερόμενα drones που μπορούν να παρέχουν 6G. Αυτές οι λύσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου δεν είναι δυνατό να αναπτυχθούν συμβατικές κεραιές ή όπου η ανάπτυξη θα ήταν οικονομικά ασύμφορη. Αυτό σημαίνει ότι μια συσκευή θα μπορούσε να έχει πρόσβαση σε δίκτυο 6G στην έρημο, μέσω δορυφόρου.

Ωστόσο, το τίμημα για τη συνδεσιμότητα σε τέτοιες απομακρυσμένες περιοχές είναι οι υψηλότεροι χρόνοι καθυστέρησης. Η επικοινωνία μέσω δορυφόρου μπορεί να έχει καθυστερήσεις έως και 0,5 δευτερόλεπτα, γεγονός που θα μπορούσε να επηρεάσει την εμπειρία των χρηστών σε ορισμένες εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση. Παρά αυτές τις προκλήσεις, η συνδυασμένη χρήση δορυφόρων και drones μπορεί να αποτελέσει μια λύση για να προσφέρει κάλυψη 6G ακόμη και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές του πλανήτη.

Edge cloud computing :

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στα σύγχρονα δίκτυα επικοινωνιών είναι ο χρόνος που χρειάζεται η πληροφορία για να μεταφερθεί από μια συσκευή στον διακομιστή. Αυτός ο χρόνος μπορεί να μειωθεί εάν ο απαιτούμενος υπολογισμός γίνει όσο το δυνατόν πιο κοντά στην τελική συσκευή, στο λεγόμενο "άκρο" του δικτύου. Αυτή η προσέγγιση, γνωστή ως edge cloud computing, αν και σχετική και με το 5G, θα έχει ακόμη μεγαλύτερη σημασία στο 6G.

Η ιδέα του edge cloud computing είναι να μετακινήσουμε τους διακομιστές όσο το δυνατόν πιο κοντά στο άκρο του δικτύου για να μειώσουμε τους χρόνους καθυστέρησης, την κυκλοφορία του δικτύου και την ανάγκη αποθήκευσης στους κεντρικούς διακομιστές και τις τελικές συσκευές. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου, ενισχύοντας ταυτόχρονα την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) για πολλές συσκευές. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές για το edge cloud computing. Για παράδειγμα, ένας edge server μπορεί να αποθηκεύσει προσωρινά πληροφορίες (caching) ή να κτελέσει υπολογισμούς αντί για την τελική συσκευή (offload computations), αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας στις συσκευές.



Εικόνα 1. Αρχιτεκτονική 6G

1.7 Ανασκόπηση

Σε αυτήν την ενότητα, κάναμε μια αναδρομή στην εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών απεικονίσαμε τις απαιτήσεις, τις προδιαγραφές, τα σενάρια χρήσης και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν από την πρώτη γενιά μέχρι και την πέμπτη. Στη συνέχεια, συζητήσαμε τις ευκαιρίες και τα πλεονεκτήματα της κινητής τηλεφωνίας 6G, τις αδυναμίες που θα καλύψει και τις νέες προοπτικές που θα προσφέρει σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές επικοινωνιών, κάνοντας χρήση βασικών παραδειγμάτων.

Πίνακας 1 - Σύγκριση συστημάτων κινητών επικοινωνιών του 6G με το 4G και το 5G

KPIs	4G	5G	6G
Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων/συσκευή	1 Gbps	10 Gbps	1 Tbps
Χρόνος καθυστέρησης	100 ms	1 ms	0.1 ms
Μέγιστη φασματική απόδοση	15 bps/Hz	30 bps/Hz	100 bps/Hz
Ενεργειακή απόδοση	< 1000x σε σχέση με 5G	1000x σε σχέση με 4G	> 10x σε σχέση με 5G
Πυκνότητα σύνδεσης	2000 συσκευές/ km ²	1εκατομ. συσκευές/ km ²	>10 εκατομ. συσκευές/ km ²
Ποσοστό κάλυψης	< 70 %	80 %	>99%
Ακρίβεια τοποθέτησης	Ακρίβεια μέτρων (50 m)	Ακρίβεια μέτρων (20 m)	Ακρίβεια εκατοστών
Αξιοπιστία από άκρο σε άκρο (end-to-end)	99.9 %	99.999 %	99.9999 %
Ευαισθησία του δέκτη	Περίπου – 100 dBm	Περίπου 120 dBm	< -130 dBm
Υποστήριξη κινητικότητας	350 km/h	500 km/h	≥ 1000 km/h
Δορυφορική ενσωμάτωση	Όχι	Όχι	Πλήρως
AI	Όχι	Μερικώς	Πλήρως
Αυτόνομο όχημα	Όχι	Μερικώς	Πλήρως
Εκτεταμένη Πραγματικότητα	Όχι	Μερικώς	Πλήρως
THz Επικοινωνία	Όχι	Περιορισμένα	Ευρέως
Επίπεδο εξυπηρέτησης	Video	VR, AR	Απτό
Αρχιτεκτονική	MIMO	Massive MIMO	Ευφυής επιφάνεια
Μέγιστη συχνότητα	6 GHz	90 GHz	10 THz

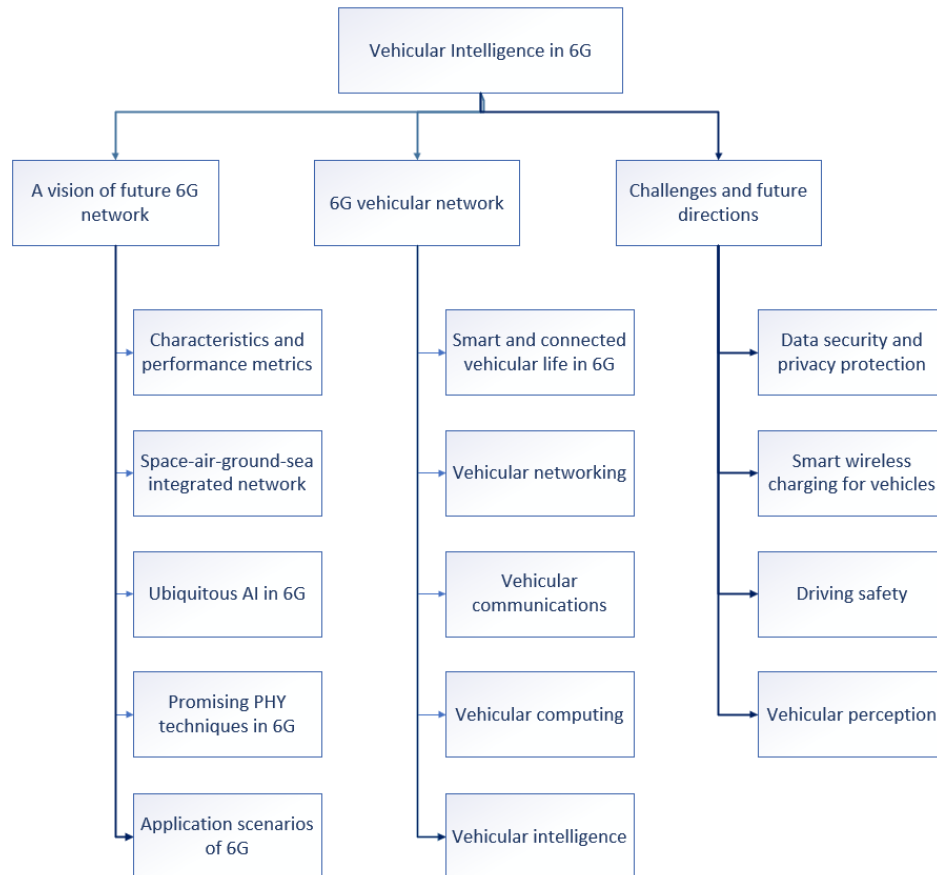
2. Οχηματικά Δίκτυα 6^{ης} γενιάς

Η 6^η γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας (6G) αναμένεται να πετύχει έναν πλήρως συνδεδεμένο κόσμο μέσω ενός ετερογενούς δικτύου που υποστηρίζει διάστημα-αέρα-έδαφος, θαλάσσιες και υποβρύχιες επικοινωνίες. Με την τεχνολογία της τεχνητής νοημοσύνης (AI), οι οντότητες του δικτύου στο 6G μπορούν να αντιληφθούν και να αναλύσουν πολυδιάστατα δεδομένα για να διευκολύνουν την απρόσκοπτη συνδεσιμότητα μεταξύ συσκευών στο έδαφος και on-board εγκαταστάσεων. Η ικανότητα του 6G για αυτόνομη διαχείριση ικανοποιεί διάφορες απαιτήσεις εφαρμογών όπως, το ευρυζωνικό εύρος κινητής τηλεφωνίας και τον χαμηλό λανθάνοντα χρόνο (MBLL), το μαζικό εύρος ζώνης μηχανικού τύπου (mBBMT) και οι μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής χαμηλής καθυστέρησης (mLLMT).

Η ενοποίηση των δικτύων 6G και των σχηματικών δικτύων δημιουργεί μελλοντικά δίκτυα οχημάτων που έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν την αυτόνομη οδήγηση και άλλες προηγμένες

εφαρμογές οχημάτων. Μια μεγάλη γκάμα φάσματος, συμπεριλαμβανομένων των μικροκυμάτων, των κυμάτων χιλιοστών, του κύματος Terahertz (THz) και του ορατού φωτός, χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων που παράγονται από πολλούς τύπους ενσωματωμένων αισθητήρων. Προηγμένης ευφύιας εφαρμογές οχημάτων στην επερχόμενη εποχή του 6G, για παράδειγμα, έξυπνη αντίληψη οδικού περιβάλλοντος, έξυπνη λήψη αποφάσεων, έλεγχος συμπεριφοράς οχήματος και ανθρώπου-οχήματος, αλληλεπιδράσεις με βάση την εικονική πραγματικότητα (VR)/επαυξημένη πραγματικότητα (AR)/μικτή πραγματικότητα (MR). Ισχυρή υπολογιστική ικανότητα επεξεργασίας, τεράστιος αποθηκευτικός χώρος και ισχυρή εγγύηση ασφάλειας για ένα μελλοντικό σύστημα οχημάτων είναι απαραίτητα για την ικανοποίηση των απαιτήσεων χαμηλής καθυστέρησης, υψηλής αξιοπιστίας και υψηλής κλιμάκωσης αυτών των εφαρμογών.

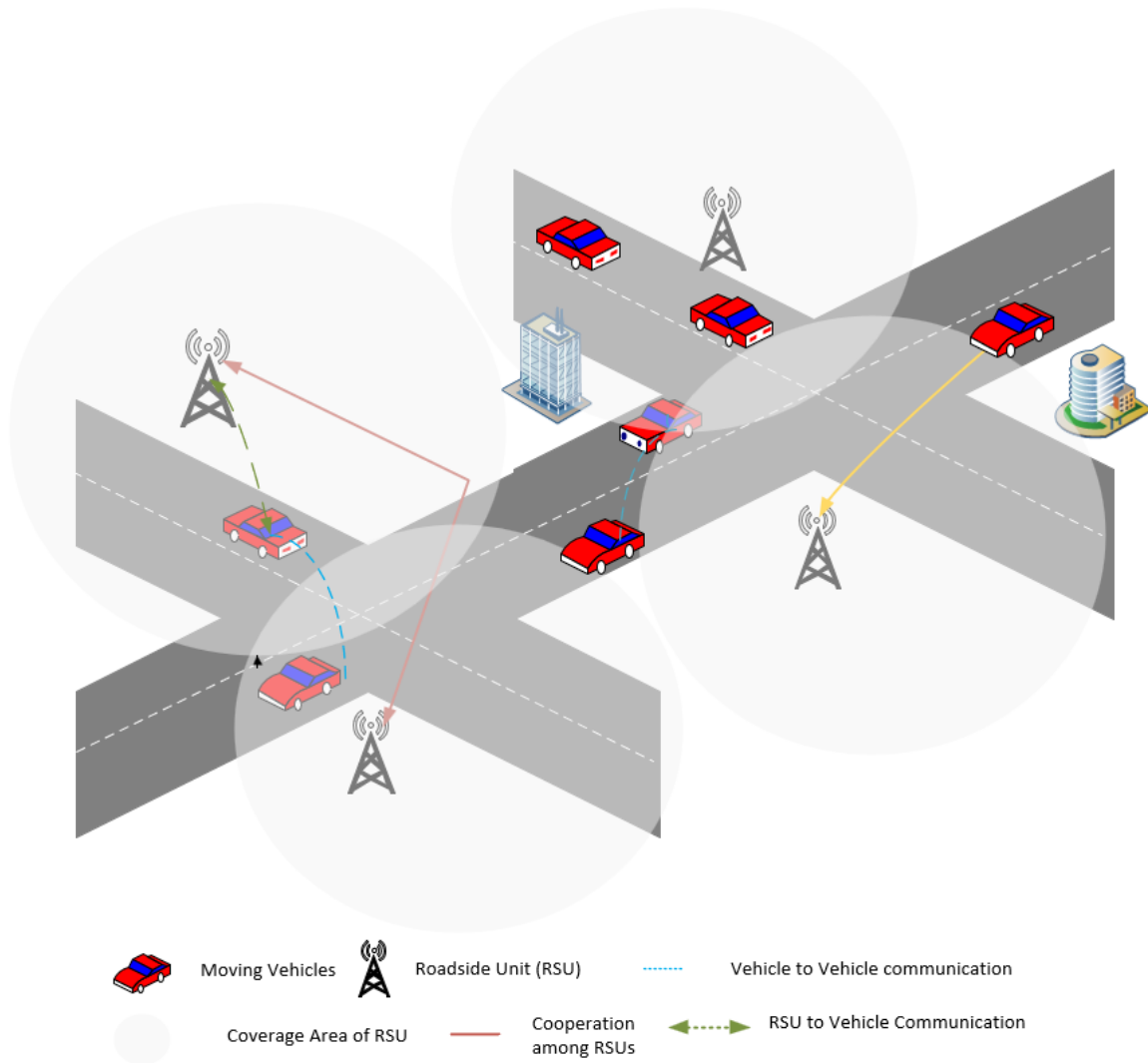
Η γενιά αυτή έχει ως βασική τεχνολογία ενεργοποίησης την ευφυΐα αιχμής (EI) η οποία συνδυάζεται με την τεχνητή νοημοσύνη (AI) με το mobile edge computing (MEC), παρέχοντας την δυνατότητα στα δεδομένα να βρίσκονται στην άκρη του δικτύου (edge-side data). Ωστόσο, οι πόροι αιχμής από οδικές μονάδες (RSU) και τους σταθμούς βάσης είναι ανεπαρκείς για να ταιριάζουν με τη μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών των μελλοντικά δίκτυα οχημάτων. [6]



Εικόνα 2. Vehicular Intelligence in 6G

2.1 Αρχιτεκτονική Οχηματικών Δικτύων

Στην Εικόνα 2 αναπαρίσται μια ενδεικτική αρχιτεκτονική για τα VANETs καθώς και τα πιθανά μοντέλα επικοινωνίας των κόμβων του συγκεκριμένου δικτύου. Τα μοντέλα επικοινωνίας V2V και V2I επικοινωνούν μέσω ασύρματης πρόσβασης στο περιβάλλον των οχημάτων (Wireless Access in Vehicular Environment – WAVE).



Εικόνα 3. Αρχιτεκτονική των Οχηματικών Δικτύων

Η επικοινωνία Vehicle-to-Everything (V2X) περιλαμβάνει τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ ενός οχήματος και οποιαδήποτε άλλης οντότητας συνδέεται στο δίκτυο συμπεριλαμβανομένων

οποιοδήποτε οντοτήτων συνδέονται σε αυτό το κανάλι επικοινωνίας. Αυτή ο τρόπος επικοινωνίας οχημάτων είναι γενικός και περιλαμβάνει και άλλες προσεγγίσεις όπως Vehicle-to-Infrastructure (V2I), Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-pedestrian (V2P), Vehicle-to-device (V2D) και Vehicle-to-grid (V2G).

Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι επικοινωνίας σε ένα Vehicular Network είναι οι παρακάτω :

- *Vehicle-to-Vehicle (Οχήματος προς Οχημα):* V2V αφορά την επικοινωνία μεταξύ των δύο οχημάτων ή περισσότερων με παρόμοιο τρόπο με τα κινητά ad-hoc δίκτυα. Η επικοινωνία καθίσταται δυνατή μέσω αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οχημάτων που βρίσκονται σε κοντινή εμβέλεια και υποστηρίζει την μετάδοση μηνυμάτων που σχετίζονται με την κίνηση , όπως η οδική κατάσταση, οι συνθήκες οδήγησης, τα περιστατικά κίνησης και τα τροχαία ατυχήματα.
- *Vehicle-to-Infrastructure (Οχήματος προς Υποδομή):* V2I αφορά την επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων και των σταθερών υποδομών του δικτύου με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών. Αυτή η επικοινωνία τις περισσότερες φορές περιλαμβάνει την πρόσβαση σε εξωτερικά δίκτυα όπως το Internet ή οποιαδήποτε υπηρεσία του cloud μέσω RSUs και gateways. Οι επικοινωνιακές συνδέσεις που παρέχονται στο V2I προσφέρουν καλύτερη ασφάλεια αλλά το εύρος ζώνης (bandwidth) που απαιτούν είναι υψηλότερο από τις συνδέσεις V2V. [7]

Η περιοχή του φάσματος που χρησιμοποιούν οι συγκεκριμένες τεχνολογίες είναι 5,9 GHz και είναι υπεύθυνη για το πρωτόκολλο επικοινωνίας Dedicated Short-Range Communication (DSRC) το οποίο αφορά τον τρόπο υλοποίησης και λειτουργίας του V2V μοντέλου επικοινωνίας.

Οι βασικές οντότητες που αποτελούν το περιβάλλον των Οχηματικών Δικτύων είναι : Onboard units (OBU), roadside units (RSU), και θεωρούνται βασικά μέρη της αρχιτεκτονικής τους.

- *Onboard Unit (Ενσωματωμένη υπολογιστική μονάδα):* Το OBU βρίσκεται σε κάθε όχημα, είναι υπεύθυνο για τη συλλογή δεδομένων και μπορεί αργότερα να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές και υπηρεσίες. Αποτελείται από ένα σύνολο αισθητήρων όπως και με τμήματα εξοπλισμού, το OBU συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικά με την θέση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση/επιβράδυνση ενός οχήματος και κοινοποιεί τα δεδομένα σε άλλα οχήματα ή RSU. Αυτή η συσκευή λαμβάνει επίσης μηνύματα , τα οποία είναι σε θέση να τα επαληθεύει καθώς και να επεξεργάζεται διεργασίες και να αποφεύγει τις επιθέσεις ασφάλειας.
- *Road-side Unit (Οδική Μονάδα):* Το RSU είναι ένα βασική συσκευή επικοινωνίας η οποία επιτρέπει την επικοινωνία με την υποδομή του δικτύου. Αυτή η μονάδα βρίσκεται σε σταθερή τοποθεσία και είναι υπεύθυνη για την συλλογή και την μεταφορά των δεδομένων που σχετίζονται με την κατάσταση της κυκλοφορίας, όπως παράδειγμα τα ατυχήματα , τα πλησιέστερα σημεία στάθμευσης, βενζινάδικα κτλ. Για να μπορεί να εκτελέσει τις λειτουργίες του ένα RSU παρουσιάζει μια τουλάχιστον διεπαφή δικτύωσης (network interface) και συνδέεται στο Διαδίκτυο με ασύρματο τρόπο .Με αυτόν τον τρόπο ένα εξάρτημα λειτουργεί σαν πύλη (gateway) το οποίο επιτρέπει στα οχήματα να έχουν πρόσβαση σε υποδομή δικτύου , σύνδεση στο Διαδίκτυο και πρόσβαση στις υπηρεσίες. Επίσης, ένα RSU μπορεί να χρησιμεύει ως τελικό σημείο παρακολούθησης που συλλέγει πληροφορίες από δρόμους και οχήματα και είναι τοποθετημένο συνήθως κατά μήκος του δρόμου και στις διασταυρώσεις , υποστηρίζοντας τον συντονισμό της κυκλοφορίας.

2.2 Οχηματικά Δίκτυα vs Κινητά Ad Hoc Δίκτυα (MANET)

Τα Οχηματικά Δίκτυα αποτελούν μια επέκταση των MANETs, αντιπροσωπεύουν μια υποκατηγορία που εστιάζει στην έννοια των οχημάτων ως κόμβους. Στο ευρύ πλαίσιο των MANET, τα RSUs και τα OBU επικοινωνούν σαν κόμβοι ενός ad-hoc δικτύου όπου οι RSUs είναι στατικοί, σταθεροί κόμβοι και οι OBUs είναι κινητοί κόμβοι.

Επειδή κάποιιοι τρόποι επικοινωνίας των εξαρτημάτων του δικτύου πραγματοποιούνται μέσω του πρωτοκόλλου IEEE 802.11p, ορισμένες ιδιαιτερότητες διακρίνουν τα οχήματα αυτά :

- Κάθε μετάδοση πακέτων στο ad-hoc δίκτυο περιορίζεται από το εύρος κάλυψης. Ένας ασύρματος κόμβος μπορεί να μεταδίδει δεδομένα μόνο μέσω των γειτονικών κόμβων του, οι οποίοι προωθούν πακέτα πέρα από το εύρος κάλυψη του δικτύου. Κατά συνέπεια, οι κόμβοι στα MANET χρειάζονται ως επί το πλείστον ad-hoc πρωτόκολλα δρομολόγησης για επικοινωνία, όπως δρομολόγηση κατά παραγγελία, δρομολόγηση βάσει πίνακα και υβριδική δρομολόγηση. Ωστόσο, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης MANET δεν είναι κατάλληλα για τα Οχηματικά Δίκτυα, καθώς δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στην ταχέως μεταβαλλόμενη τοπολογία του δικτύου ad-hoc.
- Ο αριθμός των κόμβων που συνθέτουν ένα Οχηματικό Δίκτυο είναι σημαντικά μεγαλύτερος από ότι στα MANETs. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από πολλά οχήματα, λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε όχημα αντιπροσωπεύει έναν ενιαίο κινητό κόμβο. Συνήθως, για λόγους απλούστευσης, η περιοχή των Οχηματικών Δικτύων χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές, επιτρέποντας το σχεδιασμό πρωτοκόλλων, υπηρεσιών και εφαρμογών που ταιριάζουν καλύτερα στις τοπικές ιδιαιτερότητες. Σταθερά RSUs, τα οποία χρησιμεύουν ως πύλες επικοινωνίας, συνδέουν αυτές τις περιοχές.
- Η τοπολογία των Οχηματικών Δικτύων καθορίζεται σύμφωνα με τη διάταξη του οδικού δικτύου και των συνθηκών κυκλοφορίας. Σε αντίθεση με τις περιγραφές των MANETs, τα οχήματα δεν κινούνται αυθαίρετα σε μια περιοχή, υπάρχουν τμήματα δρόμων και κυκλοφοριακοί κανονισμοί, όπως στάσεις, φανάρια και οδικές οδηγίες. Αυτή η τοπολογία αστικής κίνησης αυξάνει την προβλεψιμότητα των κινητών κόμβων στα δίκτυα οχημάτων σε σύγκριση με τους κόμβους των MANETs.
- Η λειτουργική διάρκεια ζωής των κόμβων στα MANETs είναι περιοριστική. Η κατανάλωση ισχύος αποτελεί σημαντική μέριμνα για το σχεδιασμό αποτελεσματικών λύσεων. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογών και υπηρεσιών, η ταχύτητα μεταφοράς πληροφορίας (throughput) επηρεάζεται από τους περιορισμούς της ενεργειακής ικανότητας, δημιουργώντας σημεία συμφόρησης στο σύστημα και απαιτώντας εναλλακτικές επικοινωνίες. Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα οχημάτων περιέχουν κόμβους γνωστούς ως OBUs που δεν είναι επιρρεπείς σε περιορισμούς ισχύος, καθώς και αποθήκευσης επειδή τα οχήματα αυτά περιλαμβάνουν μπαταρίες που παρέχουν αρκετή ισχύ για την υποστήριξη όλων των απαιτούμενων υπολογιστικών και επικοινωνιακών εργασιών.
- Το OBU είναι ικανό να εκτελεί εξελιγμένες και πιο περίπλοκες διεργασίες υπολογισμού. Χωρίς περιορισμούς ισχύος, ένα OBU μπορεί να λάβει σχετικά εντατικές υπολογιστικές διαδικασίες, δημιουργώντας ευκαιρίες για την υλοποίηση προηγμένων υπηρεσιών και εφαρμογών.
- Τα Δίκτυα Οχημάτων είναι ως επί το πλείστον εφήμερα. Οι κόμβοι στα δίκτυα οχημάτων παρουσιάζουν υψηλή κινητικότητα επειδή τα οχήματα κινούνται γρήγορα στους δρόμους. Αυτό δημιουργεί μια τοπολογία δικτύου που αλλάζει συνεχώς αλλά η συνδεσιμότητα μεταξύ των ομότιμων κόμβων μπορεί να επηρεαστεί θετικά. Η κινητικότητα είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των Οχηματικών Δικτύων και είναι η κύρια διαφορά τους έναντι των MANETs. Η κινητικότητα των οχημάτων υπαγορεύεται κατά κύριο λόγο από την πυκνότητα κατανομής των κόμβων. Σε αυτήν την περίπτωση, οι αναλυτές κινητικότητας πρέπει να λαμβάνουν

υπόψη παράγοντες συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, η πυκνότητα είναι υψηλότερη κατά την ώρα αιχμής και χαμηλότερη κατά την διάρκεια της νύχτας. Επίσης, η ταχύτητα και η κατεύθυνση, είναι σημαντικοί παράγοντες που συνιστούν την κίνηση των οχημάτων, θεωρούνται με κάποιο τρόπο απρόβλεπτοι, προκαλώντας πολύ σύντομο χρόνο σύνδεσης μεταξύ των οχημάτων. Έτσι, ο σχεδιασμός αλγορίθμων, πρωτοκόλλων και συστημάτων για τέτοια δίκτυα πρέπει να θεωρήσει την κινητικότητα ως ζωτικό παράγοντα. [7]

3. Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing)

Το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and Technology - NIST) δίνει έναν επίσημο ορισμό του Cloud Computing : «Το Cloud Computing είναι ένα μοντέλο που επιτρέπει την κατ' απαίτηση πρόσβαση δικτύου σε μια κοινόχρηστη πηγή πόρων που αποτελείται από διαμορφώσιμους υπολογιστικούς πόρους (π.χ δίκτυα, διακομιστές, αποθήκευση, εφαρμογές και υπηρεσίες) που μπορούν να παρέχονται γρήγορα και να διανέμονται με την ελάχιστη διαχειριστική προσπάθεια ή αλληλεπίδραση με κάποιον πάροχο υπηρεσιών». [8]

3.1 Βασικά χαρακτηριστικά Υπολογιστικού Νέφους

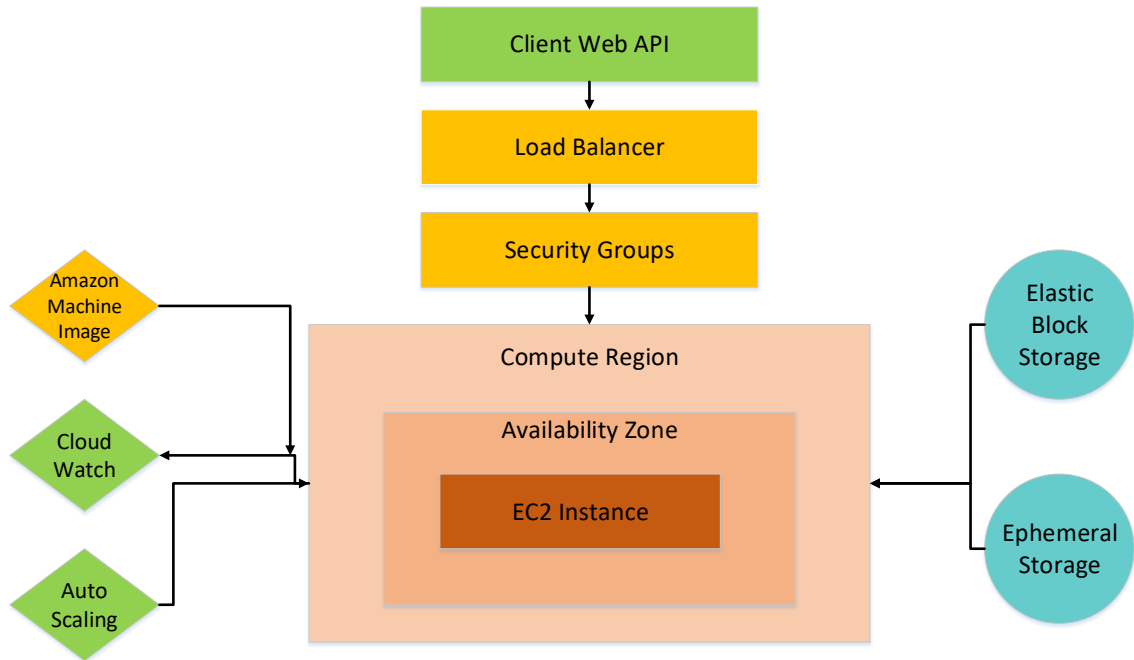
Το Cloud Computing έχει εισάγει αρκετά νέα χαρακτηριστικά για καταναμημένες υπολογιστικές λύσεις σε σύγκριση με τα παραδοσιακά τοπικά συστήματα :

- *On demand self-service (κατά παραγγελία αυτοεξυπηρέτηση)* : Παρουσιάζει κατά παραγγελία παροχή υπολογιστικών πόρων, αποθήκευσης και υπηρεσιών πληροφορικής. Διαθέτει άπειρες υπολογιστικές πηγές διαθέσιμες στους χρήστες. Η διαδικασία πραγματοποιείται όπου χρειάζεται αυτόματα χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη αλληλεπίδραση με κάθε πάροχο υπηρεσιών. Κατά συνέπεια, οι χρήστες δεν είναι απαραίτητο να προγραμματίσουν την προμήθεια φυσικών πόρων.
- *Broad network access (ευρεία πρόσβαση στο δίκτυο)* : Οι δυνατότητες είναι διαθέσιμες μέσω δικτύου και έχουν πρόσβαση μέσω τοπικών μηχανισμών που προωθούν τη χρήση από ετερογενείς πλατφόρμες πελατών (π.χ κινητά τηλέφωνα, tablet, φορητούς υπολογιστές και workstations).
- *Resource pooling (Συγκέντρωση πόρων)* : Οι πόροι υπολογιστών του παρόχου συγκεντρώνονται για να εξυπηρετήσουν πολλούς καταναλωτές χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο πολλών ενοικιαστών, με διαφορετικούς φυσικούς και εικονικούς πόρους που εκχωρούνται δυναμικά σύμφωνα με τη ζήτηση των καταναλωτών. Υπάρχει μια αίσθηση ανεξαρτησίας της τοποθεσίας στο ότι ο πελάτης δεν έχει κανέναν έλεγχο ή γνώση σχετικά με την ακριβή τοποθεσία των παρεχόμενων πόρων, αλλά μπορεί να είναι σε θέση να καθορίσει την τοποθεσία σε υψηλότερο επίπεδο (π.χ χώρα, πολιτεία ή κέντρο δεδομένων). Παραδείγματα πόρων περιλαμβάνουν αποθήκευση, επεξεργασία, μνήμη και εύρος ζώνης δικτύου.
- *Rapid elasticity (Γρήγορη ελαστικότητα)* : Οι δυνατότητες μπορούν να παρέχονται και να απελευθερώνονται ελαστικά, σε ορισμένες περιπτώσεις αυτόματα για κλιμάκωση των πόρων ανάλογα με την ζήτηση. Οι χρήστες έχουν την ευκαιρία να νοικιάσουν υπηρεσίες και πόρους σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους σε μια δεδομένη στιγμή. Το Cloud Computing μπορεί να προσφέρει ευέλικτες εναλλακτικές λύσεις για τους χρήστες να «αγοράσουν» επιπλέον πόρους υλικού μόνο όταν υπάρχει αύξηση στις ανάγκες τους. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι χρήσιμο για μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις στις οποίες μπορούν να αποφευχθούν σημαντικές χρηματοοικονομικές δεσμεύσεις, παρακάμπτοντας την κατασκευή μιας υποδομής πληροφορικής.

- *Measured service (Μετρημένη υπηρεσία)* : Τα συστήματα νέφους ελέγχουν και βελτιστοποιούν αυτόματα τη χρήση πόρων , αξιοποιώντας μια ικανότητα μέτρησης κατάλληλη για τον κάθε τύπο υπηρεσίας (π.χ αποθήκευση, επεξεργασία , εύρος ζώνης και ενεργούς λογαριασμούς χρηστών). Το Υπολογιστικό Νέφος παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να νοικιάσουν υπολογιστικούς πόρους για μια απαιτούμενη περίοδο. Ως αποτέλεσμα , οι χρήστες έχουν το πλεονέκτημα της μίσθωσης πόρων με βάση τη διάρκεια ενός έργου και αυτοί οι πόροι μπορούν να αποδεδεμευτούν μετά τη λήξη του έργου. Η χρήση των πόρων μπορεί να παρακολουθείται , να ελέγχεται και να αναφέρεται παρέχοντας διαφάνεια τόσο στον πάροχο όσο και στον καταναλωτή της χρησιμοποιούμενης υπηρεσίας. Αυτή η προσωρινή μίσθωση διευκολύνει τη διαχείριση του προϋπολογισμού κατά την οποία η πρόοδος ενός έργου δεν απαιτεί την αγορά φυσικών διακομιστών .[8]

Μαζί με όλα τα πλεονεκτήματα που εισάγουν ευελιξία στη διαχείριση των πόρων σε έργο με εναλλαγές απαιτήσεων, οι χρήστες και οι επιχειρήσεις έχουν δείξει μια αυξανόμενη μεταφόρτωση των υπηρεσιών πληροφορικής και των δεδομένων τους σε διακομιστές Υπολογιστικού Νέφους. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα της τάσης αυτής είναι το Amazon Elastic Computing Cloud (EC2) , το οποίο αντιστοιχεί σε μια από τις μεγαλύτερες πλατφόρμες νέφους παγκοσμίως.

Το figure 1 απεικονίζει τη γενική αρχιτεκτονική του Amazon EC2. Το EC2 παρέχει μια διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών για διακομιστή ιστού ή αλλιώς ένα πρόγραμμα περιήγησης ιστού (Web API) όπου εξουσιοδοτημένοι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στους υπολογιστικούς πόρους , στο EC2 στιγμιότυπο και στην αποθήκευση, στο ελαστικό μπλόκ αποθήκευσης (Elastic Block Storage) και στην εφήμερη αποθήκευση (Ephemeral Storage) , με ελαστικό τρόπο. Για να επιτευχθεί η αποτελεσματικότητα , ένας πόρος γνωστός ως Cloud Watch παρακολουθεί τη χρήση των πόρων και αναφέρει τα αποτελέσματα στο σύστημα αυτόματης κλιμάκωσης (Auto Scaling System). Αυτό το σύστημα είναι υπεύθυνο για την λήψη αποφάσεων σύμφωνα με τις ανάγκες των χρηστών. [7]



Εικόνα 4. Αρχιτεκτονική του Amazon EC2 (Redrawn) Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

3.1.1 Αναπτυξιακά μοντέλα

Τα διάφορα είδη Νέφους :

- *Private Cloud (Ιδιωτικό Νέφος)* : Η υποδομή του νέφους παρέχεται για αποκλειστική χρήση από έναν οργανισμό που περιλαμβάνει πολλούς καταναλωτές (π.χ επιχειρηματικές μονάδες). Μπορεί να ανήκει, να διαχειρίζεται και να λειτουργείται από έναν οργανισμό, ή ένα τρίτο μέρος ή κάποιο συνδυασμό αυτών και μπορεί να υπάρχει εντός ή εκτός του χώρου.
- *Community Cloud (Νέφος Κοινότητας)* : Η υποδομή του νέφους παρέχεται για αποκλειστική χρήση από μια συγκεκριμένη κοινότητα καταναλωτών από οργανισμούς που έχουν κοινές ανησυχίες (π.χ αποστολή, απαιτήσεις ασφάλειας, θέματα πολιτικής και συμμόρφωσης). Μπορεί να ανήκει, να διαχειρίζεται και να λειτουργεί ένας ή περισσότεροι από τους οργανισμούς της κοινότητας ,ή ένα τρίτο μέρος ή κάποιος συνδυασμός τους και μπορεί να υπάρχει εντός ή εκτός του χώρου.
- *Public Cloud (Δημόσιο Νέφος)* : Η υποδομή του νέφους παρέχεται για ανοιχτή χρήση στο κοινό. Μπορεί να ανήκει , να διαχειρίζεται και να λειτουργεί από μια επιχείρηση, ακαδημαϊκό ή κυβερνητικό οργανισμό ή κάποιο συνδυασμό αυτών. Υπάρχει στις εγκαταστάσεις του παρόχου νέφους.
- *Hybrid Cloud (Υβριδικό Νέφος)* : Η υποδομή νέφους είναι μια σύνθεση δύο ή περισσότερων ξεχωριστών υποδομών νέφους (ιδιωτική, κοινότητας ή δημόσια) που παραμένουν ανεξάρτητες οντότητες , αλλά συνδέονται μεταξύ τους με τυποποιημένη ή ιδιόκτητη τεχνολογία που επιτρέπει τη φορητότητα δεδομένων και εφαρμογών (π.χ έκρηξη νέφους για εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ νεφών). [8]

3.2 Κινητό Υπολογιστικό Νέφος

Οι κινητές συσκευές έχουν αυξηθεί σε ποσότητα, δυνατότητες, προσβασιμότητα και δημοτικότητα. Αυτή η ανάπτυξη οδήγησε στην παροχή υψηλών υπηρεσιών και εφαρμογών μέσω κινητών συσκευών, η οποία οδήγησε στην δημιουργία ενός νέου ερευνητικού χώρου με ονομασία Mobile Cloud Computing (MCC).

Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος (Mobile Cloud Computing) είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία που αποτελεί συνδυασμό του Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Computing) και του Κινητού Υπολογισμού (Mobile Computing).

Τα σχέδια αυτού του νέου τεχνολογικού τομέα ορίζουν τις κινητές συσκευές ως τελικά σημεία εισόδου και εξόδου και θεωρούμε ότι οι απομακρυσμένοι διακομιστές νέφους επεξεργάζονται εντατικές εργασίες υπολογισμού. [7]

Η Mobile Cloud Computing κοινότητα ορίζει το Mobile Cloud Computing ως εξής [9] :

«Το Mobile Cloud Computing στην απλούστερη μορφή του αναφέρεται σε μια δομή όπου τόσο η αποθήκευση δεδομένων όσο και η επεξεργασία δεδομένων συμβαίνουν εκτός της κινητής συσκευής. Αυτές οι εργασίες εκτελούνται εξ αποστάσεως από άλλες υπηρεσίες. Οι κινητές εφαρμογές νέφους μεταφέρουν την αποθήκευση δεδομένων και την επιβάρυνση της υπολογιστικής ισχύος από τις φορητές συσκευές στο νέφος. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει στις εφαρμογές και στις λειτουργίες κινητών υπολογισμών να είναι διαθέσιμες όχι μόνο στους χρήστες έξυπνων κινητών αλλά σε ένα μεγαλύτερο εύρος συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας».

Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος βασίζεται στο γεγονός ότι, χωρίς χρηματοδότηση σε υποδομές, οι επιχειρήσεις μπορούν να λειτουργούν ενοικιάζοντας υποδομές καθώς και το απαραίτητο λογισμικό για την οργάνωσή τους. Αυτό το είδος νέφους προσφέρει επίσης σημαντικές δυνατότητες για εφαρμογές πληροφορικής και παρουσιάζει μοναδικά χαρακτηριστικά, όπως κινητικότητα, φορητότητα και ευκολότερη επικοινωνία.

Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος παρέχει δυνατότητες που είναι μοναδικές από άποψη hardware και παροχής υπηρεσιών. Ένα μικρό δείγμα αναφέρεται παρακάτω :

- *Extension of battery life (Παράταση διάρκειας ζωής της μπαταρίας):* Ακόμα και με τόσες τεχνολογικές εξελίξεις, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τις κινητές συσκευές. Οι χρήστες με ανεπαρκή διάρκεια ζωής μπαταρίας πρέπει να φορτίζουν τις συσκευές τους με υψηλή συχνότητα και να περιορίζουν την χρήση εφαρμογών. Αυτή η μειωμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας αντιπροσωπεύει ένα αρνητικό χαρακτηριστικό αυτών των ηλεκτρονικών συσκευών. Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι που αντισταθμίζουν αυτήν την αρνητική πτυχή και μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας μέσω αποτελεσματικής απόδοσης της CPU και έξυπνης διαχείρισης της οθόνης. Αυτός ο περιορισμός συνεπάγεται τροποποιήσεις στη δομή και την αρχιτεκτονική των έξυπνων συσκευών, οι οποίες μπορεί να μην είναι καν εφικτές. Σε αυτήν την περίπτωση το MCC χρησιμεύει ουσιαστικά για την εκφόρτωση του φορτίου επεξεργασίας και του φορτίου αποθήκευσης από τις κινητές συσκευές μεταγκαθιστώντας εντατικές εργασίες υπολογισμού που περιλαμβάνουν πολύπλοκες επεξεργασίες σε απομακρυσμένους διακομιστές νέφους. [10]
- *Improvement of processing capability and storage capacity (Βελτίωση της ικανότητας επεξεργασίας και της χωρητικότητας αποθήκευσης):* Το MCC προορίζεται να αυξήσει την απόδοση εκτέλεσης εφαρμογών και υπηρεσιών και να επεκτείνει την χωρητικότητα αποθήκευσης. Μέσω της καλύτερης απόδοσης, το MCC συμβάλει στην μείωση του χρόνου εκτέλεσης και στην μείωση στην κατανάλωση ενέργειας. Παρόλο που οι δυνατότητες επεξεργασίας των συσκευών έχουν προχωρήσει σημαντικά, εξακολουθούν να παρουσιάζουν περιορισμένους φυσικούς πόρους και δεν είναι κατάλληλες για τη φιλοξενία πλούσιων, πολύπλοκων εφαρμογών. Με μοντέλα εκφόρτωσης (offloading), το MCC μπορεί να υποστηρίξει την εκτέλεση τέτοιων εφαρμογών, καθώς οι στρατηγικές εκφόρτωσης

μπορούν να μετεγκαταστήσουν διαχωρισμένες τις εργασίες και να αποθηκεύσουν μεγάλα δεδομένα στο νέφος μέσω ασύρματων δικτύων. [10]

- *Enhancement of reliability (Ενίσχυση της αξιοπιστίας)*: Οι φορητές συσκευές έχουν σημαντικό όφελος στη βελτίωση της αξιοπιστίας τους μέσω του MCC. Λόγω της μερικής ή πλήρους απομακρυσμένης εκτέλεσης εφαρμογών και υπηρεσιών, τα δεδομένα και τα αποτελέσματα αποθηκεύονται και αναπαράγονται σε απομακρυσμένους διακομιστές νέφους. Οι εργασίες εκφόρτωσης (offloading) μειώνουν σημαντικά τον κίνδυνο απώλειας δεδομένων. Σε σύγκριση με τις φορητές συσκευές, οι διακομιστές είναι πιο σταθεροί και ανθεκτικοί σε σφάλματα. Εκτός από την αυξημένη ασφάλεια που μπορεί να προκύψει από τη χρήση του νέφους αρκετά επίπεδα μοντέλων ασφαλείας δεδομένων στο MCC εισάγουν πιο ισχυρή προστασία δεδομένων για χρήστες και παρόχους υπηρεσιών. Για παράδειγμα, οι στρατηγικές διαχείριση ψηφιακών δικαιωμάτων (Digital Rights Management -DRM) που βασίζονται στο νέφος συμβάλλουν στη διατήρηση της ακεραιότητας του τεράστιου μη δομημένου ψηφιακού περιεχομένου, όπως βίντεο και ήχου από την ακατάλληλη πρόσβαση και διανομή με μη εξουσιοδοτημένο τρόπο.

3.3.1 Πλεονεκτήματα του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους

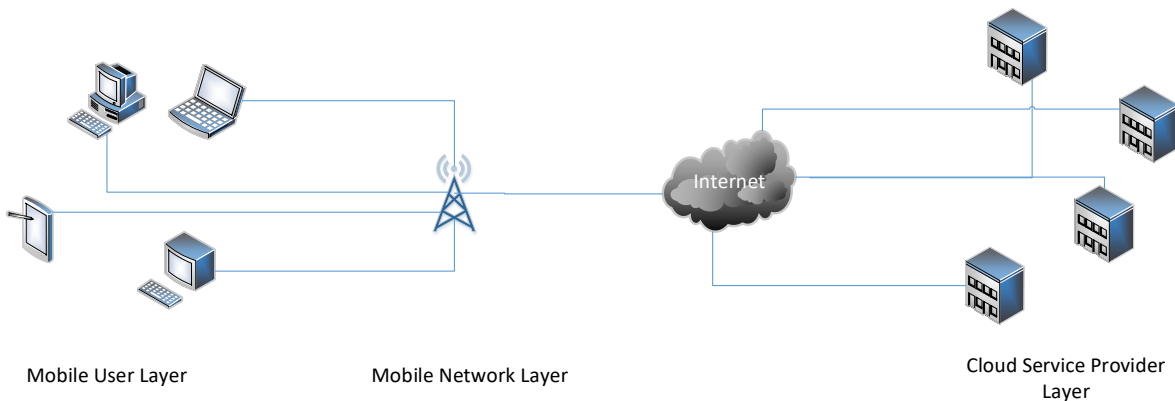
Λόγω της άμεσης εξέλιξής του από το Cloud Computing και το mobile computing , το MCC κληρονόμησε πολλά πλεονεκτήματα :

- *Dynamic provisioning (Δυναμική παροχή)*: Το MCC καθιερώνει την παροχή πόρων σε χρήστες που έχουν εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και κατά παραγγελία λεπτομερείς λόγους εξυπηρέτησης. Αυτό το χαρακτηριστικό διευκολύνει την παροχή πόρων και υπηρεσιών χωρίς προηγούμενο σχεδιασμό, προωθώντας ευέλικτα την κατανομή τους σύμφωνα με τις τρέχουσες ανάγκες των καταναλωτών. Ο εκ των προτέρων σχεδιασμός επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να δεσμεύουν περιορισμένο αριθμό πόρων ,ο οποίος αυξάνεται καθώς το σύστημα κλιμακώνεται για να καλύψει την αύξηση των απαιτήσεων.
- *Ease of Access (Ευκολία πρόσβασης)* : Η διαδικτυακή διεπαφή στο MCC ενισχύει σημαντικά την προσβασιμότητα. Οι χρήστες προσεγγίζουν πόρους ανά πάσα στιγμή έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω ασύρματων δικτύων.
- *Ease of Integration (Ευκολία ενσωμάτωσης)* : Οι πάροχοι υπηρεσιών είναι σε θέση να διανέμουν πόρους και να μοιράζονται το κόστος. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την υποστήριξη πολλών εφαρμογών στο ίδιο περιβάλλον ικανοποιώντας ταυτόχρονα τις απαιτήσεις συμβατότητας. Παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα απεριόριστης υπολογιστικής ισχύος και προσβασιμότητας παντού και ανά πάσα στιγμή. Οι υπηρεσίες είναι προσβάσιμες παντού στον κόσμο.
- *Limited Cost (Χαμηλότερο Κόστος)*:Το εκ των προτέρων κόστος μπορεί να αποφευχθεί από τους χρήστες νέφους , κάτι που επιτρέπει στις εταιρείες να ξεκινήσουν νέες μικρές επιχειρήσεις και να επεκτείνουν τις υλικές υποδομές (hardware) τους μόνο όταν τις χρειάζονται για δημοφιλείς εφαρμογές. Υπάρχει η δυνατότητα πληρωμής των υπολογιστικών πόρων έως τον απαιτούμενο χρόνο σε βραχυπρόθεσμη βάση και την απελευθέρωση των πόρων όταν δεν είναι πλέον απαραίτητοι. [11]

3.3.2 Αρχιτεκτονική Κινητού Υπολογιστικού Νέφους

Η αρχιτεκτονική του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους αποτελείται από τρία διαφορετικά επίπεδα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4: i) Mobile User Layer ii) Mobile Network iii) Cloud Services Provider Layer

- i. *Mobile User Layer (Επίπεδο χρήστη κινητών)* : Αυτό το επίπεδο αποτελείται από πολλές υπηρεσίες νέφους χρηστών που έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες νέφους χρησιμοποιώντας τις κινητές τους συσκευές (π.χ έξυπνα κινητά και τάμπλετ). Αυτές οι κινητές συσκευές συνδέονται στο Επίπεδο Δικτύου Κινητής (Mobile Network Layer) χρησιμοποιώντας ασύρματα σημεία πρόσβασης (Wireless Access Points - WAPs) , βάση σταθμού πομποδοκτών (Base Transceiver Station -BTS) ή δορυφόρους.
- ii. *Mobile Network Layer (Επίπεδο Κινητών Δικτύων)* : Αυτό το επίπεδο αποτελείται από πολλά δίκτυα κινητής, οι χειριστές που χειρίζονται τα αιτήματα και τις πληροφορίες των χρηστών κινητών δικτύων παραδίδονται μέσω σταθμών βάσης. Αιτήματα και πληροφορίες χρηστών κινητών μεταφέρονται και πραγματοποιούνται από υπηρεσίες δικτύου κινητής όπως η αυθεντικοποίηση ,η εξουσιοδότηση και η λογιστική (Authentication,Authorization,Accounting - AAA) που παρέχονται από τον οικιακό πράκτορα (Home Agent -HA). Σε αυτό το σημείο , οι χειριστές του κινητού δικτύου βοηθούν στον εντοπισμό των δεδομένων των συνδρομητών που είναι αποθηκευμένα σε βάσεις δεδομένων μέσω του HA. Μετά από επιτυχή έλεγχο αυθεντικοποίησης, εξουσιοδότησης, ο χειριστής παραδίδει τα αιτήματα των χρηστών σε ένα νέφος μέσω του διαδικτύου. Ο κινητός χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στις αντίστοιχες υπηρεσίες που παρέχονται από τους διαχειριστές του νέφους.
- iii. *Cloud Services Provider Layer (Επίπεδο παροχής υπηρεσιών νέφους)* : Αυτό το επίπεδο αποτελείται από πολλαπλούς παρόχους υπηρεσιών υπολογιστικής νέφους που παρέχουν όλους τους τύπους υπολογιστικού νέφους και υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένων των IaaS, PaaS, και SaaS. Αυτές οι υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους είναι ελαστικές και μπορούν να αυξηθούν ή να μειωθούν με βάση τις απαιτήσεις των χρηστών . Το υπολογιστικό νέφος παρέχει υπηρεσίες σε χρήστες, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με κινητές συσκευές που έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες του νέφους μέσω διαδικτύου. [12]



Εικόνα 5. Αρχιτεκτονική Κινητού Υπολογιστικού Νέφους

4. Mobile Edge Computing (MEC)

Με τον όρο Mobile Edge Computing ορίζουμε το μοντέλο ενεργοποίησης κατ' απαίτησης ελαστικής πρόσβασης ή αλληλεπίδρασης με μια κοινόχρηστη πηγή αναδιαμορφώσιμων υπολογιστικών πόρων όπως διακομιστές, αποθήκευση , ομότιμες συσκευές (peer devices), εφαρμογές και υπηρεσίες, στην άκρη του ασύρματου δικτύου σε κοντινή απόσταση από τους χρήστες κινητών συσκευών.

Ξεπερνά ορισμένα εμπόδια παραδοσιακών κεντρικών νεφών προσφέροντας πληροφορίες ασύρματου δικτύου και τοπική ευαισθητοποίηση καθώς και χαμηλή καθυστέρηση και διατήρηση εύρους ζώνης.

Το MEC διαφέρει από το παραδοσιακό CC που εξαρτάται από τα κέντρα δεδομένων και το MCC το οποίο συνδυάζει το cloud computing με το mobile computing και τα ασύρματα δίκτυα και επιτρέπει στο νέφος να διαχειρίζεται μεγάλο χώρο αποθήκευσης και επεξεργασίας για κινητές συσκευές. [13]

5. Vehicular Cloud Computing

Η αυτοκινητοβιομηχανία κατασκευάζει πολύ έξυπνα οχήματα τα οποία περιέχουν ήδη ισχυρούς υπολογιστές, με επικοινωνιακούς, αποθηκευτικούς και ενεργειακούς πόρους. Αυτά τα χαρακτηριστικά διαφοροποιούν τα σύγχρονα έξυπνα οχήματα από τις κινητές συσκευές-κόμβους, οι οποίες παρουσιάζουν περιορισμένους πόρους.

Το VCC λειτουργεί στην αντίθετη κατεύθυνση του παραδείγματος του MCC. Το MCC επιχειρεί να αξιοποιήσει τις δυνατότητες των συσκευών ενώ το VCC επιτρέπει τη συλλογή των μη χρησιμοποιημένων ή διαθέσιμων πόρων των οχημάτων. Αυτό επεκτείνεται στο MEC, όπου τα οχήματα μπορούν, σε ένα υποθετικό σενάριο, να χρησιμεύσουν ως Cloudlet στις συσκευές επιβατών. Το Cloudlet είναι ένα κέντρο δεδομένων νέφους μικρής κλίμακας με βελτιωμένη κινητικότητα που βρίσκεται στην άκρη του Διαδικτύου.

Όταν πρόκειται για MAC (Mobile Ad-hoc cloud), το VCC μοιράζεται κοινά χαρακτηριστικά με αυτό το υποσύνολο του MCC δεδομένου ότι το VCC επιχειρεί να σχηματίσει δυναμικά ένα νέφος με τα κοντινά σχήματα.

Ωστόσο, το VCC περιλαμβάνει ένα πολύ συγκεκριμένο σύνολο χαρακτηριστικών που το ξεχωρίζει από το MAC. Το VCC ασχολείται με την αστάθεια του περιβάλλοντος και των πόρων, την ξεχωριστή κίνηση των οχημάτων, τη ζήτηση εφαρμογών και τη σποραδική διαθεσιμότητα, καθώς και τη συλλογή πόρων από τα οχήματα, όπως τις κινητές συσκευές.

Ο κύριος στόχος του VCC αφορά στη συγκέντρωση, κατανομή και αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων των οχημάτων. Αυτοί οι πόροι κατανοούν τις δυνατότητες που κυμαίνονται από την επεξεργασία, την επικοινωνία, την αποθήκευση και τον αισθητήρα, οι οποίες μπορούν να συλλεχθούν δυναμικά σε ομάδες οχημάτων με την άδεια και τη συμφωνία των ιδιοκτητών και των οδηγών.

Το νέφος, οι οδηγοί, οι επιβάτες και οι χρήστες επωφελούνται από την αποτελεσματική συγκέντρωση όλων των πόρων και καθιστώντας τους διαθέσιμους ως υπηρεσίες νέφους στο κοινό. Τέτοιες υπηρεσίες VCC είναι σημαντικές και συμπληρώνουν τις κανονικές υπηρεσίες Cloud Computing. Το VCC αφορά μια ομάδα οχημάτων τα οποία είναι σε γενικές γραμμές αυτόνομα και περιέχουν υπολογιστικούς, επικοινωνιακούς, φυσικούς πόρους και αισθητήρες που θα μπορούσαν να δοθούν σε εξουσιοδοτημένους χρήστες.

Ο Πίνακας 2 εισάγει μια σύντομη σύγκριση των κύριων χαρακτηριστικών των CC, MCC και VCC. Όσον αφορά την ικανότητα υπολογισμού και την χωρητικότητα αποθήκευσης, δεν είναι αξιοσημείωτο ότι οι συμβατικοί διακομιστές νέφους παρουσιάζουν τους πιο ισχυρούς τοπικούς υπολογιστικούς πόρους ενώ ένα σύγχρονο όχημα περιλαμβάνει συνήθως έναν ενσωματωμένο υπολογιστή, ο οποίος έχει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες υπολογισμού.

Εκτός αυτού, η κινητικότητα είναι ένα πολύτιμο και αναπόσπαστο μέρος των φυσικών πόρων του MCC και του VCC, ενώ οι πόροι ενός παραδοσιακού CC βρίσκονται συνήθως σε σταθερό κέντρο δεδομένων. Το CC δεν περιορίζεται επίσης από την κατανάλωση ενέργειας λόγω της συνεχούς τροφοδοσίας από το κέντρο δεδομένων. Ομοίως, το VCC δεν περιορίζεται από την ισχύ καθώς ένα όχημα περιέχει μια μπαταρία μεγάλης χωρητικότητας και ο κινητήρας που τον λειτουργεί συνεχώς τη φορτίζει.

Πίνακας 2 – Συγκριτική μελέτη του Υπολογιστικού Νέφους, του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους και της Οχηματικής Υπολογιστικού Νέφους

Feature	CC	MCC	VCC
Support to Mobile Resources	No	Yes	Yes
Computational Capability	Highest	Lowest	Medium sized
Battery Limitation	No	Yes	No
Storage Capacity	Highest	Lowest	Medium sized
Autonomous Composition	No	No	Yes
Resource Flexibility	Static	Static	Highly Dynamic
Network Architecture	Client-Server	Client-Server	Peer to Peer or Client-Server
Physical Resources	Local or Remote Servers	Local Mobile Devices or Remote Server	Local Vehicles or Remote Servers

Ωστόσο, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας των κινητών συσκευών περιορίζει το MCC. Τέλος, το VCC είναι ο μόνος τύπος νέφους που βασίζεται σε πολύ δυναμικούς φυσικούς πόρους και μπορεί να δημιουργηθεί αυτόνομα, ανάλογα με την κατάσταση της κυκλοφορίας.

Τα σύγχρονα οχήματα περιέχουν υπολογιστικές δυνατότητες που είναι σχετικά ισχυρές για να επιτρέπουν την πρόσβαση σε απαιτητικές υπηρεσίες και εφαρμογές. Το Cloud Computing μπορεί να επεκτείνει τέτοιες δυνατότητες μέσω της παροχής απεριόριστων πόρων, ενισχύοντας έτσι την πρόσβαση σε υπηρεσίες. Επιπλέον, οι ενσωματωμένοι πόροι των οχημάτων τείνουν να χρησιμοποιούνται λιγότερο για μεγάλα χρονικά διαστήματα, όπως όταν τα οχήματα είναι σταθμευμένα ή ακίνητα σε κυκλοφοριακή συμφόρηση. Τέτοιες καταστάσεις επιτρέπουν πολλά υποσχόμενες ευκαιρίες για την εξερεύνηση των αχρησιμοποίητων υπολογιστικών πόρων για την αυτονομία του Cloud.

Ωστόσο, λόγω της υψηλής κινητικότητας των στοιχείων που συνθέτουν ένα VCC, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει με τη δυναμική διασύνδεση των οχημάτων είναι παρόμοιες με τα θέματα που αντιμετωπίζουν τα δίκτυα οχημάτων. Παρόλο που έχουν καταβληθεί εκτενείς προσπάθειες για την εξεύρεση λύσεων που αντιμετωπίζουν τις εξαιρετικά δυναμικές αλλαγές της τοπολογίας των δικτύων οχημάτων, οι προκλήσεις παραμένουν και υπάρχουν ενεργά στο VCC, το οποίο βασίζεται εξ ολοκλήρου στις επικοινωνιακές συνδέσεις μεταξύ των οχημάτων.

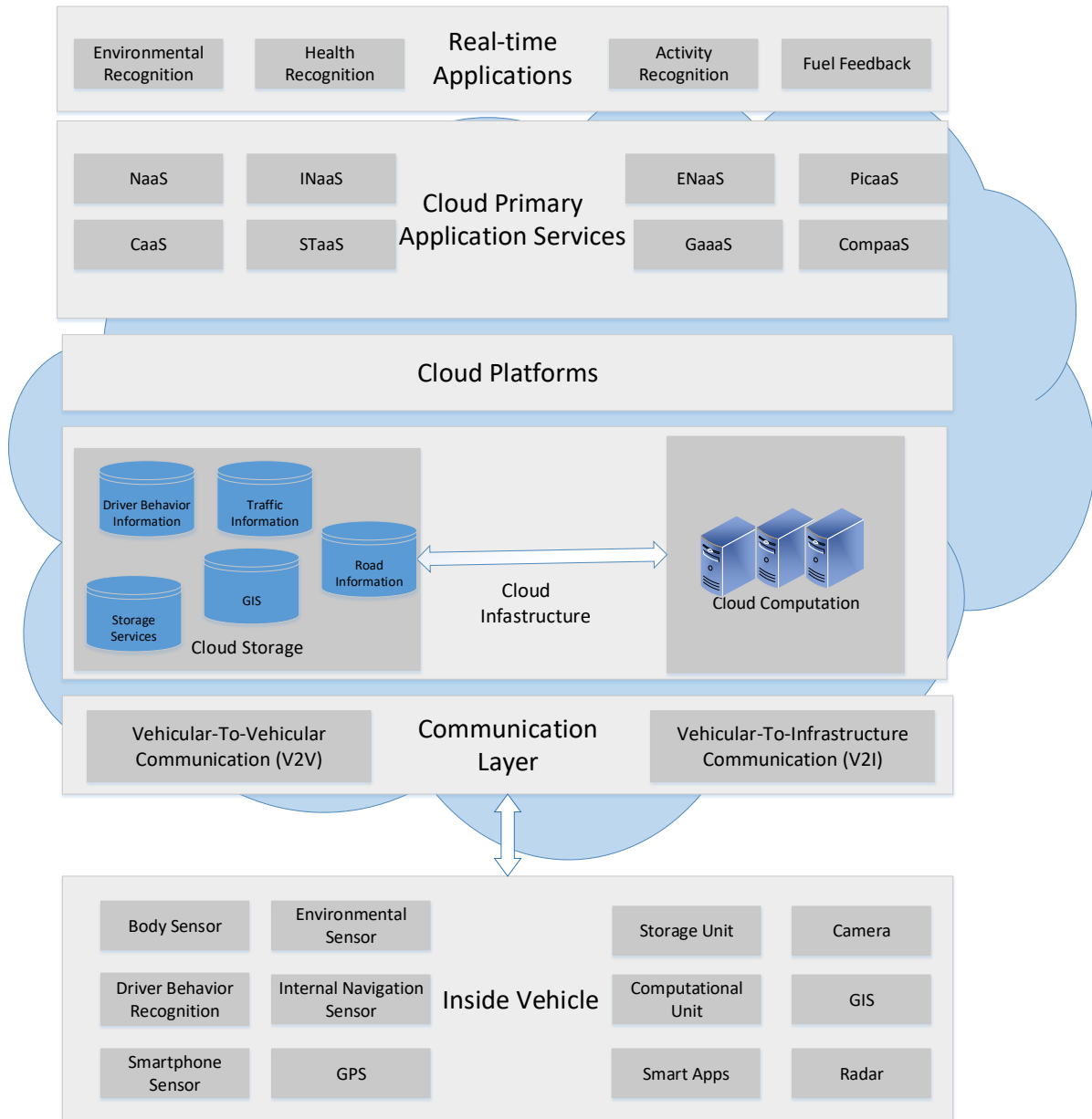
5.1 Αρχιτεκτονική Οχημάτων Υπολογιστικού Νέφους

Η αρχιτεκτονική του Vehicular Cloud Computing βασίζεται σε τρία επίπεδα : μέσα στο όχημα (inside-vehicle), επικοινωνίας και νέφους.

Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2 το πρώτο στρώμα είναι το στρώμα εσωτερικού οχήματος, το οποίο είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση της υγείας και της διάθεσης του οδηγού και συλλογή πληροφοριών μέσα στο αυτοκίνητο, όπως η πίεση και η θερμοκρασία χρησιμοποιώντας αισθητήρες σώματος, αισθητήρες περιβάλλοντος, έξυπνους αισθητήρες τηλεφώνου, εσωτερικούς αισθητήρες του οχήματος, αισθητήρες αδρανειακής πλοήγησης (inertial navigation sensors - INS) και αναγνώριση συμπεριφοράς του οδηγού με σκοπό την πρόβλεψη των αντανακλαστικών του οδηγού και των προθέσεων του.

Στη συνέχεια, οι πληροφορίες που συλλέγονται ταξινομούνται μέσω αισθητήρων και πρέπει να αποστέλλονται στο νέφος για αποθήκευση ή για χρήση ως δεδομένων εισόδου για διάφορα προγράμματα λογισμικού στο επίπεδο εφαρμογών, για παράδειγμα, εφαρμογές αναγνώρισης υγείας και περιβάλλοντος.

Υποθέτουμε, ότι κάθε όχημα είναι εξοπλισμένο με ένα OBU που περιλαμβάνει ενσωματωμένο σύστημα πλοήγησης, με χάρτη και με θέση για το RSU. Τα OBU έχουν ευρυζωνική ασύρματη επικοινωνία για τη μεταφορά δεδομένων μέσω 3G ή 4G συσκευών κινητής τηλεφωνίας, Wi-Fi, WiMax, ασύρματο περιβάλλον για οχήματα (Wireless Access in Vehicular Environment - WAVE) ή μέσω επικοινωνία μικρής εμβέλειας (Dedicated Short Range Communication -DSRC).



Εικόνα 6. Αρχιτεκτονική Οχηματικής Υπολογιστικού Νέφους (Redrawn) Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

Το επόμενο επίπεδο αυτής της αρχιτεκτονικής ονομάζεται επικοινωνία και περιλαμβάνει δύο τμήματα: το όχημα προς όχημα (vehicular to vehicular – V2V) σύστημα μέσω DSRC. Εάν ένας οδηγός δηλώσει μη φυσιολογική συμπεριφορά στο δρόμο όπως : απότομη αλλαγή κατεύθυνσης, οδήγηση πάνω από το όριο ταχύτητας ή την εμφάνιση μιας σημαντικής μηχανικής βλάβης στο όχημα τότε Μηνύματα Έκτακτης Ανάγκης (Emergency Warning Messages - EWMs) θα παραχθούν και θα σταλούν στην αποθήκη του νέφους και στα γειτονικά οχήματα, τα οποία μηνύματα περιέχουν σημαντικές πληροφορίες όπως τις γεωγραφικές τοποθεσίες , την ταχύτητα , την επιτάχυνση και την κατεύθυνση κίνησης του δράστη.

Το δεύτερο συστατικό του επιπέδου επικοινωνίας είναι το όχημα προς υποδομή (vehicle to infrastructure – V2I) , το οποίο είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή επιχειρησιακών δεδομένων μεταξύ οχημάτων , υποδομών και νέφους πάνω από το ασύρματο δίκτυο όπως το 3G, δορυφορικά ή διαδίκτυο . Το V2I εξάρτημα χρησιμοποιείται για την αύξηση του επιπέδου ασφαλείας των οχημάτων στους αυτοκινητόδρομους μειώνοντας το ποσοστό των συντριβών , των καθυστερήσεων και της κυκλοφοριακής συμφόρησης βελτιώνοντας την κινητικότητα και παρέχοντας ασύρματη επιθεώρηση οδικών μονάδων (Wireless Roadside Inspection - WRI) για αυτόματη επιθεώρηση επαγγελματικών οχημάτων.

Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του VCC είναι η συγκέντρωση δεδομένων χρησιμοποιώντας αποθήκευση νέφους , όπου διάφορες κυβερνητικές και ιδιωτικές υπηρεσίες, ιδίως της αστυνομίας ή του μετεωρολογικού τμήματος μπορεί να χρησιμοποιήσουν τα αποθηκευμένα δεδομένα στο νέφος για να εκτελέσει διάφορες μελέτες.

Ωστόσο, το νέφος που είναι το τελευταίο επίπεδο της αρχιτεκτονικής VCC , μπορεί να υπολογίσει την τεράστια και σύνθετη υπολογιστική σε ελάχιστο χρόνο . Το επίπεδο νέφους αποτελείται από τρία εσωτερικά επίπεδα :την εφαρμογή, την υποδομή νέφους και την πλατφόρμα νέφους. Στο επίπεδο εφαρμογής, λαμβάνονται υπόψη διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες που θεωρούνται ως υπηρεσίες πραγματικού χρόνου ή βασικές υπηρεσίες νέφους οι οποίες είναι προσβάσιμες εξ αποστάσεως από τους οδηγούς όπως ανατροφοδότηση καυσίμων, αναγνώριση ανθρώπινης δραστηριότητας, αναγνώριση υγείας κτλ.

Η αναγνώριση ανθρώπινης δραστηριότητας χρησιμοποιείται για μια αυτοματοποιημένη ανάλυση ή ερμηνεία των εν εξελίξει γεγονότων.

Στις κύριες υπηρεσίες, πολλές υπηρεσίες αναπτύσσονται όπως Network as a Service (NaaS), Storage as a Service (STaaS) ,Cooperation as a Service (CaaS), Information as a Service (INaaS) και Entertainment as a Service (ENaaS) τα οποία θα αναλυθούν στην επόμενη υποενότητα.

Η υποδομή του νέφους αποτελείται από δύο μέρη : την αποθήκη του νέφους και την υπολογιστική νέφους. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από το στρώμα εσωτερικού του οχήματος θα αποθηκεύονται στο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information System -GIS) , σε μια συσκευή ελέγχου οδικής κυκλοφορίας ή σε ένα σύστημα αποθήκευσης βασισμένο στον είδος των εφαρμογών. Το τμήμα υπολογισμού χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τις υπολογιστικές εργασίες με ταχύτερη απόδοση , για παράδειγμα, οι αισθητήρες αναγνώρισης υγείας στέλνουν δεδομένα στη βάση δεδομένων για την συμπεριφορά του οδηγού που βρίσκεται στην αποθήκη του νέφους.

6. Διανομή περιεχομένου σε Οχηματικά Δίκτυα μέσω Edge Caching

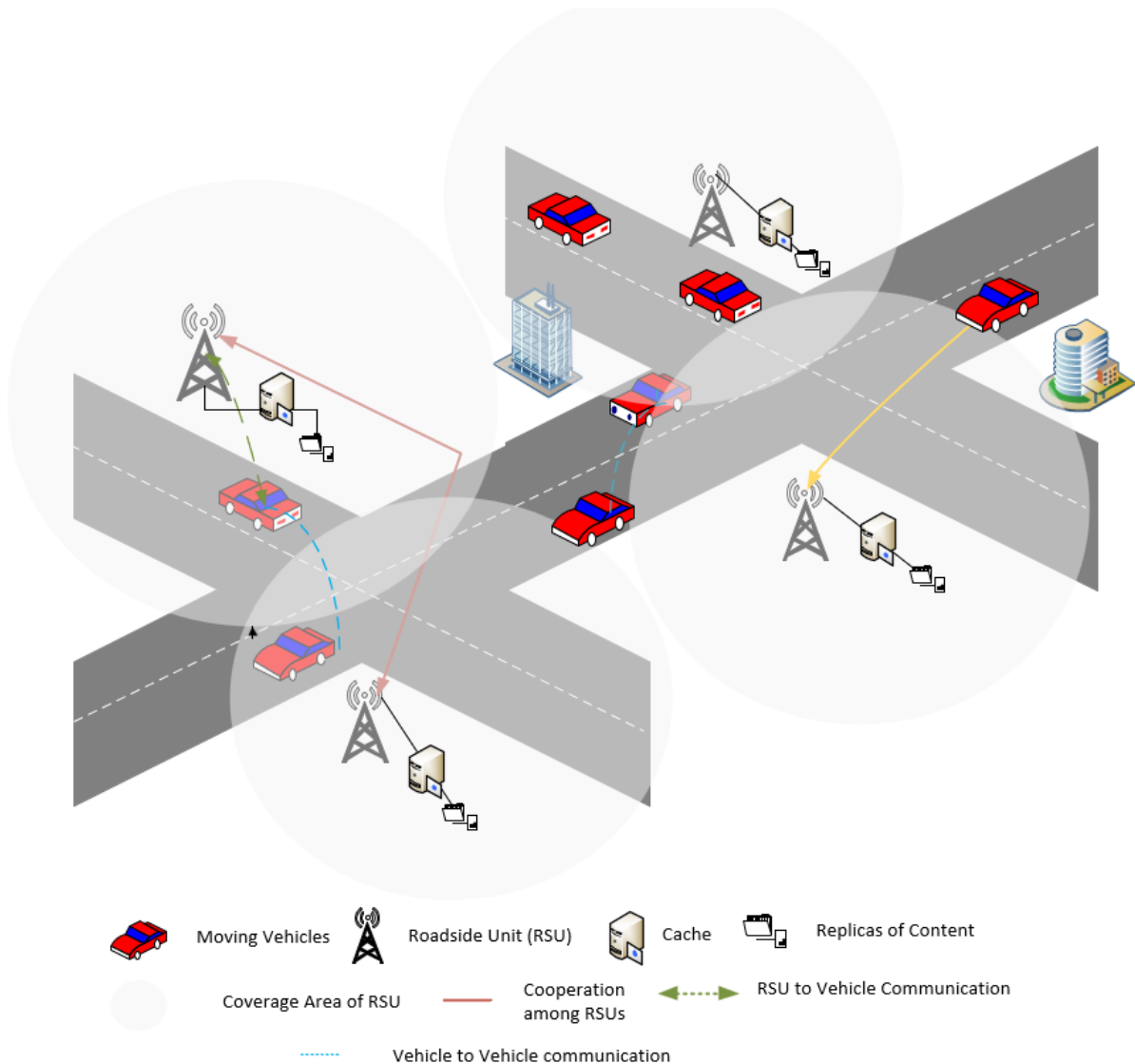
Τα Vehicular Content Networks (VCNs), αποτελούν ένα είδος Οχηματικών δικτύων τα οποία διανέμουν περιεχόμενο σε οχήματα με έναν πλήρως καταναμημένο τρόπο και αποτελούν την βασική τεχνολογία ενεργοποίησης εφαρμογών για οχήματα σχετικά με ενημέρωση και ψυχαγωγία.

Στα VCN, οι μονάδες στην άκρη του δρόμου (RSUs) αποθηκεύουν αντίγραφα περιεχομένου στην άκρη των δικτύων για να διευκολύνουν την έγκαιρη παράδοση περιεχομένου σε κινούμενα οχήματα όταν ζητηθεί. Ωστόσο, λόγω του περιορισμένου χώρου αποθήκευσης στα RSU και του αυξανόμενου μεγέθους περιεχομένου για διανομή, τα RSUs μπορούν να αποθηκεύουν μόνο επιλεκτικά αντίγραφα περιεχομένου στην κρυφή μνήμη. Το σχήμα προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου στην άκρη του δικτύου δηλ. σε RSU, γίνεται θεμελιώδες ζήτημα στα VCN. Το [14] αντιμετωπίζει το ζήτημα αναπτύσσοντας ένα σχήμα προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου σε RSUs. Συγκεκριμένα, πρώτα αναλύουμε τα χαρακτηριστικά των αιτημάτων περιεχομένου οχημάτων με βάση το μοτίβο πρόσβασης περιεχομένου, την ταχύτητα του οχήματος και την πυκνότητα οδικής κυκλοφορίας. Στη συνέχεια, προτείνεται ένα μοντέλο να προσδιορίσει εάν και πού θα αποκτήσει το αντίγραφο του περιεχομένου όταν το ζητήσει το κινούμενο όχημα. Μετά από αυτό, προτείνεται ένα σχήμα δυναμικής προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου βασισμένο σε διασταυρούμενη εντροπία για την

προσωρινή αποθήκευση των περιεχομένων στην άκρη των VCN με βάση τα αιτήματα των οχημάτων και τη συνεργασία μεταξύ των RSU. Τέλος, η απόδοση του προτεινόμενου σχήματος αξιολογείται με εκτεταμένα πειράματα προσομοίωσης.

6.1 Αρχιτεκτονική

Ένα VCN αποτελείται από μια ομάδα RSUs που έχουν τοποθετηθεί κατά μήκος του δρόμου και ενσωματωμένες μονάδες (OBUs) που είναι εγκατεστημένες σε οχήματα για να παρέχουν περιεχόμενο συνεργατικά. Κάθε RSU είναι εξοπλισμένο με χώρο αποθήκευσης buffer και μπορεί να αποθηκεύει επιλεκτικά περιεχόμενα και να τα διανέμει σε OBUs. Τα OBUs είναι εγκαταστάσεις με ενσωματωμένη δυνατότητα επικοινωνίας και με περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης στην κρυφή μνήμη, η οποία είναι απαραίτητη για εφαρμογές ψυχαγωγίας και πολυμέσων. Αξιοποιώντας τις επικοινωνίες οχήματος με όχημα μεταξύ των OBUs, το περιεχόμενο μπορεί να κοινοποιηθεί μεταξύ των οχημάτων με έναν πλήρως κατανοητό τρόπο. Με περιορισμένο χώρο αποθήκευσης στα οχήματα, τα VCNs βασίζονται στην προσωρινή αποθήκευση στην άκρη του δικτύου μεταξύ RSU και OBU για τη διανομή περιεχομένου. Όπως φαίνεται στο Σχ. 2, όταν ένα κινούμενο όχημα ζητά περιεχόμενο, εάν ένα αντίγραφο του περιεχομένου έχει αποθηκευτεί προσωρινά σε μια συνδεδεμένη RSU, το ζητούμενο περιεχόμενο μπορεί να ληφθεί απευθείας από την RSU. Διαφορετικά, το όχημα πρέπει να επικοινωνήσει με άλλα οχήματα ή RSUs μέχρι να εντοπιστεί και να ανακτηθεί το περιεχόμενο, με αποτέλεσμα μια πολύ μεγαλύτερη καθυστέρηση παράδοσης.



Εικόνα 7 Caching περιεχομένου στα RSUs

Λόγω του μεγάλου όγκου περιεχομένων πολυμέσων στα VCNs, είναι αδύνατο να αποθηκευτούν όλα τα αντίγραφα περιεχομένου σε ένα RSU. Ως εκ τούτου, τα RSU πρέπει να επιλέξουν τα περιεχόμενα για αποθήκευση στην κρυφή μνήμη στην άκρη των VCN, κάτι που κατά συνέπεια έχει σημαντικό αντίκτυπο στην καθυστέρηση λήψης από τα οχήματα.

Ωστόσο, τα συμβατικά σχήματα προσωρινής αποθήκευσης δεν μπορούν να είναι εφαρμοστούν άμεσα στην προσωρινή αποθήκευση στα VCNs, επειδή οι αιτούντες περιεχόμενο στα VCNs είναι γρήγορα κινούμενα οχήματα τα οποία κάνουν τα δίκτυα αρκετά δυναμικά. Η προσωρινή αποθήκευση περιεχομένου στα VCNs επομένως αντιπροσωπεύει διαφορετικά χαρακτηριστικά.

- 1) Με τα OBUs, τα οχήματα στα δίκτυα μπορούν επίσης να αποθηκεύσουν προσωρινά ένα μέρος του περιεχομένου. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να μοιράζονται περιεχόμενο μεταξύ τους αντί να συνδέονται με RSUs.
- 2) Τα περιεχόμενα σε διαφορετικές καλύψεις των RSUs έχουν διαφορετικές δημοτικότητες. Αυτό οφείλεται στο ότι οι RSU συνήθως αναπτύσσονται σε διαφορετικές περιοχές με αποτέλεσμα τα περιεχόμενα που αποθηκεύονται στην προσωρινή μνήμη τους να έχουν γεωγραφικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, τα οχήματα, τα οποία αποθηκεύουν κάποια περιεχόμενα και περνούν από την κάλυψη των RSUs σε υψηλή ταχύτητα, μπορεί να επηρεάσει την κατανομή του περιεχόμενου εντός της κάλυψης αυτών των RSUs.
- 3) Η δημοτικότητα του περιεχομένου αλλάζει δυναμικά με βάση τα αιτήματα των οχημάτων και τα περιεχόμενα που αποθηκεύονται στην κρυφή μνήμη στα OBUs τους. Για παράδειγμα, εάν το ζητούμενο περιεχόμενο είναι δημοφιλές, τα οχήματα ενδέχεται να ζητούν συχνά το περιεχόμενο. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, ενδέχεται να υπάρχουν λίγα οχήματα που σκοπεύουν να ζητήσουν το περιεχόμενο. Ως αποτέλεσμα, η δημοτικότητα αυτού του περιεχομένου μειώνεται, καθώς τα περισσότερα οχήματα έχουν αποθηκεύσει προσωρινά το περιεχόμενο στα OBUs τους.

Συνοψίζοντας, χρειάζεται ένα νέο σχήμα αποθήκευσης κρυφής μνήμης για την πλήρη διερεύνηση της συνεργασίας μεταξύ οχημάτων και RSU για τη διανομή περιεχομένου οχημάτων στα VCNs. Η μεθοδολογία που περιγράφεται στο [14] όχι μόνο αναλύει τη στρατηγική των οχημάτων για να αποφασίσουν πού θα αποκτήσουν το ζητούμενο περιεχόμενο για να μειώσουν την καθυστέρηση μετάδοσης, αλλά προτείνει επίσης ένα νέο σχήμα προσωρινής αποθήκευσης για διανομή περιεχόμενου που βασίζεται στη συνεργασία οχημάτων και RSUs για τη βελτίωση της αναλογίας επιτυχίας και τη μείωση των γενικών εξόδων αποθήκευσης στην κρυφή μνήμη αποτελεσματικά.

Αρχικά αναπτύσσεται η θεωρητική ανάλυση σχετικά με την καθυστέρηση μετάδοσης των κινούμενων οχημάτων στην κάλυψη των συνδεδεμένων RSUs τους κατά τη λήψη περιεχομένου από διαφορετικούς ιστότοπους.

Μετά από αυτό, καθιερώνεται ένα μοντέλο για να συγκρίνουμε τη σχετική καθυστέρηση λήψης του ζητούμενου περιεχομένου από άλλα κινούμενα οχήματα με το κόστος απόκτησης περιεχομένου από κοντινές RSUs. Βασισμένο στη στρατηγική αιτήματος περιεχομένου των οχημάτων, προτείνεται στη συνέχεια ένα σύστημα προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου για τη διερεύνηση της συνεργασίας μεταξύ των RSUs που προσαρμόζεται δυναμικά στα αιτήματα των οχημάτων. Οι συνεισφορές είναι τρεις.

1. Πρώτον, για τα οχήματα, αναπτύσσεται ένα μοντέλο για να καθοριστεί εάν θα ληφθεί το ζητούμενο περιεχόμενο από άλλα κινούμενα οχήματα ή σταθερά RSUs στην άκρη των VCNs. Όταν ένα κινούμενο όχημα δίνει το αίτημα περιεχομένου, το κινούμενο όχημα μπορεί να επιλέξει με έξυπνο τρόπο άλλα οχήματα ή σταθερά RSUs για ανάκτηση του ζητούμενου περιεχομένου, όπου η καθυστέρηση μετάδοσης μπορεί να μειωθεί σημαντικά.
2. Δεύτερον, για ένα σταθερό RSU, προτείνεται ένα σχήμα δυναμικής προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου βάσει διασταυρούμενης εντροπίας με βάση τα αιτήματα περιεχομένου των οχημάτων στην κάλυψή του ώστε να προσαρμόζεται δυναμικά στη δημοτικότητα των περιεχομένων. Όταν το RSU υπερβαίνει το όριο της χωρητικότητας της προσωρινής αποθήκευσης, το προτεινόμενο σχήμα αποθήκευσης στην κρυφή μνήμη μπορεί να καθορίσει τη στρατηγική για την αντικατάσταση του περιεχομένου στην κρυφή μνήμη του RSU, όπου ο χώρος αποθήκευσης κρυφής μνήμης του RSU μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τη βελτίωση της αναλογίας επιτυχίας.
3. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, για ολόκληρα τα VCNs, η σχέση συνεργασίας μεταξύ μιας ομάδας RSUs που βρίσκονται σε αναλύονται διάφορες περιοχές. Όταν μια RSU δεν μπορεί να παρέχει από μόνη της το ζητούμενο περιεχόμενο, τα συνεργαζόμενα RSUs της μπορούν να προταθούν να παραδώσουν το περιεχόμενο σε αυτήν την RSU πρώτα και στη συνέχεια να αφήσουν αυτήν την RSU να στείλει το περιεχόμενο στο όχημα αργότερα. Με τη

συνεργασία μεταξύ διαφορετικών RSUs, τα RSUs μπορεί να μην χρειάζεται να συνδέσουν το απομακρυσμένο περιεχόμενο του διακομιστή για την ανάκτηση του ζητούμενου περιεχομένου, και επομένως τα γενικά έξοδα για την παράδοση περιεχομένου μπορούν να μειωθούν.

6.1.1 Vehicular Content Networks

Έχουν γίνει αρκετές έρευνες που επικεντρώνονται στα VCN που παρουσιάζουν ένα πλαίσιο δικτύωσης με επίκεντρο το περιεχόμενο των οχημάτων για ασφαλή και αποτελεσματική διανομή περιεχομένου που επιτρέπει στα κοντινά οχήματα να συμμετάσχουν συνεργατικά μέσω του πληθοπορισμού στους πόρους προσωρινής αποθήκευσης και τις ραδιοφωνικές συνδέσεις τους.

Αν και η διανομή περιεχομένου οχημάτων έχει μελετηθεί ευρέως, Οι αποτελεσματικές και συνεργατικές μέθοδοι αποθήκευσης στην κρυφή μνήμη σε OBUs και RSUs δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς. Για να είμαστε συγκεκριμένοι, από τη μία πλευρά, λίγοι έχουν εξετάσει τον αντίκτυπο των αιτημάτων των οχημάτων και των περιεχομένων που αποθηκεύονται στην κρυφή μνήμη στα OBUs και την στρατηγική αποθήκευσης κρυφής μνήμης των RSUs. Από την άλλη πλευρά, είναι απαραίτητο να μελετηθεί ένα δυναμικό σχήμα αποθήκευσης κρυφής μνήμης με από κοινού εξέταση των αιτημάτων των οχημάτων, των τοπικών και χρονικά μεταβαλλόμενων χαρακτηριστικών του περιεχομένου των οχημάτων.

6.1.2 Μοντέλο δικτύου

Στα VCNs, οι αιτούντες περιεχόμενο είναι κινούμενα οχήματα με συσκευές ασύρματης επικοινωνίας δηλαδή OBUs. Ένα κινούμενο όχημα στέλνει ένα αίτημα για περιεχόμενο σε ένα RSU όταν βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης του RSU.

Το RSU μπορεί να ανακτήσει εκ των προτέρων ορισμένα αντίγραφα περιεχομένου από τον απομακρυσμένο διακομιστή περιεχομένου και να αποθηκεύσει αυτά τα αντίγραφα τοπικά. Εάν το αντίγραφο του ζητούμενου περιεχομένου είναι διαθέσιμο στο RSU, αυτό το αντίγραφο μπορεί να παρασχεθεί απευθείας στον αιτούντα περιεχομένου.

Διαφορετικά, ο αιτών πρέπει να λάβει το αντίγραφο περιεχομένου από άλλα κινούμενα οχήματα ή άλλα σταθερά RSUs.

Τα RSUs τοποθετούνται σε διαφορετικές θέσεις στην άκρη του δικτύου. Εντός της περιοχής κάλυψης του r_i ($i \in \mathbb{I} = \{1, \dots, I\}$), υπάρχουν αρκετοί δρόμοι κάλυψης και ο j -οστός ($j=1, \dots, J$) δρόμος στην περιοχή κάλυψης του r_i συμβολίζεται με $I_{i,j}$.

Έστω $C_{i,j}$, συμβολίζει το μήκος του δρόμου $I_{i,j}$ και έστω $U_{i,j}$, δηλώνει τον αριθμό των λωρίδων στον δρόμο $I_{i,j}$.

Για τον δρόμο $I_{i,j}$ θα μπορούσαν να υπάρχουν πολλαπλά κινούμενα οχήματα όπου το $O_{i,j,k}$ υποδηλώνει το k -οστό κινούμενο όχημα στον δρόμο $I_{i,j}$.

Για τα οχήματα που κινούνται στον δρόμο $I_{i,j}$, η ταχύτητα του οχήματος $O_{i,j,k}$ συμβολίζεται με $V_{i,j,k}$. Η ταχύτητα των διαφορετικών οχημάτων χωρίζεται σε N διακριτά επίπεδα με I_{S_n} ($n=1, \dots, N$), $I_{S_n} \in [\min(V_{i,j,k}), \max(V_{i,j,k})]$.

Ο ρυθμός άφιξης των κινούμενων οχημάτων σε κάθε επίπεδο ταχύτητας ορίζεται από το ρ_n , όπου, $RA = n = 1 \dots N \quad \rho_n \in [0, 1]$.

Η πιθανότητα εμφάνισης κάθε επιπέδου ταχύτητας λαμβάνεται με $p \in [0, 1] \quad \sum_{n=1}^N p_n = 1$.

6.1.3 Μοντέλο επικοινωνίας

Ένα RSU στα VCN θεωρείται ως ένα σταθερό $peer$, το οποίο συνδέει άλλα RSUs μέσω ενσύρματων συνδέσεων στην άκρη του δικτύου, έτσι ώστε οι πληροφορίες του αποθηκευμένου περιεχομένου σε διαφορετικά RSUs να μπορούν να ανταλλάσσονται.

Για επικοινωνίες μεταξύ του κινούμενου οχήματος $O_{i,j,k}$ και του συνδεδεμένου RSU r_i , η περιοχή κάλυψης του r_i , χωρίζεται σε διάφορες ζώνες ανάλογα με τον ρυθμό μετάδοσης των οχημάτων στο RSU.

Με διαφορετικές αποστάσεις από το RSU, τα οχήματα θα υποφέρουν από διαφορετικές βλάβες καναλιών και μετάδοση με διαφορετικούς ρυθμούς.

Στην ζώνη $u(u=1,\dots,U)$, ο ρυθμός μετάδοσης $bw_{r,O_{i,j,k}}^u$ μεταξύ του κινούμενου οχήματος $O_{i,j,k}$ και του συνδεδεμένου RSU r_i , προσδιορίζεται από το μοντέλο ζώνης, στο οποίο διαφορετικές ζώνες κινητικότητας εντός της περιοχής κάλυψης του RSU έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης.

6.1.4 Μοντέλο διανομής περιεχομένου

Η άφιξη των αιτημάτων περιεχομένου από κινούμενα οχήματα ακολουθεί την κατανομή Poisson.

Έστω $\lambda_{i,j,k}$ δηλώνει τον ρυθμό αιτήματος του οχήματος $O_{i,j,k}$. Έστω Q υποδηλώνει τον συνολικό αριθμό περιεχομένου που μπορεί να ζητηθεί για το περιεχόμενο q -th ($q=1,\dots,Q$) το μέγεθος δεδομένων που ορίζεται από S_q .

Το αρχικό περιεχόμενο αποθηκεύεται στον απομακρυσμένο διακομιστή περιεχομένου που συνδέεται με τα RSU με καλωδιακές συνδέσεις.

Τα RSU μπορούν να αποθηκεύσουν μόνο ένα μέρος των αντιγράφων περιεχομένου λόγω περιορισμένης χωρητικότητας προσωρινής αποθήκευσης.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι κάποιο περιεχόμενο μπορεί να ζητείται πιο συχνά από άλλα, το περιεχόμενο στα VCN έχει διαμορφωθεί έτσι ώστε να έχει διαφορετικές δημοτικότητες.

Η δημοτικότητα του περιεχομένου ακολουθεί μια Zipf κατανομή. Μαθηματικά, η πιθανότητα ότι περιεχόμενο q ζητείται δίνεται από: $P(q) = \frac{1}{Q} \frac{1}{q^\rho} \left(1 - \frac{1}{Q^\rho} \right)$

όπου ρ είναι η παράμετρος της κατανομής Zipf και $\frac{1}{q^\rho}$ είναι η κατάταξη χρόνων αιτήματος περιεχομένου q .

Για το RSU r_i ($i=1,\dots,I$) λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας προσωρινής αποθήκευσης είναι απαραίτητο να καθοριστεί εάν θα πρέπει να αποθηκεύεται προσωρινά το αντίγραφο περιεχομένου q ($q=1,\dots,Q$) με το μέγεθος δεδομένων S_q .

Ορίζουμε ένα πίνακα $H_{i,q}$ όπου $H_{i,q} = h_{i,q} \times Q$,

$$h_{i,q} = \begin{cases} 1 & \text{if } S_q \leq C_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Έχουμε την τιμή 1 εάν το αντίγραφο περιεχομένου q αποφασιστεί να είναι προσωρινά αποθηκευμένο στο RSU r_i .

Εάν το ζητούμενο περιεχόμενο q από το κινούμενο όχημα $O_{i,j,k}$ μπορεί να παρασχεθεί από το συνδεδεμένο RSU r_i , ονομάζεται επιτυχία.

Επιπλέον, εάν ένα άλλο RSU r_m έχει αντίγραφο περιεχομένου q και μπορεί να το φέρει για $O_{i,j,k}$ εντός του χρόνου σύνδεσης μεταξύ $O_{i,j,k}$ και r_i , τότε θεωρείται ότι το r_m μπορεί να συνεργαστεί με το r_i για να παρέχει περιεχόμενο q σε $O_{i,j,k}$ για να λάβουμε ένα χτύπημα (Hit).

6.2 Ανάλυση Caching για Διανομή Περιεχομένου

Σε αυτήν την ενότητα θα δίνουμε πρώτα την ανάλυση των αιτημάτων περιεχομένου των κινούμενων οχημάτων. Στη συνέχεια, η παράδοση περιεχομένου για τα οχήματα αναλύεται με βάση την κατάσταση λήψης του περιεχομένου από κινούμενα οχήματα ή σταθερά RSU. Επιπλέον παρουσιάζεται ένα σχήμα διασταυρούμενης εντροπίας για την προσωρινή αποθήκευση περιεχομένου σε RSU με την συνεργασία μεταξύ των RSU.

6.2.1 Αιτήματα Ανάκτησης Οχηματικού Περιεχομένου

Σύμφωνα με μελέτες, η πιθανότητα να προκύπτει ένα αίτημα από ένα δεδομένο κινούμενο όχημα $o_{i,j,k}$ εντός της κάλυψης του συνδεδεμένου RSU είναι :

$$w_{i,j,k} = \lambda_{i,j,k} \cdot i \cdot j \cdot k \cdot \lambda_{i,j,k}$$

όπου $\lambda_{i,j,k}$ είναι ο ρυθμός αιτήματος του κινούμενου οχήματος $o_{i,j,k}$.

Ορίζουμε το $mv_{i,j}$ ως τον συνολικό αριθμό κινούμενων οχημάτων στο j – οστό δρόμο που βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης του $r_{i,j}$. Έχουμε:

$$mv_{i,j} = v_{i,j} \cdot c_{i,j} \cdot \beta_{i,j} + z_{i,j}$$

όπου $c_{i,j}$ είναι το μήκος του δρόμου $l_{i,j}$. Τα $z_{i,j}$ και $u_{i,j}$ δηλώνουν το μέσο μήκος οχημάτων και τον αριθμό των λωρίδων στο δρόμο $l_{i,j}$, αντίστοιχα.

Η απόσταση μεταξύ δύο κινούμενων οχημάτων, $\beta_{i,j}$ κατανέμεται ως εξής :

$$P(\beta_{i,j} > x) = e^{-RA \cdot n \cdot p \cdot r \cdot a \cdot n \cdot l \cdot s \cdot n \cdot x}$$

Ορίζουμε το $t_{i,j}$ ως το συνολικό αριθμό αιτημάτων περιεχομένου από όλα τα κινούμενα οχήματα στην περιοχή κάλυψης του $r_{i,j}$ μέσα σε μια προηγούμενη περίοδο παρακολούθησης Δt . Έχουμε:

$$t_{i,j} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K mv_{i,j} \cdot \lambda_{i,j,k} \cdot \Delta t$$

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, μπορούμε να λάβουμε τους αναμενόμενους χρόνους αιτήματος για το q – οστό περιεχόμενο εντός της περιοχής κάλυψης του RSU $r_{i,j}$, με το ακόλουθο $cp_{i,q}$.

$$cp_{i,q} = t_{i,j} \cdot p_{i,q} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K mv_{i,j} \cdot \lambda_{i,j,k} \cdot \Delta t \cdot p_{i,q}$$

Πίνακας 3 – Επεξήγηση συμβόλων

Σύμβολο	Περιγραφή
I	Σύνολο RSUs στην περιοχή
J	Αριθμός δρόμων στην κάλυψη του RSU
N	Αριθμός διακριτών επιπέδων ταχύτητας του οχήματος
U	Αριθμός ζωνών στην κάλυψη της RSU
Q	Αριθμός περιεχομένων στην κάλυψη του RSU

$r_{i\ell}$	Road side unit (RSU) i
$capa_{i\ell}$	Caching capacity of RSU $r_{i\ell}$
l_{sn}	Ταχύτητα των οχημάτων στο επίπεδο n
$ra_{n\ell}$	Ρυθμός άφιξης των οχημάτων στο επίπεδο n
$l_{i,j\ell}$	Δρόμος j στην κάλυψη του RSU
$c_{i,j\ell}$	Μήκος δρόμου στην κάλυψη του RSU $r_{i\ell}$
$z_{i,j\ell}$	Μέσο μήκος οχημάτων
$u_{i,j\ell}$	Αριθμός λωρίδων στο δρόμο $l_{i,j\ell}$
$t_{i\ell}$	Συνολικός αριθμός αιτημάτων στην κάλυψη RSU $r_{i\ell}$
$o_{i,j,k\ell}$	Όχημα k στον δρόμο $l_{i,j\ell}$
$mv_{i,j\ell}$	Συνολικός αριθμός κινούμενων οχημάτων στο $j - \text{οστό}$ δρόμο
$v_{i,j\ell}$	Ταχύτητα του οχήματος $o_{i,j,k\ell}$
$p_{q\ell}$	Πιθανότητα αιτήματος περιεχομένου q
$s_{q\ell}$	Μέγεθος δεδομένων περιεχομένου q
$cp_{i,q\ell}$	Αναμενόμενοι χρόνοι αιτήματος περιεχομένου q στην κάλυψη του RSU $r_{i\ell}$
$\lambda_{i\ell}$	Ρυθμός αιτήματος του περιεχομένου στην κάλυψη του RSU $r_{i\ell}$
$\lambda_{i,j,k\ell}$	Ρυθμός αιτήματος του οχήματος $o_{i,j,k\ell}$
$w_{i,j,k\ell}$	Πιθανότητα να προκύψει αίτημα του $o_{i,j,k\ell}$
$cu_{i,j,k\ell}$	Ο αριθμός των κινούμενων οχημάτων που τα $o_{i,j,k\ell}$ συνδέονται
$TR_{i,j,k\ell}$	Transmission range (εύρος μετάδοσης) των $o_{i,j,k\ell}$
$bw_{o_{i,j,k\ell}, o_{i,j,z\ell}}$	Bandwidth (εύρος ζώνης) μεταξύ $o_{i,j,k\ell}$ και $o_{i,j,z\ell}$
$bw_{r_{i\ell}, r_{m\ell}}$	Bandwidth (εύρος ζώνης) μεταξύ $r_{i\ell}$ και $r_{m\ell}$
$bw_{u_{i\ell}, r_{i\ell}, o_{i,j,z\ell}}$	Transmission range (εύρος μετάδοσης) στην ζώνη u των οχημάτων $o_{i,j,k\ell}$
$d_{r_{i\ell}, r_{m\ell}}$	Η συντομότερη διαδρομή (hop count) μεταξύ $r_{i\ell}$ και $r_{m\ell}$
$del_{o_{i,j,k\ell}, o_{i,j,z\ell}}$	Καθυστέρηση στην απόκτηση περιεχομένου q από το $o_{i,j,k\ell}$
$del_{r_{i\ell}, r_{m\ell}}$	Καθυστέρηση στην απόκτηση περιεχομένου q από το $r_{m\ell}$ στο $r_{i\ell}$
$po_{o_{i,j,k\ell}}$	Λαμβάνει ισχύ σήματος του $o_{i,j,k\ell}$
$cd_{o_{i,j,k\ell}}$	Χρόνο σύνδεσης μεταξύ $o_{i,j,k\ell}$ και άλλων κινούμενων οχημάτων
$g_{r_{i\ell}, o_{i,j,k\ell}}$	Χρόνο σύνδεσης μεταξύ $o_{i,j,k\ell}$ και RSU $r_{i\ell}$
$con_{z,q\ell}$	Τιμή για να κρίνουμε αν το περιεχόμενο q μπορεί να ληφθεί πλήρως από τα οχήματα $o_{i,j,z\ell}$
$rep_{z,q\ell}$	Τιμή για να κρίνουμε αν το περιεχόμενο q αποθηκεύεται στην κρυφή μνήμη των οχημάτων $o_{i,j,z\ell}$
$con_{k,q,i,j,m\ell}$	Τιμή για να κρίνουμε αν το περιεχόμενο q μπορεί να ληφθεί πλήρως από το RSU $r_{m\ell}$
$rep_{m,q\ell}$	Τιμή για να κρίνουμε αν το περιεχόμενο q αποθηκεύεται στην κρυφή μνήμη του RSU $r_{m\ell}$
$F_{q\ell}$	Ο αριθμός των αλμάτων (hops) για να αποκτηθεί περιεχόμενο q από οχήματα μέσω πολλαπλών αλμάτων (multi-hop)
$C_{vr\ell}$	Επιβάρυνση ενός άλματος για την παράδοση του ζητούμενου περιεχομένου μεταξύ οχημάτων

C_{rr}	Επιβάρυνση ενός άλματος για την παράδοση του ζητούμενου περιεχομένου από το RSUs.
C_{cr}	Επιβάρυνση ενός άλματος για την παράδοση του ζητούμενου περιεχομένου από απομακρυσμένο διακομιστή περιεχομένου
Γ	Μέγιστος αριθμός αλμάτων μεταξύ των RSUs στην περιοχή
Ω	Μέγιστος αριθμός μεταξύ του απομακρυσμένου διακομιστή περιεχομένου και του $r_{i,t}$
$h_{i,q,t}$	Τιμή για να αποφασιστεί εάν το περιεχόμενο q αποθηκεύεται στην κρυφή μνήμη του RSU $r_{i,t}$ στην t -ιοστή επανάληψη.
$p_{i,q,t}$	Πιθανότητα το περιεχόμενο να αποθηκευτεί στην κρυφή μνήμη κατά την επανάληψη
$U_{i,t}(z)$	Χρησιμότητα του δείγματος z

6.2.2 Μοντέλο απόκτησης περιεχομένου

Όταν ένα δεδομένο κινούμενο όχημα $o_{i,j,k}$ ζητά περιεχόμενο q , υπάρχουν δύο επιλογές για το $o_{i,j,k}$. Η μια επιλογή είναι να επικοινωνήσει με άλλα κινούμενα οχήματα που έχουν το αντίγραφο του περιεχομένου q . Η άλλη επιλογή είναι να επικοινωνήσει με τα RSUs για την ανάκτηση του περιεχομένου. Σε αυτή την ενότητα, δίνουμε την ανάλυση και των δύο επιλογών.

1) *Καθυστέρηση λήψης περιεχομένου από κινούμενα οχήματα:*

Για ένα δεδομένο $o_{i,j,k}$, ο αριθμός των κινούμενων οχημάτων που μπορεί να συνδυάσει το $o_{i,j,k}$ δίνεται από την σχέση

$$cu_{i,j,k} = 1 - e^{-n_{i,j,k} r a_{i,j,k} l s_{i,j,k} TR_{i,j,k}},$$

όπου $TR_{i,j,k}$ είναι το σταθερό εύρος μετάδοσης

των $o_{i,j,k}$. Ορίζουμε $o_{i,j,z} z = 1, \dots, cu_{i,j,k}$ ως τα κινούμενα οχήματα τα οποία το $o_{i,j,k}$ μπορεί να συνδεθεί εντός της σταθερής εμβέλειας μετάδοσής του. Κατά την προηγούμενη περίοδο παρακολούθησης Δt , ο αριθμός των αιτημάτων από αυτό το κινούμενο όχημα μπορεί να ληφθεί από

$$i_{i,j,t} \cdot w_{i,j,z}$$

Εάν έχει υποβληθεί αίτημα από το $o_{i,j,z}$ για περιεχόμενο q , καθώς το όχημα διατηρεί το περιεχόμενο μετά την απόκτησή του, το $o_{i,j,z}$ μπορεί να είναι υποψήφιος για παροχή περιεχομένου q . Ορίστε το $rep_{z,q}$ ως εξής.

$$rep_{z,q} = 1, \quad i_{i,j,t} \cdot w_{i,j,z} \cdot p_{i,j,z} \geq 1, \quad 0, \quad i_{i,j,t} \cdot w_{i,j,z} \cdot p_{i,j,z} < 1.$$

Εδώ, το $rep_{z,q} = 1$ σημαίνει ότι το περιεχόμενο q αποθηκεύεται προσωρινά στο όχημα $o_{i,j,z}$. Ο ρυθμός μετάδοσης μεταξύ $o_{i,j,k}$ και $o_{i,j,z}$ είναι:

$$bw_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}} \cdot \log_2 1 + po_{o_{i,j,k}} bw_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}} \cdot N_0 + i = 1 cu_{i,j,k} f_{i,j,k},$$

$$po_{o_{i,j,k}} = G_{o_{i,j,k}} G_{o_{i,j,Z}} c f_{i,j,k} 4\pi ds_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}} po_{o_{i,j,k}},$$

όπου N_0 είναι η φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου. Οι $bw_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}}$ και $bs_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}}$ δηλώνουν το εύρος ζώνης και την απόσταση μεταξύ των $o_{i,j,k}$ και $o_{i,j,z}$ αντίστοιχα. Ως $po_{o_{i,j,k}}$ είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος των $o_{i,j,k}$. Ως $f_{i,j,k}$ ορίζεται η παρεμβολή που παρουσιάζεται στον δέκτη από άλλους πομπούς. $G_{o_{i,j,k}}$ και $G_{o_{i,j,Z}}$ είναι τα κέρδη μετάδοσης. Ως c και f ορίζεται η ταχύτητα του φωτός και το μήκος κύματος του σήματος, αντίστοιχα. Έτσι, η καθυστέρηση απόκτησης περιεχομένου q από το $o_{i,j,z}$ είναι :

$$del_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}} = S q bw_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}} \cdot \log_2 1 + po_{o_{i,j,k}} bw_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}} \cdot N_0 + i = 1 cu_{i,j,k} f_{i,j,k}$$

Εάν η παραπάνω καθυστέρηση είναι μικρότερη από τον πιθανό χρόνο σύνδεσης $cd_{o_{i,j,k}}$ μεταξύ των $o_{i,j,z}$ και $o_{i,j,k}$, αυτό το κινούμενο όχημα μπορεί να είναι υποψήφιο για απόκτηση περιεχομένου. Έχουμε

$$con_{z,q} = 1, \quad del_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}} \leq cd_{o_{i,j,k}}, \quad 0, \\ del_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}} > cd_{o_{i,j,k}}.$$

Σε άλλη περίπτωση ο πιθανός χρόνος σύνδεσης $cd_{o_{i,j,k}}$ μεταξύ των $o_{i,j,z}$ και $o_{i,j,k}$, μπορεί να ληφθεί από τον παρακάτω τύπο :

$$cd_{o_{i,j,k}} = 1 - e^{-n} - n^{n-1} r a^{n-1} l s^{n-1} TR_{i,j,k} n^{n-1} r a^{n-1} l s^{n-1}$$

Στη συνέχεια, μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέση καθυστέρηση για τη λήψη περιεχομένου q από άλλα οχήματα :

$$1 cu'_{i,j,k} z = 1 cu_{i,j,k} rep_{z,q} \cdot con_{z,q} \cdot del_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}}$$

Όπου $cu'_{i,j,k}$ είναι ο συνολικός αριθμός των $o_{i,j,z}$ που πληροί και τα δύο κριτήρια $con_{z,q} = 1$ και $rep_{z,q} = 1$

- 2) **Καθυστέρηση λήψης περιεχομένου από σταθερές RSU:** Εάν το κινούμενο όχημα $o_{i,j,k}$ σκοπεύει να λάβει το ζητούμενο περιεχόμενο q από σταθερές RSUs και το αντίγραφο του περιεχομένου q είναι διαθέσιμο στο συνδεδεμένο RSU $r_{i,j}$, το RSU $r_{i,j}$ στέλνει το αντίγραφο του περιεχομένου q απευθείας στο κινούμενο όχημα $o_{i,j,k}$. Διαφορετικά, για να αποκτήσετε το ζητούμενο περιεχόμενο q , το $r_{i,j}$, πρέπει να ανακτήσει αυτό το περιεχόμενο από μια κοντινή ενσύρματη σύνδεση RSU $r_{i,m}$ ($m \in \mathbb{I}/i$) που έχει το αντίγραφο του περιεχομένου q . Και, αφού λάβει το περιεχόμενο q , το $r_{i,j}$ στέλνει περιεχόμενο q στο κινούμενο όχημα $o_{i,j,k}$.

Για ένα δεδομένο r^m , η καθυστέρηση λήψης περιεχομένου q από αυτό στο r^i μπορεί να ληφθεί από :

$$del_{r^i, r^m} = S^q \cdot bw_{r^i, r^m} \cdot d_{r^i, r^m}$$

όπου είναι η μικρότερη απόσταση (hop count) μακριά από το r^m στο r^i ορίζεται ως d_{r^i, r^m} και το μέσο εύρος ζώνης (ανά hop) κατά τη διάρκεια της διαδρομής από το r^m στο r^i συμβολίζεται με bw_{r^i, r^m} .

Με βάση το μοντέλο ζώνης, χωρίζουμε την περιοχή διέλευσης των οχημάτων σε πολλές ζώνες με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης.

Για την πρώτη ζώνη που ξεκινά το όχημα για λήψη του περιεχομένου με $u = 1$ η καθυστέρηση κατά την παράδοση από r^i στο $o_{i,j,k}$ είναι :

$$del_{r^i, o_{i,j,k}^1} = S^q \cdot bw_{r^i, o_{i,j,k}^1}$$

Ομοίως, η καθυστέρηση κατά την παράδοση από r^i στο $o_{i,j,k}$ εντός η u -ιωστής ζώνης γίνεται:

$$del_{r^i, o_{i,j,k}^u} = S^q \cdot bw_{r^i, o_{i,j,k}^u}$$

Εάν $\varepsilon = 1^u + 1 \cdot S^q \cdot \varepsilon > S^q > \varepsilon = 1^u \cdot S^q \cdot \varepsilon$ μπορούμε να γνωρίζουμε ότι όλα τα byte

του περιεχομένου q μπορεί να μεταδοθεί από το r^i στο $o_{i,j,k}$ και έχουμε :

$$del_{r^i, o_{i,j,k}^u + 1} = S^q - \varepsilon = 1^u \cdot S^q \cdot bw_{r^i, o_{i,j,k}^u + 1}$$

Με την παραπάνω σχέση υπολογίζεται η καθυστέρηση μετάδοσης όταν το όχημα $o_{i,j,k}$ βρίσκεται στην ζώνη $u + 1$. Το $u + 1$ είναι η τελευταία ζώνη που συνδέεται το όχημα $o_{i,j,k}$ στο RSU r^i για λήψη του ζητούμενου περιεχομένου . Το

$S^q - \varepsilon = 1^u \cdot S^q \cdot \varepsilon$ είναι το μέγεθος του περιεχομένου q που μεταδίδεται στην ζώνη $u + 1$. Σημειώνεται ότι το όχημα $o_{i,j,k}$ μπορεί να βρίσκεται ακόμα στη ζώνη $u + 1$ όταν θα γίνει λήψη του ζητούμενου περιεχομένου. Έτσι, η συνολική καθυστέρηση στη μετάδοση περιεχόμενου q από r^i σε $o_{i,j,k}$ είναι :

$$\varepsilon = 1^u + 1 \cdot del_{r^i, o_{i,j,k}^u}$$

Επιπλέον, η συνολική καθυστέρηση όταν το r^i φέρει ένα αντίγραφο περιεχομένου q από το r^m και στη συνέχεια στέλνει στο $o_{i,j,k}$ μπορεί να ληφθεί από :

$$del_{r^i, r^m} + \varepsilon = 1^u + 1 \cdot del_{r^i, o_{i,j,k}^u}$$

Εάν το RSU r^m έχει αντίγραφο του ζητούμενου περιεχομένου q και αυτό το αντίγραφο μπορεί να παραδοθεί στο κινούμενο όχημα $o_{i,j,k}$ εντός του χρόνου σύνδεσης μεταξύ αυτού του κινούμενου οχήματος και του συνδεδεμένου RSU r^i , RSU r^m μπορεί να είναι υποψήφιο για παράδοση περιεχομένου. Ορίζουμε ως $con_{k,q,i,j,m}$ και $rep_{m,q}$ για να δείξουμε τον υποψήφιο για την παροχή του αντίγραφου του περιεχομένου q ως εξής :

$$\begin{aligned} con_{k,q,i,j,m} &= 1, \quad del_{r^i, r^m} + \varepsilon = 1 \cdot u + \\ &1 \cdot del_{r^i, o_{i,j,k}} \leq g_{r^i, o_{i,j,k}}, \quad 0, \\ del_{r^i, r^m} + \varepsilon &= 1 \cdot u + \\ &1 \cdot del_{r^i, o_{i,j,k}} > g_{r^i, o_{i,j,k}}. \end{aligned}$$

$$rep_{m,q} = 1, \quad cp_{m,q} \geq 1, \quad 0, \quad cp_{m,q} < 1. \quad 0$$

Εδώ, $g_{r^i, o_{i,j,k}}$ είναι ο χρόνος σύνδεσης μεταξύ του RSU r^i και του οχήματος $o_{i,j,k}$. $rep_{m,q} = 1$ σημαίνει ότι το περιεχόμενο q αποθηκεύεται προσωρινά στο RSU r^m . Στις παραπάνω εξισώσεις, αν $con_{k,q,i,j,m} = 1$ και $rep_{m,q} = 1$, το RSU r^m προσδιορίζεται ως υποψήφιο για παράδοση περιεχομένου. Στην συνέχεια, μπορούμε να λάβουμε τη μέση καθυστέρηση για τη λήψη περιεχομένου q από το RSU r^m μετά το κινούμενο όχημα $o_{i,j,k}$ στέλνοντας το αίτημα στο RSU r^i από το :

$$\begin{aligned} 1 \cdot I' \cdot m &= 1 \cdot I \cdot rep_{m,q} \cdot con_{k,q,i,j,m} \cdot \\ &del_{r^i, r^m} + \varepsilon = 1 \cdot u + 1 \cdot del_{r^i, o_{i,j,k}} \end{aligned}$$

Όπου I' είναι ο αριθμός των r^m που ικανοποιεί και τις δύο συνθήκες $con_{k,q,i,j,m} = 1$ και $rep_{m,q} = 1$

- 3) *Λήψη απόφασης για απόκτηση περιεχομένου από κινούμενα οχήματα ή σταθερές RSU:* Αν ισχύει η ακόλουθη ισότητα

$$\begin{aligned} 1 \cdot cu'_{i,j,k} z &= 1 \cdot cu_{i,j,k} rep_{z,q} \cdot con_{z,q} \cdot \\ &del_{o_{i,j,k}, o_{i,j,z}} \cdot F_{q} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} < \min 1 \cdot I' \cdot m &= 1 \cdot I \cdot rep_{m,q} \cdot con_{k,q,i,j,m} \cdot \\ &\cdot del_{r^i, r^m} + \varepsilon = 1 \cdot u + 1 \cdot del_{r^i, o_{i,j,k}} \end{aligned}$$

το περιεχόμενο θα παρέχεται από άλλα κινούμενα οχήματα. F_{q} είναι ο αριθμός των μεταπηδήσεων (hops) για λήψη περιεχομένου από οχήματα με multihop. Η παραπάνω σχέση δείχνει ότι η καθυστέρηση για την απόκτηση του περιεχομένου από τα οχήματα είναι μικρότερη σε σχέση με την απόκτηση περιεχομένου από τα RSUs. Ως αποτέλεσμα, περιεχόμενο q παραδίδεται από κινούμενα οχήματα. Διαφορετικά, το περιεχόμενο q παρέχεται από τα σταθερά RSUs. Εάν το περιεχόμενο δεν μπορεί να παρασχεθεί από τα κινούμενα οχήματα και τα RSUs,

το RSU r_i ανακτά το ζητούμενο περιεχόμενο από τον απομακρυσμένο διακομιστή περιεχομένου. Μετά από αυτό, το RSU r_i παραδίδει το περιεχόμενο στο όχημα $o_{i,j,k}$.

6.3 Caching περιεχομένου στα RSUs

Σύμφωνα με την πρόταση που αναλύουμε [14], όταν ένα όχημα ζητά περιεχόμενο, μπορεί να αποφασίσει εάν θα αποκτήσει το ζητούμενο περιεχόμενο από κινούμενο όχημα ή RSU.

Εάν η καθυστέρηση λήψης του ζητούμενου περιεχομένου από άλλα οχήματα είναι μικρότερη απ' ό τι μέσω RSU, το όχημα θα ανακτήσει το περιεχόμενο από ένα από αυτά τα οχήματα. Διαφορετικά, το όχημα συνδέεται με το RSU για να αποκτήσει το ζητούμενο περιεχόμενο.

Ως αποτέλεσμα, τα περιεχόμενα που αποθηκεύονται στην κρυφή μνήμη του RSU επηρεάζονται από τα περιεχόμενα που αποθηκεύονται στην κρυφή μνήμη στο OBU των οχημάτων.

Δηλαδή, η στρατηγική προσωρινής αποθήκευσης στα RSUs θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη δυναμική αλλαγή της κατανομής περιεχομένου στο OBU των οχημάτων.

Για τον σκοπό αυτό σχεδιάζουμε τον αλγόριθμο δυναμικής προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου σε RSU λαμβάνοντας υπόψη την αλλαγή της δημοτικότητας του περιεχομένου.

Ορίζουμε το hit ratio (αναλογία επιτυχίας) του RSU r_i για περιεχόμενο q ως

$$\text{Hitratio}_q = \max_{m \in \mathbb{I}/i} \lambda_i \cdot p_{q,i} \cdot h_{i,q} \cdot h_{m,q}, m \in \mathbb{I}/i,$$

όπου λ_i είναι ο ρυθμός αιτήματος του περιεχομένου στην κάλυψη του RSU r_i .

Καθώς η δημοτικότητα των περιεχομένων στην κάλυψη διαφορετικών RSU δεν είναι η ίδια (π.χ. κάποιο περιεχόμενο με τοπικά χαρακτηριστικά), εστιάζουμε στο RSU r_i και υποθέτουμε ότι τα περιεχόμενα που αποθηκεύονται στην κρυφή μνήμη στα RSUs εκτός από το r_i , δηλ.

$$r_m \quad (m \in \mathbb{I}/m \neq i)$$

δεν αλλάζουν.

Επομένως το πρόβλημα μπορεί να διαμορφωθεί για να βελτιστοποιήσει την ακόλουθη συνάρτηση.

$$\max_{q \in \mathbb{I}} \lambda_i \cdot p_{q,i} \cdot h_{i,q} \cdot h_{m,q}, m \in \mathbb{I}/i,$$

με τον περιορισμό $q \cdot h_{i,q} \cdot s_q < \text{capa}_i$ όπου το capa_i αντιπροσωπεύει την χωρητικότητα του r_i . Έτσι το πρόβλημα μετατρέπεται σε πρόβλημα βελτιστοποίησης ακεραίων για τον προσδιορισμό του κάθε $h_{i,q}$.

Για να λύσουμε το παραπάνω πρόβλημα προτείνουμε μια cross entropy προσέγγιση που έχει ως εξής :

- 1) Αρχικοποιούμε τις παραμέτρους: Αρχικοποιούμε τον μετρητή επανάληψης t και τον αριθμό των επαναλήψεων T .
- 2) Μοντελοποίηση της συνάρτησης κατανομής πιθανότητας (PDF) : Το μοντελοποιημένο PDF χρησιμοποιείται για την δημιουργία τυχαίων δειγμάτων θα πρέπει να είναι ισοδύναμο με το PDF του αρχικού προβλήματος βελτιστοποίησης. Γνωρίζουμε ότι η μεταβλητή $h_{i,q}$ ακολουθεί την κατανομή Bernoulli. Έστω ότι $p_{i,q,t}$ δηλώνουν την πιθανότητα ότι το περιεχόμενο q αποθηκεύεται προσωρινά στην κρυφή μνήμη του

RSU $r_{i,t}$ κατά την t – ιοστή επανάληψη. Έχουμε λοιπόν το διάνυσμα πιθανότητας προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου του RSU $r_{i,t}$ που φαίνεται ως $P_{i,t} = p_{i,1,t}, \dots, p_{i,q,t}, \dots, p_{i,Q,t}$. Καθώς τα συμβάντα προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου του RSU $r_{i,t}$ είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, το PDF μπορεί να δοθεί από τα:

$$f_{h_{i,q,t}, p_{i,q,t}} = q = 1 - Q \cdot p_{i,q,t} \cdot h_{i,q,t} \cdot (1 - p_{i,q,t})^{Q-1} \cdot (1 - h_{i,q,t})$$

- 3) Δημιουργία δειγμάτων Z (Z samples) : Μπορούν να δημιουργηθούν Z δείγματα της στρατηγικής κρυφής μνήμης. Συγκεκριμένα, το z -ιωστό δείγμα του διανύσματος στρατηγικής μπορεί να εκφραστεί ως $h_{i,1,t} z, \dots, h_{i,q,t} z, \dots, h_{i,Q,t} z$. Τα τυχαία δείγματα που δημιουργούνται ενδέχεται να μην ικανοποιούν τους περιορισμούς. Επομένως σχεδιάζουμε τον Αλγόριθμο 1 για να τροποποιήσουμε τα δείγματα λαμβάνοντας υπόψη τη συνθήκη περιορισμού.

Αλγόριθμός 1 : Αλγόριθμος για την τροποποίηση δειγμάτων

- 1) **for** $z = 1 : 1 : Z$ **do**
 - 2) Generate a random sample $h_{i,1,t} z, \dots, h_{i,q,t} z, \dots, h_{i,Q,t} z$.
 - 3) $capa_{i,t} = 0$;
 - 4) **for** $q = 1 : 1 : Q$ **do**
 - 5) **if** $capa_{i,t} + h_{i,q,t} z S_{q,t} > capa_{i,t}$ **then**
 - 6) $h_{i,1,t} z = 0$;
 - 7) **end if**
 - 8) $capa_{i,t} = capa_{i,t} + h_{i,q,t} z S_{q,t}$;
 - 9) **end for**
 - 10) **end for**
- 4) Υπολογίζουμε την χρησιμότητα : Για να αξιολογήσουμε την απόδοση από κάθε δείγμα. Η χρησιμότητα του δείγματος υπολογίζεται από την σχέση :

$$U_{i,t} z = \frac{q \cdot \lambda_{i,t} \cdot i \cdot \lambda_{i,t} \cdot p_{i,q,t} \cdot h_{i,q,t} z | h_{i,m,q,t}, m \in \mathbb{I} / i}{i}$$

- 5) Επιλέγουμε τα $1 - \rho \cdot Z$ καλύτερα δείγματα: Ταξινομούμε την χρησιμότητα των δειγμάτων με μη αύξουσα σειρά πχ. $U_{i,t} z_1 \geq U_{i,t} z_2 \geq \dots \geq U_{i,t} z_Z$. Τα $1 - \rho \cdot Z$ δείγματα επιλέγονται για να σχηματίσουν ένα υποσύνολο που συμβολίζεται ως $U_{i,t} z_1, U_{i,t} z_2, \dots, U_{i,t} z_{1 - \rho \cdot Z}$.

- 6) Ενημερώνουμε την πιθανότητα : Με βάση τα δείγματα $1 - \rho \cdot Z$ η πιθανότητα αποθήκευσης περιεχομένου στην κρυφή μνήμη q $q = 1, \dots, q, \dots, Q$ μπορεί να ενημερωθεί από :

$$p[i, q]t + 1 = z = 1 \cdot Z \cdot X \cdot U[i]t \cdot z \geq U[i]t \cdot 1 - \rho \cdot Z \cdot h[i, q]t \cdot z = 1 \cdot Z \cdot X \cdot U[i]t \cdot z \geq U[i]t \cdot 1 - \rho \cdot Z$$

όπου $X \cdot U[i]t \cdot z \geq U[i]t \cdot 1 - \rho \cdot Z$ δίνεται από την σχέση:

$$X \cdot U[i]t \cdot z \geq U[i]t \cdot 1 - \rho \cdot Z = 1, \quad U[i]t \cdot z \geq U[i]t \cdot 1 - \rho \cdot Z, \quad U[i]t \cdot z < U[i]t \cdot 1 - \rho \cdot Z$$

- 7) Έχουμε το κριτήριο διακοπής : Εάν πληρείται το κριτήριο διακοπής, ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων σταματάει. Διαφορετικά αυξάνουμε τον αριθμό επαναλήψεων κατά 1 και επαναλαμβάνουμε το βήμα 3.

Δεδομένη μια περίοδο παρακολούθησης Δt κάθε RSU καταγράφει τους χρόνους αιτήματος για κάθε περιεχόμενο και αντικαθιστά αυτόν που έχει χαμηλή δημοτικότητα και μεγάλο μέγεθος με αυτόν που έχει υψηλή δημοτικότητα και μικρό μέγεθος στην κρυφή μνήμη.

Όταν τελειώσει το χρονικό διάστημα Δt κάθε RSU χρησιμοποιεί την cross entropy μέθοδο . Μετά από αυτό κάθε RSU μπορεί να δημιουργήσει μια στρατηγική προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου που προσαρμόζεται δυναμικά στην δημοτικότητα του περιεχομένου αυτού.

Η διαδικασία του αλγορίθμου προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου βάσει cross entropy method σε RSUs παρουσιάζεται στον αλγόριθμο 2.

Αλγόριθμος 2 : Αλγόριθμος δυναμικής προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου βάσει δισταυρούμενης εντροπίας σε RSU.

- 1) **Initial Phase**
- 2) Αρχικοποιούμε τις παραμέτρους: $t = 0; T; \mathcal{J}; Z$
- 3) **Repeat Phase**
- 4) **for** $i = 1 : 1 : I$ **do**
- 5) **for** $q = 1 : 1 : Q$ **do**
- 6) RSU $r[i]$ υπολογίζει τη δημοτικότητα του περιεχομένου q στην κάλυψή του
- 7) **end for**
- 8) **end for**
- 9) Ορίστε την τιμή της περιόδου παρακολούθησης Δt .
- 10) **while** $\Delta t \geq 0$ **do**
- 11) Τα οχήματα αποφασίζουν πού θα αποκτήσουν τα ζητούμενα περιεχόμενα χρησιμοποιώντας το (30)
- 12) **for** $i = 1 : 1 : I$ **do**

- 13) RSU r^i καταγράφει τους χρόνους αιτήματος για κάθε περιεχόμενο.
- 14) RSU r^i αντικαθιστά αυτό που έχει χαμηλή δημοτικότητα και μεγάλο μέγεθος με αυτό που έχει υψηλή δημοτικότητα και μικρό μέγεθος.
- 15) **end for**
- 16) $\Delta t = \Delta t - 1$
- 17) **end while**
- 18) Αρχικοποιούμε την πιθανότητα προσωρινής αποθήκευσης για κάθε περιεχόμενο.
- 19) **for** $t = 1 : 1 : T$ **do**
- 20) **for** $i = 1 : 1 : I$ **do**
- 21) Παράγουμε τα δείγματα Z χρησιμοποιώντας τον Αλγόριθμο 1.
- 22) **for** $z = 1 : 1 : Z$ **do**
- 23) Υπολογίζουμε τη χρησιμότητα του δείγματος z από την σχέση.
- 24) **end for**
- 25) Διευθετούμε την χρησιμότητα των δειγμάτων σε μη αυξανόμενη σειρά.
- 26) Επιλέγουμε τα $1 - \rho \cdot Z$ καλύτερα δείγματα
- 27) **end for**
- 28) **for** $i = 1 : 1 : I$ **do**
- 29) **for** $q = 1 : 1 : Q$ **do**
- 30) **for** $z = 1 : 1 : Z$ **do**
- 31) Ενημερώνουμε $p^i, q^i + 1$ σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις (39)
- (40)
- 32) **end for**
- 33) **end for**
- 34) **end for**
- 35) **end for**

7. Διαχείριση Καταστροφών (Disaster Management)

Η διαχείριση καταστροφών, ή disaster management, περιλαμβάνει μια σειρά από διαδικασίες, στρατηγικές και δράσεις που στοχεύουν στην προετοιμασία, ανταπόκριση, αντιμετώπιση των επιπτώσεων, και αποκατάσταση μετά από καταστροφές. Οι καταστροφές μπορεί να είναι φυσικές, όπως σεισμοί, πλημμύρες, τυφώνες και πυρκαγιές, ή ανθρωπογενείς, όπως βιομηχανικά ατυχήματα, τεχνολογικοί κίνδυνοι και συγκρούσεις. Ο στόχος της διαχείρισης καταστροφών είναι να σώσει ζωές, να ελαχιστοποιήσει τους τραυματισμούς, να προστατεύσει την περιουσία και να προωθήσει τη συνολική ευημερία των πληγέντων κοινοτήτων.

Το πεδίο της διαχείρισης καταστροφών περιλαμβάνει τα εξής:

1. Πρόληψη (Mitigation):

- **Προληπτικά μέτρα:** Εφαρμογή μέτρων για τη μείωση της σοβαρότητας και των επιπτώσεων πιθανών καταστροφών. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει κανονισμούς κτιρίων, σχεδιασμό χρήσης γης και βελτιώσεις στην υποδομή.

2. Προετοιμασία (Preparedness):

- **Εκπαίδευση και Ενημέρωση:** Προετοιμασία των κοινοτήτων για αποτελεσματική ανταπόκριση μέσω εκπαίδευσης, ενημερωτικών εκστρατειών και εκπαιδευτικών προγραμμάτων.
- **Σχεδιασμός Έκτακτης Ανάγκης:** Δημιουργία και συντήρηση σχεδίων έκτακτης ανάγκης, περιλαμβανομένων των διαδρομών εκκένωσης, των στρατηγικών επικοινωνίας και της διάθεσης πόρων.

3. Ανταπόκριση (Response):

- **Άμεσες Δράσεις:** Κινητοποίηση πόρων και προσωπικού για την αντιμετώπιση των άμεσων επιπτώσεων της καταστροφής. Αυτό περιλαμβάνει δράσεις έρευνας και διάσωσης, ιατρική βοήθεια και την παροχή εκτάκτου καταφυγίου και εφοδιασμού.

4. Ανάκαμψη (Recovery):

- **Ανασυγκρότηση:** Ανοικοδόμηση της υποδομής, των σπιτιών και των κοινοτήτων που επηρεάστηκαν από την καταστροφή.
- **Ψυχοκοινωνική Υποστήριξη:** Παροχή υποστήριξης για την ψυχολογική και συναισθηματική ευημερία των πληγέντων ατόμων και κοινοτήτων.
- **Οικονομική και Κοινωνική Αποκατάσταση:** Υποστήριξη των κοινοτήτων στην αποκατάσταση της κοινωνικής και οικονομικής τους δομής.

5. Συντονισμός και Επικοινωνία:

- **Συνεργασία μεταξύ Φορέων:** Συντονισμός των προσπαθειών διάφορων φορέων, τόσο κυβερνητικών όσο και μη κυβερνητικών, για να διασφαλιστεί μια αποτελεσματική ανταπόκριση.
- **Δημόσια Επικοινωνία:** Ενημέρωση του κοινού πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από μια καταστροφή, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες για την εκκένωση, τα μέτρα ασφαλείας και τις προσπάθειες ανάκαμψης.

Η διαχείριση καταστροφών είναι ένα πολυδιάστατο πεδίο που περιλαμβάνει πολλούς φορείς και διαδικασίες και απαιτεί συντονισμό, εκπαίδευση, πόρους και ανταπόκριση από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς και κοινότητες.

Το disaster management περιλαμβάνει μια παράμετρο, το Disaster Severity Level , που είναι ο τρόπος να μετράμε την σοβαρότητα ενός καταστροφικού γεγονότος, όπως μια φυσικός καταστροφή ή μια ανθρωπογενής καταστροφή. Ο τρόπος μέτρησης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη χώρα και τον οργανισμό που τον χρησιμοποιεί.

Συνήθως, το Disaster Severity Level αξιολογείται με βάση τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή, την υλική καταστροφή και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Συνήθως, χρησιμοποιούνται κλίμακες από 1 έως 5 ή από A έως F, με τον υψηλότερο αριθμό ή γράμμα να αντιστοιχεί στη σοβαρότερη κατηγορία. Αυτή η ταξινόμηση περιλαμβάνει μικρές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, περιορισμένες και πιθανές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και μεγάλες καταστροφές.

Εδώ είναι ένα παράδειγμα ενός τυπικού Disaster Severity Level με κλίμακα από 1 έως 5:

1. **Επίπεδο 1 - Χαμηλή Σοβαρότητα:** Ελάχιστες ανθρώπινες απώλειες, περιορισμένη υλική καταστροφή και περιορισμένες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η ανταπόκριση μπορεί να γίνει σε τοπικό επίπεδο.
2. **Επίπεδο 2 - Μέτρια Σοβαρότητα:** Αυξημένος αριθμός ανθρώπινων απωλειών, σημαντική υλική καταστροφή και επιπτώσεις στο περιβάλλον. Απαιτείται συντονισμός μεταξύ των τοπικών και περιφερειακών αρχών.
3. **Επίπεδο 3 - Υψηλή Σοβαρότητα:** Σημαντικές ανθρώπινες απώλειες, σοβαρή υλική καταστροφή και σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Απαιτείται εθνική και διεθνής ανταπόκριση.
4. **Επίπεδο 4 - Πολύ Υψηλή Σοβαρότητα:** Σοβαρές ανθρώπινες απώλειες, εκτεταμένη υλική καταστροφή και σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Απαιτείται διεθνής ανταπόκριση και συντονισμός.
5. **Επίπεδο 5 - Καταστροφή Μέγιστης Σοβαρότητας:** Πολύ σοβαρές ανθρώπινες απώλειες, ανείπωτη υλική καταστροφή και καταστροφές στο περιβάλλον. Απαιτείται η συμμετοχή πολλών χωρών και οργανισμών για την αντιμετώπιση της καταστροφής.

Οι κλίμακες αυτές χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί η σοβαρότητα της καταστροφής και να ενεργοποιηθούν οι αντίστοιχες ανταποκρίσεις και δράσεις για την αντιμετώπιση των επιπτώσεών της.

Ο σκοπός της καταγραφής του Disaster Severity Level είναι να βοηθήσει στον προσδιορισμό των αναγκών αντιμετώπισης της καταστροφής και της παροχής αναγκαίας βοήθειας στους πληγέντες. Επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την εκκένωση ή την αναβολή δραστηριοτήτων που μπορεί να επιδεινώσουν την κατάσταση σε μια περιοχή επηρεασμένη από καταστροφή. [15]

Θα εξετάσουμε λοιπόν τον Αλγόριθμό μας πως θα αντιδράσει με βάση τα 5 επίπεδα Disaster Severity Level.

Για Disaster Severity Level = 1

Για Disaster Severity Level = 2

Για Disaster Severity Level = 3

Για Disaster Severity Level = 4

Για Disaster Severity Level = 5

8. Η προτεινόμενη μεθοδολογία διαχείρισης καταστροφών μέσω πραγματοποίησης Edge Caching σε Οχηματικά Δίκτυα Έκτης Γενιάς (6G Vehicular Networks)

8.1 Ο προσομοιωτής δικτύων NS-3

Στόχος της παρούσα εργασίας είναι η μελέτη, η ανάλυση και η προσομοίωση ενός δικτύου 6G, έτσι επιλέχθηκε ο προσομοιωτής δικτύων NS-3. Το NS-3 είναι ένας προσομοιωτής διακριτών συμβάντων (discrete-event simulator) που προορίζεται κυρίως για ερευνητική και εκπαιδευτική χρήση.

Ο προσομοιωτής δικτύων NS-3 (Network Simulator 3) είναι ένα εργαλείο λογισμικού ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση ενός δικτύου. Εν συντομία, το NS-3 παρέχει μοντέλα του τρόπου με τον οποίον λειτουργούν και αποδίδουν τα δίκτυα πακέτων δεδομένων (packet data networks) και παρέχει μια μηχανή προσομοίωσης στους χρήστες για τη διεξαγωγή πειραμάτων προσομοίωσης.

Μερικοί από τους λόγους για τη χρήση του NS-3 περιλαμβάνουν:

- τη διεξαγωγή μελετών που είναι πιο δύσκολο ή αδύνατον να εκτελεστούν με πραγματικά συστήματα,
- για να μελετηθεί η συμπεριφορά του συστήματος σε ένα εξαιρετικά ελεγχόμενο περιβάλλον,
- και για εκπαιδευτικούς λόγους που αφορούν την εξοικείωση με τα δίκτυα επικοινωνιών.

Το NS-3 είναι ένα προηγμένο περιβάλλον προσομοίωσης δικτύων που χρησιμοποιείται για τη μελέτη και την ανάπτυξη πρωτοκόλλων επικοινωνίας δικτύων. Ορισμένες από τις βασικές λειτουργίες και δυνατότητές του είναι:

- Προσομοίωση Δικτύου: το NS-3 επιτρέπει την προσομοίωση δικτύων επικοινωνίας, όπως ενσύρματα, ασύρματα, και αναμειγμένα δίκτυα.
- Υποστήριξη Πρωτοκόλλων: υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα πρωτοκόλλων επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των TCP, UDP, IP, ICMP, και πολλών άλλων.
- Ασύρματα Δίκτυα: παρέχει υποστήριξη για προσομοίωση ασύρματων δικτύων, όπως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, και τα ασύρματα δίκτυα LAN.
- Διαχείριση Κίνησης: μπορεί να προσομοιώσει την κίνηση δεδομένων, φωνής και βίντεο σε διάφορα περιβάλλοντα δικτύου.
- Διαχείριση Καναλιών: επιτρέπει την προσομοίωση της καναλιών επικοινωνίας και της ασύρματης μετάδοσης.
- Διαχείριση Κόμβων: επιτρέπει τον προγραμματισμό και τον έλεγχο των κόμβων δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των κόμβων ισχύος, κινητικότητας και άλλων.
- Στατιστικά και Ανάλυση: παρέχει εργαλεία για τη συλλογή στατιστικών δεδομένων και την ανάλυση της απόδοσης του δικτύου.
- Επεκτασιμότητα: είναι επεκτάσιμο μέσω πρόσθετων μοντέλων και πρωτοκόλλων που μπορούν να προστεθούν.
- Προγραμματισμός σε C++ και Python: οι χρήστες μπορούν να προγραμματίσουν σε C++ ή Python, προσφέροντας ευελιξία στην ανάπτυξη και τη δοκιμή πρωτοκόλλων.

Παρότι το NS-3 είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την προσομοίωση δικτύων, υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- Δυσκολία εκμάθησης: οι αρχάριοι χρήστες μπορεί να αντιμετωπίσουν δυσκολίες στην εκμάθηση του NS-3 λόγω της πολυπλοκότητας της δομής του κώδικα και της πολυπλοκότητας της αντιμετώπισης της προσομοίωσης.
- Χρόνος εκτέλεσης: ορισμένες προσομοιώσεις στο NS-3 μπορεί να απαιτούν αρκετό χρόνο εκτέλεσης, ειδικά όταν προσομοιώνονται μεγάλα και πολύπλοκα δίκτυα.
- Υψηλές απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύος: Οι προσομοιώσεις μεγάλων δικτύων ή πολύπλοκων σεναρίων μπορεί να απαιτούν υψηλή υπολογιστική ισχύ για να εκτελεστούν σε λογικό χρονικό διάστημα.
- Περιορισμένη ενημέρωση: Η ενημέρωση του NS-3 μπορεί να είναι αργή σε σύγκριση με άλλα προγράμματα προσομοίωσης δικτύων.
- Περιορισμένη Κοινότητα: Παρότι υπάρχει μια ενεργή κοινότητα χρηστών, αυτή δεν είναι τόσο μεγάλη όπως σε άλλα προγράμματα προσομοίωσης, κάτι που μπορεί να περιορίζει τη διαθεσιμότητα υλικού και υποστήριξης.

8.2 Οι αλγόριθμοι προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου της προσομοίωσης

Οι αλγόριθμοι προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου που επιλέχθηκαν στην προσομοίωση μας θα αναλυθούν παρακάτω και θα συγκριθούν με τον προτεινόμενο αλγόριθμο που υλοποιήσαμε.

- PWDP: Σε αυτό το σχήμα, κάθε RSU δημιουργεί μια στρατηγική προσωρινής αποθήκευσης με βάση τη δημοτικότητα και το μέγεθος των περιεχομένων ενώ δεν λαμβάνεται υπόψη η δυναμική αλλαγή της δημοτικότητας των περιεχομένων.
- LRU (Least Recently Used): Σε αυτό το σχήμα, το περιεχόμενο το οποίο έχει προσπελαστεί λιγότερο πρόσφατα θα αφαιρεθεί από τη μνήμη cache, όταν το RSU χρειάζεται να αποθηκεύσει προσωρινά το περιεχόμενο που έρχεται πρόσφατα.
- LFU (Least Frequently Used): Σε αυτό το σχήμα, το περιεχόμενο που είναι το λιγότερο συχνά προσβάσιμο θα αφαιρεθεί από τη μνήμη cache, όταν η RSU χρειάζεται να αποθηκεύσει προσωρινά το περιεχόμενο που έρχεται πρόσφατα.
- ECS (Edge Caching Scheme): Η τοποθέτηση του περιεχομένου στην κρυφή μνήμη του RSU, όπου λαμβάνονται υπόψη τόσο το μέγεθος περιεχομένου όσο και η δημοτικότητα του περιεχομένου.
- Προτεινόμενος αλγόριθμος: Η τοποθέτηση του περιεχομένου στην κρυφή μνήμη του RSU καθορίζεται από τον Αλγόριθμο 2, όπου λαμβάνονται υπόψη τόσο το μέγεθος του περιεχομένου, η δημοτικότητά του καθώς και η ύπαρξη κάποιου disaster και η σοβαρότητα αυτού.

8.3 Ο προτεινόμενος αλγόριθμος του συστήματός μας

Αλγόριθμος

- Υπολογισμός της δημοτικότητας (popularity) του περιεχομένου που υπάρχει στο cloud, στην περιοχή κάλυψης του κάθε RSU.

$$popularity_i = N_i * T$$

- όπου N_i το πλήρως αναζητήσεων του περιεχομένου i
- όπου T το χρονικό πλαίσιο (T : τελευταία 120seconds σύμφωνα με LTE specifications)

- Αξιολόγηση του Disaster Severity Level (DSL) στην περιοχή κάλυψης του κάθε RSU.
- Υπολογισμός της τελικής δημοτικότητας (final popularity) του περιεχομένου που υπάρχει στο cloud στην περιοχή κάλυψης του κάθε RSU.

$$final_popularity_{disaster_management_service_i,RSU} = popularity_i * DSL_{RSU}$$

$$final_popularity_{non-disaster_management_service_i,RSU} = popularity_i * 1 / DSL_{RSU}$$

- Caching περιεχομένου βάσει του final_popularity στο κάθε RSU.

Κάθε φορά που ένα όχημα ζητάει περιεχόμενο από το Fog ή από το Cloud:

- Πραγματοποιείται ενημέρωση του popularity.

Αν αλλάξει το popularity ή το DSL στην περιοχή κάλυψης κάποιου RSU:

- Πηγαίνουμε ξανά στο Βήμα 1.

8.4 Η αρχιτεκτονική του συστήματος μας και οι παράμετροι που την αποτελούν

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής το δίκτυο που μελετήθηκε αποτελείται από 5 κεραιές LTE – A PRO FD-MIMO Macrocells. Η κάθε κεραιά λαμβάνει 20 οχηματικούς χρήστες κάθε φορά και 5 μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Aerial Base Stations). Η υλοποίηση μας εκτελέστηκε σε δίκτυο 6G. Η διάρκεια της προσομοίωσης είναι 300 seconds.

Οι χρήστες που ταξινομήθηκαν στην κεραιά κάθε φορά χρησιμοποιούν κάποιες συγκεκριμένες υπηρεσίες δικτύου και υπηρεσίες διαχείρισης καταστροφών.

Οι υπηρεσίες δικτύου είναι οι εξής :

- Autonomous driving
- Live Video Streaming
- Voice calling
- Web Browsing
- SDN controller : ο οποίος έχει την επίβλεψη όλου του συστήματος

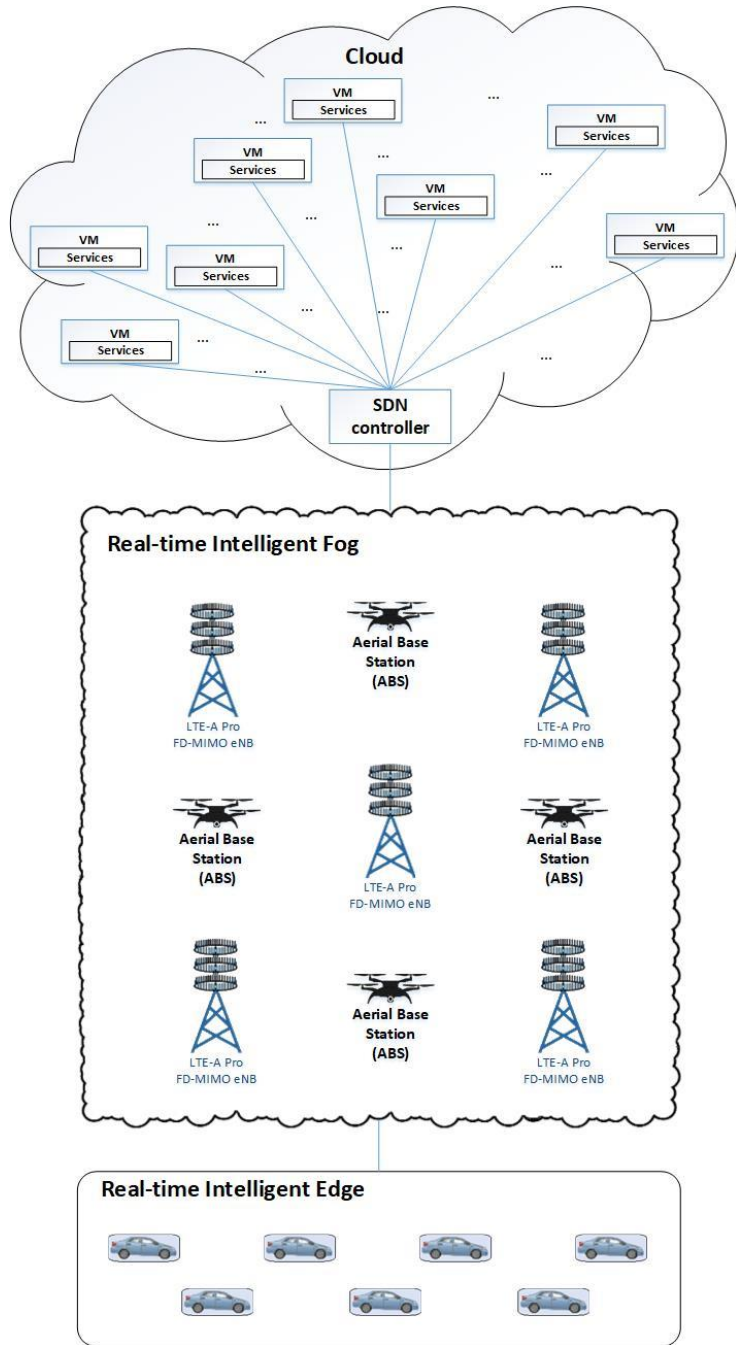
Οι υπηρεσίες διαχείρισης καταστροφών είναι :

- Disaster-aware information gathering(DIG)
- Live Video Streaming for Emergency Manipulation(LVS-EM)
- Image Transmission for Emergency Manipulation(IMT-EM)

Η τοπολογία περιέχει:

- Cloud Infrastructure
- Real-time Intelligent Fog
- Real-time Intelligent Edge

Υλοποιούμε ένα έξυπνο μηχανισμό caching περιεχομένου βάσει της δημοτικότητας του περιεχομένου και του Disaster Severity Level.



Εικόνα 8. Η τοπολογία του δικτύου προσομοίωσης

Συνοψίζοντας η προσομοίωση δικτύου θα εκτελεστεί σε συγκεκριμένη τοπολογία δικτύου (Εικόνα 8) 5 φορές, δηλαδή 1 φορά για κάθε severity level. Παρακάτω αναλύονται τα αποτελέσματα και απεικονίζονται τα διαγράμματα των αλγορίθμου σε σχέση με το relative delay, hit ratio κάθε severity level ξεχωριστά..

8.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Αξιολογούμε την απόδοση της πρότασής μας εκτελώντας την προσομοίωση σε Ns3. Στην προσομοίωση, υπάρχουν τέσσερα RSU και το καθένα μπορεί να συνεργάζεται με τα υπόλοιπα.

Η άφιξη των οχημάτων σε κάθε RSU γίνεται τυχαία. Ο συνολικός αριθμός περιεχομένου στην προσομοίωση ορίζεται σε 25. Ο ρυθμός μετάδοσης μεταξύ των οχημάτων έχει οριστεί σε 6 Mbps, το οποίο καθορίζεται ανάλογα με τη βέλτιστη τιμή του ρυθμού μετάδοσης για το όχημα επικοινωνιών .

Ο ρυθμός μετάδοσης όταν τα κινούμενα οχήματα που συνδέονται με τα σταθερά RSUs καθορίζεται με βάση το μοντέλο ζώνης, όπου η κάλυψη κάθε RSU χωρίζεται σε 7 ζώνες. Ο ρυθμός μετάδοσης μεταξύ δύο RSUs είναι 15 Mbps. Το μέγεθος της κρυφής μνήμης του OBU κάθε οχήματος είναι 10 Mbits.

Αρχικά, μελετάμε τα διαφορετικά σενάρια που λαμβάνει ένα όχημα ,το ζητούμενο περιεχόμενο με τις ακόλουθες μεθόδους.

- RSU Based Scheme (RBS): Ένα όχημα που ζητάει περιεχόμενο και το λαμβάνει απευθείας από το RSU.
- Vehicle Based Scheme (VBS): Εάν το περιεχόμενο μπορεί να παρασχεθεί από άλλα οχήματα σε κοντινή απόσταση, το όχημα λαμβάνει το περιεχόμενο από ένα από αυτά τα οχήματα. Διαφορετικά, το όχημα θα κατεβάσει το περιεχόμενο από το RSU.
- Η πρόταση: Το όχημα αποκτά το περιεχόμενο με βάση τον προτεινόμενο αλγόριθμο .

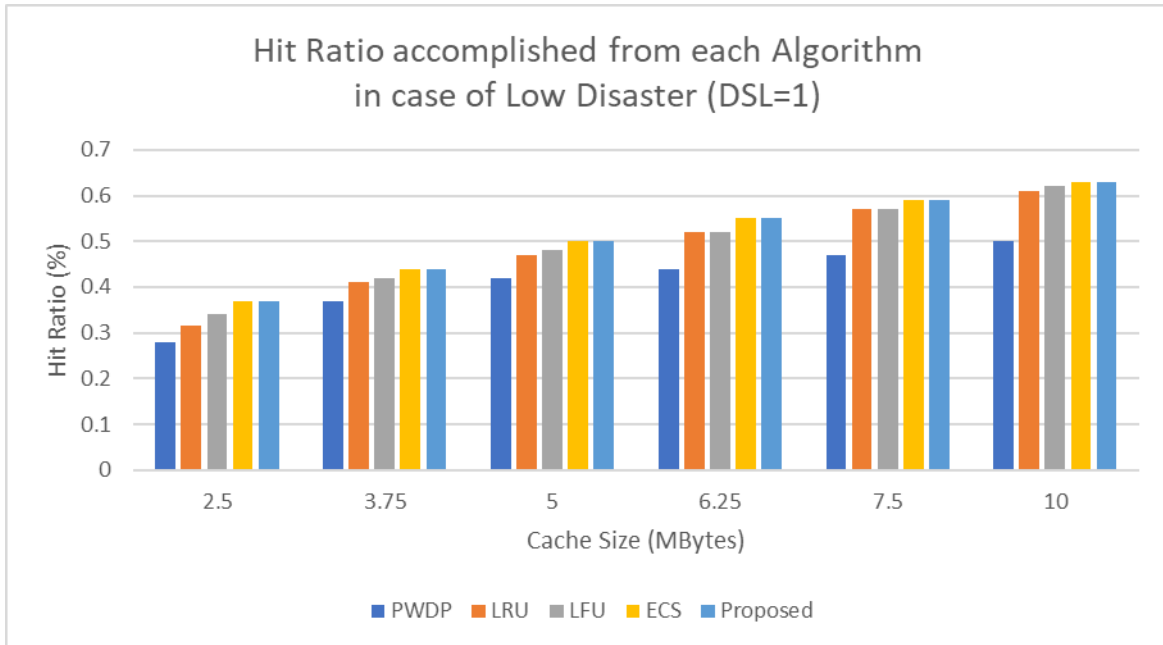
Στην πρότασή μας , τα περιεχόμενα αποθηκεύτηκαν στην κρυφή μνήμη τόσο σε οχήματα όσο και σε RSUs μέσω third-party πλατφόρμας λογισμικού. Η πλατφόρμα μπορεί να υπολογίσει την καθυστέρηση που έχει ένα όχημα για να ανακτήσει το περιεχόμενο από διαφορετικούς ιστότοπους. Μετά από αυτό, το όχημα μπορεί να αποφασίσει να αποκτήσει το ζητούμενο περιεχόμενο με τον επιλεγμένο σύνδεσμο.

Στη συνέχεια, αξιολογούμε την απόδοση του αλγόριθμου της κρυφής μνήμης για τα RSUs που προτείνεται από αυτήν την εργασία όσο αφορά το relative delay, hit ratio.

Η χωρητικότητα προσωρινής αποθήκευσης του RSU μπορεί να ποικίλλει σε διαφορετικές καταστάσεις για διανομή περιεχομένου σε οχήματα. Εδώ, η χωρητικότητα προσωρινής αποθήκευσης ορίζεται από το μέγεθος της κρυφής μνήμης. Όταν το μέγεθος της κρυφής μνήμης είναι μεγάλο, ένα μεγάλο ποσοστό περιεχομένου που παραδίδεται μέσω του δικτύου μπορεί να αποθηκευτεί στην κρυφή μνήμη. Ωστόσο, στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές, λόγω του κόστους διαχείρισης και διατήρησης αντιγράφων στη μνήμη cache, το μέγεθος της κρυφής μνήμης είναι σχετικά μικρό, όπου μόνο ένα μικρό μέρος του περιεχομένου μπορεί να αποθηκευτεί στη μνήμη cache. Επομένως, η απόδοση του αλγορίθμου προσωρινής αποθήκευσης, όταν πραγματοποιείται για να εκχωρηθεί μια περιορισμένη χωρητικότητα κρυφής μνήμης, θα πρέπει να αξιολογηθεί.

Πίνακας 4 – Το Hit Ratio που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για την περίπτωση του Low Disaster (DSL=1)

PWDP	LRU	LFU	ECS	Proposed	DSL	Cache size in MB
0.28	0.315	0.34	0.37	0.37	1	2.5
0.37	0.41	0.42	0.44	0.44	1	3.75
0.42	0.47	0.48	0.5	0.5	1	5
0.44	0.52	0.52	0.55	0.55	1	6.25
0.47	0.57	0.57	0.59	0.59	1	7.5
0.5	0.61	0.62	0.63	0.63	1	10

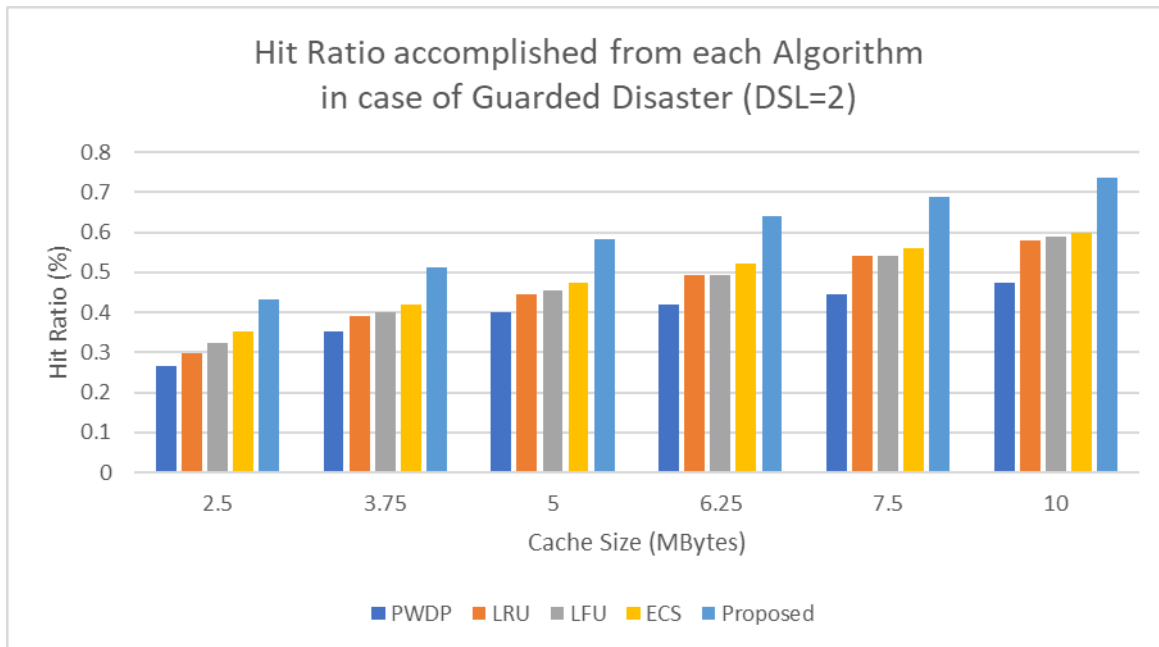


Εικόνα 9. Γραφική αναπαράσταση του Hit Ratio που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για την περίπτωση του Low Disaster (DSL=1)

Διεξάγουμε τις προσομοιώσεις των τεσσάρων αλγορίθμων προσωρινής αποθήκευσης με τέσσερα RSUs στην περιοχή, όπου η χωρητικότητα κάθε RSU αλλάζει από 2,5 σε 10 MByte. Στην Εικόνα 9, η αναλογία χτυπήματος ποικίλλει ανάλογα το μέγεθος της κρυφής μνήμης που αλλάζει. Λόγω του γεγονότος ότι περισσότερο περιεχόμενο μπορεί να αποθηκευτεί προσωρινά στο RSU και να παρέχεται στα οχήματα απευθείας όταν η χωρητικότητα κάθε RSU είναι μεγάλη, η αναλογία επιτυχίας όλων των αλγορίθμων μειώνεται όταν μειώνεται και το μέγεθος της κρυφής μνήμης. Ωστόσο, ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί ακόμα να λάβει την υψηλότερη αναλογία επιτυχίας με διαφορετική χωρητικότητα κρυφής μνήμης σε σύγκριση με άλλα σχήματα. Ο λόγος είναι ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να επιλέξει το περιεχόμενο να αποθηκευτεί προσωρινά σε RSU με την αποτελεσματική κατανομή της χωρητικότητας της κρυφής μνήμης με βάση την ανάλυση της κατανομής περιεχομένου οχημάτων μεταξύ RSU ακόμη και όταν το μέγεθος της κρυφής μνήμης είναι μειωμένο.

Πίνακας 5 – Το Hit Ratio που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για την περίπτωση του Guarded Disaster (DSL=2)

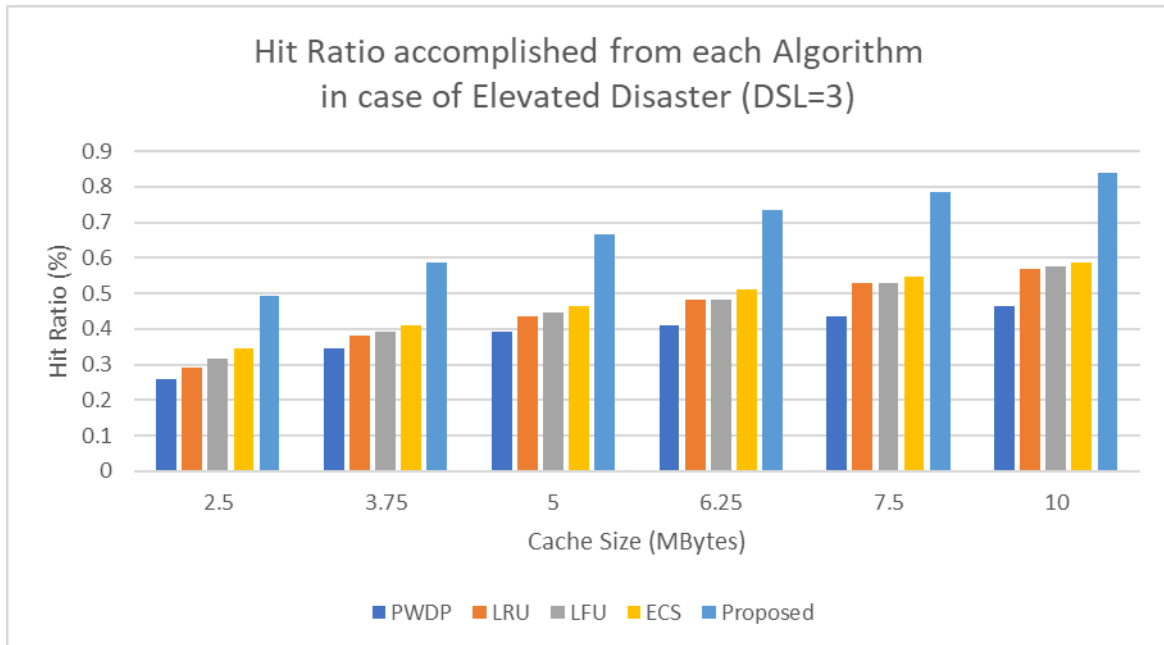
PWDP	LRU	LFU	ECS	Proposed	DSL	Cache size in MB
0.266	0.29925	0.323	0.3515	0.431667	2	2.5
0.3515	0.3895	0.399	0.418	0.513333	2	3.75
0.399	0.4465	0.456	0.475	0.583333	2	5
0.418	0.494	0.494	0.5225	0.641667	2	6.25
0.4465	0.5415	0.5415	0.5605	0.688333	2	7.5
0.475	0.5795	0.589	0.5985	0.735	2	10



Εικόνα 10. Γραφική αναπαράσταση του Hit Ratio που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για την περίπτωση του Guarded Disaster (DSL=2)

Πίνακας 6 – Το Hit Ratio που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για την περίπτωση του Elevated Disaster (DSL=3)

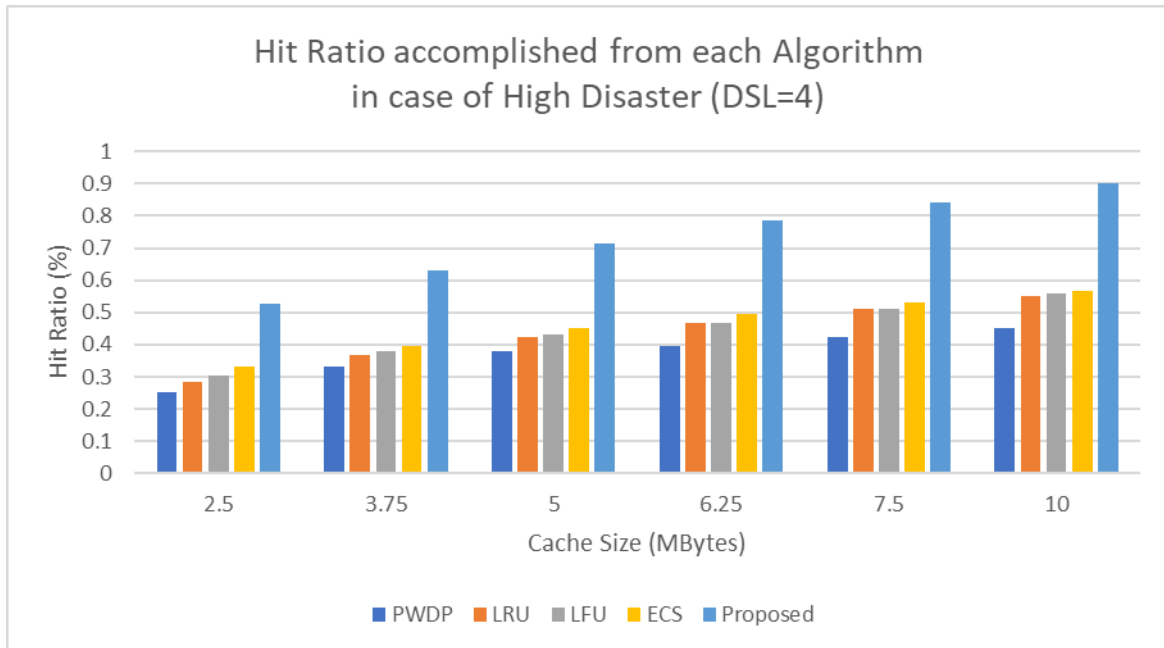
PWDP	LRU	LFU	ECS	Proposed	DSL	Cache size in MB
0.2604	0.29295	0.3162	0.3441	0.493333	3	2.5
0.3441	0.3813	0.3906	0.4092	0.586667	3	3.75
0.3906	0.4371	0.4464	0.465	0.666667	3	5
0.4092	0.4836	0.4836	0.5115	0.733333	3	6.25
0.4371	0.5301	0.5301	0.5487	0.786667	3	7.5
0.465	0.5673	0.5766	0.5859	0.84	3	10



Εικόνα 11. Γραφική αναπαράσταση του Hit Ratio που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για την περίπτωση του Elevated Disaster (DSL=3)

Πίνακας 7 – Το Hit Ratio που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για την περίπτωση του High Disaster (DSL=4)

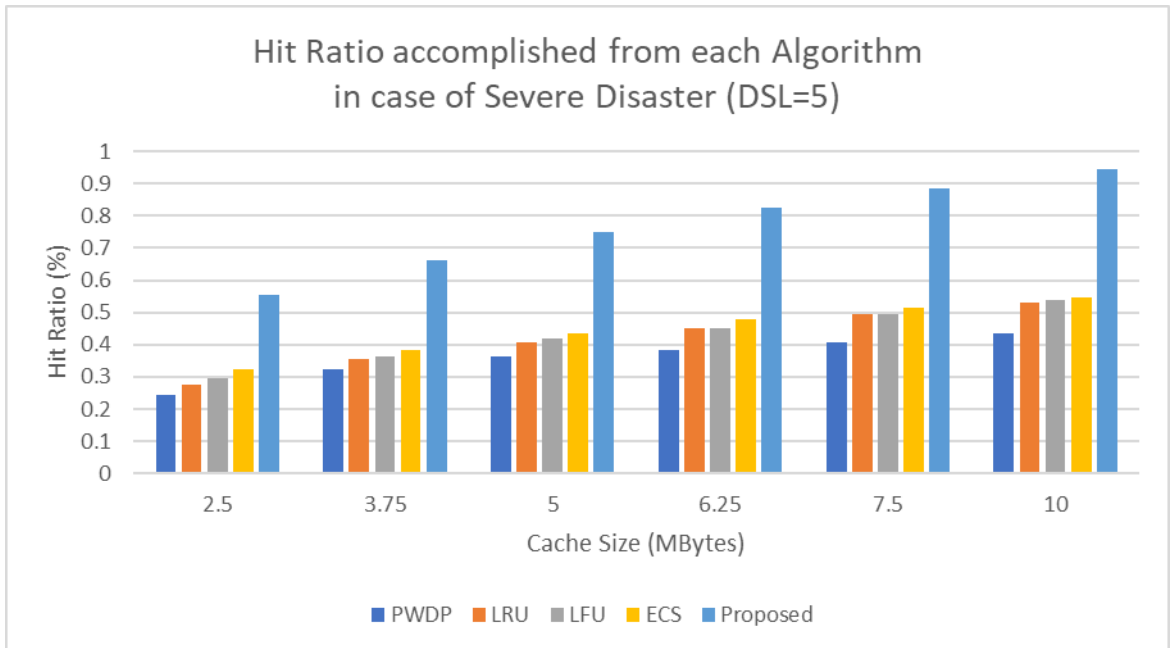
PWDP	LRU	LFU	ECS	Proposed	DSL	Cache size in MB
0.252	0.2835	0.306	0.333	0.528571	4	2.5
0.333	0.369	0.378	0.396	0.628571	4	3.75
0.378	0.423	0.432	0.45	0.714286	4	5
0.396	0.468	0.468	0.495	0.785714	4	6.25
0.423	0.513	0.513	0.531	0.842857	4	7.5
0.45	0.549	0.558	0.567	0.9	4	10



Εικόνα 12. Γραφική αναπαράσταση του Hit Ratio που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για την περίπτωση του High Disaster (DSL=4)

Πίνακας 8 – Το Hit Ratio που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για την περίπτωση του Severe Disaster (DSL=5)

PWDP	LRU	LFU	ECS	Proposed	DSL	Cache size in MB
0.2436	0.27405	0.2958	0.3219	0.555	5	2.5
0.3219	0.3567	0.3654	0.3828	0.66	5	3.75
0.3654	0.4089	0.4176	0.435	0.75	5	5
0.3828	0.4524	0.4524	0.4785	0.825	5	6.25
0.4089	0.4959	0.4959	0.5133	0.885	5	7.5
0.435	0.5307	0.5394	0.5481	0.945	5	10

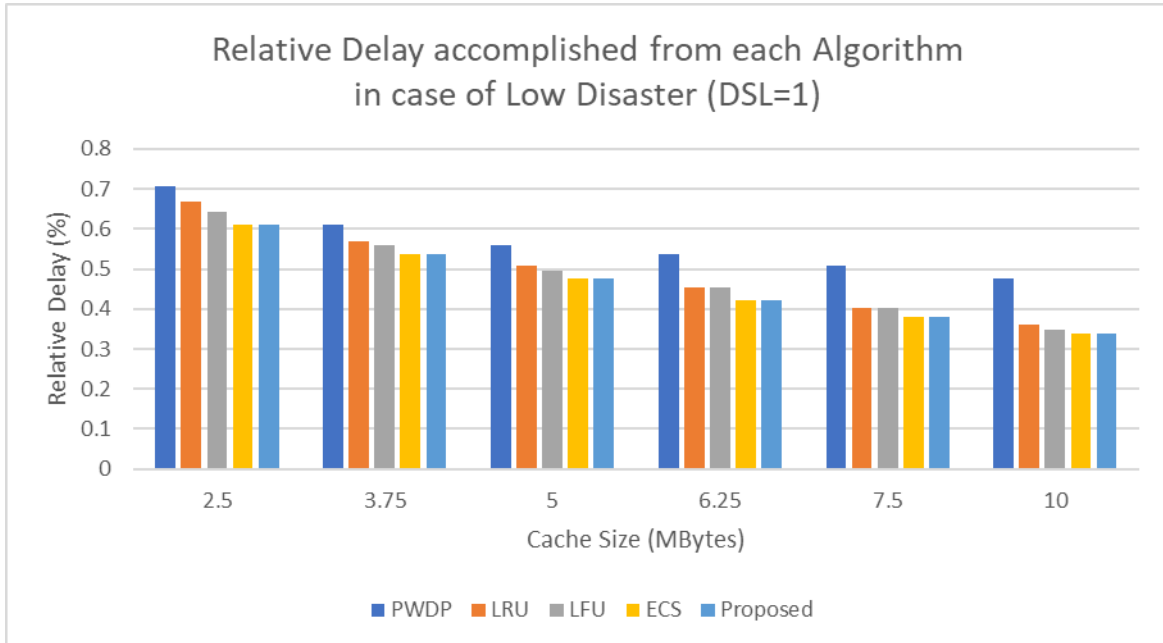


Εικόνα 13. Γραφική αναπαράσταση του Hit Ratio που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για την περίπτωση του Severe Disaster (DSL=5)

Το Σχήμα δείχνει τη σχετική καθυστέρηση της πρότασης μας σε σύγκριση με άλλους αλγόριθμους. Μπορούμε να δούμε ότι η σχετική καθυστέρηση του προτεινόμενου αλγόριθμου εξακολουθεί να είναι η χαμηλότερη όταν αλλάζει το μέγεθος της κρυφής μνήμης. Το PWDP επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη καθυστέρηση καθώς δεν λαμβάνει υπόψη τη δυναμική αλλαγή της δημοτικότητας των περιεχομένων. Επομένως, ορισμένα αντίγραφα περιεχομένου που είναι απαραίτητα για την παροχή κινούμενων οχημάτων δεν μπορούν να διατηρηθούν εγκαίρως στην κρυφή μνήμη του RSU. Όσον αφορά το LRU και το LFU, ορισμένα περιεχόμενα με μικρό μέγεθος δεν θεωρούνται προσωρινά στο RSU. Ως εκ τούτου, μπορεί να γίνει γνωστό ότι η πρότασή μας έχει καλύτερη απόδοση από τους άλλους τέσσερις αλγόριθμους όσον αφορά τόσο το hit ratio και τη Relative Delay.

Πίνακας 9 – Η σχετική καθυστέρηση που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για το Low Disaster (DSL=1)

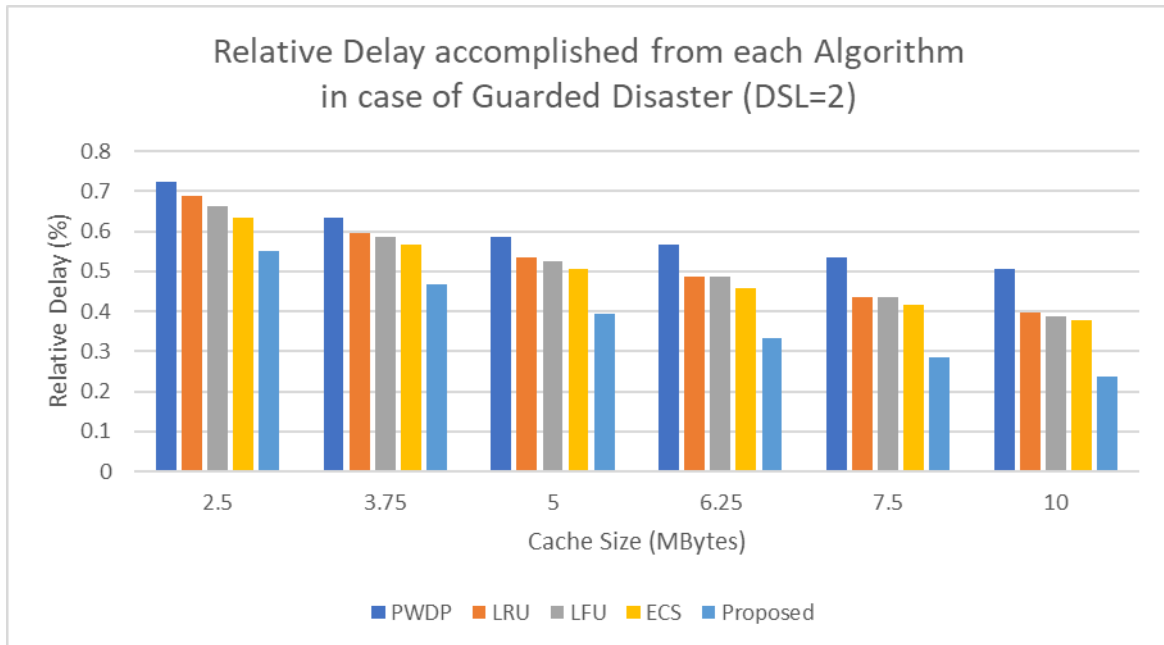
PWDP	LRU	LFU	ECS	Proposed	DSL	Cache size in MB
0.706	0.66925	0.643	0.6115	0.6115	1	2.5
0.6115	0.5695	0.559	0.538	0.538	1	3.75
0.559	0.5065	0.496	0.475	0.475	1	5
0.538	0.454	0.454	0.4225	0.4225	1	6.25
0.5065	0.4015	0.4015	0.3805	0.3805	1	7.5
0.475	0.3595	0.349	0.3385	0.3385	1	10



Εικόνα 14. Γραφική αναπαράσταση της σχετικής καθυστέρησης που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για το Low Disaster (DSL=1)

Πίνακας 10 – Η σχετική καθυστέρηση που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για το Guarded Disaster (DSL=2)

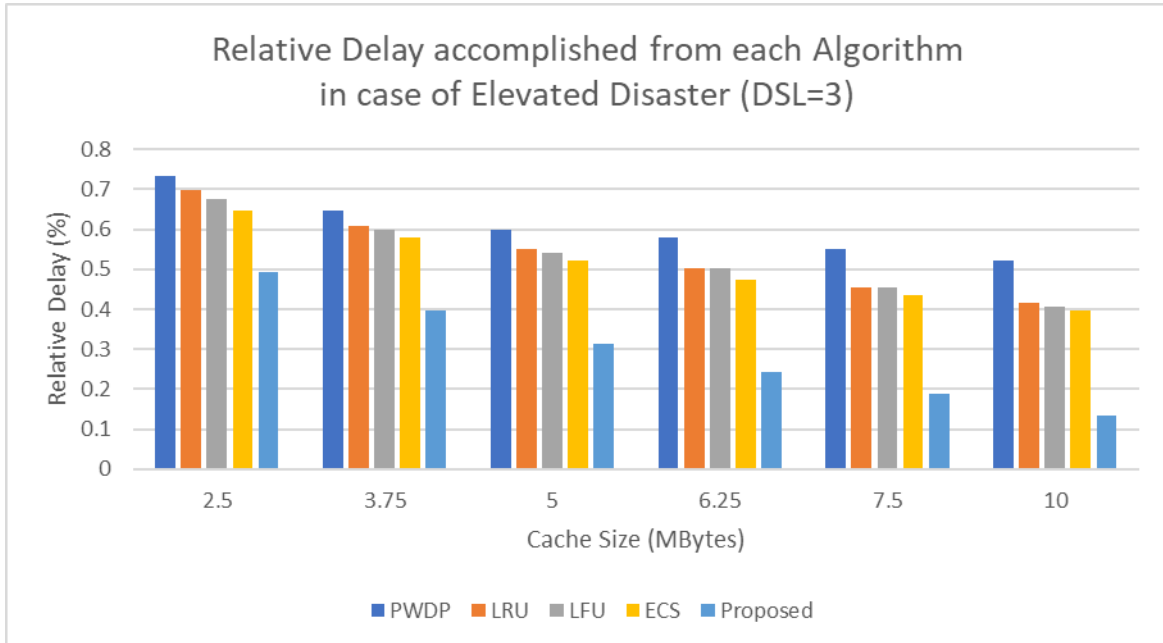
PWDP	LRU	LFU	ECS	Proposed	DSL	Cache size in MB
0.72336	0.68878	0.66408	0.63444	0.551067	2	2.5
0.63444	0.59492	0.58504	0.56528	0.466133	2	3.75
0.58504	0.53564	0.52576	0.506	0.393333	2	5
0.56528	0.48624	0.48624	0.4566	0.332667	2	6.25
0.53564	0.43684	0.43684	0.41708	0.284133	2	7.5
0.506	0.39732	0.38744	0.37756	0.2356	2	10



Εικόνα 15. Γραφική αναπαράσταση της σχετικής καθυστέρησης που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για το Guarded Disaster (DSL=2)

Πίνακας 11 – Η σχετική καθυστέρηση που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για το Elevated Disaster (DSL=3)

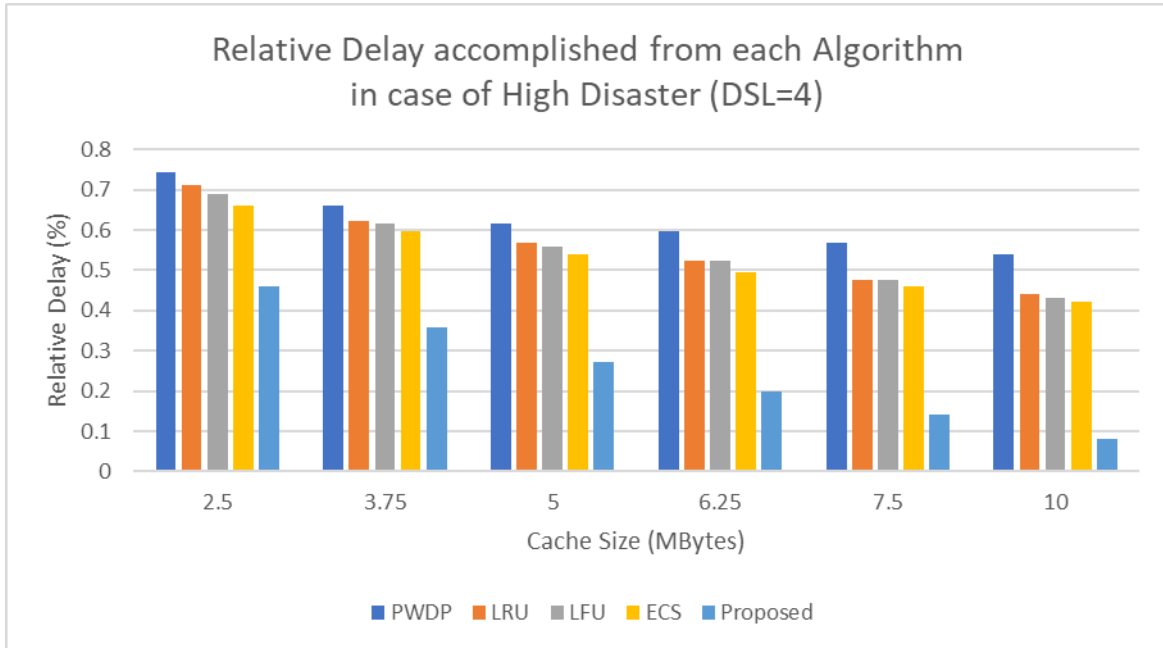
PWDP	LRU	LFU	ECS	Proposed	DSL	Cache size in MB
0.731788	0.6982615	0.674314	0.645577	0.491867	3	2.5
0.645577	0.607261	0.597682	0.578524	0.395733	3	3.75
0.597682	0.549787	0.540208	0.52105	0.313333	3	5
0.578524	0.501892	0.501892	0.473155	0.244667	3	6.25
0.549787	0.453997	0.453997	0.434839	0.189733	3	7.5
0.52105	0.415681	0.406102	0.396523	0.1348	3	10



Εικόνα 16. Γραφική αναπαράσταση της σχετικής καθυστέρησης που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για το Elevated Disaster (DSL=3)

Πίνακας 12 – Η σχετική καθυστέρηση που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για το High Disaster (DSL=4)

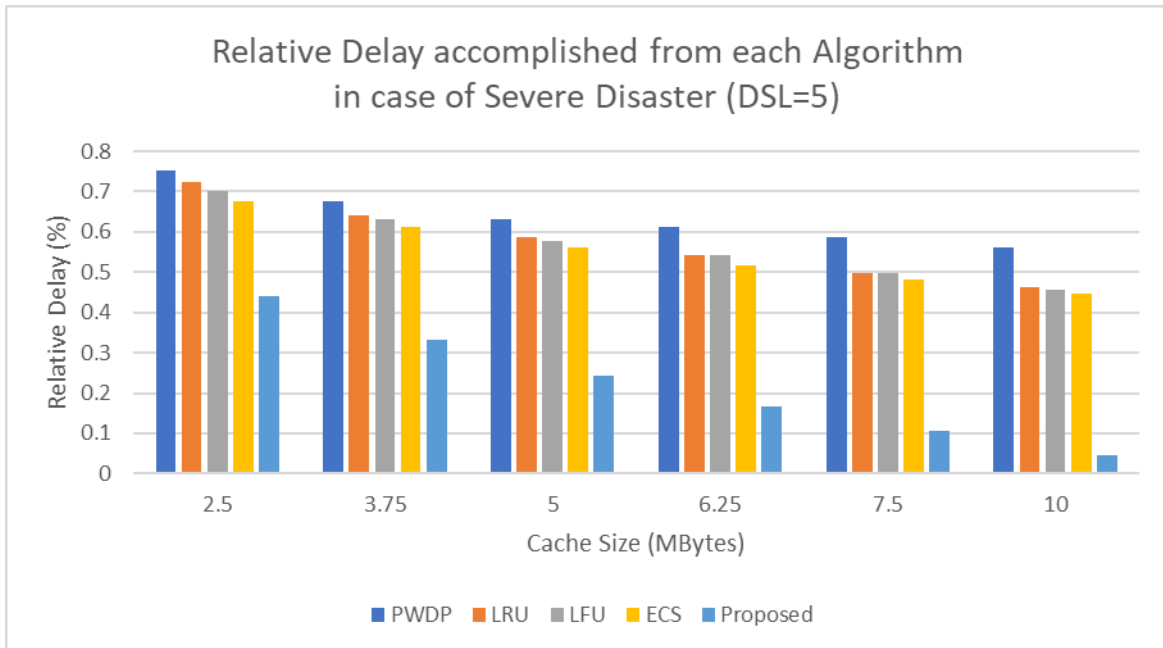
PWDP	LRU	LFU	ECS	Proposed	DSL	Cache size in MB
0.74296	0.71083	0.68788	0.66034	0.460857	4	2.5
0.66034	0.62362	0.61444	0.59608	0.358857	4	3.75
0.61444	0.56854	0.55936	0.541	0.271429	4	5
0.59608	0.52264	0.52264	0.4951	0.198571	4	6.25
0.56854	0.47674	0.47674	0.45838	0.140286	4	7.5
0.541	0.44002	0.43084	0.42166	0.082	4	10



Εικόνα 17. Γραφική αναπαράσταση της σχετικής καθυστέρησης που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για το High Disaster (DSL=4)

Πίνακας 13 – Η σχετική καθυστέρηση που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για το Severe Disaster (DSL=5)

PWDP	LRU	LFU	ECS	Proposed	DSL	Cache size in MB
0.753964	0.7232095	0.701242	0.674881	0.43945	5	2.5
0.674881	0.639733	0.630946	0.613372	0.3334	5	3.75
0.630946	0.587011	0.578224	0.56065	0.2425	5	5
0.613372	0.543076	0.543076	0.516715	0.16675	5	6.25
0.587011	0.499141	0.499141	0.481567	0.10615	5	7.5
0.56065	0.463993	0.455206	0.446419	0.04555	5	10



Εικόνα 18. Γραφική αναπαράσταση της σχετικής καθυστέρησης που επιτυγχάνεται από τον κάθε αλγόριθμο για το Severe Disaster (DSL=5)

Τα σχήματα των Εικόνων 14 έως 18 δείχνουν τη σχετική καθυστέρηση της πρότασης μας σε σύγκριση με άλλους αλγόριθμους. Μπορούμε να δούμε ότι η σχετική καθυστέρηση του προτεινόμενου αλγόριθμου εξακολουθεί να είναι η χαμηλότερη όταν αλλάζει το μέγεθος της κρυφής μνήμης. Το PWDP επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη καθυστέρηση καθώς δεν λαμβάνει υπόψη τη δυναμική αλλαγή της δημοτικότητας των περιεχομένων. Επομένως, ορισμένα αντίγραφα περιεχομένου που είναι απαραίτητα για την παροχή κινούμενων οχημάτων δεν μπορούν να διατηρηθούν εγκαίρως στην κρυφή μνήμη του RSU. Όσον αφορά το LRU και το LFU, ορισμένα περιεχόμενα με μικρό μέγεθος δεν θεωρούνται προσωρινά στο RSU. Ως εκ τούτου, μπορεί να γίνει γνωστό ότι η πρότασή μας έχει καλύτερη απόδοση από τους άλλους τέσσερις αλγόριθμους όσον αφορά τόσο το hit ratio και τη Relative Delay.

9. Συμπεράσματα

Σε αυτήν την εργασία, έχει προταθεί ένα σχήμα προσωρινής αποθήκευσης για VCNs για να παρέχουν παράδοση περιεχομένου για οχήματα. Αναπτύχθηκε ένα αναλυτικό μοντέλο που λαμβάνει υπόψη την ταχύτητα του οχήματος, την οδική κυκλοφορία και τη δημοτικότητα του περιεχομένου για την διανομή περιεχομένου στην άκρη των VCNs καθώς και το Disaster Severity Level. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της σχετικής καθυστέρησης ανάκτησης του ζητούμενου περιεχομένου από κινούμενα οχήματα και αυτό τα RSUs. Με βάση τις αποφάσεις αιτημάτων περιεχομένου οχημάτων, έχει στη συνέχεια παρουσιάστηκε ένα σχήμα δυναμικής αποθήκευσης περιεχομένου βάσει διασταυρούμενης εντροπίας για τον προσδιορισμό της τοποθέτησης περιεχομένου στην κρυφή μνήμη του RSU με τη συνεργασία των OBU και άλλων RSUs σε κοντινή απόσταση. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έχουν δείξει τη βελτίωση της απόδοσης χρησιμοποιώντας το προτεινόμενο σχήμα. Για τις μελλοντικές εργασίες, καθώς τα RSUs βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες και ανήκουν σε διαφορετικούς φορείς εκμετάλλευσης δικτύου, θα εξεταστεί το μοντέλο τιμολόγησης της συνεργασίας μεταξύ των RSUs για την παροχή περιεχομένου σε οχήματα.

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα, μπορούμε να γνωρίζουμε ότι το προτεινόμενο σχήμα προσωρινής αποθήκευσης μπορεί να έχει καλύτερη απόδοση από τα συμβατικά σχήματα προσωρινής αποθήκευσης. Οι λόγοι είναι οι εξής. Πρώτον, η πρόταση βασίζεται στα αιτήματα των οχημάτων και μπορεί να προσαρμοστεί στα αιτήματα των οχημάτων δυναμικά. Δεύτερον, η πρόταση παίρνει λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη συνεργασία μεταξύ των οχημάτων όσο και των RSUs για την διανομή περιεχομένου του οχημάτων από κοινού. Επιπλέον, το προτεινόμενο σχήμα προσωρινής αποθήκευσης είναι εύκολο να γίνει Intelligent με τη χρήση του πλατφόρμας λογισμικού. Χρησιμοποιώντας μια τέτοια πλατφόρμα, τα οχήματα μπορούν να αποκτήσουν περιεχόμενα με σύνεση και τα RSUs μπορούν να διαχειριστούν τα περιεχόμενα που είναι αποθηκευμένα στην κρυφή μνήμη στον buffer τους και να συνεργάζονται αποτελεσματικά μεταξύ τους.

Βιβλιογραφικές πηγές

1. Solyman, A. A. A., & Yahya, K. (2022). Evolution of wireless communication networks: from 1G to 6G and future perspective. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(4), 3943.
2. Churi, J. R., Surendran, T. S., Tigdi, S. A., & Yewale, S. (2012, August). Evolution of networks (2G-5G). In *International Conference on Advances in Communication and Computing Technologies (ICACACT)* (Vol. 51, No. 4, pp. 8-13).
3. Erunkulu, O. O., Zungeru, A. M., Lebekwe, C. K., Mosalaosi, M., & Chuma, J. M. (2021). 5G mobile communication applications: A survey and comparison of use cases. *IEEE Access*, 9, 97251-97295.
4. Navarro-Ortiz, J., Romero-Diaz, P., Sendra, S., Ameigeiras, P., Ramos-Munoz, J. J., & Lopez-Soler, J. M. (2020). A survey on 5G usage scenarios and traffic models. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(2), 905-929.
5. Banafaa, M., Shayea, I., Din, J., Azmi, M. H., Alashbi, A., Daradkeh, Y. I., & Alhammadi, A. (2023). 6G mobile communication technology: Requirements, targets, applications, challenges, advantages, and opportunities. *Alexandria Engineering Journal*, 64, 245-274.
6. Qi, W., Li, Q., Song, Q., Guo, L., & Jamalipour, A. (2021). Extensive edge intelligence for future vehicular networks in 6G. *IEEE Wireless Communications*, 28(4), 128-135.
7. Boukerche, A., & Robson, E. (2018). Vehicular cloud computing: Architectures, applications, and mobility. *Computer networks*, 135, 171-189.
8. Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing.
9. Whaiduzzaman, M., Sookhak, M., Gani, A., & Buyya, R. (2014). A survey on vehicular cloud computing. *Journal of Network and Computer applications*, 40, 325-344.
10. Frustaci, M., Pace, P., Aloï, G., & Fortino, G. (2017). Evaluating critical security issues of the IoT world: Present and future challenges. *IEEE Internet of things journal*, 5(4), 2483-2495.
11. Gu, L., Zeng, D., & Guo, S. (2013, December). Vehicular cloud computing: A survey. In *2013 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)* (pp. 403-407). IEEE.
12. Dinh, H. T., Lee, C., Niyato, D., & Wang, P. (2013). A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches. *Wireless communications and mobile computing*, 13(18), 1587-1611.
13. Liu, H., Eldarrat, F., Alqahtani, H., Reznik, A., De Foy, X., & Zhang, Y. (2017). Mobile edge cloud system: Architectures, challenges, and approaches. *IEEE Systems Journal*, 12(3), 2495-2508.
14. Su, Z., Hui, Y., Xu, Q., Yang, T., Liu, J., & Jia, Y. (2018). An edge caching scheme to distribute content in vehicular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(6), 5346-5356.
15. Gad-el-Hak, M. (2009). The art and science of large-scale disasters. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 3-34.