



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Εφαρμογή του Mobile Edge Computing στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελισάβετ Δ. Γιαννακίδου

Επιβλέπων καθηγητής: Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2019



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

Εφαρμογή του Mobile Edge Computing στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελισάβετ Δ. Γιαννακίδου

Επιβλέπων καθηγητής: Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....

Παναγιώτης Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Γεώργιος Φικίωρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2019

.....

Ελισάβετ Δ. Γιαννακίδου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ελισάβετ Γιαννακίδου, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου κ. Κωττή Παναγιώτη για τη συνεχή καθοδήγηση, τις συμβουλές και την υποστήριξη του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Επιπλέον, οφείλω να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Μακρή Αναστάσιο για την παροχή πληροφοριών για την υλοποίηση της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Στη μνήμη του πατέρα μου,

Πίνακας περιεχομένων

Κατάλογος συντμήσεων	11
Κατάλογος απόδοσης αγγλικών όρων	12
Κατάλογος Σχημάτων και Πινάκων	13
Περίληψη.....	15
Abstract	16
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	17
1.1 Ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων	17
1.1.1 Διαδίκτυο των πραγμάτων: Τρέχουσα κατάσταση	17
1.1.2 Διαδίκτυο των Οχημάτων.....	18
1.2 Ο ρόλος των παρυφών του δικτύου	19
1.3 Ανάπτυξη Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	20
1.4 Εξέλιξη κινητής ασύρματης επικοινωνίας.....	21
1.4.1 Ανάπτυξη LTE δικτύου	21
1.4.2 Αρχιτεκτονική LTE δικτύου	22
1.5 Γενικά περί MEC.....	23
Κεφάλαιο 2: Υπόβαθρο Ηλεκτρικών και Διασυνδεδεμένων Οχημάτων.....	25
2.1 Εισαγωγή.....	25
2.1.1 Βασικοί Ορισμοί.....	25
2.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικού οχήματος	26
2.2 Σύστημα ελέγχου μπαταρίας	27
2.2.1 Μπαταρία Μόλυβδου-Οξέος.....	28
2.2.2 Μπαταρία με βάση το Νικέλιο	29
2.2.3 Μπαταρία με βάση το Λίθιο	30
2.3 Σύστημα φρεναρίσματος.....	31
2.4 Σύστημα ψύξης και θέρμανσης.....	32
2.5 Είδη κινητήρων ηλεκτρικού οχήματος	33
2.6 Τρόποι φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος	35
2.6.1 Πρώτο επίπεδο φόρτισης: Φόρτιση συνεχούς ροής.....	35
2.6.2 Δεύτερο επίπεδο φόρτισης: Φόρτιση στο σπίτι και στο δρόμο	35
2.6.3 Τρίτο επίπεδο φόρτισης: Γρήγορη DC φόρτιση	37
2.7 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ηλεκτρικού οχήματος	37
2.7.1 Παραγωγή ηλεκτρικού οχήματος.....	37
2.7.2 Λειτουργία.....	37
2.7.3 Απόσυρση	37
2.7.4 Αποτελέσματα.....	38
2.8 Οικονομική προσέγγιση ηλεκτρικών οχημάτων	39
2.8.1 Κόστος ηλεκτρικού οχήματος	39
2.8.2 Κόστος υποδομών φόρτισης	39
Κεφάλαιο 3: Αρχιτεκτονική Mobile Edge Computing.....	41
3.1 Εισαγωγή.....	41
3.2 Λειτουργικό πλαίσιο MEC	42
3.3 MEC αρχιτεκτονική αναφοράς	43
3.3.1 Επίπεδο συστήματος	44
3.3.2 Επίπεδο ξενιστή	44
3.4 Πεδία εφαρμογής MEC	45

3.4.1	Επαυξημένη πραγματικότητα.....	46
3.4.2	Έξυπνη βελτιστοποίηση βίντεο	46
3.4.3	Σενάριο IoT πύλης	47
3.4.5	Διασυνδεδεμένα οχήματα.....	48
3.5	Mobile edge computing στο αυτοκινητιστικό σύστημα.....	49
3.6	Περιπτώσεις edge computing στα διασυνδεδεμένα οχήματα	50
3.6.1	Πρώτο σενάριο: Επίγνωση γεγονότων σε πραγματικό χρόνο	50
3.6.2	Δεύτερο σενάριο: See-through (κατά την προσπέραση)	51
3.6.3	Τρίτο σενάριο: Ανίχνευση ευάλωτης ομάδας στο δρόμο.....	51
3.6.4	Φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων	52
3.7	Από τη θεωρία στην πράξη.....	53
Κεφάλαιο 4: Mobile Edge Computing στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων		55
4.1	MEC για τα δίκτυα οχημάτων	55
4.1.1	Επικοινωνία στο δίκτυο οχημάτων	55
4.1.2	Αρχιτεκτονική ενός MEC δικτύου για οχήματα.....	55
4.2	Το πρωτόκολλο LTE στη V2G τεχνολογία	56
4.3	Αρχιτεκτονική πλαισίου φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος.....	58
4.3.1	Αρχιτεκτονική δικτύου φόρτισης οχημάτων	60
4.3.2	Πρόταση αρχιτεκτονικής προτύπου φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος.....	62
4.3.3	Μοντέλο του δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	64
4.4	MEC στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων	65
4.4.1	Τεχνολογίες επικοινωνίας στο MEC σύστημα.....	67
4.4.2	Σύστημα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με εφαρμογή MEC.....	68
4.4.3	Μοντελοποίηση φόρτισης και ευφυΐα αρχιτεκτονικής MEC.....	70
4.5	Πρόταση ενός SDN δικτύου με εφαρμογή MEC	71
4.5.1	Αρχιτεκτονική συστήματος SDN με αρχιτεκτονική MEC	71
4.5.2	Ασφάλεια ηλεκτρικού οχήματος	72
Κεφάλαιο 5: Διαστασιολόγηση της φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος		74
5.1	Γενικά στοιχεία	74
5.1.1	V2V και V2I αλληλεπιδράσεις μεταξύ οχήματος και RSU.....	75
5.1.2	Δομή μηνύματος από τις οντότητες RSU	75
5.1.3	Δομή μηνύματος απάντησης ηλεκτρικών οχημάτων.....	76
5.1.4	Διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων	77
5.2	Τροποποίηση διαδικασίας φόρτισης	78
5.2.1	Σενάριο φόρτιση με εφαρμογή της LTE αρχιτεκτονικής	79
5.2.2	Σενάριο φόρτισης με εφαρμογή της αρχιτεκτονικής MEC	82
5.2.3	Παραμετροποίηση προβλήματος κινούμενων οχημάτων.....	85
5.3	Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος στην οικία	85
5.3.1	Σενάριο φόρτισης με την εφαρμογή αρχιτεκτονικής LTE	85
5.3.2	Σενάριο φόρτισης με την εφαρμογή αρχιτεκτονικής MEC	87
5.3.3	Παραμετροποίηση προβλήματος φόρτισης στην οικία.....	90
Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις.....		91
Βιβλιογραφία		92

Κατάλογος Συντμήσεων

3G/4G/5G – 3rd/4th/5th Generation
3GPP – 3rd Generation Partnership Project
HE- Ηλεκτρική Ενέργεια
AC- Alternating Current
AR- Augmented Reality
BEV- Battery Electric Vehicle
CDMA- Code Division Multiple Access
CS- Charging Station
DC- Direct Current
DSRC- Dedicated Short Range Communication
EEV- Electric Expansion Valve
EPC- Enhanced Packet Core
ETSI- European Telecommunication Standards Institute
E-UTRAN- Evolved UTRAN
EV- Electric Vehicle
EVCE- Electric Vehicles Cloud and Edge
EVSE- Electric Vehicle Supply Equipment
FMC- Follow Me to the Cloud
GCC- Global Charging Controller
GPS- Global Positioning System
HSS- Home Subscriber Server
HTTP- Hypertext Transfer Protocol
ICT- Information and Communications Technology
IDEVA- Indoor Evaporator
IoV- Internet of Vehicles
IoT- Internet of Things
LCM- Lifecycle Management
LTE- Long Term Evolution
MANET- Mobile Ad-Hoc Network
ME- Mobile Edge
MEC- Mobile Edge Computing
MEO- Mobile Edge Orchestrator
MME- Mobility Management Entity
MMS- Multimedia Message Service
M2H- Machine to Human
M2M- Machine to Machine
NiCd- Nickel Cadmium
NiMH- Nickel Metal Hydride
OBU- On Board Unit
ODHX- Outdoor Heat Exchanger
OSS- Operation Support System
PHEV- Plug-in Hybrid Electric Vehicle
P/S- Publish/Subscribe
QoE- Quality of Experience
RAN- Radio Access Network
RSU- Road Side Unit

SDN- Software Defined Network
S-GW- Serving Gateway
SMS- Short Message Service
SOC- State of Charge
SOH- State of Health
TCP- Transmission Control Protocol
TDMA- Time Division Multiple Access
UE- User Equipment
VANET- Vehicle Ad-Hoc Network
VRU- Vulnerable Roadside Unit
VSDN- Video over Software Defined Network
V2G- Vehicle to Grid
V2H- Vehicle to Home
V2I- Vehicle to Infrastructure
V2L- Vehicle to Line
V2P- Vehicle to Pedestrian
V2V- Vehicle to Vehicle
V2X- Vehicle to Everything
WAVE- Wireless Access in Vehicular Environments
WiMAX- Worldwide Interoperability for Microwave Access

Κατάλογος απόδοσης αγγλικών όρων

Δίκτυο οχημάτων- Vehicular Network
Αλυσίδα συστοιχιών- Blockchain
Έξυπνη βελτιστοποίηση βίντεο- Intelligent Video Optimization
Επαυξημένη πραγματικότητα- Augmented reality
Ευάλωτη ομάδα στο δρόμο- Vulnerable Roadside Unite
Παρυφές δικτύου- Network edge
Φόρτιση συνεχούς ροής- Trickle Charge

Κατάλογος Σχημάτων και Πινάκων

Σχήμα 1.1 Αριθμός διασυνδεδεμένων συσκευών παγκοσμίως	17
Σχήμα 1.2 Είδη επικοινωνίας στο ΙοV	18
Σχήμα 1.3 Ροή ενέργειας στη V2G επικοινωνία.....	18
Σχήμα 1.4 Αρχιτεκτονική V2G επικοινωνίας	19
Σχήμα 1.5 Νέφος στα αστικά κέντρα	20
Σχήμα 1.6 Εξέλιξη κινητής επικοινωνίας.....	21
Σχήμα 1.7 Αρχιτεκτονική LTE δικτύου	22
Σχήμα 1.8 Αρχιτεκτονική πρωτόκολλου LTE	22
Σχήμα 1.9 Προβλήματα συμφόρησης στο LTE δίκτυο	23
Σχήμα 1.10 Κίνηση δεδομένων από το 2015 μέχρι το 2020	24
Σχήμα 1.11 Εφαρμογή MEC στο υπάρχον LTE δίκτυο.....	24
Σχήμα 2.1 Διασυνδεδεμένο όχημα	25
Σχήμα 2.2 Μπαταρία Μόλυβδου-Οξέος	28
Σχήμα 2.3 Μπαταρία Νικελίου-Καδμίου	29
Σχήμα 2.4 Μπαταρία Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου	30
Σχήμα 2.5 Μπαταρία Λιθίου Πολυμερούς	30
Σχήμα 2.6 Μπαταρία Ιόντων Λιθίου	31
Σχήμα 2.7 Σύστημα φρεναρίσματος	31
Σχήμα 2.8 Σχηματικό διάγραμμα αντλίας θέρμανσης	32
Σχήμα 2.9 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ψύξης	33
Σχήμα 2.10 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος θέρμανσης	33
Σχήμα 2.11 Είδη κινητήρων ηλεκτρικού οχήματος	34
Σχήμα 2.12 Εξοπλισμός πρώτου επιπέδου φόρτισης	35
Σχήμα 2.13 Πηγή 240V	36
Σχήμα 2.14 Δημόσιοι σταθμοί φόρτισης	36
Σχήμα 2.15 Επίπεδα εκπομπής αερίων ανά κατηγορία οχήματος	38
Σχήμα 2.16 Επίπεδα αερίων εξάτμισης ανά κατηγορία οχήματος	38
Σχήμα 2.17 Σταθμοί φόρτισης ανά 100km	39
Σχήμα 3.1 Επεξεργασία δεδομένων στα άκρα του δικτύου	41
Σχήμα 3.2 Λειτουργικό πλαίσιο MEC	43
Σχήμα 3.3 Αρχιτεκτονική αναφοράς MEC	43
Σχήμα 3.4 Πεδία εφαρμογής του MEC.....	45
Σχήμα 3.5 Σενάριο επαυξημένης πραγματικότητας	46
Σχήμα 3.6 Σενάριο έξυπνης βελτιστοποίησης βίντεο	47
Σχήμα 3.7 Σενάριο ΙοT πύλης	47
Σχήμα 3.8 Σενάριο διασυνδεδεμένων οχημάτων	48
Σχήμα 3.9 Επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων του δικτύου	49
Σχήμα 3.10 Στοιχεία edge computing σε σύστημα οχημάτων.....	50
Σχήμα 3.11 Στιγμιότυπο πρώτου σεναρίου	50
Σχήμα 3.12 Στιγμιότυπο δεύτερου σεναρίου	51
Σχήμα 3.13 Στιγμιότυπο τρίτου σεναρίου	52
Σχήμα 3.14 V2X στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων	53
Σχήμα 3.15 Πειραματικό σενάριο MEC	53
Σχήμα 4.1 Αρχιτεκτονική MEC δικτύου για οχήματα.....	56

Σχήμα 4.2 Μοντέλο V2G επικοινωνίας	57
Σχήμα 4.3 Αμφίδρομη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων	59
Σχήμα 4.4 Block διάγραμμα για τη φόρτιση οχήματος.....	59
Σχήμα 4.5 Διάφοροι τύποι smart meter	60
Σχήμα 4.6 Αρχιτεκτονική δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων	61
Σχήμα 4.7 Η πρόταση αρχιτεκτονικού πλαισίου	63
Σχήμα 4.8 Μοντέλο δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων	64
Σχήμα 4.9 Ροή δεδομένων και ενέργεια στη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος.....	65
Σχήμα 4.10 Οντότητες δικτύου ηλεκτρικών οχημάτων	66
Σχήμα 4.11 Σύστημα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με εφαρμογή MEC.....	67
Σχήμα 4.12 Διάγραμμα ροής για τη φόρτιση οχήματος	70
Σχήμα 4.13 Αρχιτεκτονική συστήματος SDN με αρχιτεκτονική MEC.....	71
Σχήμα 4.14 Αρχιτεκτονική ασφάλειας ηλεκτρικού οχήματος.....	73
Σχήμα 5.1 Περιγραφή συστήματος	74
Σχήμα 5.2 Αλληλεπίδραση μεταξύ RSU και οχήματος.....	75
Σχήμα 5.3 Δομή μηνύματος κατερχόμενης ζεύξης	75
Σχήμα 5.4 Δομή μηνύματος ανοδικής ζεύξης	76
Σχήμα 5.5 Μορφή πλαισίου IEEE802.11p	77
Σχήμα 5.6 Ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ οχήματος και οντότητας RSU	78
Σχήμα 5.7 Διάγραμμα ανταλλαγής μηνυμάτων.....	79
Σχήμα 5.8 Αρχιτεκτονική FMC	80
Σχήμα 5.9 Ανταλλαγή μηνυμάτων με εφαρμογή MEC αρχιτεκτονικής	83
Σχήμα 5.10 Περιοχή μελέτης στο Καπανδρίτι.....	86
Σχήμα 5.11 Σενάριο φόρτισης οχημάτων με εφαρμογή LTE αρχιτεκτονικής	87
Σχήμα 5.13 Ανταλλαγή πακέτων με την εφαρμογή αρχιτεκτονικής MEC	88
Πίνακας 2.1 Κατάλογος ηλεκτρικών οχημάτων	40
Πίνακας 4.1 Μηνύματα μεταξύ οντοτήτων του δικτύου	69
Πίνακας 5.1 Περιεχόμενο πεδίων μηνύματος κατερχόμενης ζεύξης	76
Πίνακας 5.2 Περιεχόμενο πεδίων μηνύματος ανοδικής ζεύξης	77
Πίνακας 5.3 Σύγκριση χαρακτηριστικών IEEE802.11p και LTE.....	79
Πίνακας 5.4 Επίπεδα κίνησης κόμβου Κηφισίας	80
Πίνακας 5.5 Σύγκριση εφαρμογής LTE και MEC ως προς το χρόνο εξυπηρέτησης.....	84
Πίνακας 5.6 Σύγκριση χρόνου εξυπηρέτησης ενός οχήματος	89

Περίληψη

Τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν μέσα μεταφοράς φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς δεν εκπέμπουν ρυπογόνα αέρια και συμβάλλουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στην παρούσα εργασία, μελετάται η αξιοποίηση της αρχιτεκτονικής Mobile Edge Computing στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Η MEC αρχιτεκτονική προσφέρει αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους στις παρυφές του δικτύου, μικρό χρόνο καθυστέρησης και επίγνωση της θέσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται επισκόπηση της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων και της εξέλιξης της κινητής ασύρματης τεχνολογίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων, μελετώνται εκτενώς οι τρόποι φόρτισης του και οι σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στο τρίτο κεφάλαιο, μελετάται εκτενώς η τεχνολογία Mobile Edge Computing ως προς την αρχιτεκτονική, το πλαίσιο λειτουργίας και τις περιπτώσεις χρησιμοποίησής της. Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το σύστημα φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος με χρήση της υπάρχουσας τηλεπικοινωνιακής υποδομής και, στη συνέχεια, γίνεται προσέγγιση της φόρτισης με τη χρήση MEC. Στο πέμπτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται διαστασιολόγηση της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Εξετάζονται τα προβλήματα φόρτισης κινούμενων οχημάτων και φόρτισης στο χώρο κατοικίας. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προκλήσεις για περαιτέρω μελέτη.

Λέξεις κλειδιά: Mobile Edge Computing, Ηλεκτρικά οχήματα, Φόρτιση, V2G, IoV

Abstract

Electric Vehicles (EV) are environmentally friendly means of transport, since they have no gas emissions and contribute to the decrease of air pollution. This thesis explores the exploitation of Mobile Edge Computing architecture in EV charging. MEC architecture offers computing and network resources closer to the end users, low latency and location awareness.

The first chapter provides an overview of EV market and the progress of mobile wireless technology. The second chapter is dedicated to key components of an EV and provides an extensive study on the various ways of EV charging and on the EV environmental impact. The third chapter provides a full coverage reference to MEC with emphasis on reference architecture, framework and use cases. The fourth chapter is dedicated to EV charging employing the existing network infrastructure and its comparison with a MEC-based charging system. The fifth chapter deals with the basic EV charging scenarios. The cases of moving EVs and charging at home are examined. Finally, the last chapter presents conclusions and future challenges for further research.

Key words: Mobile Edge Computing, Electric Vehicles, Charging, V2G, IoV

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

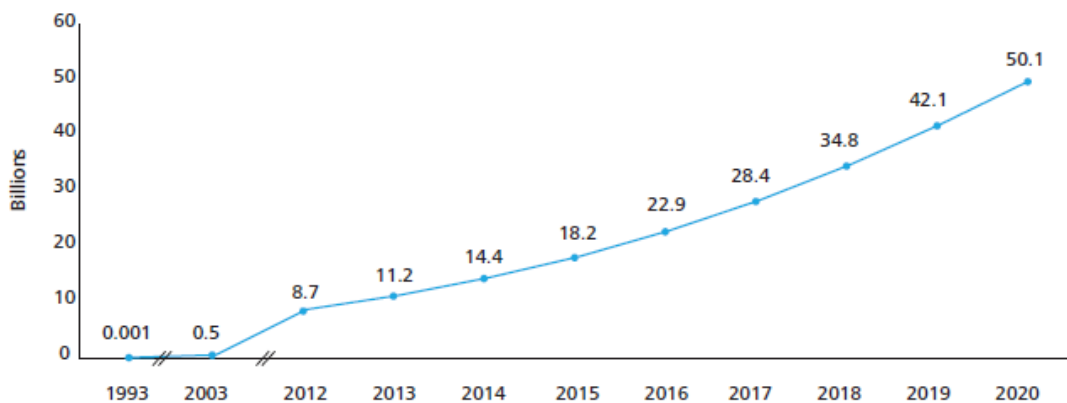
1.1 Ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT-Internet of Things) ορίζεται ως ένα δίκτυο αντικειμένων, τα οποία διαθέτουν ενσωματωμένη τεχνολογία που τους επιτρέπει να επικοινωνούν και να αλληλοεπιδρούν με το εξωτερικό τους περιβάλλον. Το IoT έχει μεγάλη επίδραση στην οικονομία, καθώς οδηγεί τις επιχειρήσεις στη ψηφιακή εποχή. Ουσιαστικά, αναπτύσσεται ένα είδος σημαντικά βελτιωμένης συμπεριφοράς, η οποία, εκτός από την επικοινωνία μεταξύ μηχανών M2M (Machine to Machine) περιλαμβάνει και την επικοινωνία ανθρώπου-μηχανής M2H (Machine to Human).

1.1.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων: Τρέχουσα κατάσταση

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων έχει οριστεί από τις ITU και IERC ως ένα δυναμικό δίκτυο με αυτορυθμιζόμενες δυνατότητες, στο οποίο τα φυσικά και εικονικά αντικείμενα χρησιμοποιούν ευφυή περιβάλλοντα και ενσωματώνονται σε ένα ενιαίο δίκτυο πληροφοριών. Η ιδέα του IoT έχει βασιστεί στην εξέλιξη της τεχνολογίας με την ανάπτυξη υλικού (hardware) σε μία οικία λειτουργούν αρκετές έξυπνες συσκευές, ενώ με την ανάπτυξη του LTE δικτύου προσφέρεται η δυνατότητα για άμεση σύνδεση δύο ή περισσότερων συσκευών.

Οι καταναλωτές διαθέτουν πολλές έξυπνες συσκευές, οι οποίες είναι εξοπλισμένες με τους απαραίτητους αισθητήρες και την κατάλληλη δυνατότητα επεξεργασίας. Ωστόσο, οι δυνατότητες των συσκευών δεν αξιοποιούνται στο μέγιστο, καθώς υπάρχει σε μεγάλο βαθμό έλλειψη συνδεσιμότητας μεταξύ τους, αλλά και έλλειψη συνεργασίας μεταξύ των κατασκευαστών. Μελλοντικός στόχος της έρευνας που σχετίζεται με το IoT, είναι η ανάπτυξη ανοικτών πλατφορμών που θα αντιμετωπίζουν τα προβλήματα συνδεσιμότητας.

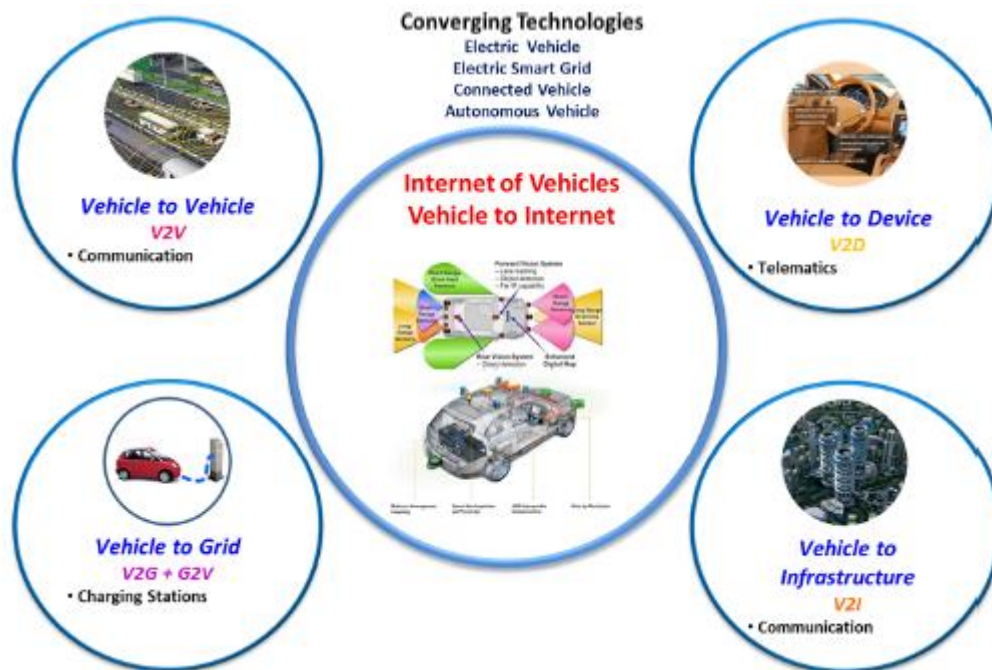


Σχήμα 1.1 Αριθμός διασυνδεδεμένων συσκευών παγκοσμίως

(Πηγή: National Cable & Telecommunications Association, Απρίλιος 2015)

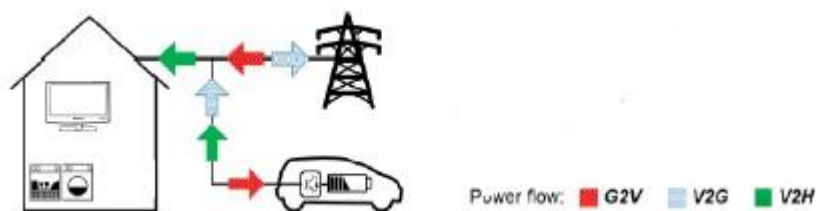
1.1.2 Διαδίκτυο των Οχημάτων

Η νέα εποχή του IoT οδηγεί στην ανάπτυξη του Διαδικτύου των Οχημάτων IoV (Internet of Vehicles), στο οποίο συνδέονται τα οχήματα μεταξύ τους, αλλά και με υποδομές, συσκευές και το δίκτυο ηλεκτρισμού, όπως φαίνεται στο Σχ.1.2.



Σχήμα 1.2 Είδη επικοινωνίας στο IoV

Στη συγκεκριμένη διπλωματική θα μελετηθεί η V2G (Vehicle to Grid) επικοινωνία, η οποία περιλαμβάνει τη σύνδεση μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

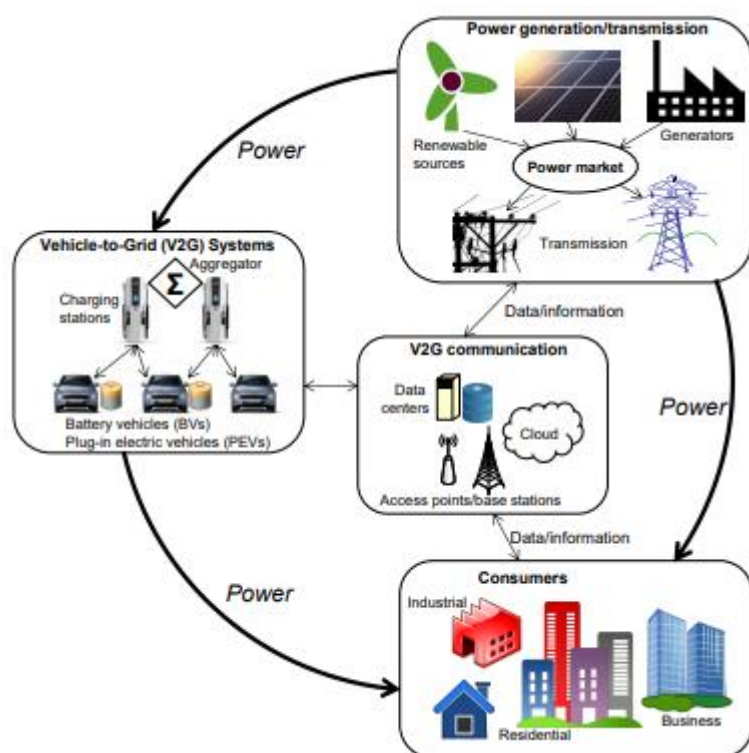


Σχήμα 1.3 Ροή ενέργειας στη V2G επικοινωνία

Η αρχιτεκτονική της V2G επικοινωνίας περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση μεταξύ καταναλωτών, συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (HE) και ηλεκτρικών οχημάτων. Η αγορά HE περιλαμβάνει διάφορες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμβατική παραγωγή HE από γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος. Μέσω των σταθμών φόρτισης, τα ηλεκτρικά οχήματα συνδέονται στο δίκτυο HE· ένας φορέας συγκέντρωσης πληροφοριών (aggregator) λειτουργεί ως μεσολαβητής με στόχο να ελέγχει και να βελτιστοποιεί τη ροή της ενέργειας στο V2G σύστημα. Ουσιαστικά, μία ομάδα ηλεκτρικών οχημάτων βρίσκεται υπό την επίβλεψη ενός διαχειριστή, ο οποίος λειτουργεί ως διαμεσολαβητής μεταξύ των οχημάτων και ενός ενεργειακού

συστήματος. Ο διαμεσολαβητής ανταλλάσσει μηνύματα με το ενεργειακό σύστημα και στη συνέχεια αυτά διαβιβάζονται σε κάθε όχημα ξεχωριστά.

Τα συστήματα V2G λειτουργούν τόσο ως αποθήκη ΗΕ όσο και ως καταναλωτής. Η επικοινωνία μεταξύ του οχήματος και του δικτύου πραγματοποιείται από ασύρματα δίκτυα και χρησιμοποιεί οντότητες επεξεργασίας, όπως τα κέντρα δεδομένων (data centers) και η υπολογιστική νέφους (cloud computing). Η συχνότητα επικοινωνίας που έχει προταθεί από τη National Grid (εταιρεία παροχής ΗΕ και φυσικού αερίου στο Λονδίνο), για να υπάρχει ισορροπία μεταξύ της παραγωγής και ζήτησης ενέργειας είναι τα 50 Hz· δηλαδή το σύστημα που περιλαμβάνει τη ζήτηση και την παραγωγή ΗΕ ισορροπία σε συχνότητα λειτουργίας στα 50 Hz.



Σχήμα 1.4 Αρχιτεκτονική V2G επικοινωνίας

1.2 Ο ρόλος των παρυφών του δικτύου

Γίνεται πλέον κατανοητό ότι οι παρυφές (edges) του δικτύου έχουν πολύ σημαντικό ρόλο στη ψηφιακή εποχή που διανύουν οι επιχειρήσεις. Οι παρυφές του δικτύου αποτελούν την πρώτη γραμμή άμυνας προς επίτευξη της ασφάλειας επικοινωνιών· είναι τα σημεία στα οποία θα εφαρμοστεί μια πολιτική ασφάλειας, χωρίς να εμποδίζεται η πρόσβαση σε επιτρεπτό περιεχόμενο. Στην περίπτωση όπου η πρόσβαση του δικτύου δεν τύχει ορθής διαχείρισης, η επιχείρηση καθίσταται επιρρεπής στη διείσδυση και αναπαραγωγή κακόβουλων ενεργειών. Επιπλέον, στις παρυφές του δικτύου γίνεται η κατανομή των υπηρεσιών και εφαρμογών σε στοχευμένο κοινό και αποτελούν τη γέφυρα μεταξύ κάποιου οργανισμού και των πελατών του.

Μέρος του ρόλου των παρυφών του δικτύου αποτελεί η υποστήριξη απαιτήσεων των συνεχώς αναπτυσσόμενων IoT συσκευών. Σε ένα κατακεκομμένο δίκτυο, οι παρυφές μπορούν να έχουν εποπτεία της κίνησης δεδομένων συλλέγοντας στατιστικές αναλύσεις. Δεδομένα που σχετίζονται με χρήστες, εφαρμογές, συσκευές και κακόβουλες ενέργειες συνεισφέρουν στις εμπορικές κινήσεις μιας εταιρείας, δηλαδή μειώνεται το κόστος παραγωγής και αυξάνεται ο βαθμός ποιότητας ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας.

1.3 Ανάπτυξη Ηλεκτρικών Οχημάτων

Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων αποτελούν τη σημαντικότερη περιβαλλοντική αιτία πρόωρων θανάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, σύμφωνα με έρευνα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Οι αστικές μεταφορές αποτελούν έναν από τους λόγους για τους οποίους στις περισσότερες πόλεις διαπιστώνονται υπερβάσεις των επιτρεπτών ορίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αστικού κέντρου είναι η Αθήνα, στην οποία η ορατότητα μειώνεται κατά περίπου 280 μέτρα κάθε χρόνο, λόγω περιβαλλοντικής ρύπανσης, σύμφωνα με έρευνα του Ινστιτούτου Ερευνών και Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών [1].



Σχήμα 1.5 Νέφος στα αστικά κέντρα

Επομένως, είναι σημαντική η ανάπτυξη ενός συστήματος μεταφορών, φιλικότερο στο περιβάλλον, όπως τα ηλεκτρικά οχήματα.

Στα τέλη του 20^{ου} αιώνα, έγινες αρκετές αλλαγές που έφεραν στο προσκήνιο τη χρήση ηλεκτρικού οχήματος. Κατά πρώτον, υπήρχε ανησυχία για τη συνεχώς αυξανόμενη περιβαλλοντική ρύπανση, τόσο από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα όσο και από την εκπομπή καυσαερίων από τις εξατμίσεις των συμβατικών οχημάτων. Επιπλέον, υπήρξαν μεγάλες εξελίξεις στη σχεδίαση του οχήματος και στην παραγωγή επαναφορτιζόμενων μπαταριών και κινητήρων.

1.4 Εξέλιξη κινητής ασύρματης επικοινωνίας



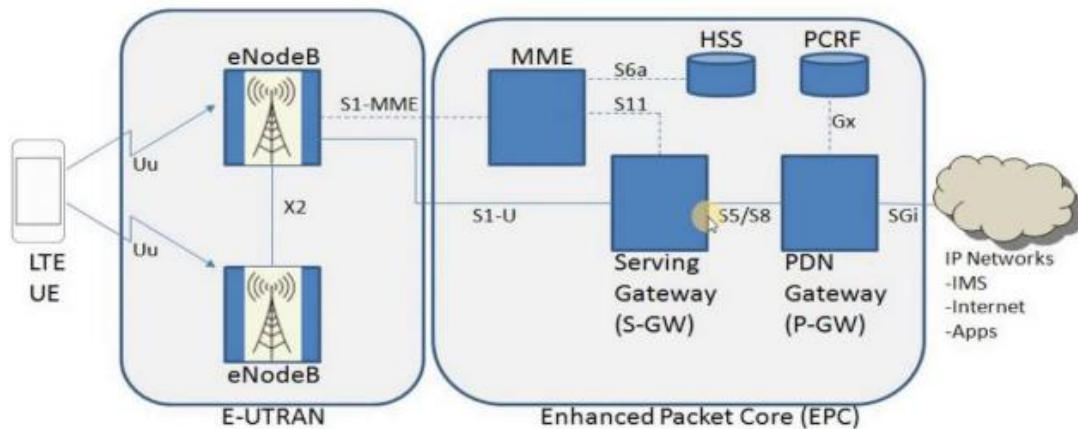
Σχήμα 1.6 Εξέλιξη της κινητής επικοινωνίας

Στο Σχ.1.6 φαίνεται η εξέλιξη της κινητής ασύρματης επικοινωνίας. Τα δίκτυα πρώτης γενιάς 1G περιλαμβάνουν τα αναλογικά κινητά τηλέφωνα που έκαναν την πρώτη εμφάνιση τους στην αγορά το 1980. Υπηρεσίες όπως τα γραπτά μηνύματα SMS (Short Message Service) και τα μηνύματα MMS (Multimedia Message Service) που περιλαμβάνουν ήχο και εικόνα έκαναν την εμφάνιση τους περίπου το 1990, με τα δίκτυα δεύτερης γενιάς 2G. Τα δίκτυα 2G υποστηρίζουν τις μεθόδους πολύπλεξης χρόνου TDMA (Time Division Multiple Access) και πολύπλεξης κώδικα CDMA (Code Division Multiple Access). Με την πολύπλεξη στο χρόνο η πληροφορία μεταδίδεται κατά τμήματα και ο χρόνος χρησιμοποίησης κάποιας ζώνης συχνοτήτων διαιρείται σε χρονοσχισμές. Με την πολύπλεξη κώδικα, η πληροφορία μεταδίδεται με μια κωδική αλληλουχία, μοναδική για κάθε χρήστη. Τα δίκτυα τρίτης γενιάς, με μεγαλύτερη χωρητικότητα και καλύτερη φασματική απόδοση, παρέχουν υπηρεσίες όπως βιντεοκλήσεις, υποστήριξη GPS (Global Positioning System) υπηρεσιών και τηλεόρασης μέσω διαδικτύου. Στην ενότητα 1.4.1 και στο Κεφάλαιο 5 θα αναφερθούν τα δίκτυα τέταρτης και πέμπτης γενιάς αντίστοιχα.

1.4.1 Ανάπτυξη LTE δικτύου

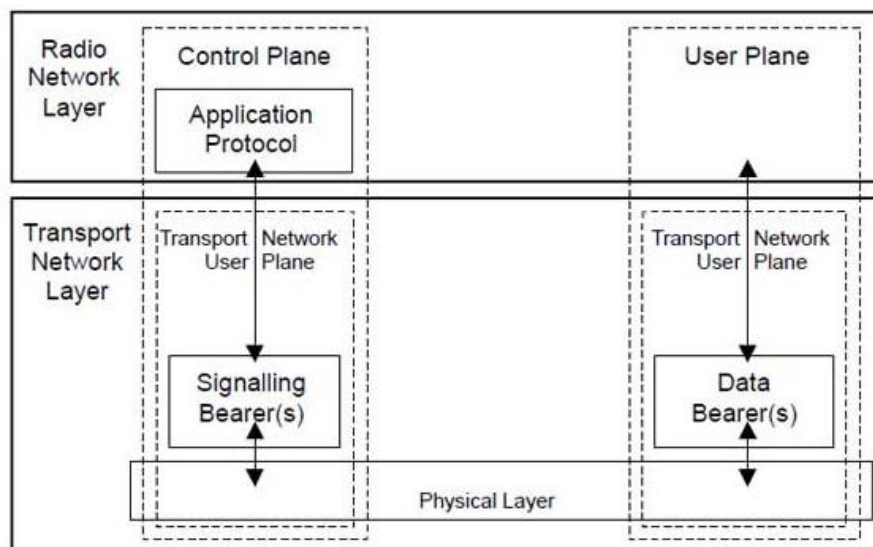
Συγκριτικά με τα δίκτυα τρίτης γενιάς, τα δίκτυα τέταρτης γενιάς παρέχουν καλύτερη υποστήριξη, σε συστήματα που διακινούν ευρυζωνικά δεδομένα. Τα 4G δίκτυα είναι γνωστά ως LTE (Long Term Evolution) και παρέχουν αυξημένη ταχύτητα και χωρητικότητα, μέχρι 300 Mbps στην καθοδική ζεύξη και μέχρι 75 Mbps στην ανοδική. Επιπλέον, υποστηρίζουν ένα μεγάλο εύρος τερματικών, όπως κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές και ηλεκτρονικές συσκευές, όπως κάμερες και tablets. Σκοπός αυτής της τεχνολογίας ήταν να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των νέων εφαρμογών και υπηρεσιών για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, χαμηλή καθυστέρηση και ευέλικτη χρήση του φάσματος συχνοτήτων. Επομένως, τα δίκτυα τέταρτης γενιάς επικεντρώνονται σε δίκτυα μεταγωγής πακέτου, δηλαδή η προς μετάδοση πληροφορία τεμαχίζεται σε πακέτα ίδιου μήκους.

1.4.2 Αρχιτεκτονική LTE δικτύου



Σχήμα 1.7 Αρχιτεκτονική LTE δικτύου

Στην αρχιτεκτονική του LTE δικτύου διακρίνονται δύο οντότητες, η E-UTRAN (Evolved UTRAN) και η EPC (Enhanced Packet Core). Η οντότητα E-UTRAN αποτελεί το δίκτυο ραδιοπρόσβασης RAN (Radio Access Network) που είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία των τερματικών με τους σταθμούς βάσης. Όπως φαίνεται στο Σχ.1.7, μέσω της διεπαφής Uu μεταδίδονται δεδομένα από τα τερματικά UE (User Equipment) στους σταθμούς βάσης eNodeB (evolved Node B). Στη συνέχεια, οι σταθμοί βάσης επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της διεπαφής X2 και με την οντότητα EPC με τις διεπαφές S1-MME (S1 Mobility Management Entity) και S1-U (S1 User).



Σχήμα 1.8 Αρχιτεκτονική πρωτόκολλου LTE

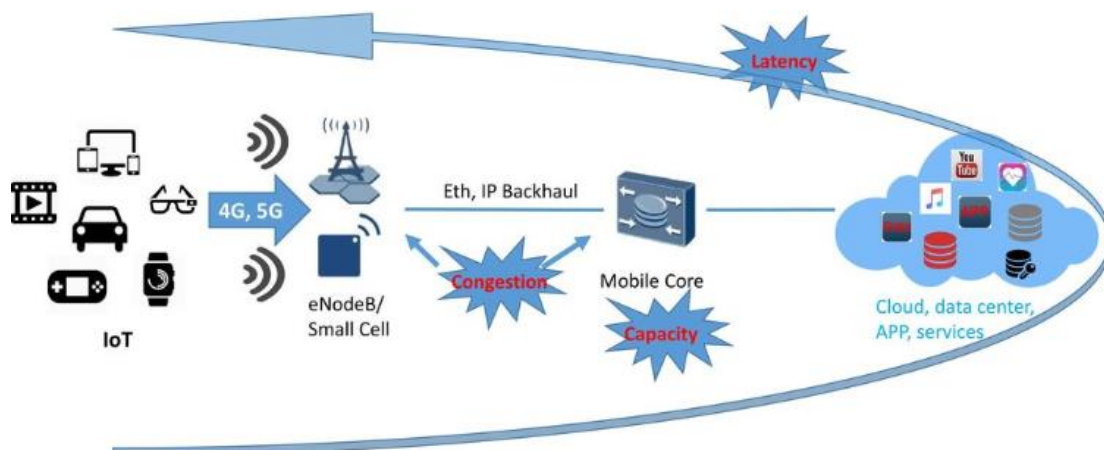
Για να γίνει κατανοητή η αρχιτεκτονική του LTE δικτύου, που παρουσιάζεται στη συνέχεια, πρέπει πρώτα να αναφερθούν οι έννοιες του στρώματος ελέγχου και του στρώματος χρήστη. Αυτά αποτελούν τα δύο βασικά μέρη της αρχιτεκτονικής πρωτόκολλου του LTE δικτύου. Το στρώμα χρήστη, στο οποίο γίνεται η δημιουργία πακέτων δεδομένων, τοποθετείται ανάμεσα στον εξοπλισμό χρήστη UE και στους

σταθμούς βάσης. Στο στρώμα ελέγχου καταγράφονται τα μηνύματα σηματοδότησης, τα οποία ανταλλάσσονται μεταξύ του σταθμού βάσης και της κινητής συσκευής.

Η οντότητα EPC αποτελεί το δίκτυο κορμού της LTE αρχιτεκτονικής, το οποίο συνδέει τους σταθμούς βάσης με τα εξωτερικά δίκτυα. Τα κυριότερα στοιχεία σε αυτή την οντότητα είναι η οντότητα διαχείρισης κινητικότητας MME, η πύλη εξυπηρέτησης S-GW (Serving Gateway) και ο οικείος εξυπηρετητής συνδρομητών HSS (Home Subscriber Server).

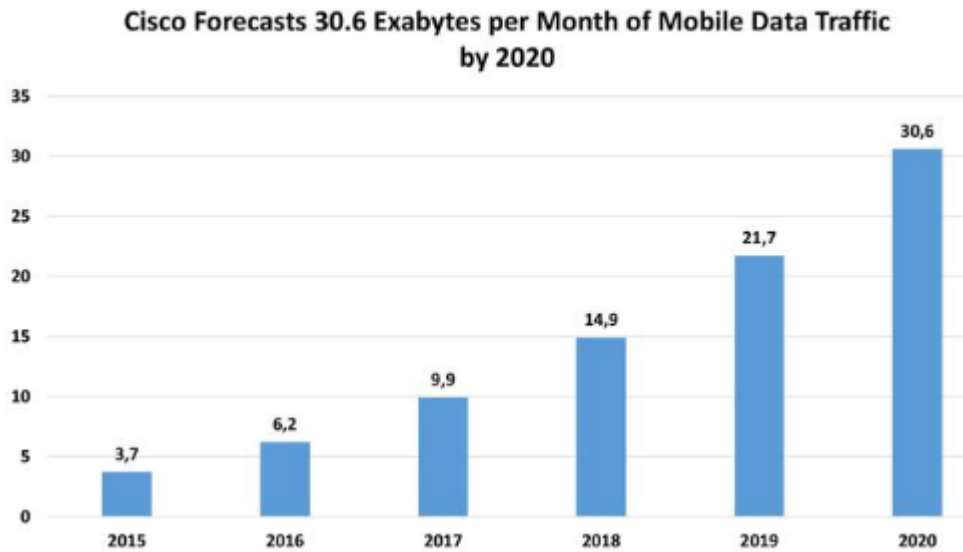
Η διεπαφή S1-U μεταφέρει τα δεδομένα του στρώματος χρήστη και από τη διεπαφή S1-MME διέρχονται μηνύματα σηματοδότησης του στρώματος ελέγχου. Συνεπώς, για το στρώμα χρήστη η S-GW αποτελεί το σημείο επαφής μεταξύ των οντοτήτων E-UTRAN και EPC, με κύριο ρόλο την προώθηση πακέτων από και προς τα τερματικά. Η MME οντότητα συνδέει το E-UTRAN και το EPC για τις λειτουργίες που σχετίζονται με το στρώμα ελέγχου. Η πύλη πακέτων του δικτύου PDN (Packet Data Network Gateway) είναι οντότητα του EPC, η οποία επικοινωνεί με τα εξωτερικά δίκτυα, μέσω της διεπαφής SGi.

1.5 Γενικά περί MEC



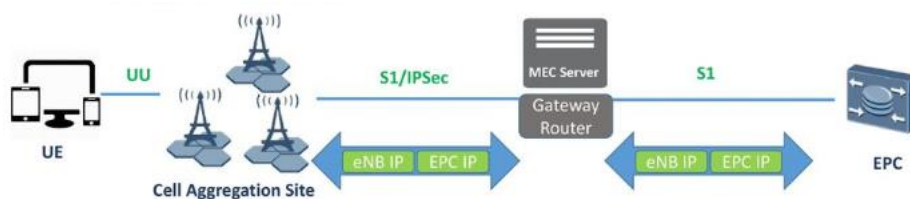
Σχήμα 1.9 Προβλήματα συμφόρησης στο LTE δίκτυο

Στα ήδη υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα, τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ δύο τερματικών διέρχονται από το δίκτυο κορμού του συστήματος. Επιπλέον, οι IoT εφαρμογές χρησιμοποιούν το cloud computing για να αξιοποιήσουν τους απεριόριστους αποθηκευτικούς χώρους. Συνεπώς, αυξάνεται η καθυστέρηση των μηνυμάτων από άκρο σε άκρο, καθώς οι εξυπηρετητές cloud βρίσκονται σε απομακρυσμένα σημεία. Σύμφωνα με έρευνα τις Cisco και όπως φαίνεται στο Σχ.1.10, ο όγκος των δεδομένων που θα διαχειρίζεται το δίκτυο κάθε μήνα θα ανέρχεται στα 30.6 exabytes μέχρι το 2020.



Σχήμα 1.10 Κίνηση δεδομένων από το 2015 μέχρι το 2020

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων καθυστέρησης και συμφόρησης στο LTE δίκτυο, διερευνάται η αρχιτεκτονική Mobile Edge Computing (MEC). Η ιδέα για την αρχιτεκτονική MEC ξεκίνησε το Σεπτέμβριο του 2014 από τον οργανισμό ETSI (European Telecommunications Standard Institute) και ιδρυτικά μέλη της υπήρξαν οι εταιρείες Vodafone, Nokia, Intel, Docomo, Huawei και IBM. Στόχος της αρχιτεκτονικής αυτής είναι να πραγματοποιούνται υπηρεσίες cloud computing στο δίκτυο ραδιοπρόσβασης εγγύτερα προς στους χρήστες εφαρμογών. Όταν έγινε αντιληπτό ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όχι μόνο για κυψελωτά δίκτυα, αλλά και για δίκτυα σταθερής ασύρματης πρόσβασης ή WiFi, η MEC αρχιτεκτονική μετονομάστηκε σε Multi-access edge computing. Στο τρίτο κεφάλαιο θα αναλυθούν εκτενέστερα η δομή και τα χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής.



Σχήμα 1.11 Εφαρμογή MEC στο υπάρχον LTE δίκτυο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Η αγορά των διασυνδεδεμένων οχημάτων αυτόνομης οδήγησης έχει αναπτυχθεί ραγδαία την τελευταία πενταετία, δημιουργώντας γόνιμο έδαφος για τον τομέα ΙοV. Αν και η τιμή των συγκεκριμένων οχημάτων είναι αρκετά υψηλή, προβλέπεται η μείωσή της λόγω της ταχύτατης εξέλιξης των ενσωματωμένων τεχνολογιών. Σύμφωνα με τη στατιστική υπηρεσία Statista 0, πιθανολογείται ότι μέχρι το 2021 τα έσοδα από την αγορά διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα φθάσουν τα 18 δις στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Αρχικά, θα αναλυθεί το υπόβαθρο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ώστε στο επόμενο κεφάλαιο να γίνει επέκταση στη συνεισφορά της αρχιτεκτονικής MEC σε εφαρμογές οχημάτων.

2.1.1 Βασικοί Ορισμοί

Διασυνδεδεμένο όχημα

Ένα αυτοκίνητο χαρακτηρίζεται ως διασυνδεδεμένο όταν είναι εξοπλισμένο με ασύρματες αισθητήριες (sensing) συσκευές. Παράλληλα, υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας με άλλα οχήματα (V2V-Vehicle to Vehicle), αλλά και με τα οδικά έργα υποδομής (V2I-Vehicle to Infrastructure).



Σχήμα 2.1 Διασυνδεδεμένο όχημα

Κύριες εφαρμογές που υποστηρίζουν τα διασυνδεδεμένα οχήματα είναι οι εξής:

- Ειδοποίηση πρόσκρουσης
- Ανίχνευση συμφόρησης
- Ειδοποίηση επιβράδυνσης
- Ενημέρωση για διόδια
- Ειδοποίηση έκτακτης ανάγκης (προς το εξωτερικό περιβάλλον)

Ηλεκτρικό όχημα

Ο όρος ηλεκτρικό όχημα αναφέρεται σε ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία BEV (Battery Electric Vehicle) και σε υβριδικά που συνδέονται σε πρίζα PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle). Τα BEV λειτουργούν εξολοκλήρου με ηλεκτρικό κινητήρα και χρησιμοποιούν τη χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε επαναφορτιζόμενες συστοιχίες μπαταριών. Τα PHEV, μπορούν να φορτιστούν από κάποια εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας· η τελευταία αποθηκεύεται σε συστοιχίες μπαταριών. Επιπλέον, διαθέτουν και μηχανή εσωτερικής.

2.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικού οχήματος

Με βάση τα μέχρι τώρα δεδομένα, η τεχνολογία ενός ηλεκτρικού οχήματος εμφανίζει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Πλεονεκτήματα

- Η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον, συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα. Ειδικά τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία δεν εκπέμπουν ρυπογόνα αέρια από την εξάτμιση και συμβάλλουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Τα επίπεδα ηχορύπανσης ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι πολύ μικρότερα από τα επίπεδα των οχημάτων με μηχανή εσωτερικής καύσης.
- Με τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων επιτυγχάνεται ο περιορισμός της ζήτησης πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών· μειώνονται η ενεργειακή εξάρτηση κυρίως από τις χώρες της μέσης ανατολής και το κόστος της καθημερινής χρήσης ενός οχήματος.
- Ένα ηλεκτρικό όχημα έχει την ευχέρεια να λειτουργεί σε υψηλότερες στροφές σε σχέση με κινητήρες καυσίμου, καθώς μπορεί να φθάσει και έως τις 14.000 στροφές ανά λεπτό.
- Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να αποτελέσουν μέρος ενός συστήματος που θα περιλαμβάνει σταθμούς ανεφοδιασμού/φόρτισης σε κάθε οικία.

Μειονεκτήματα

- Βασικό μειονέκτημα της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων είναι το μεγάλο κόστος κατασκευής τους. Ωστόσο, πρόκειται να εφαρμοστεί σε αρκετές χώρες περιβαλλοντική πολιτική που θα ενθαρρύνει τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα μειωμένα τέλη κυκλοφορίας σε οδηγούς ηλεκτρικού οχήματος, γεγονός που ενθαρρύνει την ευρεία χρήση τους.
- Ένα πρόσθετο πρόβλημα αυτή τη στιγμή είναι η δύσκολη πρόσβαση στα σημεία φόρτισης, σε αντίθεση με τα πρατήρια καυσίμων που είναι πολύ περισσότερα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να περιοριστεί με εγκατάσταση σταθμών φόρτισης στις κατοικίες και τους χώρους στάθμευσης στους χώρους εργασίας.

- Αρκετά προβλήματα ανακύπτουν με τους συσσωρευτές. Αρχικά, ένα όχημα χρειάζεται αρκετό χρόνο (περίπου έξι ώρες) για να φορτιστεί πλήρως. Επιπλέον, ένα πλήρως φορτισμένο όχημα δεν μπορεί να προσφέρει μεγάλο χιλιομετρικό εύρος διαδρομής.
- Η πυκνότητα ενέργειας, δηλαδή ο λόγος της αποθηκευμένης ενέργειας του συσσωρευτή προς τον όγκο και το βάρος του, είναι χαμηλή. Για το λόγο αυτό, περιορίζεται η αυτονομία ενός ηλεκτρικού οχήματος, αφού όσο αυξάνει η ενεργειακή ζήτηση απαιτείται μεγαλύτερος όγκος μπαταρίας.

2.2 Σύστημα ελέγχου μπαταρίας

Βασικές παράμετροι που σχετίζονται με το σύστημα ελέγχου μπαταρίας είναι η κατάσταση φόρτισης SOC (State of Charge) και η κατάσταση υγείας SOH (State of Health).

- Κατάσταση φόρτισης: Περιγράφεται ως κλάσμα με αριθμητή την υπολειπόμενη χωρητικότητα και παρονομαστή την ονομαστική χωρητικότητα μπαταρίας. Επηρεάζεται από μεγέθη, όπως η θερμοκρασία και το ρεύμα.

$$SOC = \frac{\text{Remaining capacity}}{\text{Rated capacity}}$$

- Κατάσταση υγείας: Περιγράφεται ως αναλογία της μέγιστης χωρητικότητας της μπαταρίας την τρέχουσα χρονική στιγμή προς την αρχική μέγιστη χωρητικότητα. Η παράμετρος αποτελεί μέτρο της υποβάθμισης απόδοσης όσο και της εκτιμώμενης διάρκειας ζωής της μπαταρίας.

$$SOH = \frac{\text{Aged energy capacity}}{\text{Rated energy capacity}}$$

- Κύκλος μπαταρίας: Είναι μια πλήρης διαδικασία εκφόρτισης και επαναφόρτισης. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για την περιγραφή του αναμενόμενου χρόνου ζωής της μπαταρίας. Ουσιαστικά, ο αριθμός κύκλων περιγράφει πόσες φορές μπορεί μια μπαταρία να εκτελέσει τη διαδικασία εκφόρτισης και επαναφόρτισης, μέχρι να χάσει τελείως τη χωρητικότητά της.

Το σύστημα ελέγχου μπαταρίας είναι υπεύθυνο κυρίως για τις παρακάτω λειτουργίες:

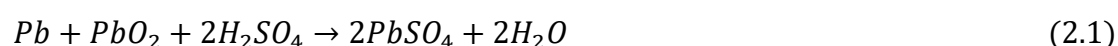
1. Ανιχνεύει τη θερμοκρασία, το ρεύμα και την τάση της μπαταρίας
2. Ελέγχει την αρτιότητα της μπαταρίας, δηλαδή το δείκτη SOH
3. Διαμορφώνει τη ροή της φόρτισης και της αποφόρτισης ρεύματος μέσω κάθε κυψέλης της μπαταρίας
4. Πραγματοποιεί συνεχή παρακολούθηση (monitoring), με στόχο να επιμηκύνει τον κύκλο ζωής της μπαταρίας

2.2.1 Μπαταρία Μόλυβδου-Οξέος

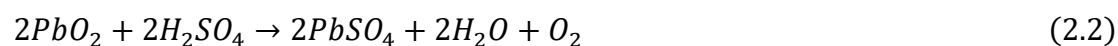


Σχήμα 2.2 Μπαταρία Μόλυβδου-Οξέος

Οι μπαταρίες Μόλυβδου-Οξέος είναι αρκετά διαδεδομένες στη βιομηχανία οχημάτων, διότι αποτελούν τους οικονομικότερους επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές. Στα ηλεκτρικά οχήματα, οι μπαταρίες μόλυβδου-οξέος που, επιπλέον, μπορούν να ανακυκλωθούν, διαθέτουν ένα ειδικό ζελέ αντί για υγρό ηλεκτρολύτη, γεγονός που αυξάνει το κόστος παραγωγής. Το θετικό ηλεκτρόδιο της μπαταρίας είναι επιστρωμένο με διοξείδιο του μόλυβδου και το αρνητικό καλύπτεται από σπογγώδη μόλυβδο. Τα ηλεκτρόδια βυθίζονται σε ένα αραιωμένο διάλειμμα θειικού οξέος· το θειικό οξύ αντιδρά με το μόλυβδο και παράγεται νερό και θειικός μόλυβδος, όπως φαίνεται στην ακόλουθη αντίδραση:



Κατά τη φόρτιση του συσσωρευτή, η διαδικασία αντιστρέφεται και τα ηλεκτρόδια μετατρέπονται σε μόλυβδο και διοξείδιο του μόλυβδου, ενώ ο ηλεκτρολύτης σε θειικό οξύ. Ωστόσο, η ανωτέρω χημική αντίδραση δεν είναι η μοναδική που συμβαίνει, καθώς ο μόλυβδος και το διοξείδιο του μόλυβδου δεν είναι σταθερά με το θειικό οξύ και γίνεται αργή αποσύνθεση με βάση τις ακόλουθες χημικές αντιδράσεις στο θετικό και αρνητικό ηλεκτρόδιο, αντίστοιχα:



Με αυτό τον τρόπο, η μπαταρία οδηγείται σε κατάσταση «αυτοεκφόρτισης», δηλαδή μείωσης της αποθηκευμένης ενέργειας χωρίς τη σύνδεση των ηλεκτροδίων· η διαδικασία αυτή επιταχύνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι μπαταρίες Μόλυβδου-Οξέος έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής, στους 700 περίπου κύκλους. Επιπλέον, η φόρτισή της είναι περίπλοκη διαδικασία πολλαπλών βημάτων· επειδή χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εφαρμογές, υπάρχει μεγάλη ποικιλία φορτιστών καλής ποιότητας. Η ονομαστική ενέργεια και ισχύς είναι 20–35Wh/kg και 250W/kg, αντίστοιχα.

2.2.2 Μπαταρία με βάση το Νικέλιο

Μπαταρία Νικελίου-Καδμίου (NiCd-Nickel Cadmium)



Σχήμα 2.3 Μπαταρία Νικελίου-Καδμίου

Η μπαταρία νικελίου-καδμίου είναι ο κύριος ανταγωνιστής της μπαταρίας μόλυβδου-οξέος στα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς παρέχει σχεδόν τη διπλάσια ενέργεια από αυτή. Στο θετικό ηλεκτρόδιο της έχει οξείδιο και υδροξείδιο του νικελίου και στο αρνητικό μεταλλικό κάδμιο. Ο ηλεκτρολύτης αποτελείται από υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου και υδατικό διάλυμα υδροξειδίου νατρίου, όταν η μπαταρία προορίζεται για λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές θερμοκρασίες αντίστοιχα. Η χημική αντίδραση που συμβαίνει κατά την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι:



Κύρια πλεονεκτήματα της μπαταρίας νικελίου-καδμίου είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής (2500 κύκλοι), η λειτουργία της σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (από $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ως $80\text{ }^{\circ}\text{C}$) και το υψηλό επίπεδο ονομαστικής ισχύς. Επιπλέον, μπορούν να επαναφορτιστούν μέσα σε μια ώρα σε ποσοστό υψηλότερο από 60%. Λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής, το κόστος της μπαταρίας νικελίου καδμίου είναι υψηλότερο από αυτό της μπαταρίας μόλυβδου-οξέος. Έχει ονομαστική ενέργεια και ισχύ 40–55 Wh/kg και 125W/kg αντίστοιχα.

Με τη χρήση αυτού του είδους συσσωρευτή, εξασφαλίζεται ένα βιώσιμο σύστημα, καθώς το ποσοστό παραγωγής υδροξειδίου του καδμίου είναι ίσο με το ποσοστό μετατροπής του σε κάδμιο και δεν εμπλέκονται στις χημικές αντιδράσεις επιπλέον υλικά της μπαταρίας.

Μπαταρία Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου (NiMH- Nickel Metal Hydride)

Η μπαταρία NiMH έχει παρόμοια απόδοση με τη μπαταρία NiCd· η βασική τους διαφορά είναι ότι στην πρώτη το αρνητικό ηλεκτρόδιο περιέχει υδρογόνο, το οποίο αποφοροφάται από υδρίδιο μετάλλου. Επομένως, υπάρχει ανεξαρτησία από το κάδμιο, γεγονός που την καθιστά φιλικότερη για το περιβάλλον. Στο θετικό ηλεκτρόδιο, το οξείδιο νικελίου γίνεται υδροξείδιο νικελίου κατά την εκφόρτιση και στο αρνητικό, απελευθερώνεται το υδρογόνο που είχε δεσμευτεί στο μέταλλο.

Συγκριτικά με τους συσσωρευτές NiCd, έχει ελάχιστα μεγαλύτερη χωρητικότητα, μεγαλύτερη ονομαστική ενέργεια και ισχύ (65 Wh/kg και 200 W/kg αντίστοιχα). Όπως και η μπαταρία NiCd, μπορεί να φορτιστεί σε μία ώρα.



Σχήμα 2.4 Μπαταρία Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου

Το συγκεκριμένο είδος μπαταρίας, έχει χρησιμοποιηθεί στο Toyota Prius, το οποίο θεωρείται ένα από τα περισσότερο διαδεδομένα ηλεκτρικά οχήματα. Όπως περιεγράφηκαν και προηγουμένως, οι μπαταρίες με βάση το Νικέλιο έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, παρέχουν υψηλότερη ονομαστική ενέργεια και ισχύ και μεγαλύτερη χωρητικότητα. Εξαιτίας του μόλυβδου και του καδμίου, μπαταρίες μόλυβδου οξέος και νικελίου καδμίου είναι αρκετά τοξικές προς το περιβάλλον.

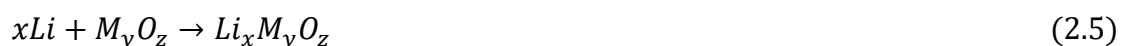
2.2.3 Μπαταρία με βάση το Λίθιο

Μπαταρία Λιθίου Πολυμερούς



Σχήμα 2.5 Μπαταρία Λιθίου Πολυμερούς

Η μπαταρία λιθίου πολυμερούς χρησιμοποιεί μέταλλο λιθίου για το αρνητικό ηλεκτρόδιο και οξείδιο του μετάλλου στο θετικό. Το λίθιο αντιδρά με το οξείδιο του μετάλλου παράγοντας οξείδιο του λιθίου και εκλύοντας ενέργεια σύμφωνα με την ακόλουθη χημική αντίδραση. Ωστόσο, το στερεό λίθιο προκαλεί προβλήματα στην απόδοση της μπαταρίας.



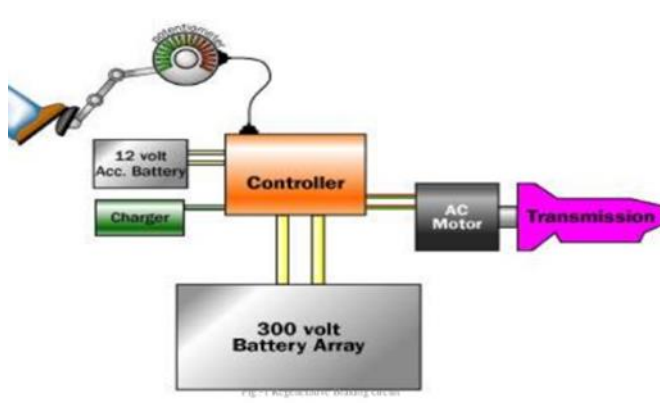
Μπαταρία Ιόντων Λιθίου



Σχήμα 2.6 Μπαταρία Ιόντων Λιθίου

Στην μπαταρία ιόντων λιθίου το θετικό ηλεκτρόδιο έχει οξείδιο μετάλλου και στο αρνητικό λιθιούχο άνθρακα. Η ονομαστική ενέργεια και ισχύς είναι 90 Wh/kg και 300 W/kg αντίστοιχα. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας λιθίου είναι πολύ μεγαλύτερη από τη διάρκεια των προαναφερθέντων συσσωρευτών και ο χρόνος πλήρους φόρτισης είναι περίπου δύο ώρες. Συγκριτικά με τις μπαταρίες με βάση το νικέλιο και τη μπαταρία μόλυβου-οξέος είναι αρκετά πιο ελαφρότερη. Ωστόσο, το υψηλό της κόστος αποτελεί κύριο μειονέκτημα. Τέλος, οι μπαταρίες με βάση το λίθιο και το νικέλιο δεν εμφανίζουν το φαινόμενο αυτοεκφόρτισης.

2.3 Σύστημα φρεναρίσματος



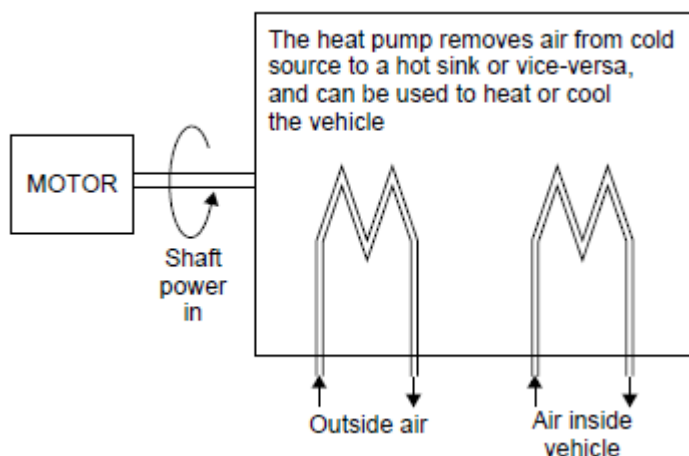
Σχήμα 2.7 Σύστημα φρεναρίσματος

Τα περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν αναγεννητικό σύστημα φρεναρίσματος, δηλαδή λειτουργούν με βάση κάποιο μηχανισμό επαναφοράς ενέργειας. Σε ένα συμβατικό όχημα, η ενέργεια φρεναρίσματος μετατρέπεται σε θερμότητα και χάνεται στην ατμόσφαιρα. Στα ηλεκτρικά οχήματα, ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει και ως γεννήτρια, στην οποία η κινητική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική και να αποθηκευτεί στην μπαταρία. Η αποθηκευμένη ενέργεια χρησιμοποιείται για πρόωση του αυτοκινήτου.

Στα ηλεκτρικά οχήματα, λοιπόν, κατά τη διάρκεια φρεναρίσματος, ένα μέρος της ενέργειας επιστρέφει πίσω στην πηγή τροφοδοσίας. Το φρενάρισμα αποτελεί το σημαντικότερο τμήμα κάθε περιστρεφόμενου συστήματος και χρησιμοποιείται ώστε να επιβραδύνει τη γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα.

2.4 Σύστημα ψύξης και θέρμανσης

Για το σχεδιασμό του συστήματος θέρμανσης και ψύξης του ηλεκτρικού οχήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντλίες θέρμανσης. Ουσιαστικά, πρόκειται για μια συσκευή που πραγματοποιεί μεταφορά αέρα μεταξύ δύο τοποθεσιών.



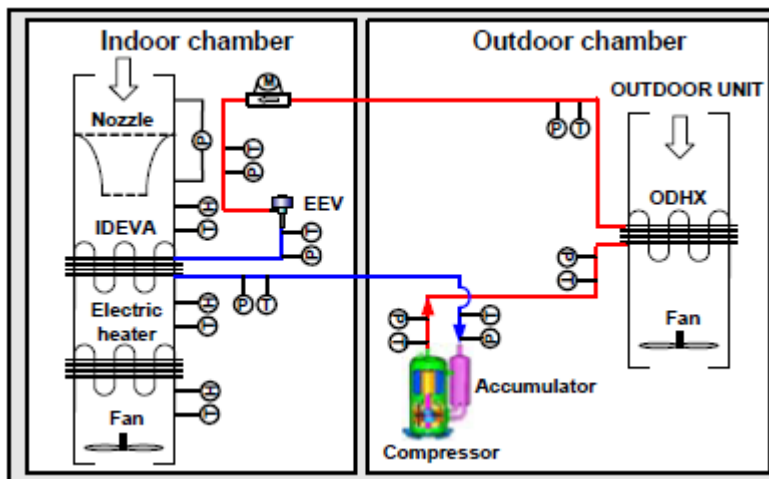
Σχήμα 2.8 Σχηματικό διάγραμμα αντλίας θέρμανσης

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση ψύξης του οχήματος, η αντλία αφαιρεί το ζεστό αέρα που βρίσκεται στο όχημα και τον μεταφέρει στο εξωτερικό περιβάλλον. Στην περίπτωση θέρμανσης, αφαιρεί το ψυχρό αέρα από το εσωτερικό του οχήματος.

Το τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου της Κορέας έχει προτείνει ένα σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού, όπως φαίνεται στα Σχ.2.9 και Σχ.2.10. Η κατασκευή αποτελείται από:

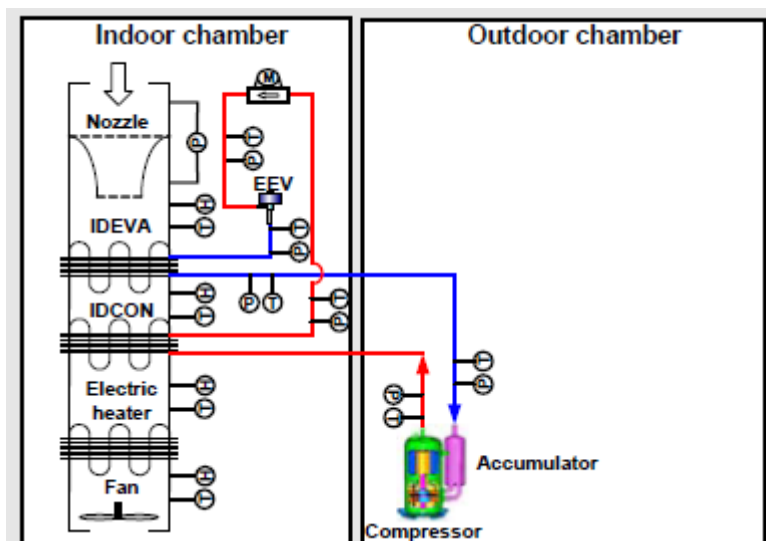
- διπλό περιστροφικό συμπιεστή
- εξωτερικό εναλλάκτη θερμότητας ODHX (Outdoor Heat Exchanger)
- εσωτερικό πυκνωτή IDCON (Indoor Condenser)
- εσωτερικό εξατμιστή IDEVA (Indoor Evaporator)
- ηλεκτρικό καλοριφέρ
- συσσωρευτή
- ηλεκτρική βαλβίδα επέκτασης EEV (Electric Expansion Valve)

Στο σύστημα ψύξης, το ψυκτικό υγρό ρέει από το συμπιεστή στον εξωτερικό εναλλάκτη θερμότητας ODHX, ο οποίος χρησιμοποιείται σαν πυκνωτής. Στη συνέχεια, η οντότητα ODHX «απορρίπτει» τη ζέση και το υγρό εισέρχεται μέσω της βαλβίδας EEV στον εσωτερικό εξατμιστή IDEVA. Εκεί, μέρος του υγρού εξατμίζεται, με αποτέλεσμα ο αέρας στο εσωτερικό του οχήματος να γίνεται δροσερότερος· το υπόλοιπο υγρό ρέει πίσω στο συμπιεστή.



Σχήμα 2.9 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ψύξης

Στο σύστημα θέρμανσης, το ψυκτικό υγρό που βρίσκεται στην οντότητα IDCON (πυκνωτής) εισέρχεται στην οντότητα IDEVA, μέσω της βαλβίδας EEV. Το υγρό εξατμίζεται στην IDEVA και ο αέρας καταλήγει στο συμπιεστή· ο αέρας ψύχεται και περνάει μέσα από αφυγραντήρα στην IDEVA και θερμαίνεται μέσω του ηλεκτρικού καλοριφέρ κα της οντότητας IDCON.



Σχήμα 2.10 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος θέρμανσης

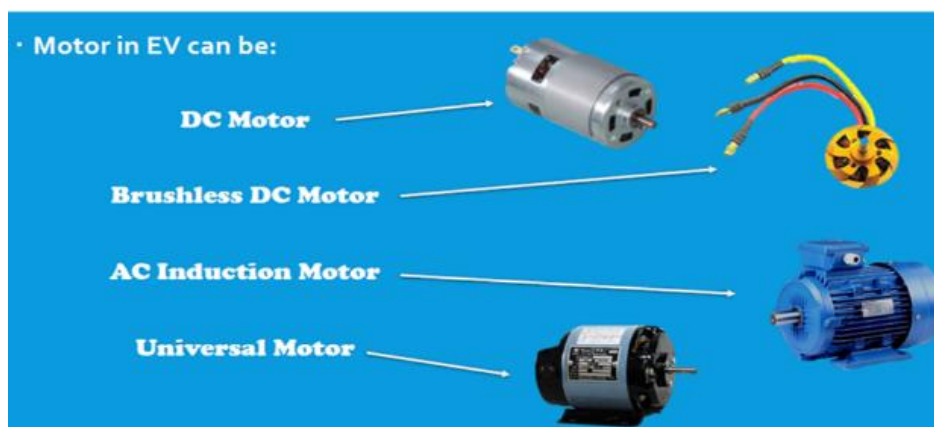
2.5 Είδη κινητήρων ηλεκτρικού οχήματος

Οι κινητήρες είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, με τη βοήθεια του μαγνητικού πεδίου. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν τα κυριότερα είδη κινητήρων που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα.

- Κινητήρας συνεχούς ρεύματος
Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC-Direct Current) χρησιμοποιείται στα συστήματα ελέγχου κινητήρα αυτοκινήτων εδώ και πολλά χρόνια. Μετατρέπει την ενέργεια συνεχούς ρεύματος σε μηχανική. Αποτελείται από το δρομέα, το στάτη και τις ψήκτρες. Ο στάτης αποτελείται από μόνιμους

μαγνήτες που δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο. Ο δρομέας αποτελείται από τον ηλεκτροφόρο αγωγό και οι ψήκτρες έρχονται σε επαφή με τον δρομέα, τροφοδοτώντας τον με ρεύμα. Όταν αγωγός βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο και διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, υφίσταται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο που τείνει να τον κινήσει προς ορισμένη κατεύθυνση.

- **Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες**
Τα τυλίγματα υψηλής τάσης τοποθετούνται στο σταθερό τμήμα του κινητήρα και στο δρομέα δημιουργείται το πεδίο με ένα μόνιμο μαγνήτη. Αν και ακριβότερος από το συμβατικό DC κινητήρα, ο κινητήρας DC χωρίς ψήκτρες είναι μικρότερος σε διαστάσεις, ευκολότερος στη συντήρηση με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αναπτύσσει μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής και μεγαλύτερες ροπές από ένα κινητήρα DC με ψήκτρες ίδιων διαστάσεων.
- **Κινητήρας μαγνητικής αντίστασης**
Σε αντίθεση με τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος, η ισχύς του ρεύματος μεταφέρεται στα τυλίγματα του στάτη και όχι του δρομέα. Με αυτό τον τρόπο, απλοποιείται το μηχανικό σχέδιο του κινητήρα, καθώς η ισχύς δεν μεταφέρεται στο κινούμενο μέρος του κινητήρα. Συγκριτικά με τους υπόλοιπους κινητήρες, έχει λιγότερα υλικά· δεν έχει τυλίγματα στο δρομέα και μαγνήτες, οπότε μειώνεται η πιθανότητα δυσλειτουργίας των επιμέρους τμημάτων του κινητήρα.
- **Κινητήρας επαγωγής**
Αποτελεί ένα είδος κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος. Το ηλεκτρικό ρεύμα δρομέα που χρειάζεται για να παραχθεί στροφορμή δημιουργείται από την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή του μαγνητικού πεδίου στον στάτη. Σε αντίθεση με τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος δεν έχει ψήκτρες και μπορεί να λειτουργεί με υψηλή ταχύτητα.
- **Κινητήρας μόνιμου μαγνήτη**
Ο στάτης, στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι παρόμοιος με αυτόν του κινητήρα επαγωγής. Ο δρομέας περιέχει μόνιμους μαγνήτες για να δημιουργήσει σταθερό μαγνητικό πεδίο. Ο στάτης έχει τυλίγματα, τα οποία συνδέονται σε πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, για να παραχθεί περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.



Σχήμα 2.11 Είδη κινητήρων ηλεκτρικού οχήματος

2.6 Τρόποι φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου, οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω.

2.6.1 Πρώτο επίπεδο φόρτισης: Φόρτιση συνεχούς ροής

Η φόρτιση συνεχούς ροής αποτελεί τον αργότερο τρόπο φόρτισης και συνήθως γίνεται στο σπίτι κατά τη διάρκεια της νύκτας ή στο χώρο εργασίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το ηλεκτρικό όχημα μπορεί να συνδεθεί με μια πρίζα 120V στο χώρο στάθμευσης του σπιτιού. Η σύνδεση γίνεται με καλώδιο, το οποίο περιλαμβάνεται στην αγορά ηλεκτρικού οχήματος. Αυτός ο τρόπος φόρτισης προσθέτει 8km στο χιλιομετρικό εύρος διαδρομής του ηλεκτρικού οχήματος ανά ώρα.



Σχήμα 2.12 Εξοπλισμός πρώτου επιπέδου φόρτισης

Το πρώτο επίπεδο φόρτισης ενδείκνυται για μια τυπική μέρα οδήγησης, καθώς σε ένα οκτάωρο το όχημα φορτίζεται για μια διαδρομή 64km. Ωστόσο, σε περιπτώσεις μεγαλύτερων διαδρομών, όπως σε ένα οδικό ταξίδι, χρειάζεται ένας ταχύτερος τρόπος φόρτισης, τόσο στο σπίτι όσο και κατά τη διάρκεια της διαδρομής.

2.6.2 Δεύτερο επίπεδο φόρτισης: Φόρτιση στο σπίτι και στο δρόμο

Φόρτιση στο σπίτι

Το δεύτερο επίπεδο φόρτισης στο σπίτι περιλαμβάνει μια πηγή 240 Volt. Λόγω της αυξημένης τάσης συγκριτικά με το πρώτο επίπεδο, το δεύτερο επίπεδο παρέχει επιπλέον ασφάλεια ως προς το να μην παρέχει ενέργεια στο βύσμα αν δεν έχει συνδεθεί ακόμα με το όχημα. Η τιμή αυτής της πηγής ξεκινά από 500 δολάρια και προσθέτει 42km στο χιλιομετρικό εύρος διαδρομής του οχήματος ανά ώρα. Επομένως, ένα όχημα είναι φορτισμένο σε τέσσερις περίπου ώρες.

Λόγω της απλότητας αυτού του σταθμού φόρτισής μπορεί να εξασφαλιστεί η φόρτιση και των μελλοντικών ηλεκτρικών οχημάτων. Όμως, εξαρτάται από το όχημα να μετατρέψει την ενέργεια σε αυτό που χρειάζεται η μπαταρία και να διαχειριστεί την φόρτισή του. Σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινιστεί ότι ο φορτιστής βρίσκεται στο όχημα και ουσιαστικά αποτελεί τα ηλεκτρονικά και το software που διαχειρίζεται τη φόρτιση. Συγκεκριμένα, το Nissan LEAF έχει έναν φορτιστή 3.3 kW που λειτουργεί

σε οποιοδήποτε σταθμό φόρτισης είναι σε θέση να παρέχει ενέργεια 240 Volt. Αυτό μεταφράζεται σε 20km εύρους διαδρομής ανά ώρα φόρτισης ή περίπου 8 ώρες πλήρους φόρτισης από κατάσταση άδειας μπαταρίας.



Σχήμα 2.13 Πηγή 240 V

Φόρτιση στο δρόμο



Σχήμα 2.14 Δημόσιοι σταθμοί φόρτισης

Το δεύτερο επίπεδο φόρτισης περιλαμβάνει δημόσιους σταθμούς φόρτισης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, πρόκειται να προστεθούν 25km εύρους ανά ώρα, συνεπώς τέσσερις ώρες πλήρους φόρτισης. Ο δημόσιος σταθμός φόρτισης είναι ευέλικτος και

μπορεί να φορτίσει ένα όχημα, είτε αυτόνομα είτε με ενσωμάτωση σε κάποιο δίκτυο. Η έξοδος είναι AC (Alternating Current) από 3.7 μέχρι 22 kVA.

2.6.3 Τρίτο επίπεδο φόρτισης: Γρήγορη DC φόρτιση

Το τρίτο επίπεδο συναντάται σε σταθμούς φόρτισης υψηλής ενέργειας και μπορεί να προσθέσει στο όχημα 136km εύρους σε μισή ώρα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το όχημα πρέπει να διαθέτει προαπαιτούμενο εξοπλισμό. Ωστόσο, λόγω των υψηλών επιπέδων ενέργειας, εγείρονται περισσότερα ζητήματα ασφάλειας και το βύσμα πρέπει να είναι μεγαλύτερο. Το κόστος ενός DC σταθμού φόρτισης μπορεί να φθάσει σε κόστος μέχρι τα 100000 δολάρια, αν και η Nissan έχει ανακοινώσει ότι θα μειώσει το κόστος του στα 10000. Θεωρείται, λοιπόν, μια ακριβή επένδυση που αδυνατεί προς το παρόν να προάγει ένα οικονομικό αγαθό, όπως η φόρτιση ενός EV.

2.7 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ηλεκτρικού οχήματος

Ένα ηλεκτρικό όχημα παρουσιάζεται φιλικότερο προς το περιβάλλον σε σχέση με ένα συμβατικό. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι έχει ανάγκη από ηλεκτρισμό, ο οποίος μπορεί να παράγεται σε εργοστάσιο άνθρακα. Στην συγκεκριμένη ενότητα, θα διερευνηθούν οι επιπτώσεις του ηλεκτρικού οχήματος στο περιβάλλον, ώστε να συγκριθεί με τη χρήση συμβατικού αυτοκινήτου.

2.7.1 Παραγωγή ηλεκτρικού οχήματος

Βασικό χαρακτηριστικό κατά τη διάρκεια της ζωής ενός οχήματος είναι η κατασκευή του. Υλικά όπως το αλουμίνιο, το πλαστικό και το ασάλι παράγονται και στη συνέχεια διανέμονται στις βιομηχανίες. Αυτή η διαδικασία είναι ίδια τόσο στα ηλεκτρικά όσο και στα συμβατικά οχήματα και απαιτεί ενέργεια και υλικά, που έχουν επίδραση στο περιβάλλον. Το σημείο που διαφοροποιείται η παραγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μπαταρίας και σκελετού αμαξώματος.

2.7.2 Λειτουργία

Για ένα συμβατικό όχημα, πρέπει να παραχθεί πετρέλαιο από πετρελαιοπηγές, να μεταφερθεί από αγωγούς ή με φορτηγά και βαγόνια σε διυλιστήριο και μετά να διοχετευτεί σε πρατήρια βενζίνης. Ένα EV απαιτεί ηλεκτρισμό για την κίνηση του. Η δραστηριότητα οδήγησης επιδρά στην ποιότητα αέρα και νερού και προκαλούν εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (greenhouse gas emissions). Αέρια εκπομπής συμβατικών οχημάτων, όπως το πρωτοξείδιο του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και το οξείδιο του θείου, προκαλούν όξινη βροχή, αιθαλομίχλη και αναπνευστικά προβλήματα. Συνεπώς, τα ηλεκτρικά οχήματα εξαλείφουν τις εκπομπές αερίων και θεωρούνται περιβαλλοντικά ανώτερα από τα συμβατικά.

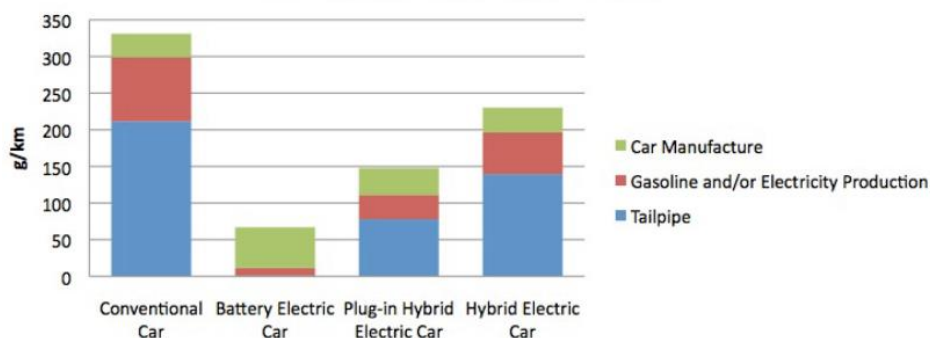
2.7.3 Απόσυρση

Στο τέλος του κύκλου ζωής του, ένα όχημα καταλήγει σε νεκροταφείο αυτοκινήτων, όπου ανακυκλώνονται όλα τα εξαρτήματα του. Ένα ακόμα σημαντικό ζήτημα είναι η ανακύκλωση μπαταριών· οι μπαταρίες πρέπει να αποθηκεύονται σωστά, δεδομένου ότι κατασκευάζονται από τοξικά και διαβρωτικά υλικά. Συνεπώς, πρέπει να

αναπτυχθεί και ένα σχέδιο ανακύκλωσης από τις εταιρείες οχημάτων, ώστε τα τοξικά απόβλητα να μην καταλήγουν στο περιβάλλον.

2.7.4 Αποτελέσματα

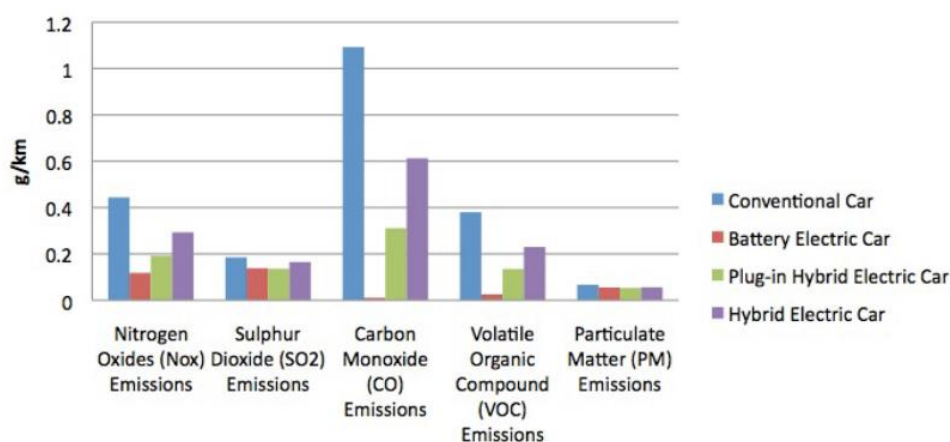
Στο Σχ.2.15 φαίνονται τα ποσοστά εκπομπής αερίων που σχετίζονται με την παραγωγή, την κατασκευή και την εξάτμιση σε συμβατικά, ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα.



Σχήμα 2.15 Επίπεδα εκπομπής αερίων ανά κατηγορία οχήματος

Ένα συμβατικό όχημα παράγει 325 γραμμάρια διοξείδιο του άνθρακα σε κάθε km κίνησης του. Η πλειοψηφία των εκπομπών αερίων είναι κατά κύριο λόγο από την εξάτμιση (μπλε τμήμα) και το υπόλοιπο από την παραγωγή πετρελαίου και ηλεκτρικής ενέργειας (κόκκινο τμήμα) και την κατασκευή του οχήματος (πράσινο τμήμα). Στα BEV, plug-in υβριδικό και υβριδικό/ηλεκτρικό παρατηρείται μείωση των εκπομπών κατά 80%, 55% και 30% αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα καθαρά ηλεκτρικό όχημα (BEV) μπορεί να χρησιμοποιήσει ηλεκτρική ενέργεια από χαμηλά επίπεδα άνθρακα, συγκριτικά με το συμβατικό όχημα, ενώ τα επίπεδα αερίων από εξάτμιση είναι μηδαμινά.

Στο Σχ.2.16, εξετάζονται οι εκπομπές πρωτοξειδίου του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα, πτητικών χημικών ενώσεων, αιωρούμενων σωματιδίων και διοξειδίου του θείου, τα οποία παράγονται κυρίως από την εξάτμιση.



Σχήμα 2.16 Επίπεδα αερίων εξάτμισης ανά κατηγορία οχήματος

Σε όλες τις περιπτώσεις εκπομπής αερίων, τα ηλεκτρικά οχήματα υπερτερούν των συμβατικών. Οι μειώσεις στις εκπομπές είναι σημαντικές και φθάνουν μέχρι και το 99%, όπως στην περίπτωση μονοξειδίου του άνθρακα στα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι στα ηλεκτρικά οχήματα (BEV και plug-in υβριδικά) τα αέρια που παράγονται από την εξάτμιση και οι ρύποι είναι αμφότερα σημαντικά μειωμένοι. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ηλεκτρισμός παράγεται κυρίως σε υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

2.8 Οικονομική προσέγγιση ηλεκτρικών οχημάτων

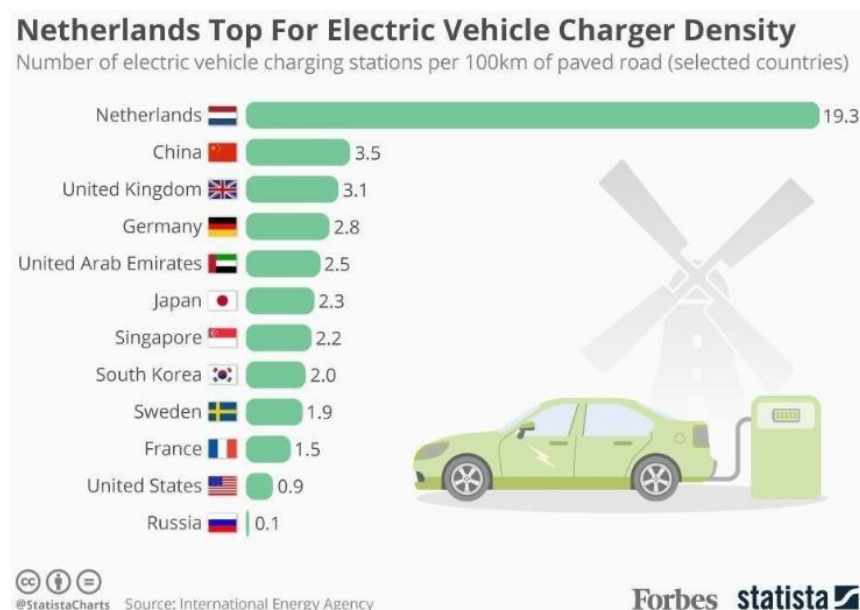
2.8.1 Κόστος ηλεκτρικού οχήματος

Το κόστος ενός πλήρως ηλεκτρικού οχήματος κυμαίνεται από 15000 έως 200000 δολάρια, ενώ των plug-in υβριδικών από 35000 έως 245000 δολάρια. Στον Πίνακα 2.1 υπάρχουν κάποια ενδεικτικά μοντέλα αυτοκινήτων.

2.8.2 Κόστος υποδομών φόρτισης

1. Το πρώτο επίπεδο φόρτισης είναι δωρεάν, καθώς όλα τα μοντέλα ηλεκτρικών οχημάτων θα είναι εξοπλισμένα με ένα βασικό καλώδιο για πρίζα 120 V.
2. Για το δεύτερο επίπεδο φόρτισης στο σπίτι, ο εξοπλισμός της πηγής 240 V ανέρχεται στα 1000 δολάρια, μαζί με την εγκατάσταση της στο σταθμό/χώρο φόρτισης
3. Σε ένα σταθμό φόρτισης δευτέρου επιπέδου, κάθε φορτιστής κοστίζει περίπου 350 και 600 δολάρια για non-wifi και wifi μοντέλο σύνδεσης αντίστοιχα. Υπάρχει επίσης και η επιλογή ενός φορητού φορτιστή με κόστος 400 δολαρίων. Επομένως, σε ένα σταθμό η εγκατάσταση κάθε σημείου φόρτισης κοστίζει περίπου 500 δολάρια.






Σύμφωνα με την υπηρεσία Statista, η χώρα με τη μεγαλύτερη πυκνότητα σταθμών φόρτισης (σταθμοί φόρτισης ανά 100km) το 2018 είναι η Ολλανδία.



Σχήμα 2.17 Σταθμοί φόρτισης ανά 100km

Στην Ελλάδα λειτουργούν μόλις 65 σταθμοί φόρτισης. Σύμφωνα με εκτίμηση της ΔΕΔΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) στο δέκατο συνέδριο Eco Mobility, μέχρι το 2020 θα εγκατασταθούν 1000 περίπου σταθμοί φόρτισης στην ηπειρωτική χώρα και 100 περίπου σταθμοί φόρτισης στα νησιά.

Πίνακας 2.1 Κατάλογος ηλεκτρικών οχημάτων

	Μοντέλο	Εύρος διαδρομής(km)	Κόστος αγοράς (\$)
	Nissan Leaf	170	17000-25000
	Renault Zoe	170	74000
	Tesla Motors Model 3	340	49000
	Hyundai Ioniq	219	60000
	Mitsubishi iMiev / Peugeot iOn	100	15000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

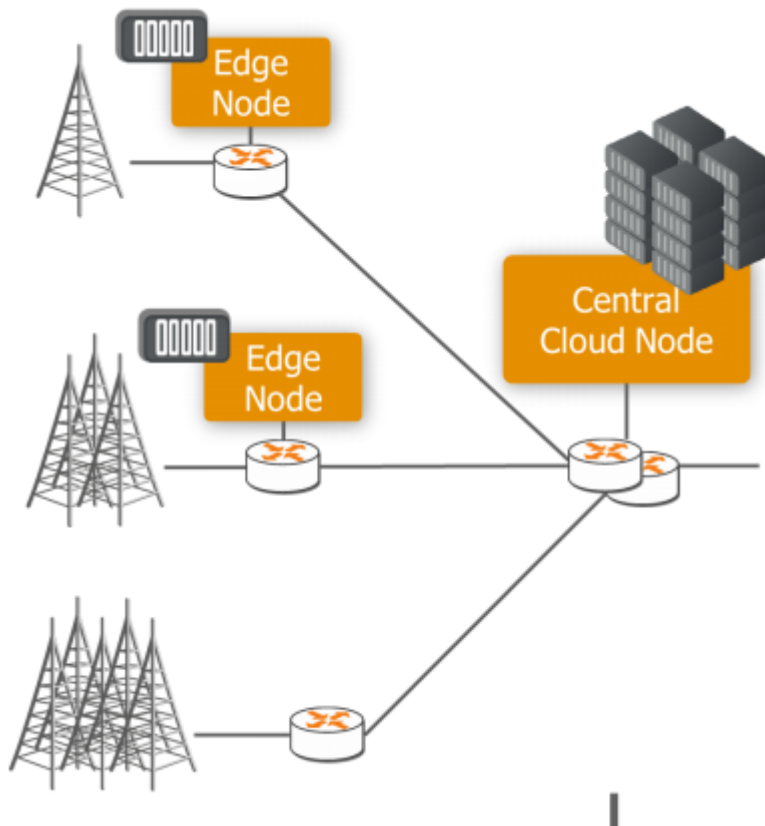
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ MOBILE EDGE COMPUTING

3.1 Εισαγωγή

Η αρχιτεκτονική Mobile edge computing αποτελεί μια πρόσφατα αναπτυσσόμενη τεχνολογία, η οποία στοχεύει στη διευκόλυνση υλοποίησης των δικτύων πέμπτης γενιάς στο πλαίσιο της μαζικής εξάπλωσης του IoT. Ουσιαστικά είναι το σύνολο των υποδομών υλικού και λογισμικού που είναι εγκατεστημένες στην κορυφή του δικτύου κινητών τηλεπικοινωνιών και προσφέρουν cloud computing υπηρεσίες στους χρήστες του ασύρματου δικτύου πρόσβασης. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική περιλαμβάνει υπηρεσίες όπως:

- Ασύρματα sensor δίκτυα
- Ανάκτηση και αποθήκευση κατανεμημένων δεδομένων
- Επεξεργασία και σύνδεση peer-to-peer ad hoc δικτύων
- Αυτόνομα self-healing δίκτυα
- Απομακρυσμένες υπηρεσίες νέφους

Το περιβάλλον του MEC διασφαλίζει τη βελτιστοποίηση των συστημάτων cloud computing εφαρμόζοντας την επεξεργασία δεδομένων στα άκρα του δικτύου, όπως φαίνεται και στο Σχ.3.1.



Σχήμα 3.1 Επεξεργασία δεδομένων στα άκρα δικτύου

Η αρχιτεκτονική MEC χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα:

1. Εντοπιότητα
2. Εγγύτητα
3. Χαμηλό χρόνο καθυστέρησης
4. Επίγνωση της θέσης
5. Γενικό πλαίσιο πληροφορίας του δικτύου

Ανάλογα με το εύρος της ενσωμάτωσης στον πυρήνα του δικτύου, ορίζονται τρεις τύποι περιπτώσεων εφαρμογής MEC:

- Ιδιωτική επικοινωνία

Χρησιμοποιείται κυρίως από επιχειρήσεις και παρέχει ασφαλή διασύνδεση με εξωτερικές οντότητες, καθώς επίσης και on-premises χαμηλής καθυστέρησης ιδιωτική επικοινωνία

- Τοπική επικοινωνία

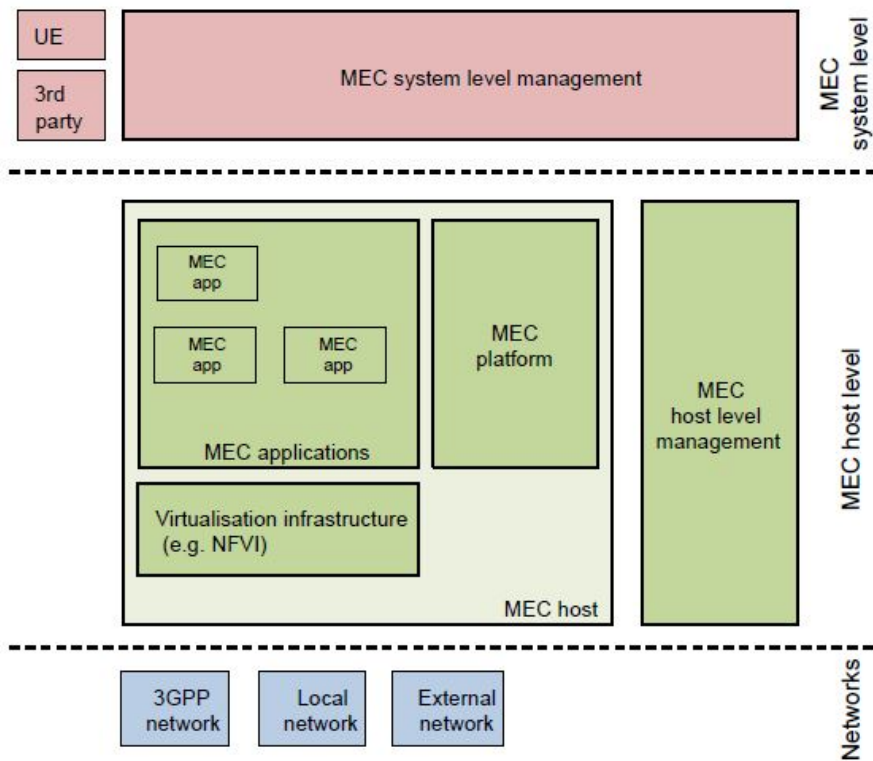
Υποστηρίζει τοπικές υπηρεσίες που εκτελούνται σε συγκεκριμένη περιοχή και αποτελείται από επίπεδες αρχιτεκτονικές· γίνεται περιορισμένη χρήση δρομολογητών και οι συσκευές δικτύου συνδέονται με ένα μεταγωγέα. Χρησιμοποιείται κυρίως σε διαφημίσεις και για ενημέρωση κυκλοφορικής συμφόρησης.

- Κατανεμημένη λειτουργικότητα

Παρέχει υψηλού επιπέδου λειτουργικότητα σε συγκεκριμένες περιοχές του δικτύου που σχετίζονται με τη συγκέντρωση δεδομένων και την αποθήκευσή τους σε servers που βρίσκονται εγγύτερα στο χρήστη.

3.2 Λειτουργικό πλαίσιο MEC

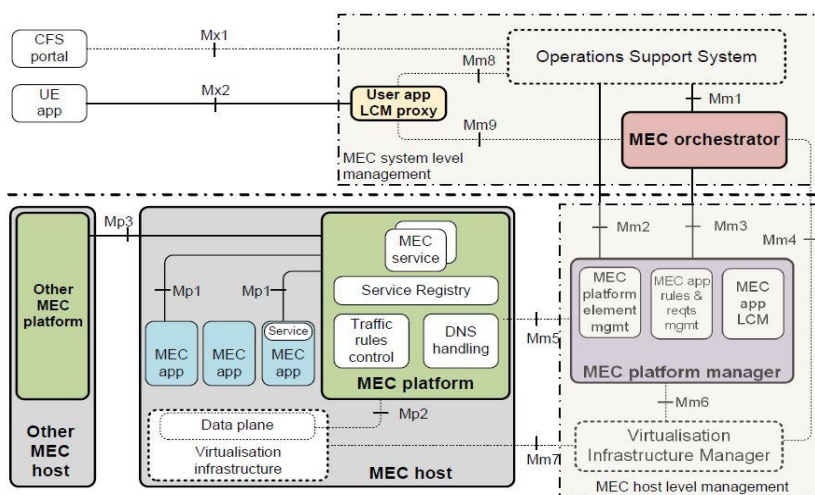
Στο Σχ.3.2 παρουσιάζεται το λειτουργικό πλαίσιο της αρχιτεκτονικής MEC, όπου φαίνονται οι υψηλού επιπέδου (ως προς τη λειτουργικότητα) οντότητες που εμπλέκονται στη λειτουργία της. Συγκεκριμένα, οι οντότητες αυτές ομαδοποιούνται σε επίπεδο συστήματος, επίπεδο ξενιστή και επίπεδο δικτύου. Στην κορυφή βρίσκεται το επίπεδο συστήματος. Ο διαχειριστής επιπέδου συστήματος ME (Mobile Edge system-level management) έχει την πλήρη εποπτεία του MEC συστήματος, όπως των ME host που είναι απαραίτητοι για να εκτελέσουν εφαρμογές σε ένα operator δίκτυο. Αμέσως μετά βρίσκεται το επίπεδο ξενιστή με κύριες οντότητες τον ME host και το διαχειριστή του. Ο ME host περιλαμβάνει τις MEC εφαρμογές, την υποδομή εικονικότητας δικτύου, που προσφέρει αποθηκευτικούς και υπολογιστικούς χώρους για την υλοποίηση των εφαρμογών και την πλατφόρμα που προσφέρει τη στοιχειώδη λειτουργικότητα για την εκτέλεση των εφαρμογών στη δομή εικονικότητας. Στη βάση βρίσκεται το επίπεδο δικτύου, το οποίο αποτελείται από εξωτερικές οντότητες όπως το 3GPP κυψελωτό δίκτυο, τα τοπικά και εξωτερικά δίκτυα (διαδίκτυο) και αντιπροσωπεύει τη σύνδεση αυτών.



Σχήμα 3.2 Λειτουργικό πλαίσιο MEC

3.3 MEC αρχιτεκτονική αναφοράς

Μια καλύτερη εικόνα για τα mobile edge συστήματα μπορεί να αποκτηθεί από την αρχιτεκτονική αναφοράς του MEC, η οποία απεικονίζεται ακολούθως. Όπως και στο MEC framework, υπάρχει διαχωρισμός σε επίπεδο συστήματος και ξενιστή, ενώ δεν είναι ορατό το επίπεδο δικτύου καθώς δεν υπάρχει αναφορά σε οντότητες που το αφορούν.



Σχήμα 3.3 Αρχιτεκτονική αναφοράς MEC

3.3.1 Επίπεδο συστήματος

Στο επίπεδο συστήματος διακρίνονται τρεις οντότητες:

1. Ο mobile edge εντοπιστής- MEO (Mobile Edge Orchestrator)
2. Το σύστημα υποστήριξης λειτουργιών- OSS (Operation Support System)
3. Ο διαχειριστής κύκλου ζωής- LCM (Lifecycle Management) proxy

Η κεντρική οντότητα είναι ο MEO, διότι έχει ορατότητα όλων των πηγών του συστήματος και διατηρεί πληροφορίες σε όλο το ME (Mobile Edge) σύστημα. Συγκεκριμένα, αναγνωρίζει τις υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες σε κάθε host και την τοπολογία του δικτύου. Επιπλέον, είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των ME εφαρμογών υποστηρίζοντας το φόρτωμα (on-boarding) πακέτων εφαρμογών, τον έλεγχο της αυθεντικότητας και της ακεραιότητας των εφαρμογών, την επικύρωση των πολιτικών χρήσης των παρόχων. Διατηρεί ένα κατάλογο όλων των πακέτων εφαρμογών και προετοιμάζει τους διαχειριστές υποδομής εικονικότητας για το χειρισμό τους.

Ο MEO έχει σημείο αναφοράς (Mm1) με το OSS και στοχεύει στη δημιουργία και τον τερματισμό των ME εφαρμογών στο σύστημα. Το σημείο αναφοράς μέσω του VIM (virtual infrastructure manager) χρησιμοποιείται για τη διαχείριση οπτικοποιημένης πληροφορίας του ME host, καθώς επίσης και των εικόνων των εφαρμογών που υπάρχουν στο σύστημα.

Ο διαχειριστής κύκλου ζωής αποτελεί λειτουργία που σχετίζεται με τις αιτήσεις χρηστών για εκκίνηση, μεταφορά και τερματισμό των εφαρμογών. Ο LCM διακομιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να μεταφέρει μια υπηρεσία σε ένα εξωτερικό cloud και το αντίστροφο.

Συνολικά, η μεταφορά αιτημάτων γίνεται μέσω δύο διαύλων. Ο ένας δίαυλος διέρχεται από τον LCM διακομιστή και μεταφέρονται αιτήματα της εφαρμογής που τρέχει στον εξοπλισμό του χρήστη (UE) στον εντοπιστή μέσω του σημείου Mm9. Ο δεύτερος δίαυλος διέρχεται από το OSS και δέχεται αιτήματα είτε απευθείας από μια πύλη διεπαφής του χρήστη (CFS), μέσω του σημείου αναφοράς Mx1, είτε από μια εφαρμογή εξοπλισμού χρήστη που διέρχεται πρώτα από τον LCM για επεξεργασία.

3.3.2 Επίπεδο ξενιστή

Στο επίπεδο ξενιστή κυριαρχούν πέντε οντότητες:

1. Ο MEC ξενιστής
Η οντότητα ME ξενιστή παρέχει την επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων που χρειάζονται οι εφαρμογές, ενώ παράλληλα εκτελεί τη δρομολόγηση πληροφοριών στις διάφορες εφαρμογές. Πρόκειται, ουσιαστικά, για το στοιχείο του δικτύου όπου τρέχουν όλες οι εφαρμογές MEC. Περιλαμβάνει το διαχειριστή εικονικής υποδομής και τη ME πλατφόρμα.
2. Η MEC πλατφόρμα
Παρέχει τους δικτυακούς, αποθηκευτικούς και υπολογιστικούς πόρους για να τρέξουν οι MEC εφαρμογές. Επιπλέον, λαμβάνει τις προδιαγραφές για τη

διαχείριση των δεδομένων από το διαχειριστή της MEC πλατφόρμας και διαμορφώνει το περιβάλλον, μέσα στο οποίο, οι εφαρμογές μπορούν να λάβουν υπηρεσίες από άλλες πλατφόρμες.

3. Η εικονική υποδομή VI (Virtual Infrastructure)

Η οντότητα της εικονικής υποδομής επικοινωνεί με τη MEC πλατφόρμα με το σημείο αναφοράς M₂· έτσι λαμβάνει τους κανόνες κίνησης δεδομένων. Επικοινωνεί με το διαχειριστή εικονικής υποδομής VIM (Virtual Infrastructure Manager) μέσω του σημείου M₇, όπου γίνεται η διανομή των εικονικών πόρων στη VI, ώστε η τελευταία να εκτελέσει κάποιο λογισμικό.

4. Οι MEC εφαρμογές

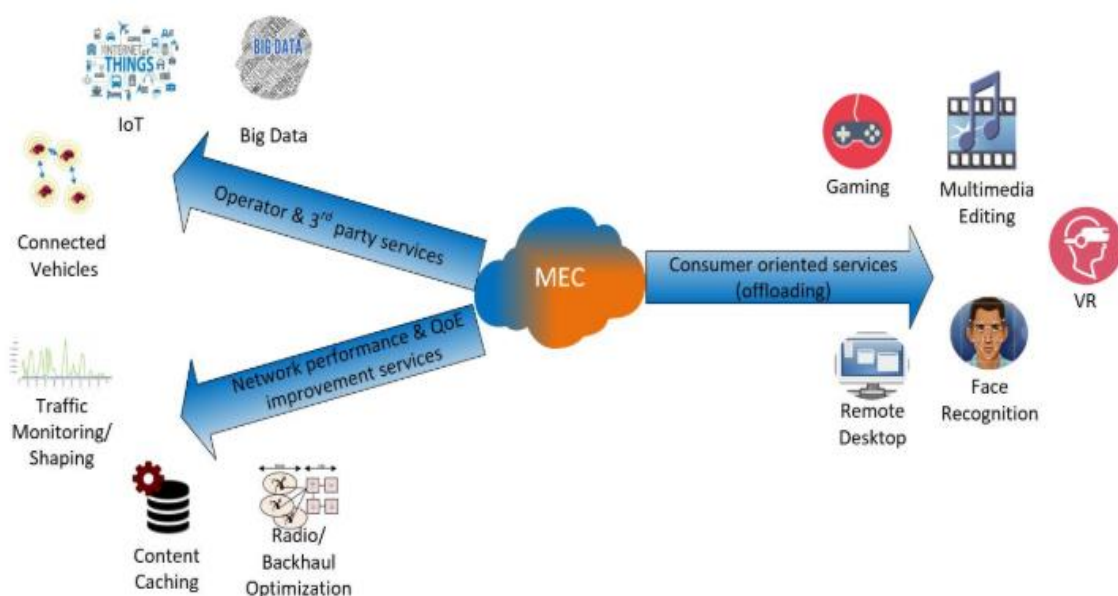
Οι εφαρμογές MEC εκτελούνται ως εικονικές μηχανές VM (Virtual Machines), δηλαδή εξομοιώνουν την αρχιτεκτονική ενός υπολογιστικού συστήματος. Σε αρκετές περιπτώσεις, οι MEC εφαρμογές αλληλοεπιδρούν με τη MEC πλατφόρμα, ώστε οι πρώτες να ενημερωθούν από τις δεύτερες για την αλλαγή θέσης του χρήστη εφαρμογής.

5. Ο διαχειριστής της ME πλατφόρμας

Βασική λειτουργία αυτής της οντότητας είναι να ελέγχει τη διάρκεια ζωής των εφαρμογών και να ενημερώνει το ME ενορχηστρωτή. Επιπλέον, λαμβάνει ειδοποιήσεις για τυχόν σφάλματα από το διαχειριστή εικονικής υποδομής και τα επεξεργάζεται.

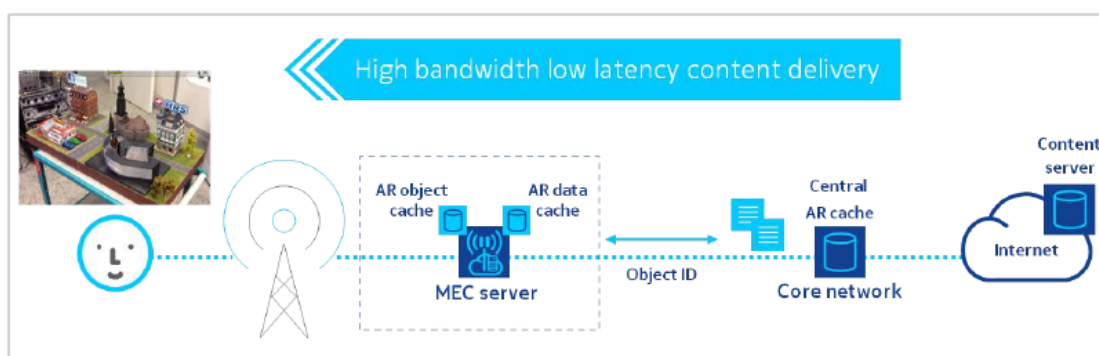
3.4 Πεδία εφαρμογής του MEC

Η αρχιτεκτονική του MEC έχει, μεταξύ άλλων, σκοπό να παρέχει νέες IoT υπηρεσίες, οι οποίες θα είναι τεχνικά και οικονομικά εφαρμόσιμες πριν το ξεκίνημα των δικτύων πέμπτης γενιάς. Στη συνέχεια, θα γίνει η παρουσίαση των πεδίων εφαρμογής του MEC που σχετίζονται με IoT σενάρια, ώστε να γίνουν αντιληπτά τα πλεονεκτήματα του MEC περιβάλλοντος στη δημιουργία QoE (Quality of Experience) platforms και ευέλικτων παροχών υπηρεσιών στο mobile operator.



Σχήμα 3.4 Πεδία εφαρμογής του MEC

3.4.1 Επαυξημένη πραγματικότητα



Σχήμα 3.5 Σενάριο επαυξημένης πραγματικότητας

Χαρακτηριστική περίπτωση ανάγκης για χαμηλή καθυστέρηση (χρόνος αδρανής περιόδου) και εξυπηρέτηση μεγάλου όγκου δεδομένων αποτελούν οι εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας AR (Augmented Reality). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο χρήστης μπορεί να έχει την εποπτεία του φυσικού του περιβάλλοντος και ενός computed-generated αισθητηριακού στοιχείου (εικόνα, ήχος, GPS δεδομένα) ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, σε ένα μουσείο ο επισκέπτης θα μπορεί να εστιάσει με την κάμερα κάποιο σημείο ενδιαφέροντος και να γίνεται σε αυτή παράθεση πληροφοριών στη συσκευή του σχετικά με αυτό.

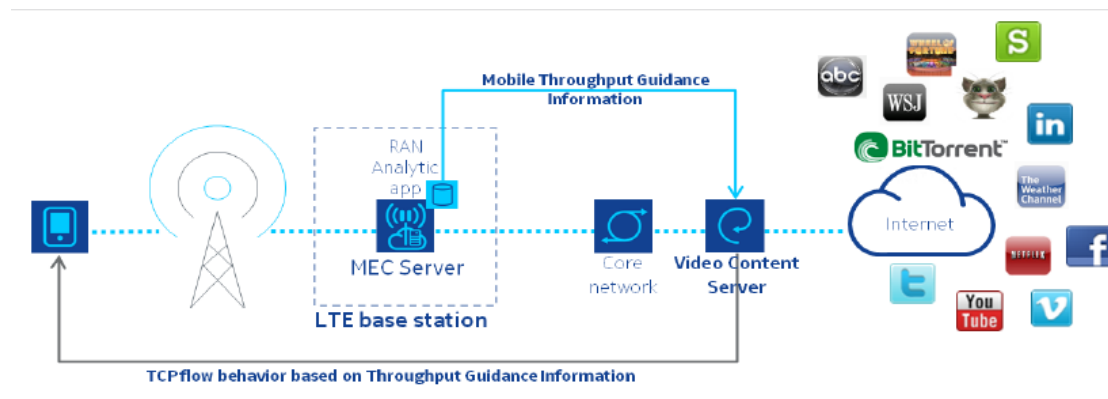
Οι AR υπηρεσίες απαιτούν τον προσδιορισμό της θέσης του χρήστη και του οπτικού πεδίου της κάμεράς του ώστε, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα αυτά, η εφαρμογή να του παρέχει τις σχετικές πληροφορίες. Τα πλεονεκτήματα των AR υπηρεσιών είναι η εξυπηρέτηση σε πραγματικό χρόνο, η άμεση ανταπόκριση και η προσαρμοστικότητα σε ενδεχόμενη κίνηση του χρήστη. Συνεπώς, υπάρχει απαίτηση για χαμηλή καθυστέρηση, μεγάλη υπολογιστική ικανότητα και μεγάλο εύρος ζώνης, για να παρέχει στο χρήστη τις σωστές πληροφορίες, ανεξάρτητα από την τοποθεσία του και το πόσο γρήγορα κινείται.

Συνεπώς, με τη χρήση της MEC αρχιτεκτονικής οι υπολογιστικοί πόροι και τα δεδομένα της AR εφαρμογής βρίσκονται κοντά στο χρήστη και όχι σε κάποιον απομακρυσμένο εξυπηρετητή και εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ταχύτητα στην εξυπηρέτηση των αιτημάτων των χρηστών. Με αυτόν τον τρόπο, προστατεύεται το δίκτυο κορμού από ενδεχόμενη συμφόρηση που θα προκαλούσε η κίνηση από τις εφαρμογές αυτές προς και από το cloud.

3.4.2 Έξυπνη βελτιστοποίηση βίντεο

Το streaming και downloading της διανομής αρχείων και των ειδήσεων μέσω Internet γίνεται με τη χρήση HTTP (Hypertext Transfer Protocol) πρωτοκόλλου πάνω από το TCP (Transmission Control Protocol) πρωτόκολλο. Η συμπεριφορά του TCP πρωτοκόλλου μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή χρήση των πηγών του κυβελωτού δικτύου, γιατί λειτουργεί με την υπόθεση ότι κύρια αιτία για απώλεια πακέτων είναι η συμφόρηση του δικτύου.

Στο Σχ.3.6 παρουσιάζεται ένα σενάριο έξυπνης βελτιστοποίησης βίντεο. Σε αυτό, μια εφαρμογή που βρίσκεται μέσα στο MEC εξυπηρετητή ενημερώνει τον εξυπηρετητή περιεχομένου βίντεο για το εκτιμώμενο διαθέσιμο εύρος ζώνης σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να γίνουν ενέργειες, όπως η επιλογή μεγέθους του αρχικού παραθύρου και του παραθύρου συμφόρησης, για την αποφυγή του αργού μηχανισμού του TCP.

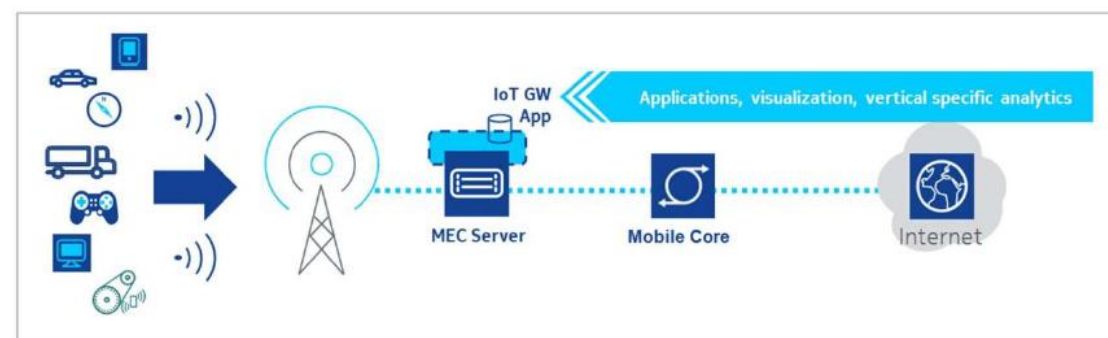


Σχήμα 3.6 Σενάριο έξυπνης βελτιστοποίησης βίντεο

Επομένως, η χρήση MEC στην περίπτωση αυτή συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση του χρόνου έναρξης αναπαραγωγής video και του χρόνου προσωρινής διακοπής ή στασιμότητας (video-stall), παρέχοντας τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει πρόσβαση σε αναπαραγωγή βίντεο μέγιστης αποδοτικότητας και υψηλής ποιότητας.

3.4.3 Σενάριο IoT πύλης

Το διαδίκτυο των πραγμάτων χαρακτηρίζεται από τη διασύνδεση πολλών συσκευών και την ανάγκη για ασφάλεια και χαμηλό χρόνο καθυστέρησης. Οι διάφορες συσκευές συνδέονται μεταξύ τους με ποικίλες μορφές διασύνδεσης, όπως WiFi, LTE και 3G. Σε γενικές γραμμές, τα προς μετάδοση μηνύματα είναι μικρά, κρυπτογραφημένα και διαμορφωμένα με διάφορες μορφές πρωτόκολλων.



Σχήμα 3.7 Σενάριο IoT πύλης

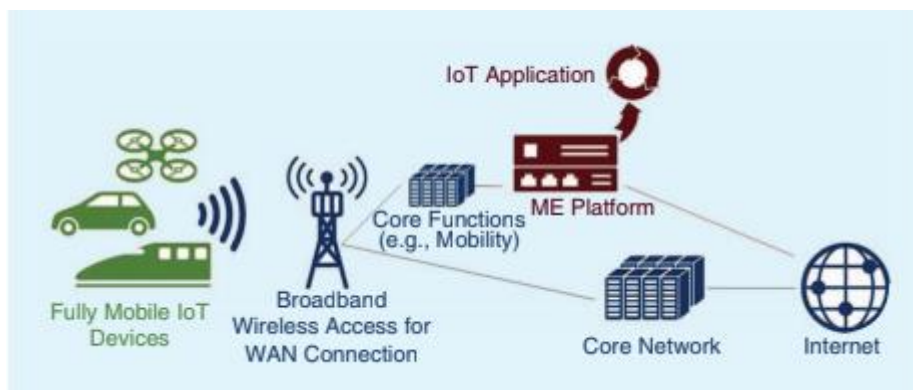
Οι IoT συσκευές είναι περιορισμένες ως προς τη χωρητικότητα της μνήμης και την επεξεργαστική δυνατότητα. Υπάρχει, λοιπόν, ανάγκη για συνάθροιση των μηνυμάτων από τις IoT συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε ένα κινητό δίκτυο κοντά στις συσκευές/χρήστες.

Η αρχιτεκτονική MEC χρησιμοποιείται για την απομακρυσμένη σύνδεση και τον έλεγχο των συσκευών καθώς επίσης και για την ανταπόκριση των εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να μειωθεί ο μετ' επιστροφής χρόνος (round trip time) των δεδομένων. Οι IoT εφαρμογές μπορούν να τρέχουν σε MEC εξυπηρετητές, οι οποίοι αξιοποιούνται από το σταθμό βάσης ενός LTE δικτύου, ώστε να εξασφαλιστεί υψηλή λειτουργικότητα.

Συγκεκριμένα, ένας MEC εξυπηρετητής μπορεί να προσφέρει

- Απομακρυσμένη πρόσβαση ελέγχου σε τερματικές συσκευές
- Σύνδεση με κατάλληλη βάση δεδομένων
- Κατανομή και συνάθροιση υπηρεσιών
- Ανάλυση των δεδομένων συσκευής
- Σύστημα αποφάσεων (decision logic based) σε στατιστικά αποτελέσματα

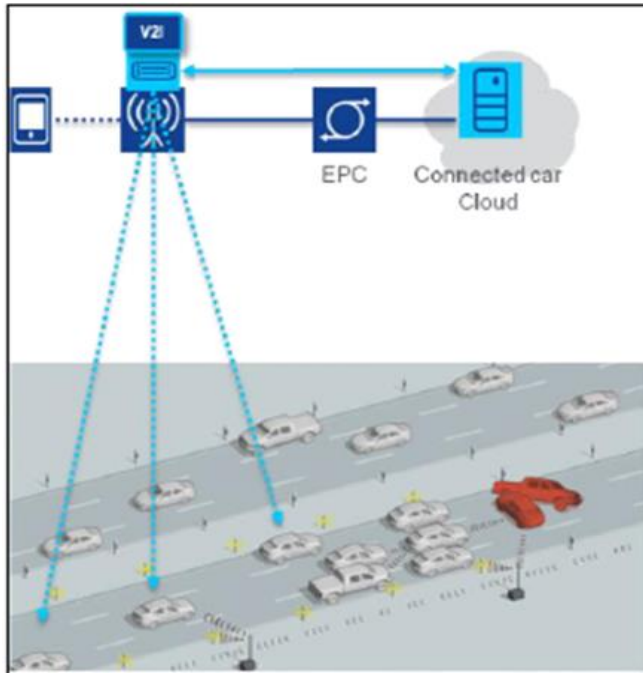
3.4.5 Διασυνδεδεμένα οχήματα



Σχήμα 3.8 Σενάριο διασυνδεδεμένων οχημάτων

Ο αριθμός των διασυνδεδεμένων οχημάτων συνεχώς αυξάνεται τα τελευταία χρόνια. Για την τηλεπικοινωνιακή διασύνδεση οχημάτων, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες σύνδεσης για κοντινές (DSRC- Dedicated short range communication) και για μακρινές (LTE) αποστάσεις. Η επικοινωνία των αυτοκινήτων και των αισθητήρων στο δρόμο έχει στόχο να αυξήσει την ασφάλεια και την αποδοτικότητα του συστήματος μεταφορών.

Η χρήση του LTE δικτύου μπορεί να επιταχύνει την ανάπτυξη της επικοινωνίας διασυνδεδεμένων αυτοκινήτων. Οι LTE κυψέλες μπορούν να παρέχουν κάλυψη πέραν της οπτικής επαφής (line of sight), πρακτικά πέραν από το εύρος της απευθείας επικοινωνίας μεταξύ αυτοκινήτων σε απόσταση 300-500 μέτρων. Επιπλέον, μπορεί να ανταποκριθεί σε στενά περιθώρια χρονικής καθυστέρησης της επικοινωνίας και να συνεισφέρει εκεί που υπάρχει DSRC δίκτυο. Η MEC εφαρμογή των διασυνδεδεμένων οχημάτων έχει στόχο να ενημερώνει τους γειτονικούς MEC εξυπηρετητές για τα γεγονότα του εξωτερικού περιβάλλοντος, ενώ παράλληλα επιτρέπει σε αυτούς τους εξυπηρετητές να μεταδίδουν ειδοποιήσεις κινδύνου στα αυτοκίνητα που βρίσκονται κοντά σε επικίνδυνη περιοχή.



Σχήμα 3.9 Επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων του δικτύου

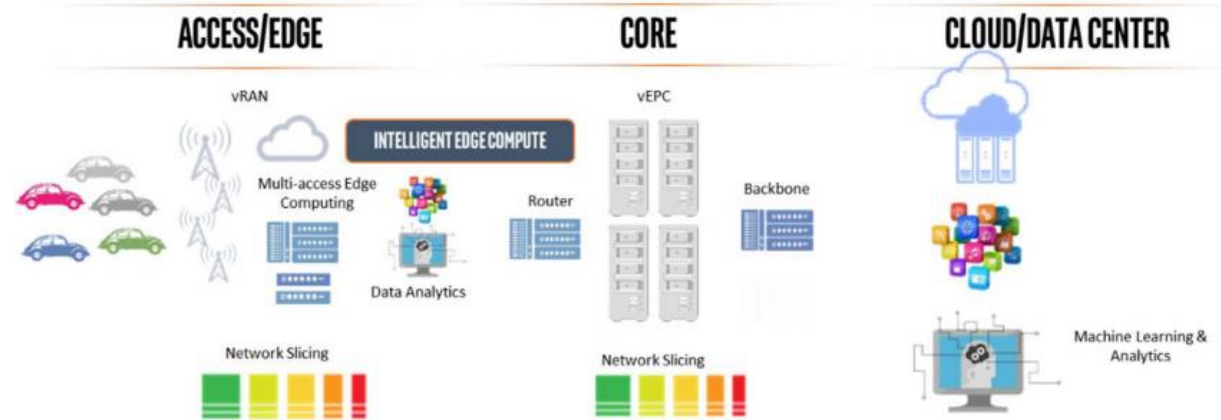
Η roadside εφαρμογή θα μπορεί να αποστέλλει τοπικές πληροφορίες στο cloud των διασυνδεδεμένων οχημάτων με στόχο την πρόσθετη στοχευμένη μετάδοση και επεξεργασία. Έτσι, γίνεται ενημέρωση ως προς την κυκλοφορική συμφόρηση, τις διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης σε ένα χώρο και τυχόν ατυχήματα που έχουν συμβεί.

3.5 Mobile Edge Computing στο αυτοκινητιστικό σύστημα

Η επέκταση από το cloud στο edge computing στα οχήματα προέκυψε από την ανάγκη για μείωση του χρόνου καθυστέρησης στην επικοινωνία με τον πυρήνα του δικτύου. Ανάγκες όπως ο εντοπισμός ενός σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και οι εφαρμογές οδικής ασφάλειας, με την εφαρμογή της αρχιτεκτονικής MEC εκτελούνται εγγύτερα στην πλευρά του οχήματος/χρήστη.

Βασικά χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή του edge computing στα οχήματα είναι τα εξής:

1. Network slicing ώστε να προσαρμοστούν οι δυνατότητες και η χωρητικότητα του δικτύου σε κάθε διαφορετική υπηρεσία
2. Ιεραρχική ανάπτυξη της edge computing αρχιτεκτονικής, χρησιμοποιώντας κατάλληλες πύλες ώστε οι εξυπηρετητές να μοιράσουν τη διαδικασία και να μειώσουν το χρόνο καθυστέρησης



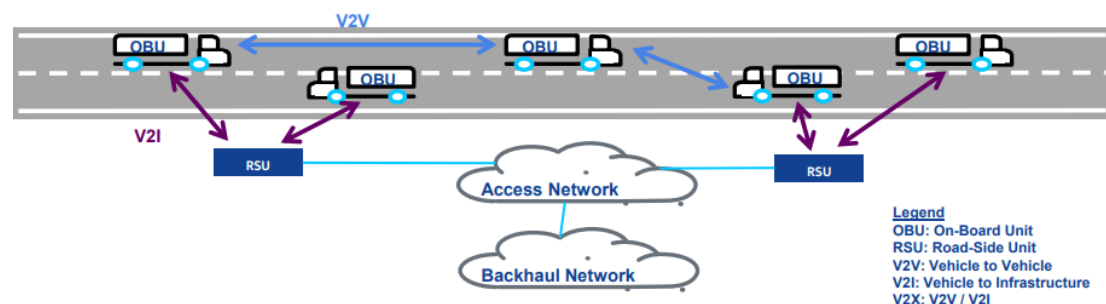
Σχήμα 3.10 Στοιχεία edge computing σε σύστημα οχημάτων

3.6 Περιπτώσεις edge computing στα διασυνδεδεμένα αυτοκίνητα

Οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ των οχημάτων, των πεζών, των έργων υποδομής και του δικτύου χρησιμοποιώντας υπηρεσίες V2X (vehicle to everything) έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας πληθώρας εφαρμογών. Το περιβάλλον τους χαρακτηρίζεται από εγγύτητα με τους τελικούς χρήστες και σχεδόν πραγματικού χρόνου πρόσβαση σε πληροφορίες που σχετίζονται με την τοποθεσία της συσκευής και την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Ακολούθως, αναλύονται συγκεκριμένα σενάρια υπηρεσιών ώστε να γίνει κατανοητή η απαιτούμενη επεξεργασία των πληροφοριών με τη χρήση edge computing.

3.6.1 Πρώτο Σενάριο: Επίγνωση γεγονότων σε πραγματικό χρόνο και υψηλής ευκρίνειας χάρτες

Η επίγνωση γεγονότων σε πραγματικό χρόνο είναι σημαντική για την αυτόνομη οδήγηση, κυρίως σε τμήματα οδικού δικτύου με αυξημένη κίνηση. Επιπλέον, οι σχετικοί με την περιοχή χάρτες είναι διαθέσιμη μέσω back-end εξυπηρετητών, δηλαδή βάσεων δεδομένων και script στα οποία ο χρήστης δεν έχει άμεση πρόσβαση.

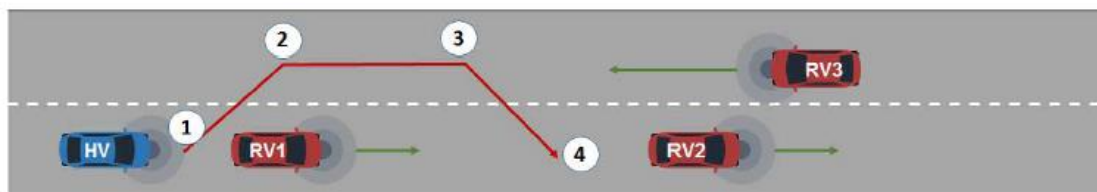


Σχήμα 3.11 Στιγμιότυπο πρώτου σεναρίου

Εκτός από την παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κίνηση, η ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής MEC στο συγκεκριμένο σενάριο έχει στόχο τη συλλογή και διανομή πληροφοριών μέσω RSUs (συσκευών που υποστηρίζουν την επικοινωνία των οχημάτων), για ακριβέστερη επαυξημένη επίγνωση μιας περιοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πληροφορία για τη διαθεσιμότητα θέσεων

φόρτισης, ή για την τοποθεσία ενός σταθμού φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος. Η πληροφορία αυτή μπορεί να είναι real-time ή και αποθηκευμένη από άλλους χρήστες του δικτύου.

3.6.2 Δεύτερο σενάριο: See-through (κατά την προσπέραση)



Σχήμα 3.12 Στιγμιότυπο δεύτερου σεναρίου

Το συγκεκριμένο σενάριο ανήκει σε μια κατηγορία εφαρμογών στο πεδίο του High Definition Sensor Sharing, όπου τα κινούμενα οχήματα, που βρίσκονται στην ίδια διαδρομή και φέρουν κάμερα, μοιράζονται φωτογραφίες που απεικονίζουν τις συνθήκες στο δρόμο στα αυτοκίνητα που βρίσκονται πίσω τους. Ουσιαστικά, ειδοποιείται ο οδηγός ενός αυτοκινήτου ποιο όχημα πρόκειται να προσπεράσει ένα άλλο απομακρυσμένο όχημα, πότε έρχεται από την αντίθετη λωρίδα ένα αμάξι και πότε υπάρχει παραβίαση της απόστασης ασφαλείας μεταξύ ενός οχήματος και του προπορευόμενου του.

Ένα απλό παράδειγμα περιγράφεται στο Σχ.3.12 με τα εξής βήματα:

1. Το HV ξεκινά να λαμβάνει ένα βίντεο ροής από το RV1
2. Το HV έχει περάσει στο αντίθετο ρεύμα, για να προσπεράσει, ενώ συνεχίζει να λαμβάνει βίντεο από το RV1
3. Στη θέση 3 το HV έχει φτάσει σε σημείο που το καθιστά έτοιμο να ολοκληρώσει την προσπέραση και να περάσει στην αρχική λωρίδα
4. Μετά την ολοκλήρωση της προσπέρασης παύει να λαμβάνει βίντεο από το RV1

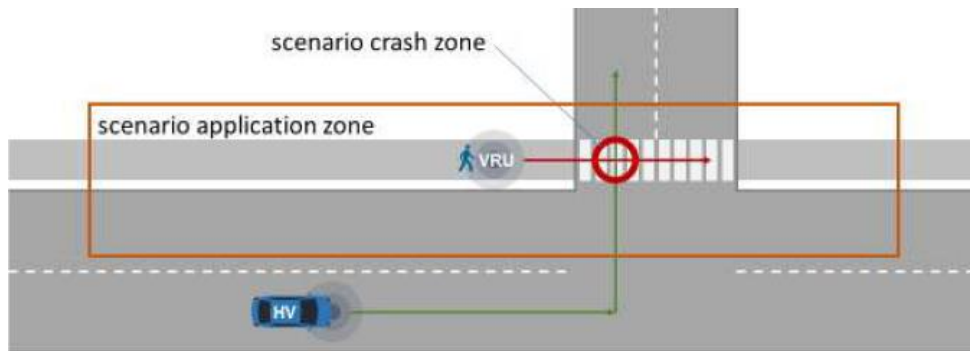
Συνοπτικά, στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο σκοπός είναι να έχει ο οδηγός του HV μια ευκρινή, αξιόπιστη και πραγματικού χρόνου εικόνα για την τρέχουσα κατάσταση που υπάρχει μπροστά από το όχημα που θέλει να προσπεράσει. Η παρουσία ενός MEC on-board εξυπηρετητή είναι αναγκαία

- για να εξασφαλίσει υπολογιστική δύναμη για επεξεργασία δεδομένων, όπως η εκτίμηση της απόστασης, η διαδρομή που απαιτείται για να γίνει ένας ελιγμός, η τροχιά ενός επερχόμενου οχήματος
- για τη μεταφορά βίντεο ροής πραγματικού χρόνου και για την επεξεργασία του στις παρυφές του δικτύου

3.6.3 Τρίτο σενάριο: Ανίχνευση ευάλωτης ομάδας στο δρόμο (VRU-Vulnerable Roadside Unit)

Το σενάριο αυτό αναφέρεται κυρίως σε πεζούς, ποδηλάτες και δικυκλιστές. Οι ευάλωτες αυτές ομάδες μπορούν να κοινοποιήσουν την τοποθεσία τους μέσω

συσκευών, όπως smartphone και tablet ώστε με τη χρήση αυτής την πληροφορίας από τα αυτοκίνητα να αυξηθεί η ασφάλεια και να αποφευχθούν τα ατυχήματα.



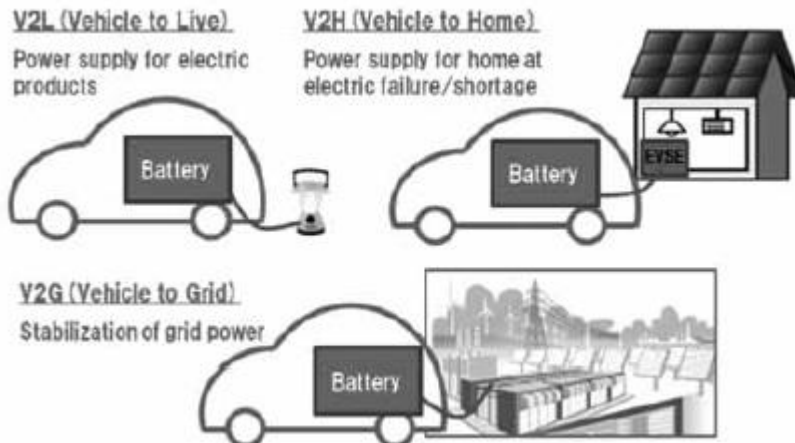
Σχήμα 3.13 Στιγμιότυπο τρίτου σεναρίου

Στο παράδειγμα που απεικονίζεται στο Σχ.3.13, ο οδηγός του οχήματος που σκοπεύει να κάνει στροφή προς αριστερά έχει ειδοποιηθεί για την παρουσία VRU (στη συγκεκριμένη περίπτωση πεζού). Για να μοιράσει μια έγκυρη ειδοποίηση η εφαρμογή, πρέπει να υπολογίσει τις τροχιές του οχήματος και του πεζού, τη γεωμετρία του δρόμου και της διασταύρωσης και να καθορίσει τον κίνδυνο πρόσκρουσης στο χρονικό περιθώριο στο οποίο συναντώνται οι τροχιές. Πρόσφατα, η αρχιτεκτονική MEC έχει κυκλοφορήσει την πρώτη ομάδα διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί για να βελτιώσει την ακρίβεια πληροφορίας ως προς την τοποθεσία όλων των χρηστών.

3.6.4 Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος

Λόγω της ανάγκης για μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, έχει ξεκινήσει παγκοσμίως η προσπάθεια ανάπτυξης υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Η μεταφορά της ΗΕ στο όχημα αποτελεί κομμάτι της V2X τεχνολογίας, που παρουσιάστηκε στα τρία σενάρια διασυνδεδεμένων οχημάτων. Η V2X τεχνολογία χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες: V2G, V2H (Vehicle to Home) και V2L (Vehicle to Line).

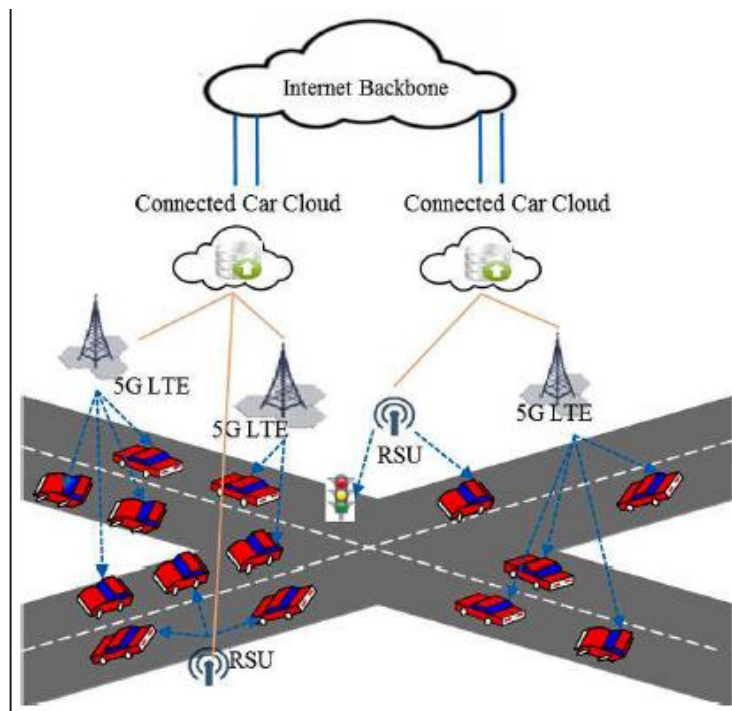
Η V2L τεχνολογία περιλαμβάνει τη φόρτιση κάποιας ηλεκτρικής συσκευής με μεταφορά ενέργειας από το όχημα (περίπτωση επείγουσας φόρτισης). Οι τεχνολογίες V2G και V2H περιλαμβάνουν τη φόρτιση οχήματος από το δίκτυο και στο σπίτι αντίστοιχα. Στο πλαίσιο εφαρμογής MEC στη V2X τεχνολογία, μπορεί να βελτιωθούν οι συνθήκες φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος. Για παράδειγμα, με την ανάπτυξη του πρώτου σεναρίου της Ενότητας 3.6.1 μπορεί να γνωστοποιείται σε ένα όχημα η τοποθεσία ενός σταθμού φόρτισης, μέσω της επικοινωνίας του με άλλα οχήματα. Μάλιστα, στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου της Ενότητας 3.6.2, από τη στιγμή όπου τα οχήματα γνωστοποιούν τις συνθήκες κίνησης στο δρόμο, υπάρχει δυνατότητα γνωστοποίησης της βέλτιστης διαδρομής προς στον επιθυμητό σταθμό φόρτισης.



Σχήμα 3.14 V2X στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων

3.7 Από τη θεωρία στην πράξη

Στη συνέχεια θα αναλυθεί το πρώτο εγχείρημα εφαρμογής MEC σχετικά με την οδική ασφάλεια από τις εταιρείες Continental, Deutsche Telekom, Fraunhofer ESK, και Nokia . Το πείραμα αυτό αναπτύχθηκε το 2015 στην πλατφόρμα A9 motorway και καλύπτει απόσταση 30 χιλιομέτρων οδήγησης. Στο συγκεκριμένο ερευνητικό έργο γίνεται προσπάθεια αναβάθμισης του υπάρχοντος LTE δικτύου της Deutsche Telekom στην πλατφόρμα A9 motorway με χρήση MEC τεχνολογίας των δικτύων της Nokia.



Σχήμα 3.15 Πειραματικό σενάριο MEC

Το εγχείρημα αυτό περιλάμβανε την αναβάθμιση του ήδη υπάρχοντος LTE δικτύου της Deutsche Telekom με την προσθήκη cloudlets, δηλαδή datacenters νέφους που βρίσκονται στις παρυφές του δικτύου. Τα cloudlets δρομολογούν την πληροφορία κατευθείαν στις κυψέλες, αντί να μεταφέρουν δεδομένα στο κινητό δίκτυο μέσω

cloud. Με αυτόν τον τρόπο, η από τερματικό σε τερματικό καθυστέρηση μπορεί να μειωθεί δραματικά σε τιμές κάτω από 20 ms.

Τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική πλατφόρμα φέρουν μια συσκευή, η οποία συνδέεται στο σύστημα του αυτοκινήτου και επικοινωνεί με το LTE δίκτυο μέσω μιας ασύρματης μονάδας. Η εταιρεία Continental έδωσε το περιβάλλον διεπαφής στο σύστημα του αυτοκινήτου μέσω μιας εφαρμογής λογισμικού προγράμματος σε tablet. Η εταιρεία Fraunhofer ESK ανέπτυξε λογισμικό παροχής γεωγραφικών πληροφοριών, το οποίο καταγράφει τα δεδομένα τοποθεσίας του αυτοκινήτου και τα αποστέλλει απευθείας στο σταθμό βάσης του LTE δικτύου. Η γεωγραφική υπηρεσία στους κινητούς σταθμούς βάσης επιτρέπει την, σε πραγματικό χρόνο, αποστολή σε όλα τα οχήματα ειδοποιήσεων σχετικά με την περιοχή όπου αυτά κινούνται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

MOBILE EDGE COMPUTING ΣΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

4.1 MEC για τα δίκτυα οχημάτων

Τα δίκτυα οχημάτων νέφους αποτελούν βασικές δομές, που αποσκοπούν στο να βελτιωθεί η επικοινωνία μεταξύ του απομακρυσμένου cloud και των τελικών χρηστών (ηλεκτρικά οχήματα). Για να μειωθεί περαιτέρω ο χρόνος καθυστέρησης και η πολυπλοκότητα μεταφοράς δεδομένων, προτείνεται να χρησιμοποιηθεί η αρχιτεκτονική MEC. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αναλυθεί η αποτελεσματικότητα της χρήσης MEC στην επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων (V2V) και στην επικοινωνία οχήματος και ηλεκτρικού δικτύου (V2G).

4.1.1 Επικοινωνία στο δίκτυο οχημάτων

Τα τελευταία χρόνια, με την ανάπτυξη του IoV τομέα, όλο και περισσότερα «έξυπνα» οχήματα κυκλοφορούν στο δρόμο. Τέτοια οχήματα είναι εξοπλισμένα με τεχνολογίες επικοινωνίας, αισθητήρες και συσκευές αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή. Με χρήση αυτού του εξοπλισμού, τα οχήματα μπορούν να υποστηρίξουν εφαρμογές που προάγουν την ασφαλέστερη οδήγηση, την παρακολούθηση της κυκλοφοριακής κίνησης μιας περιοχής και τη φόρτιση οχήματος στον πλησιέστερο σταθμό φόρτισης. Πολλές από τις εφαρμογές αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλο χρόνο καθυστέρησης, κυρίως στις περιπτώσεις που περιλαμβάνουν δυναμική επεξεργασία βίντεο ή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

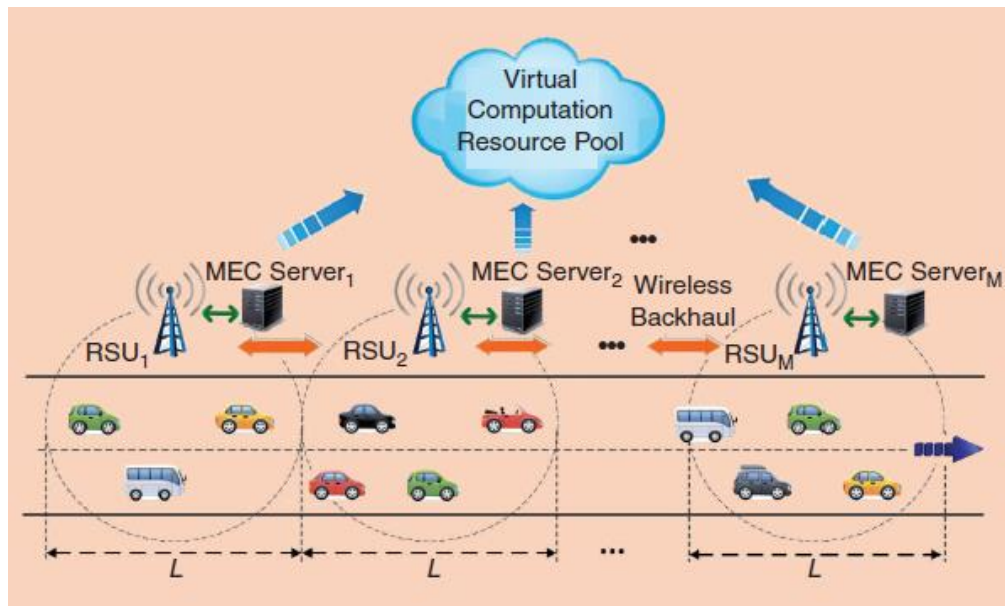
Οι υψηλές απαιτήσεις επεξεργασίας που έχουν οι διάφορες εφαρμογές, σε συνδυασμό με την κινητικότητα των οχημάτων δημιουργούν αρκετές προκλήσεις για τα τερματικά οχημάτων. Για το λόγο αυτό, η μεταφορά πληροφορίας στους MEC εξυπηρετητές φαίνεται ικανοποιητική λύση· η διακίνηση και επεξεργασία των δεδομένων θα γίνει στις παρυφές του δικτύου και δεν θα απασχολείται ο πυρήνας του δικτύου. Για να εξασφαλιστεί η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και υποδομών, χρησιμοποιείται η μικρού εύρους ζώνης επικοινωνία (DSRC). Αποτελεί αξιόπιστη ασύρματη τεχνολογία, στην οποία λαμβάνουν μέρος δύο οντότητες. Η πρώτη είναι η RSU (Road Side Unit) οντότητα που εγκαθίσταται στο δρόμο και παρέχει πρόσβαση δεδομένων στα οχήματα. Η δεύτερη είναι μια ενσωματωμένη στο όχημα μονάδα OBU (On Board Unit) το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία των RSUs με γειτονικά οχήματα.

4.1.2 Αρχιτεκτονική ενός MEC δικτύου για οχήματα

Στο Σχ.4.1 φαίνεται το σενάριο της αρχιτεκτονικής του MEC δικτύου για οχήματα που θα μελετηθεί. Για τη συγκεκριμένη περίπτωση, έχει θεωρηθεί δρόμος μιας κατεύθυνσης με αδιάκοπη κίνηση και συνεχή ροή. Κατά μήκος του δρόμου υπάρχουν RSUs. Η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών RSUs είναι L . Κάθε RSU παρέχει ασύρματη πρόσβαση υπηρεσιών στα οχήματα που βρίσκονται εντός της εμβέλειάς του· το χιλιομετρικό εύρος της μετάδοσης, δηλαδή η ελάχιστη απόσταση μεταξύ ενός RSU και ενός οχήματος, ώστε να μπορούν να επικοινωνήσουν, θεωρείται ίση προς $L/2$.

Κατά την επικοινωνία μεταξύ οχήματος και υποδομής, τα οχήματα μπορούν να έχουν πρόσβαση μόνο στις πλησιέστερες RSUs.

Οι μονάδες RSUs επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ασύρματης οπισθόζευξης (backhaul) και κάθε μία από αυτές είναι εξοπλισμένες με ένα MEC εξυπηρετητή. Κάθε όχημα θεωρείται ότι κινείται με σταθερή ταχύτητα, ενώ η κατανομή των οχημάτων στο δρόμο θεωρείται Poisson με πυκνότητα της κίνησης ανά μονάδα απόστασης ίση προς λ . Κάθε όχημα αναλαμβάνει μια διεργασία υπολογισμού, η οποία υλοποιείται είτε στα οχηματικά τερματικά (τοπικά), είτε στους MEC εξυπηρετητές (απομακρυσμένα).



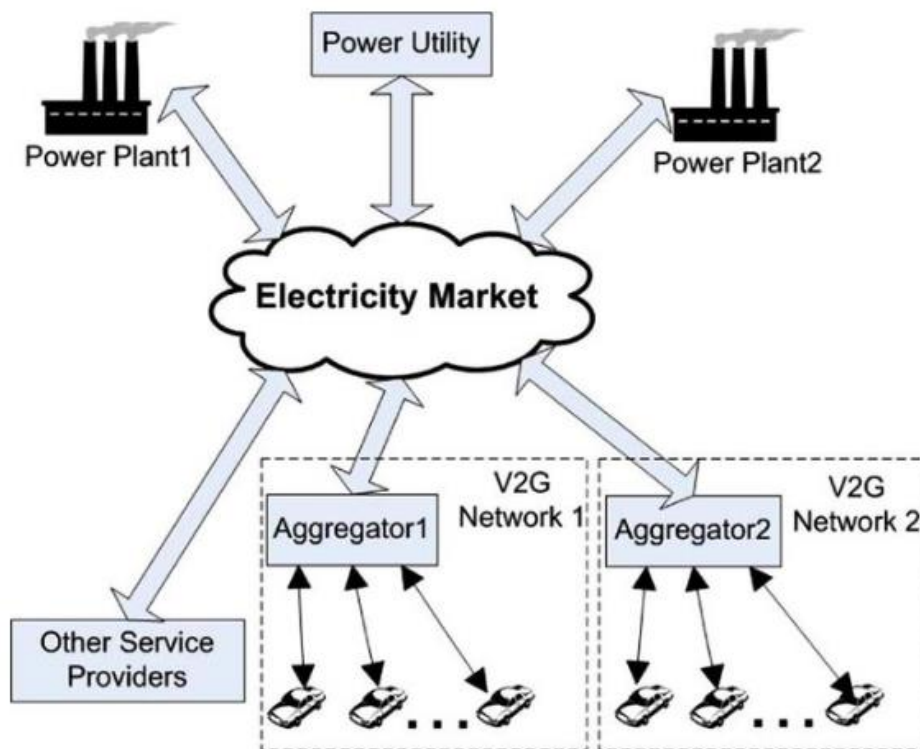
Σχήμα 4.1 Αρχιτεκτονική MEC δικτύου για οχήματα

4.2 Το πρωτόκολλο LTE στη V2G επικοινωνία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η V2G επικοινωνία υποστηρίζει τη μεταφορά ενέργειας από το δίκτυο HE προς τα οχήματα, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις φόρτισης των οχημάτων σε μικρό χρονικό διάστημα. Οι μονάδες που συμμετέχουν στη V2G επικοινωνία είναι ο καθολικός ελεγκτής φόρτισης GCC (Global Charging Controller), ο συλλέκτης δεδομένων (aggregator) και το ηλεκτρικό όχημα. Ο GCC έχει την πληροφορία σχετικά με την απαίτηση για φόρτιση από το όχημα. Η αγορά ενέργειας κατηγοριοποιείται ως εξής:

1. Αγορά πραγματικού χρόνου, κατά την οποία γίνεται και ικανοποιείται επί τόπου το αίτημα φόρτισης
2. Προγραμματισμένη αγορά, κατά την οποία οι οδηγοί ηλεκτρικών οχημάτων έχουν τη δυνατότητα να υποβάλουν το αίτημα τους για φόρτιση οχήματος σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή

Με βάση την κατηγορία της αγοράς/φόρτισης, ο GCC θα στείλει την πληροφορία στο συλλέκτη δεδομένων και ο τελευταίος με τη σειρά του θα στείλει την πληροφορία στο ηλεκτρικό όχημα. Ο ρόλος του συλλέκτη δεδομένων είναι να ενημερώσει τα οχήματα σχετικά με τη διαθεσιμότητα των σταθμών φόρτισης.



Σχήμα 4.2 Μοντέλο V2G επικοινωνίας

Το σήμα προς ένα κινούμενο όχημα διαδίδεται μέσω του ασύρματου δικτύου και συναντά εμπόδια, όπως κτίρια, δένδρα και λόφους. Εξαιτίας των μεγάλων αποστάσεων και των πολλαπλών διαδρομών του σήματος, η μεταδιδόμενη πληροφορία φθάνει παραμορφωμένη και εξασθενημένη στο δέκτη (κινούμενο όχημα). Μέχρι στιγμής, για V2G επικοινωνία για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχει προταθεί πρωτόκολλο LTE· τα δεδομένα για τη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος βασίζονται στην LTE επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων (V2V), τα οποία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Αφού γίνει κάποιο αίτημα φόρτισης από συγκεκριμένο όχημα, θα σταλεί πληροφορία σχετικά με την τοποθεσία και τη διαθεσιμότητα του σταθμού φόρτισης από το συλλέκτη δεδομένων σε οχήματα που βρίσκονται στην περιοχή από όπου έγινε το αίτημα. Η πληροφορία θα γνωστοποιηθεί και θα διαδοθεί από όχημα σε όχημα, μέχρι να φθάσει σε αυτό που έκανε το αίτημα.

Η επικοινωνία με του GCC και του συλλέκτη δεδομένων βασίζεται πάνω στο WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) πρωτόκολλο. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης, το οποίο παρέχει κινητή και ευρείας ζώνης συνδεσιμότητα σε μια πόλη, ακόμα και σε ολόκληρη χώρα με τη βοήθεια εξοπλισμού (για τη διευκόλυνση συνδεσιμότητας σε μεγάλες αποστάσεις). Επιπλέον, το WiMAX χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές smart grid και smart metering. Ο συλλέκτης δεδομένων και τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν το IEEE 802.11p πρωτόκολλο. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που παρέχει ασύρματη πρόσβαση για επικοινωνία του δικτύου οχημάτων (WAVE-Wireless Access in Vehicular Environments). Επίσης, το

IEEE 802.11p υποστηρίζει τη διακίνηση δεδομένων μεταξύ κινούμενων (με μεγάλη ταχύτητα) οχημάτων, αλλά και μεταξύ οχημάτων και άλλων οντοτήτων.

4.3 Αρχιτεκτονική πλαισίου φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει η περιγραφή της αρχιτεκτονικής του τηλεπικοινωνιακού δικτύου φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος, αλλά και μια βελτιωμένη πρόταση αρχιτεκτονικής ενός πλαισίου φόρτισης. Για το λόγο αυτό, πρέπει πρώτα να εισαχθούν οι ακόλουθες έννοιες:

VANET-Vehicle Ad-Hoc Network

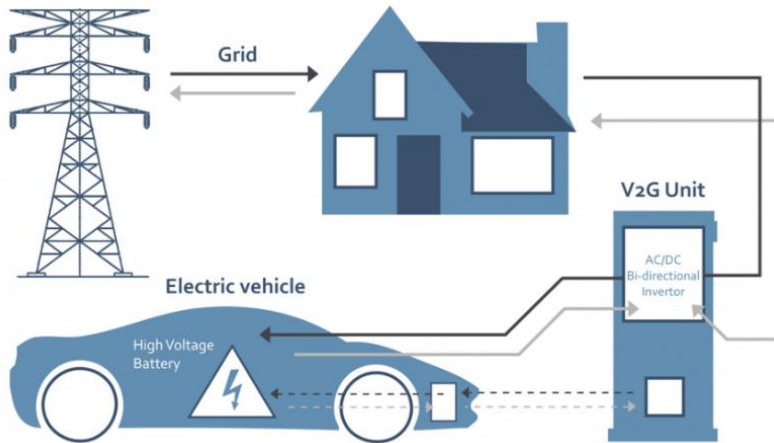
Τα ad-hoc δίκτυα οχημάτων έχουν αναπτυχθεί με βάση τα κινητά/ασύρματα ad-hoc δίκτυα (MANET-Mobile Ad-Hoc Network). Ουσιαστικά, τα MANETs είναι συνεχώς μεταβαλλόμενα και συνεκτικά δίκτυα· αναδιατάσσονται όταν εισέλθει ένας νέος κόμβος στο δίκτυο, δηλαδή κάθε συσκευή σε ένα MANET αλλάζει συχνά τις συνδέσεις της με άλλες συσκευές. Στο MANET, δεν υπάρχει εξάρτηση από κάποιο κεντρικό κόμβο· κάθε κόμβος συμμετέχει στη δρομολόγηση προωθώντας δεδομένα σε άλλους κόμβους. Χρησιμοποιούν τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης, όπως WLAN, αλλά και τεχνολογία κυψελωτής δικτύωσης ή LTE.

SDN-Software Defined Network

Αποτελεί ένα είδος τεχνολογίας που βασίζεται στο cloud computing, και διαχωρίζει τον έλεγχο του δικτύου από τον έλεγχο των δεδομένων του. Η βασική ιδέα είναι ότι το SDN αποτελεί δικτυακή αρχιτεκτονική που χαρακτηρίζεται από συγκεντρωτική διαχείριση. Η διαχείριση των αποφάσεων για τη δρομολόγηση δεδομένων λαμβάνεται από ένα κεντρικό σημείο διαχείρισης/ελεγκτή. Το OpenFlow είναι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί το SDN για την επικοινωνία μεταξύ του στρώματος ελέγχου και του στρώματος δεδομένων. Συγκεκριμένα, το *VSDN(Video over Software Defined Network)* είναι μια αρχιτεκτονική που επιτρέπει εφαρμογές βίντεο να αιτούνται υπηρεσίες βίντεο από το δίκτυο.

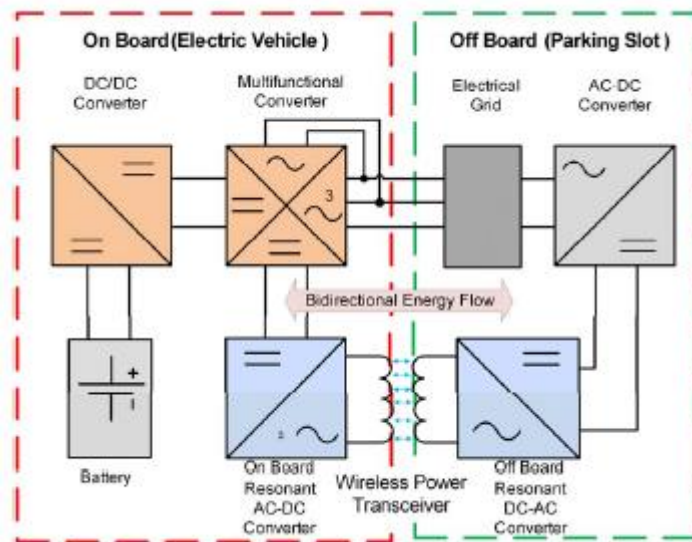
Αμφίδρομη Φόρτιση

Στην αμφίδρομη φόρτιση, διοχετεύεται ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο στη μπαταρία του οχήματος, ενώ παράλληλα υπάρχει δυνατότητα να μεταφερθεί ηλεκτρική ενέργεια από το όχημα πίσω στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η αμφίδρομη φόρτιση είναι χαρακτηριστικό της V2G τεχνολογίας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση όπου ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τεθεί εκτός σύνδεσης, τότε τα οχήματα μπορούν να δώσουν ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό, φυσικά, προϋποθέτει την ευρεία χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά αποτελεί μια προσπάθεια για επίτευξη ισορροπίας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η αμφίδρομη φόρτιση καθιστά το όχημα μια κινητή μονάδα αποθήκευσης ενέργειας· για παράδειγμα, στην περίπτωση διακοπής ρεύματος υπάρχει δυνατότητα μεταφοράς ΗΕ από το όχημα στην οικία (προσωρινή λύση). Παράλληλα, όταν ένα όχημα φορτίζεται για περισσότερο (από τον απαιτούμενο) χρόνο, το δίκτυο ΗΕ ανατροφοδοτείται με την πλεονάζουσα ενέργεια.



Σχήμα 4.3 Αμφίδρομη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων
Ενσύρματη και Επαγωγική Φόρτιση

Οι τεχνολογίες ενσύρματης φόρτισης χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό στο δίκτυο ηλεκτρικών οχημάτων. Δίνουν τη δυνατότητα αμφίδρομης μετάδοσης ενέργειας και δεδομένων, δηλαδή από το δίκτυο ενέργειας στο όχημα και αντίστροφα. Αν και στον ενσύρματο τρόπο εξασφαλίζεται μεγάλη απόδοση στη φόρτιση, η περιορισμένη χωρητικότητα της μπαταρίας δεν επιτρέπει στο όχημα να έχει ένα μεγάλο χιλιομετρικό εύρος οδήγησης. Η επαγωγική φόρτιση γίνεται κατά τη διάρκεια οδήγησης και για το λόγο αυτό θεωρείται ένας ευέλικτος τρόπος φόρτισης. Ωστόσο, δεν δίνει τη δυνατότητα αμφίδρομης μεταφοράς δεδομένων. Γίνεται αμέσως αντιληπτό, ότι οι δύο τρόποι φόρτισης είναι συμπληρωματικοί και λειτουργούν παράλληλα.



Σχήμα 4.4 Block διάγραμμα για τη φόρτιση οχήματος

Στο Σχ.4.4 φαίνεται ένα block διάγραμμα του συνολικού συστήματος φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος, στο οποίο δίνεται η δυνατότητα φόρτισης σε σύνδεση με μία φάση, τρεις φάσης ή με επαγωγικό τρόπο (φόρτιση από απόσταση). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα επαγωγικής φόρτισης είναι η πρόταση φόρτισης

οχημάτων της εταιρείας Endesa. Κάτω από την ασφαλτο του σταθμού φόρτισης τοποθετούνται πηνία που ενεργοποιούνται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Όταν το όχημα βρίσκεται στο σωστό σημείο του σταθμού συνδέεται επαγωγικά με τα πηνία και μεταφέρεται ενέργεια.

Έξυπνος μετρητής/ Smart Meter



Σχήμα 4.5 Διάφοροι τύποι smart meter

Ο έξυπνος μετρητής αποτελεί μια ηλεκτρονική διάταξη που υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας και επιτρέπει τη μεταφορά πληροφοριών στον πάροχο ηλεκτρικού ρεύματος. Παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, ώστε να υπάρχει καταγραφή του ηλεκτρικού φορτίου σε κάθε κτίριο ή σε κάθε κατανάλωση με σκοπό την αποφυγή διακοπής ρεύματος, την πληροφόρηση για κατανάλωση ενέργειας κάθε συσκευής και την τιμολόγηση της υπηρεσίας φόρτισης οχήματος. Επιπλέον, ο smart meter επιτρέπει στους χρήστες ηλεκτρικού ρεύματος να προσαρμόζουν την κατανάλωση ενέργειας κατάλληλα, για να αποφύγουν επιπλέον χρέωση (από πιθανή άσκοπη κατανάλωση)

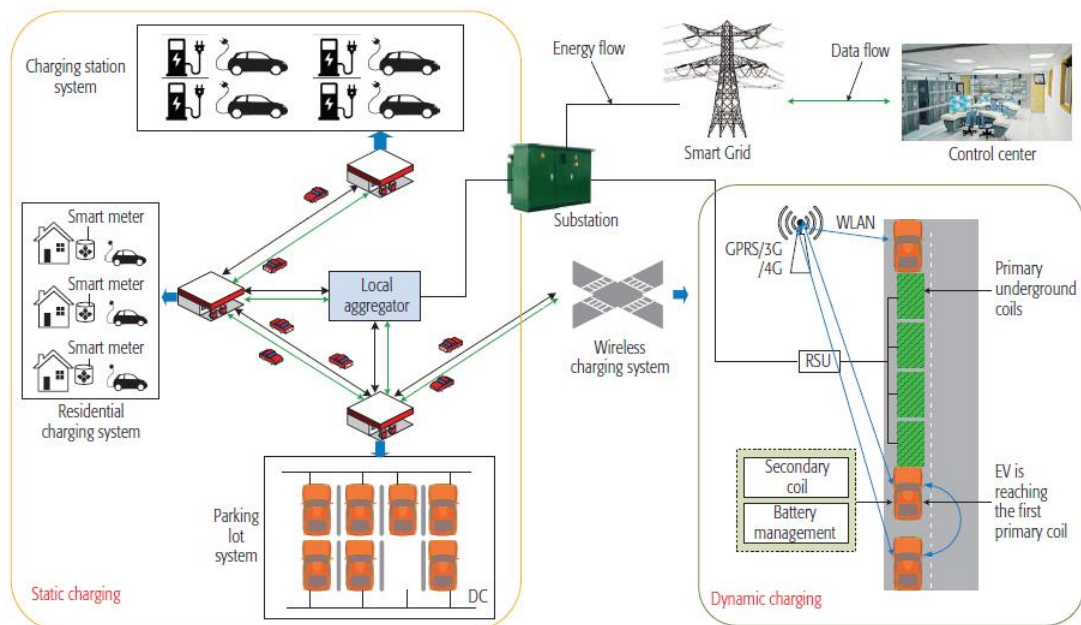
4.3.1 Αρχιτεκτονική δικτύου φόρτισης οχημάτων

Όπως φαίνεται και στο Σχ.4.6, το δίκτυο φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων χωρίζεται σε δύο μέρη, την ενσύρματη και την επαγωγική φόρτιση. Η ενσύρματη φόρτιση, με τη σειρά της, περιλαμβάνει τρεις οντότητες, το σύστημα φόρτισης σε σταθμό στάθμευσης, τους σταθμούς φόρτισης και το σύστημα φόρτισης σε κατοικίες.

Σύστημα φόρτισης σε κατοικίες (Residential charging system)

Το σύστημα φόρτισης σε κατοικίες είναι αρκετά βολικό για όσους διαθέτουν στο σπίτι τους φορτιστή ηλεκτρικού οχήματος, επειδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους εκτός ωρών αιχμής (10 μ.μ. – 7 π.μ.). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, υπάρχει ένας έξυπνος μετρητής που επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του οχήματος και του ηλεκτρικού δικτύου. Τα ηλεκτρικά οχήματα μεταδίδουν πληροφορίες, όπως την κατάσταση φόρτισής τους (SOC), σε κάποιο τοπικό συλλέκτη δεδομένων μέσω του έξυπνου μετρητή· γίνεται αντιληπτό, ότι η διαδικασία φόρτισης

ελέγχεται κυρίως από τον έξυπνο μετρητή. Στην περίπτωση όπου το οικιακό φορτίο υπερβεί το επιτρεπτό όριο, τότε διακόπτεται η διαδικασία φόρτισης μέχρι το φορτίο να λάβει πάλι κάποια επιτρεπτή τιμή. Αιτία πολλών δυσλειτουργιών σε οικιακές συσκευές γενικά είναι και η χαμηλή τάση ρεύματος, που μπορεί να προκληθεί μετά από κάποια διακοπή.



Σχήμα 4.6 Αρχιτεκτονική δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Σύστημα σταθμού φόρτισης

Το σύστημα σταθμού φόρτισης προσφέρει φόρτιση σε μικρό χρονικό διάστημα· είναι αναγκαίο για οχήματα των οποίων η μπαταρία δεν μπορεί να ανταπεξέλθει για το υπόλοιπο της διαδρομής. Σε συγκεκριμένη περιοχή του δρόμου, τα ηλεκτρικά οχήματα επικοινωνούν απευθείας με τις RSU οντότητες, όπου τα αιτήματα φόρτισης μεταδίδονται με ασύρματη επικοινωνία. Στη συνέχεια, από τις RSU οντότητες γίνεται η βέλτιστη ανάθεση φόρτισης με βάση την τρέχουσα κατάσταση του αυτοκινήτου (πόσο φορτισμένο είναι) και την κατάσταση των σταθμών φόρτισης (απόσταση από το όχημα, διαθεσιμότητα θέσεων). Τέλος, τα αποτελέσματα του υπολογισμού αυτού επιστρέφονται στο όχημα.

Σύστημα φόρτισης σε χώρους στάθμευσης

Συγκριτικά με τα δύο προηγούμενα συστήματα φόρτισης, η διάρκεια φόρτισης εδώ είναι μεγαλύτερη από αυτή στους σταθμούς φόρτισης και μικρότερη από εκείνη της φόρτισης στο σπίτι. Για να μειωθεί η υπερφόρτωση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας όταν φορτίζεται μεγάλος αριθμός οχημάτων, χρησιμοποιείται ένας τοπικός συλλέκτης δεδομένων (local aggregator), με στόχο την ισορροπημένη κατανομή ρεύματος.

Επαγωγική φόρτιση

Το δεύτερο τμήμα της αρχιτεκτονικής του Σχ.4.6 περιλαμβάνει την ασύρματη φόρτιση. Χρησιμοποιείται στα ηλεκτρικά μέσα μεταφοράς, ώστε να επεκτείνει το χιλιομετρικό εύρος διαδρομής. Η ασύρματη επικοινωνία χωρίζεται σε στατική και δυναμική. Στη στατική φόρτιση, ο ασύρματος σταθμός φόρτισης παράγει υψηλής συχνότητας ρεύμα στα υπόγεια πρωτεύοντα πηνία. Παράλληλα, τα οχήματα διαθέτουν δευτερεύοντα πηνία στο κάτω μέρος του σκελετού τους. Με μπλε γραμμή απεικονίζεται ένα σύστημα κλειστού βρόγχου μεταξύ του συστήματος ελέγχου μπαταρίας του οχήματος και του σταθμού ασύρματης φόρτισης. Η δυναμική φόρτιση περιλαμβάνει πρωτεύοντα πηνία κάτω από την ασφάλτο. Όταν περνάει ένα ηλεκτρικό όχημα πάνω από την ασφάλτο, μέσω ενός συστήματος αισθητήρων, πυροδοτείται η ρευματοδότηση των πρωτευόντων πηνίων. Όταν ένα όχημα περνάει από το πρώτο πρωτεύον πηνίο, αυτό «κλείνει» και στη συνέχεια πυροδοτείται η ρευματοδότηση του δεύτερου. Η ασύρματη φόρτιση χαρακτηρίζεται και ως καθοδόν φόρτιση, καθώς γίνεται με την επαφή των πηνίων της ασφάλτου και του πηνίου του οχήματος.

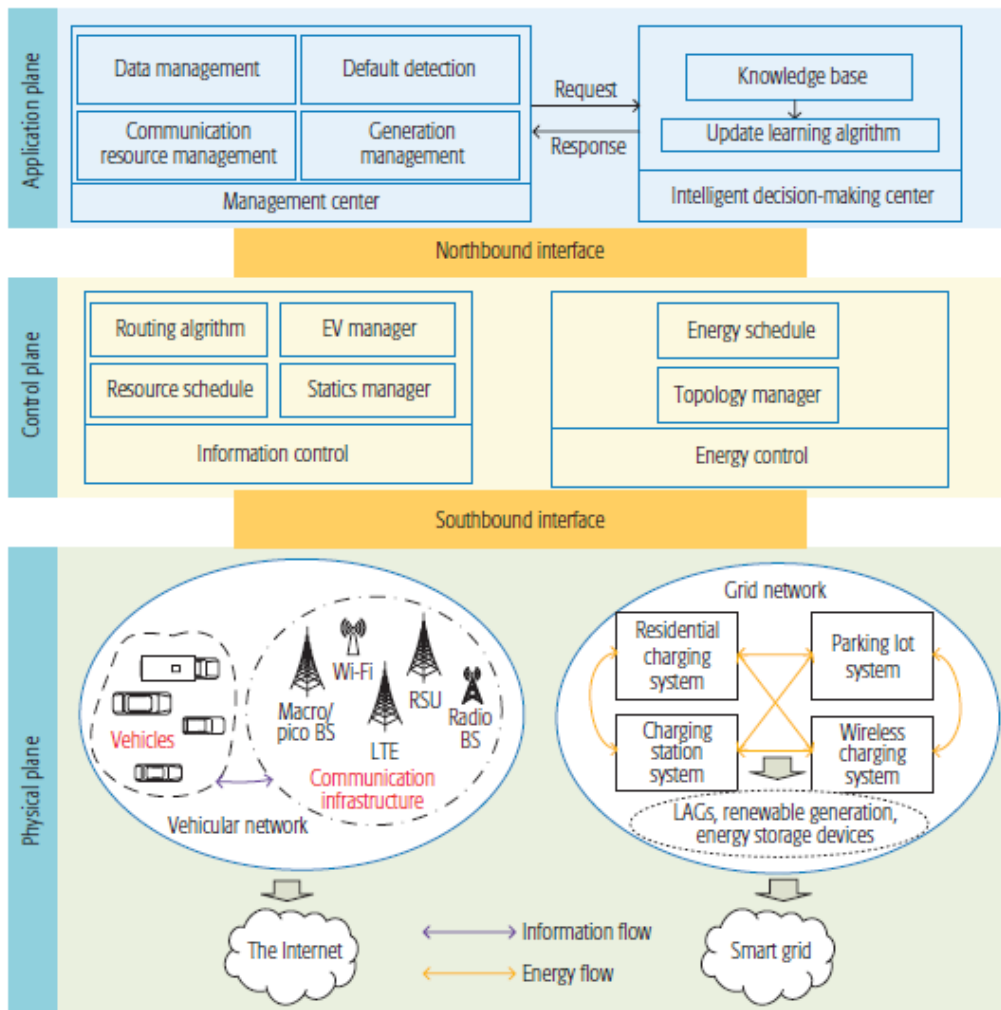
4.3.2 Πρόταση αρχιτεκτονικής προτύπου φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος

Για τη βελτίωση της φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος έχει προταθεί ένα «πράσινο» πρότυπο, το οποίο αποτελείται από τρία στρώματα. Το στρώμα εφαρμογής παρέχει υπηρεσίες προσαρμοσμένες στις ανάγκες των χρηστών του, δηλαδή των ηλεκτρικών οχημάτων (ή των οδηγών τους). Το στρώμα ελέγχου λαμβάνει αποφάσεις για τη ροή δεδομένων και ενέργειας, ώστε να εφαρμοστεί κάποιος οικονομικός και αποδοτικός τρόπος φόρτισης. Το φυσικό στρώμα συλλέγει πληροφορίες από τα ηλεκτρικά οχήματα.

Η αρχιτεκτονική προτύπου του Σχ.4.7 βασίζεται στην SDN τεχνολογία, μέσω της οποίας διαχωρίζεται το στρώμα ελέγχου από το στρώμα δεδομένων. Με την ενσωμάτωση του SDN στο VANET χρησιμοποιείται και η τεχνολογία V-SDN για εφαρμογές δρομολόγησης οχημάτων.

Φυσικό στρώμα

Το φυσικό στρώμα τοποθετείται στη βάση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής και περιλαμβάνει το δίκτυο οχημάτων και το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Στην αρχιτεκτονική της SDN τεχνολογίας, το φυσικό στρώμα αποκαλείται και στρώμα δεδομένων και είναι υπεύθυνο για τη συλλογή δεδομένων. Αρχικά, μέσω του σταθμού βάσης συνδέεται το ασύρματο δίκτυο με τον πυρήνα του δικτύου· ο τελευταίος στη συνέχεια επικοινωνεί με το Διαδίκτυο. Σημεία πρόσβασης στην υποδομή επικοινωνίας είναι οι σταθμοί βάσης για κυψελωτά δίκτυα, τα σημεία πρόσβασης Wi-Fi και οι οντότητες RSU. Στο δίκτυο οχημάτων, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι εξοπλισμένα με οντότητες OBUs και μέσω αυτών γίνεται η λήψη και αποστολή πληροφοριών από και προς την υποδομή επικοινωνίας.



Σχήμα 4.7 Η πρόταση αρχιτεκτονικής πλαισίου

Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει οντότητες, όπως το σύστημα φόρτισης σε κατοικίες, χώρους στάθμευσης και σταθμούς φόρτισης, συσκευές αποθήκευσης ενέργειας και τοπικούς συλλέκτες δεδομένων. Το δίκτυο οχημάτων και το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται με χρήση ICT τεχνολογίας (Information and Communications Technology).

Στρώμα ελέγχου

Στο στρώμα ελέγχου, ο έλεγχος πληροφορίας και ο έλεγχος ενέργειας συνδέονται με το φυσικό στρώμα με το νότιο σημείο διεπαφής (southbound interface). Στο στρώμα ελέγχου γεφυρώνονται οι απαιτήσεις χρηστών (οδηγοί ηλεκτρικών οχημάτων) και οι λειτουργίες ελέγχου (μετάδοση ενέργειας και δεδομένων). Παράλληλα, κάθε ελεγκτής (πληροφορίας και ενέργειας) συνδέεται με τον ανώτερο στρώμα, μέσω του βόρειου σημείου διεπαφής (northbound interface)· με αυτό τον τρόπο, ανεβαίνουν πληροφορίες απαραίτητες για τη λειτουργία του φυσικού στρώματος.

Συγκεκριμένα, όταν τα αιτήματα χρήστη αποστέλλονται στο στρώμα ελέγχου, οι ελεγκτές ενέργειας και πληροφορίας λαμβάνουν τις αντίστοιχες λειτουργικές

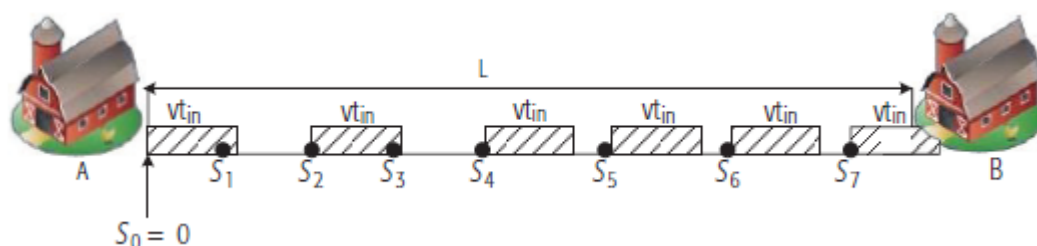
προϋποθέσεις και τις αντιστοιχούν σε υπηρεσίες του στρώματος ελέγχου. Στη συνέχεια, ενημερώνουν με σηματοδοσία το φυσικό στρώμα για την προαναφερθείσα διαδικασία.

Για παράδειγμα, το δίκτυο φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων χαρακτηρίζεται από κινητικότητα και καθυστερήσεις. Όταν τα αιτήματα φθάνουν στο στρώμα ελέγχου, υποβάλλονται στον ελεγκτή πληροφορίας προϋποθέσεις για μικρή καθυστέρηση και μεγάλη κάλυψη περιοχής (λόγω της κίνησης του οχήματος). Στον ελεγκτή ενέργειας υποβάλλονται προϋποθέσεις για αξιοπιστία και μικρή καθυστέρηση για την ταυτοποίηση του χρήστη/οχήματος. Στη συνέχεια, ο ελεγκτής πληροφορίας επικοινωνεί με το σταθμό βάσης (οντότητα φυσικού στρώματος) για να ικανοποιήσει τη σύνδεση ανοδικής ζεύξης των ηλεκτρικών οχημάτων· έτσι, επιτυγχάνεται ευρεία κάλυψη. Αντίστοιχα, αφού ο ελεγκτής ενέργειας λάβει τα αιτήματα, επιλέγεται ένα σενάριο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος. Οι δύο ελεγκτές συλλέγουν χαρακτηριστικά ροής ενέργειας και δεδομένων, τα οποία αποθηκεύονται στο κέντρο ευφυούς απόφασης στο στρώμα εφαρμογής.

Στρώμα εφαρμογής

Στο στρώμα εφαρμογής γίνεται η συγκέντρωση των εφαρμογών φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος, με κύριες οντότητες το κέντρο διαχείρισης και το κέντρο ευφυούς απόφασης. Οι λειτουργίες του κέντρου διαχείρισης είναι η διαχείριση δεδομένων και ενέργειας. Το κέντρο ευφυούς απόφασης διατηρεί κάποια γνώση για κάθε χρήστη/όχημα και κάθε υπηρεσία· αναβαθμίζει αυτές τις πληροφορίες με κάποιο αλγόριθμο μηχανικής μάθησης.

4.3.3 Μοντέλο του δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων



Σχήμα 4.8 Μοντέλο δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο έχει δομηθεί το πλαίσιο του Σχ.4.7, θα γίνει στην Ενότητα 4.3.3 μια προσπάθεια μοντελοποίησης/παραμετροποίησης της φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος. Στο Σχ.4.8, απεικονίζεται η διαδρομή ενός οχήματος από το σημείο A στο σημείο B. Υποτίθεται ότι το όχημα γνωρίζει την τοποθεσία των σταθμών φόρτισης από το σημείο έναρξης της οδήγησης. Η ακριβής απόσταση μεταξύ των σταθμών φόρτισης δεν μπορεί να υπολογιστεί, καθώς οι συνθήκες οδήγησης (ταχύτητα, αλλαγή διαδρομής) αλλάζουν συνεχώς. Για τη μοντελοποίηση φόρτισης λαμβάνονται υπόψη οι εξής παραμέτρους:

- S , η συνολική απόσταση που διανύει το όχημα (σε km)
- V , η ταχύτητα του οχήματος

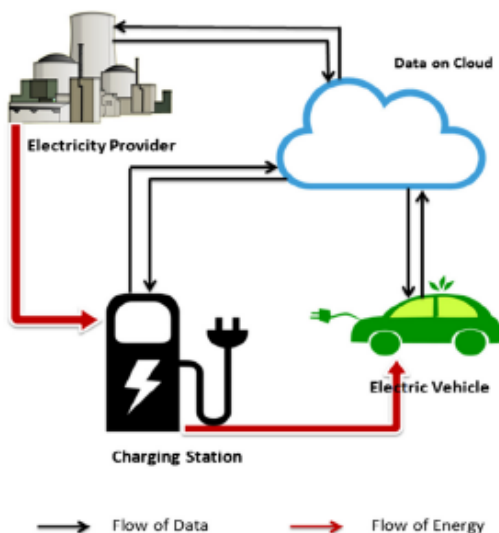
- d_m , η απόσταση που μπορεί να διανύσει το όχημα μετά την πλήρη φόρτιση του
- μ , η απόσταση που μπορεί να διανύσει το ηλεκτρικό όχημα μετά από ένα λεπτό φόρτισης (μέγεθος συνεχώς αυξανόμενο)
- C_i , οι συντεταγμένες των σταθμών φόρτισης. Στο συγκεκριμένο σενάριο υπάρχουν 7 σταθμοί φόρτισης (C_i , με i από 1 έως 7)

Με βάση τις προαναφερθείσες παραμέτρους, γίνεται προσπάθεια για τον υπολογισμό τριών βασικών μεγεθών για τη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος:

1. Χρόνος αναμονής (T_w)
Ουσιαστικά πρόκειται για το άθροισμα της διάρκειας φόρτισης και της αναμονής για την απελευθέρωση κάποιας θέσης.
2. Τιμή φόρτισης (p)
Μέγεθος που εξαρτάται από την απαίτηση φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων D . Αν θεωρήσω ότι C_a (market capacity της φόρτισης) είναι η συνολική ζήτηση φόρτισης οχημάτων σε κάθε πάροχο ΗΕ, τότε $C_a = D_{max}$.
3. Επίπεδο απαίτησης ΗΕ (d_e)
Η συνολική απαίτηση ΗΕ (από τα ηλεκτρικά οχήματα) πρέπει να είναι σε λογικά πλαίσια, ώστε να μην υπερφορτώνεται το δίκτυο ΗΕ. Αν είναι D η πραγματική απαίτηση φόρτισης σε KWh και D_{max} την μέγιστη τιμή της, τότε το επίπεδο φόρτισης είναι $d_e = D/D_{max}$.

4.4 Mobile edge computing στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων

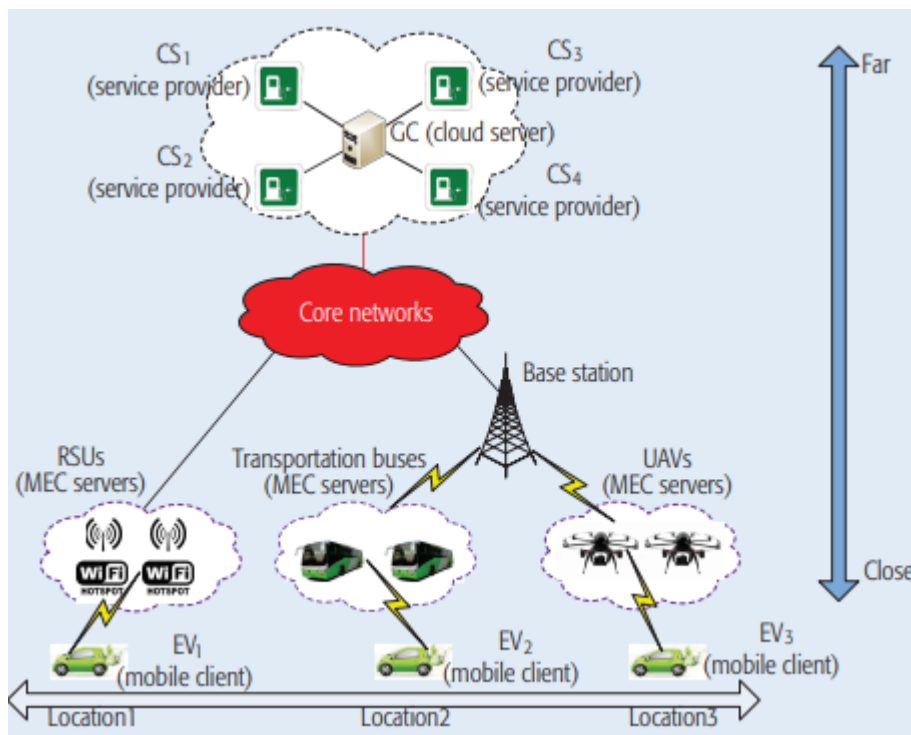
Καθώς η βιομηχανία ηλεκτρικών οχημάτων και η συνδεσιμότητα μεταξύ οχημάτων αναπτύσσονται με υψηλούς ρυθμούς, η πλειοψηφία των αυτοκινήτων θα κληθεί να διαχειριστεί πληθώρα ανταλλαγής δεδομένων σχετικά με τις απαιτήσεις φόρτισης.



Σχήμα 4.9 Ροή δεδομένων και ενέργειας στη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος

Για τη διαχείριση του τεράστιου φορτίου δεδομένων, προτείνεται η αρχιτεκτονική MEC. Αναλυτικά, οι οντότητες που συμμετέχουν στο σχετικό δίκτυο είναι οι εξής:

- Ηλεκτρικό όχημα(EV-Electric Vehicle), του οποίου η κατάσταση βρίσκεται κάτω από κατώφλιο της τιμής SOC (κατάσταση φόρτισης) και χρειάζεται να οδηγηθεί μέχρι το σταθμό φόρτισης. Όταν το όχημα έχει γνώση του σταθμού φόρτισης που κατευθύνεται, γίνεται κράτηση μιας θέσης στο συγκεκριμένο σταθμό.
- Σταθμός φόρτισης (CS-Charging Station), ο οποίος είναι εξοπλισμένος με έναν αριθμό σχισμών υποδοχής βύσματος για να φορτιστούν τα ηλεκτρικά οχήματα και η κατάσταση του παρακολουθείται από έναν εξυπηρετητή νέφους.
- Εξυπηρετητής νέφους, ο οποίος αποτελεί έναν εξυπηρετητή που έχει εγκατασταθεί, μέσω μιας πλατφόρμας δικτύων νέφους πάνω από ένα σταθμό φόρτισης. Πρόκειται για έναν καθολικό ελεγκτή (GC-Global Controller), ο οποίος συνδέεται με όλους τους σταθμούς φόρτισης.
- Εξυπηρετητής MEC, αποτελεί έναν εξυπηρετητή που επιτρέπει την εξόρυξη και συγκέντρωση δεδομένων σχετικών με τη φόρτιση των οχημάτων.



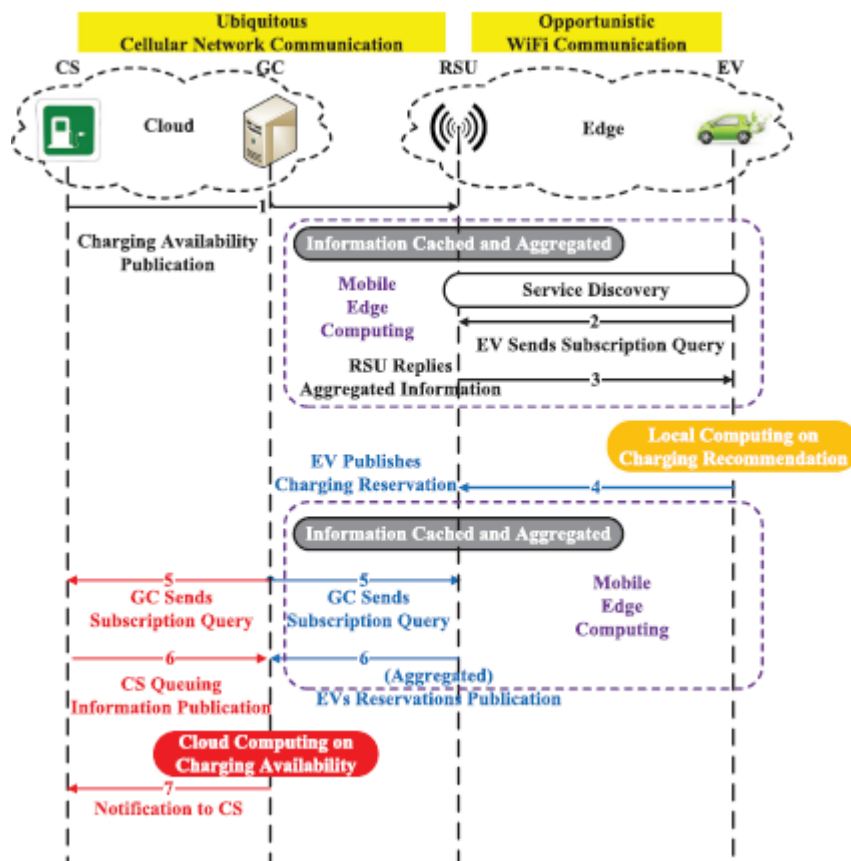
Σχήμα 4.10 Οντότητες δικτύου ηλεκτρικών οχημάτων

Με τα σημερινά δεδομένα ενός κεντρικού συστήματος νέφους, όταν ένα ηλεκτρικό όχημα χρειάζεται φόρτιση αποστέλλει αίτημα στον καθολικό ελεγκτή (GC) μέσω του κυψελωτού δικτύου, αναζητώντας τη βέλτιστη πρόταση σταθμού φόρτισης και, στη συνέχεια, αναφέρει την κράτηση μιας θέσης. Ωστόσο, η συλλογή δεδομένων από τα ηλεκτρικά οχήματα και τους σταθμούς φόρτισης απαιτεί πολύ χρόνο για τον καθολικό ελεγκτή. Επιπλέον, το κυψελωτό δίκτυο είναι φορτωμένο, εξαιτίας των μαζικών αιτημάτων πρόσβασης και της περίπτωσης που ένας μεγάλος αριθμός

συνδρομητών προσπαθεί να πραγματοποιήσει κλήση προς το δίκτυο ταυτόχρονα, κάτι που μειώνει την ποιότητα της επικοινωνίας.

Η ραγδαία ανάπτυξη των κινητών εφαρμογών οδήγησε στη μεταφορά των υπηρεσιών δεδομένων και επεξεργασίας στις παρυφές του δικτύου, με τη χρήση της αρχιτεκτονικής MEC. Στην περίπτωση της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, μια αποκεντρωμένη πρόταση δικτύου, με τη βοήθεια των MEC εξυπηρετητών κοντά στα οχήματα είναι επιθυμητή. Συγκριτικά με το κυψελωτό δίκτυο, η εγκατάσταση RSUs είναι οικονομικότερος τρόπος, αλλά προσφέρει περιορισμένη κάλυψη δικτύου.

4.4.1 Τεχνολογίες επικοινωνίας στο MEC σύστημα



Σχήμα 4.11 Σύστημα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με εφαρμογή MEC

Όπως φαίνεται στο Σχ.4.11, η επικοινωνία μεταξύ του καθολικού ελεγκτή (GCC) και των σταθμών φόρτισης μπορεί να εγκατασταθεί μέσω διαδικτύου ή κυψελωτού δικτύου, διότι είναι σταθερές οντότητες. Στο πλαίσιο του κυψελωτού δικτύου, ο σταθμός φόρτισης γνωστοποιεί μέσω του καθολικού ελεγκτή τη διαθεσιμότητά του, στις οντότητες RSUs (που έχουν ρόλο MEC εξυπηρετητή). Η εγκατάσταση της επικοινωνίας μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και RSUs γίνεται μέσω Wi-Fi.

Τα ηλεκτρικά οχήματα αποστέλλουν αίτημα φόρτισης στους εξυπηρετητές MEC και οι τελευταίοι με τη σειρά τους αποστέλλουν απάντηση με την πληροφορία διαθεσιμότητας σταθμού. Ακολουθεί σειρά αιτημάτων και απαντήσεων, ώστε να ολοκληρωθεί η κράτηση μιας θέσης στον επιθυμητό σταθμό φόρτισης.

Το πρώτο αίτημα που αποστέλλεται από το όχημα για εύρεση σταθμού φόρτισης γίνεται αμέσως μετά την ένδειξη ανάγκης για φόρτιση (on demand αίτημα) και η διαθεσιμότητα ενός σταθμού φόρτισης ανανεώνεται σε σύντομες χρονικές περιόδους (της τάξης μερικών λεπτών). Για να μην υπάρχουν μεγάλες χρονικές καθυστερήσεις, προτείνεται η εφαρμογή των εξυπηρετητών MEC στα πλαίσια κυψελωτού δικτύου και Wi-Fi επικοινωνίας και αποφεύγεται η πρόταση εφαρμογής ενός 3G/LTE δικτύου.

4.4.2 Σύστημα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με εφαρμογή MEC

Για να αναλυθεί ένα σύστημα φόρτισης με εφαρμογή της αρχιτεκτονική MEC, πρέπει να γίνει η αρχική υπόθεση ότι όλοι οι σταθμοί φόρτισης είναι γνωστοί στα ηλεκτρικά οχήματα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ένα όχημα έχει πρόσβαση στη γνώση διαθεσιμότητας ενός σταθμού φόρτισης από τους MEC εξυπηρετητές. Η διαδικασία φόρτισης περιλαμβάνει επτά βήματα, όπως φαίνεται και στο Σχ.4.11.

Βήμα 1

Ο καθολικός ελεγκτής (GCC) μεταδίδει περιοδικά, ανά χρονικό διάστημα Δ , την υπολογισμένη (από τον GCC) διαθεσιμότητα των σταθμών φόρτισης σε όλους τους έγκυρους εξυπηρετητές MEC (επιλογή των RSUs με βάση την εγγύτητα στο όχημα), μέσω ενός μηνύματος/πακέτου με ένδειξη 'CA_Update'. Οι οντότητες RSUs συλλέγουν αυτή την πληροφορία από όλους τους σταθμούς φόρτισης και την αποθηκεύουν στη μνήμη τους. Η πληροφορία που μεταδίδεται σε όλα τα προηγούμενα διαστήματα διάρκειας Δ , στη συνέχεια, αντικαθίσταται από τα νέα δεδομένα που σχετίζονται με το τελευταίο διάστημα Δ . Συνεπώς, η πληροφορία συνεχώς ανανεώνεται και υπάρχει ακρίβεια ως προς την ενημέρωση για τους σταθμούς φόρτισης.

Βήμα 2 και 3

Κατά την επικοινωνία του με μια οντότητα RSU, το ηλεκτρικό όχημα θα κάνει εγγραφή στα αποθηκευμένα, από το RSU, δεδομένα μέσω ενός συστήματος έκδοσης/εγγραφής (σύστημα P/S). Σε ένα σύστημα P/S (Publish/Subscribe), δημοσιεύονται συγκεκριμένα δεδομένα για κάθε συνδρομητή (subscribing client). Τα δεδομένα αυτά φιλτράρονται με βάση τα κριτήρια που ορίζει ο διαλογέας εξυπηρετητής (selector server) και αναδημοσιεύονται στο συνδρομητή/όχημα. Αποφεύγεται η πολλαπλή πρόσβαση, δηλαδή η περίπτωση όπου ένα ηλεκτρικό όχημα έρχεται αντιμέτωπο με πολλές οντότητες RSU σε μικρό χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, αν ένα όχημα έχει αποκτήσει πληροφορία από κάποιο RSU₁ μέσα σε ένα διάστημα Δ τότε η εγγραφή του από κάποιο RSU₂ θα απορριφθεί στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Βήμα 4

Στην περίπτωση χαμηλής ενεργειακής κατάστασης, ένα ηλεκτρικό όχημα κοινοποιεί στους γειτονικούς MEC εξυπηρετητές αίτημα για κράτηση θέσης στον πλησιέστερο σταθμό φόρτισης. Μεταφέρεται ένα μήνυμα 'Charging Reservation Update' από το όχημα (publisher) στο RSU. Όταν το όχημα σταθμεύσει στο σταθμό φόρτισης, ο

τελευταίος θα διαγράψει το αίτημα φόρτισης, ώστε να μειωθεί το φορτίο δεδομένων που διαχειρίζεται ο καθολικός ελεγκτής.

Βήμα 5 και 6

Στην πλευρά του καθολικού ελεγκτή, πραγματοποιούνται δύο διακριτές διαδικασίες, για τη συλλογή δεδομένων από το σταθμό φόρτισης και τις οντότητες RSU.

- Η κατάσταση ενός σταθμού φόρτισης περιλαμβάνει τον αριθμό των ηλεκτρικών οχημάτων που έχουν σταθμεύσει και τον απαιτούμενο χρόνο πλήρους φόρτισης της μπαταρίας καθενός από αυτά (με μήνυμα 'Local_Queueing_Update' από το σταθμό προς τον καθολικό ελεγκτή)
- Επιπλέον, ο καθολικός ελεγκτής έχει πρόσβαση στο άθροισμα των κρατήσεων από τις οντότητες RSU, αποστέλλοντας το μήνυμα 'Aggregated_Charging_Reservations_Update'.

Βήμα 7

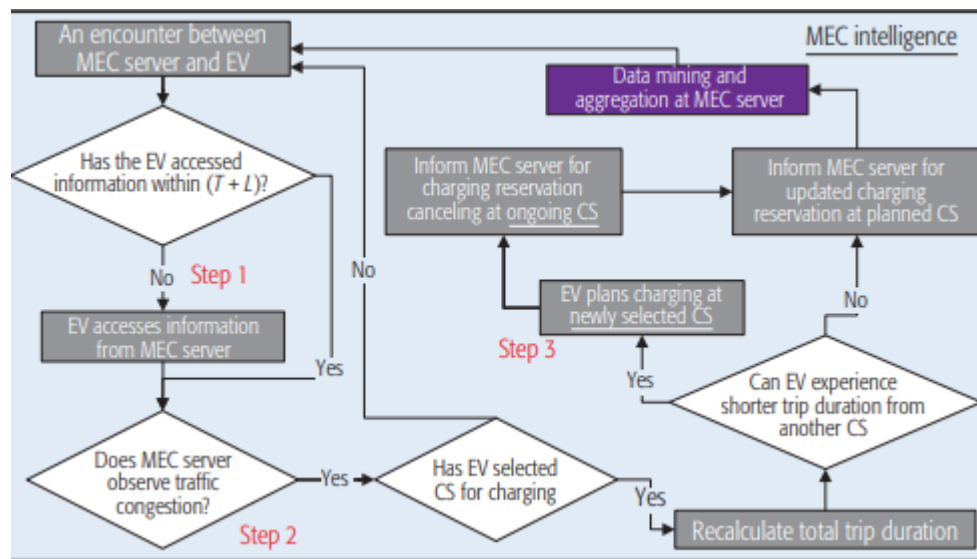
Ο καθολικός ελεγκτής εκτιμά τη διαθεσιμότητα των σταθμών βάσης και απαιτεί προς τούτο από τους τελευταίους ενημέρωση σε κάθε επόμενο χρονικό διάστημα, αποστέλλοντας μήνυμα 'CA_Prediction' προς τους σταθμούς φόρτισης.

Στον Πίνακα 4.1 συνοψίζονται τα πακέτα που ανταλλάσσονται μεταξύ των οντοτήτων του δικτύου φόρτισης, καθώς και το περιεχόμενό τους.

Πίνακας 4.1 Μηνύματα μεταξύ οντοτήτων δικτύου

Μήνυμα	Publisher	Subscriber	Περιεχόμενο
CA_Update	CS	RSUs	ID και διαθεσιμότητα CS
Aggregated_CA_Update	RSUs	EVs	Συνάθροιση των ID και της διαθεσιμότητας σταθμών
Charging_Reservations_Update	EVs	RSUs	Χρόνος άφιξης EV, διάρκεια στάθμευση
Aggregated_Charging_Reservation_Update	RSUs	GC	Πλήθος κρατήσεων που έχουν αποθηκευτεί στα RSUs
Local_Queueing_Update	CSs	GC	Αριθμός σταθμευμένων οχημάτων στο CS, προβλεπόμενος χρόνος φόρτισης
CA_Prediction	GC	CSs	Εκτίμηση διαθεσιμότητας κάθε CS

4.4.3 Μοντελοποίηση φόρτισης και ευφυΐα αρχιτεκτονικής MEC



Σχήμα 4.12 Διάγραμμα ροής για τη φόρτιση οχήματος

Η λογική πίσω από τη μοντελοποίηση φόρτισης ενός οχήματος βρίσκεται στην επιλογή του κατάλληλου σταθμού φόρτισης: αν κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής το όχημα χρειαστεί φόρτιση, πρέπει να επιλέξει ανάμεσα σε σταθμούς φόρτισης, ώστε να επιτύχει την ελάχιστη διάρκεια διαδρομής, δηλαδή:

$$\min(T_{tt} + ST_{cs} + T_{cs,d}) \quad (4.1)$$

- T_{tt} (travelling time) είναι η διάρκεια διαδρομής ενός οχήματος προς το σταθμό φόρτισης
- ST_{cs} είναι ο χρόνος παραμονής σε ένα σταθμό φόρτισης. Η συγκεκριμένη τιμή έχει διαμορφωθεί λαμβάνοντας υπόψη τον εκτιμώμενο χρόνο φόρτισης ενός οχήματος και το χρόνο που χρειάζεται να περιμένει μέχρι να ξεκινήσει τη φόρτιση. Στην περίπτωση πλήρως απασχολημένου σταθμού, το όχημα πρέπει να περιμένει μέχρι να απελευθερωθεί μια πρίζα. Σε αυτήν την περίπτωση, το όχημα πρέπει να περιμένει επιπλέον $EEATC_{cs} - (T_{tt} + T_{cur})$, με T_{cur} ο τρέχων χρόνος στο δίκτυο και $EEATC_{cs}$ ο αναμενόμενος συντομότερος χρόνος αναμονής για φόρτιση (Expected Earliest Time for Charging).
- $T_{cs,d}$ ο χρόνος διαδρομής από το σταθμό φόρτισης στον τελικό προορισμό, υποθέτοντας ότι μετά τη φόρτιση του το αυτοκίνητο θα κινηθεί με τη μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα. Πρέπει, δηλαδή, να γίνει κατάλληλη επιλογή του σταθμού, λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση του τελευταίου από τον τελικό σημείο διαδρομής.

Όπως φαίνεται στο Σχ.4.12, η ευφυΐα ενός εξυπηρετητή MEC περιγράφεται σε τρία στάδια:

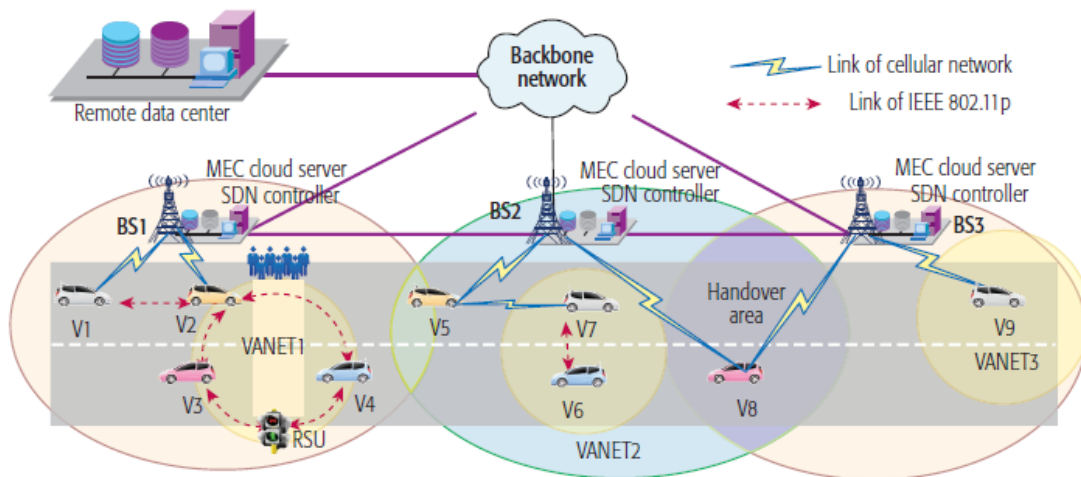
1. Ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας εφαρμόζεται μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και του εξυπηρετητή MEC. Το όχημα, πλέον, έχει πρόσβαση στον αναμενόμενο συντομότερο χρόνο για φόρτιση EEATC των σταθμών.

2. Λόγω μεταβλητής κυκλοφορικής κίνησης, τα στοιχεία της εξίσωσης (1) μεταβάλλονται συχνά. Όταν ο MEC εξυπηρετητής εντοπίσει συμφόρηση, ωθεί το όχημα να κάνει ένα νέο αίτημα κράτησης για φόρτιση και γίνεται ο επαναπροσδιορισμός της επιλογής σταθμού.
3. Αν η νέα επιλογή σταθμού βοηθά στη μείωση της συνολικής διαδρομής από τον προηγούμενο, τότε το όχημα ενημερώνει το MEC εξυπηρετητή για να ακυρώσει την τωρινή κράτηση για φόρτιση.

4.5 Πρόταση ενός SDN δικτύου με εφαρμογή MEC

Όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες ενότητες, ένα όχημα μπορεί να ανταλλάσσει πληροφορίες με άλλα οχήματα (V2V), με την περιβάλλουσα υποδομή (V2I), με τους πεζούς (V2P-vehicle to pedestrian) και με τους εξυπηρετητές νέφους. Η ανάπτυξη V2X επικοινωνιών περιλαμβάνει την ανάπτυξη ad-hoc δικτύων οχημάτων (VANET) και κυψελωτών δικτύων πέμπτης γενιάς.

4.5.1 Αρχιτεκτονική συστήματος SDN με αρχιτεκτονική MEC



Σχήμα 4.13 Αρχιτεκτονική συστήματος SDN με αρχιτεκτονική MEC

Η αρχιτεκτονική SDN έχει τη δυνατότητα να ενταχθεί σε VANET δίκτυα, προσφέροντας ευελιξία και αποδοτικότητα στην ανταλλαγή δεδομένων. Αν και η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής SDN σε ένα ετερογενές δίκτυο επικοινωνιών είναι αρκετά απαιτητική, με τη βοήθεια των εξυπηρετητών MEC προβλέπεται ότι θα μειωθεί σημαντικά η καθυστέρηση και η κίνηση δεδομένων από και προς το δίκτυο κορμού. Σε ένα δίκτυο όπως αυτό του Σχ.4.13, η κίνηση δεδομένων απαιτεί αρκετό χρόνο, λόγω της μεγάλης απόστασης των οχημάτων από το κέντρο διαχείρισης δεδομένων (remote data center). Μέσω του MEC μειώνεται ο συνολικός χρόνος καθυστέρησης, αφού οι πηγές υπολογιστικού νέφους (cloud computing) και η αποθήκευση δεδομένων μεταφέρονται στις παρυφές του δικτύου και βρίσκονται σε μικρή απόσταση από τα κινούμενα οχήματα. Επιπλέον, οι εφαρμογές αναπτύσσονται στο MEC εξυπηρετητή, ο οποίος έχει εγκατασταθεί στο σταθμό βάσης. Τα πακέτα αιτημάτων που λαμβάνονται από το σταθμό βάσης μπορούν να ανακατευθυνθούν σε αυτόν με ένα εσωτερικό βρόχο και να μη χρειάζεται να φθάσουν στο απομακρυσμένο κέντρο δεδομένων.

Το δίκτυο μπορεί να χωριστεί στα ακόλουθα επίπεδα:

- Επίπεδο δεδομένων και πόροι συστήματος
Το επίπεδο δεδομένων αντλεί τους πόρους του δικτύου από τις οντότητες RSU, τα οχήματα, τους πομπούς και δέκτες των σταθμών βάσης. Αναφέρεται επίσης, στις διεπαφές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά και λήψη πακέτων
- Επίπεδο ελέγχου και ελεγκτής SDN
Το επίπεδο αυτό αναφέρεται στη λήψη αποφάσεων για την επεξεργασία πακέτων. Η οντότητα δικτύου που σχετίζεται με τον έλεγχο μεταφέρεται από τις συσκευές επικοινωνίας στο λογισμικό που αναπτύσσεται στους MEC εξυπηρετητές. Με αυτό τον τρόπο, επιτρέπεται η ανταλλαγή πληροφοριών με τον SDN ελεγκτή. Ο SDN ελεγκτής λαμβάνει τις εντολές από τις εφαρμογές και τις προωθεί στις συσκευές .
- Επίπεδο εφαρμογών
Οι SDN εφαρμογές που επικοινωνούν άμεσα με τους SDN ελεγκτές, ώστε να λάβουν τις απαραίτητες πληροφορίες για το δομή και τη συμπεριφορά ενός δικτύου. Βάση αυτών των πληροφοριών, μπορούν να έχουν επακριβή εικόνα της τοπολογίας του δικτύου και πιθανών αλλαγών που συμβαίνουν και να δράσουν ανάλογα.

4.5.2 Ασφάλεια Ηλεκτρικού οχήματος

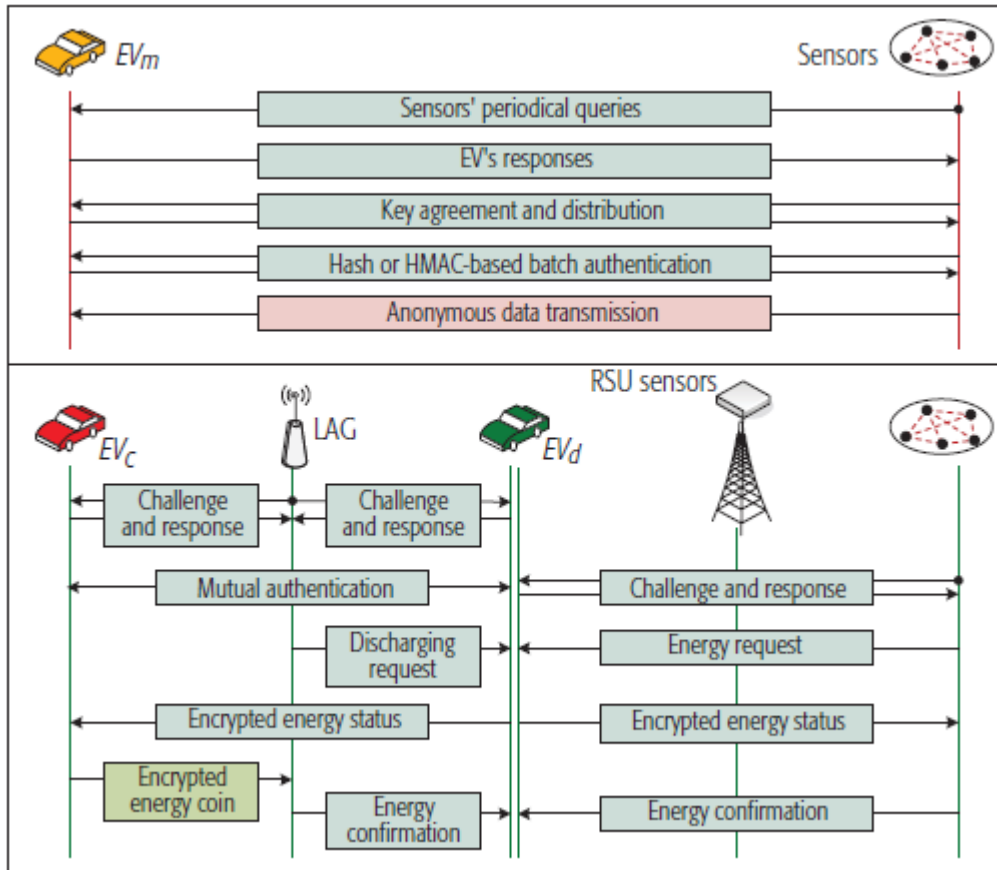
Η Ενότητα 4.5.2 εστιάζει σε θέματα ασφάλειας στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οντοτήτων στο EVCE (Electric Vehicles Cloud and Edge) δίκτυο. Αρχικά, είναι αναγκαίο να αναφερθούν οι ακόλουθες έννοιες:

Τεχνολογία αλυσίδας συστοιχιών/Blockchain

Πρόκειται για μία συνεχώς αυξανόμενη λίστα εγγραφών (blocks) που συνδέονται με τη χρήση κρυπτογραφίας. Κάθε block περιέχει ένα κρυπτογραφημένο κοινό με το επόμενο block. Οποιοδήποτε block της «αλυσίδας» έχει αποθηκευμένο ένα σύνδεσμο με το προηγούμενο block· ένα καινούριο block γίνεται μέρος της αλυσίδας μόνο όταν τα μηνύματα που αποστέλλει επαληθευτούν από την πλειοψηφία των προηγούμενων blocks.

HMAC (Hash Message Authentication Code)

Πρόκειται για ένα κώδικα επαλήθευσης μηνυμάτων που βασίζεται στη συνάρτηση κατατεμαχισμού (hash function). Ουσιαστικά, μέσω της συνάρτησης κατατεμαχισμού από ένα πακέτο παράγεται ένα μικρότερο (σύνοψη) και στη συνέχεια κρυπτογραφείται.



Σχήμα 4.14 Αρχιτεκτονική ασφάλειας ηλεκτρικού οχήματος

Ένα ηλεκτρικό όχημα παρέχει πληροφορίες σχετικά με την κυκλοφοριακή κίνηση και τη ροή ΗΕ σε πραγματικό χρόνο. Ένας κακόβουλος χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε αυτά τα δεδομένα μέσω καναλιών ασύρματης επικοινωνίας ή ελεύθερων (προς το ευρύ κοινό) εφαρμογών. Για το λόγο αυτό, προτείνεται η αρχιτεκτονική του Σχ.4.14, στην οποία συμμετέχουν αισθητήρες RSU, ηλεκτρικά οχήματα και ένας τοπικός συλλέκτης δεδομένων LAG (Local Aggregator). Η αρχιτεκτονική πραγματεύεται ένα τμήμα ασφάλειας ως προς την ανταλλαγή πληροφοριών και ένα ως προς την ασφάλεια της ροής ΗΕ.

Στο τμήμα ασφάλειας ανταλλαγής πληροφοριών, η οντότητα RSU συνεχώς μεταδίδει πακέτα/ερωτήσεις. Τα οχήματα EV_m και οι αισθητήρες συμμετέχουν σε μια αμοιβαία διαδικασία επαλήθευσης, η οποία βασίζεται στην HMAC τεχνολογία. Τα ηλεκτρικά οχήματα λαμβάνουν δεδομένα (data) που πηγάζουν από τους αισθητήρες και στη συνέχεια μεταδίδουν τροποποιημένα/κατατεμαχισμένα δεδομένα (data'). Τα τελευταία αποτελούν δεδομένα που θα προσκολληθούν στην αλυσίδα. Στο τμήμα ασφάλειας της ροής ΗΕ, ο τοπικός συλλέκτης δεδομένων παράγει «ψευδοτυχαίους» αριθμούς και τους μεταδίδει στα γειτονικά ηλεκτρικά οχήματα, με σκοπό την πρόσβαση στην επικοινωνία (μεταξύ LAG και οχήματος). Στη συνέχεια, αποστέλλεται από τον τοπικό συλλέκτη αίτημα στο EV_d , για να μεταφέρει ενέργεια στο EV_c . Το EV_d κρυπτογραφεί την κατάσταση φόρτισης του και την αποστέλλει στο EV_c . Το EV_c χρεώνεται για την υπηρεσία φόρτισης και ανταλλάσσεται ενέργεια (energy coins) μεταξύ των δύο οχημάτων.

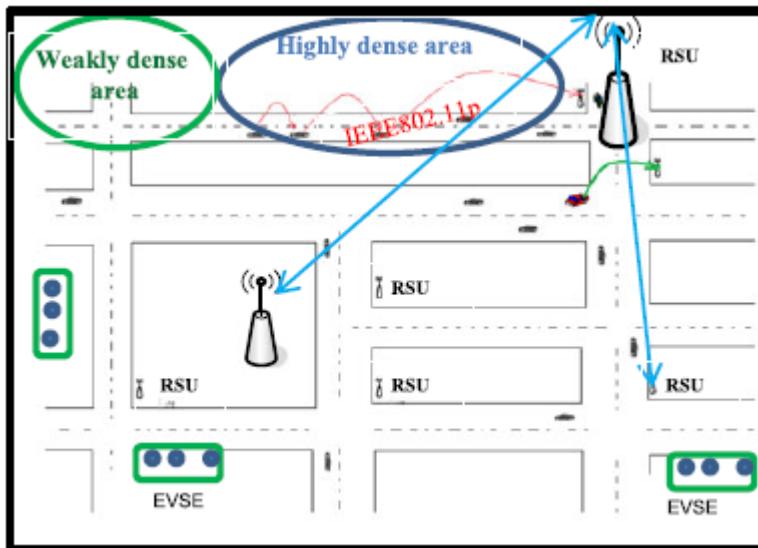
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

5.1 Γενικά στοιχεία

Στο τρέχον κεφάλαιο, θα διατυπωθεί δύο υποθετικά σενάρια φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος σε συγκεκριμένες περιοχές. Προς τούτο, πρέπει προηγουμένως να εξεταστούν βασικές παράμετροι, όπως το μέγεθος μηνυμάτων που ανταλλάσσει το όχημα με το δίκτυο ΗΕ (bytes) και την πυκνότητα κυκλοφοριακής ροής (αριθμός οχημάτων ανά μονάδα μήκους του δρόμου).

Στην Ενότητα 5.1 θα γίνει η πλήρης περιγραφή του συστήματος ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ ενός κινούμενου οχήματος και του σταθμού φόρτισης EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment).



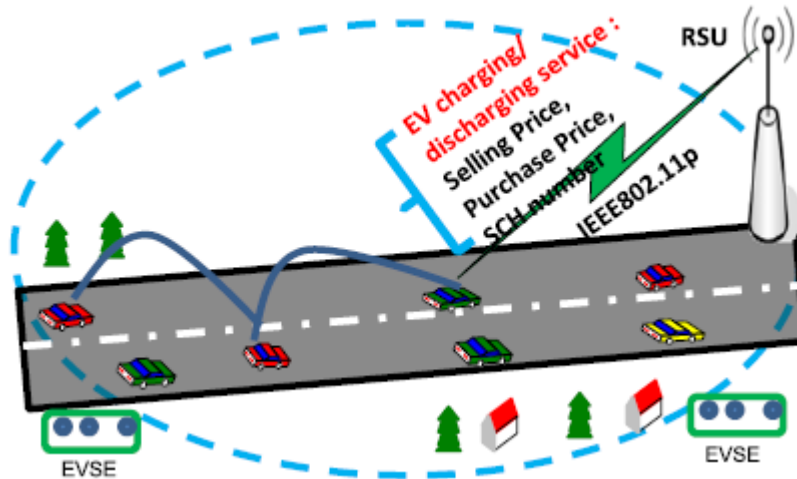
Σχήμα 5.1 Περιγραφή συστήματος

Όπως φαίνεται στο Σχ.5.1, επί του οδοστρώματος υπάρχουν οντότητες RSU, ηλεκτρικά οχήματα και σταθμοί φόρτισης. Τα οχήματα και οι σταθμοί φόρτισης είναι εξοπλισμένοι με μονάδες OBU, με σκοπό να επικοινωνούν με την πλησιέστερη RSU. Για το συγκεκριμένο σενάριο, γίνονται οι εξής υποθέσεις:

- Οι σταθμοί φόρτισης, το δίκτυο ΗΕ και οι οντότητες RSU διασυνδέονται μεταξύ τους με ενσύρματη επικοινωνία
- Όλα τα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν συσκευή συστήματος εντοπισμού (στίγματος) GPS
- Κάθε οντότητα RSU μπορεί να αποστέλλει ένα μήνυμα για να γνωστοποιήσει κάποια υπηρεσία φόρτισης
- Κάθε όχημα μπορεί να αποστέλλει μήνυμα για να γνωστοποιήσει τη θέση του και την κατάσταση φόρτισης SoC
- Όταν το όχημα βρίσκεται εντός της εμβέλειας της οντότητας RSU, τότε μπορεί να συνδεθεί με αυτήν ώστε να γίνει ανταλλαγή πληροφοριών, σχετικά με την υπηρεσία φόρτισης

- Όταν το όχημα βρίσκεται εκτός της εμβέλειας της οντότητας RSUs, θα χρησιμοποιηθεί κάποια μέθοδος μετάδοσης πληροφορίας πολλαπλών βημάτων
- Η εμβέλεια μετάδοσης/εκπομπής πληροφορίας μιας οντότητας RSU είναι περίπου 300-400 m

5.1.1 V2V και V2I αλληλεπιδράσεις μεταξύ οχήματος και RSU



Σχήμα 5.2 Αλληλεπίδραση μεταξύ RSU και οχήματος

Στα σενάρια φόρτισης που θα αναλυθούν ακολούθως, τα οχήματα θα βρίσκονται εντός της εμβέλειας μετάδοσης των οντοτήτων RSU. Αρχικά, η οντότητα RSU μεταδίδει την περιγραφή της υπηρεσίας φόρτισης. Η υπηρεσία φόρτισης λαμβάνει υπόψη τον αριθμό ελεύθερων υποδοχών σε κάθε σταθμό φόρτισης, έτσι ώστε να μπορεί να παρέχει καθοδήγηση σε ηλεκτρικό όχημα που χρειάζεται φόρτιση με βάση αυτόν τον αριθμό. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, γίνεται ανταλλαγή δύο μηνυμάτων: η οντότητα RSU γνωστοποιεί τη διαθέσιμη υπηρεσία φόρτισης στο κανάλι ελέγχου, κάθε ηλεκτρικό όχημα λαμβάνει οποιαδήποτε πληροφορία υπάρχει στο CCH (Control Channel) και όποιο όχημα ενδιαφέρεται αποστέλλει κάποιο μήνυμα/απάντηση.

5.1.2 Δομή μηνύματος από τις οντότητες RSU

DSRCmsgID	MsgCount	TempID	DSecond	SCH_num	Purchase_Price	Selling_Price	Checksum
-----------	----------	--------	---------	---------	----------------	---------------	----------

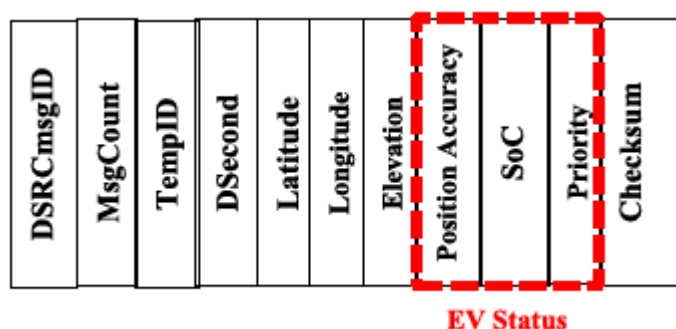
Σχήμα 5.3 Δομή μηνύματος κατερχόμενης ζεύξης

Στο Σχ.5.3 φαίνεται η δομή του μηνύματος που γνωστοποιεί η RSU οντότητα στην OBU μονάδα του οχήματος. Αποτελείται από οκτώ πεδία, το περιεχόμενο των οποίων αναγράφεται στον Πίνακα 5.1, ενώ το συνολικό μήκος του πλαισίου είναι 15 bytes.

Πίνακας 5.1 Περιεχόμενο μηνύματος κατερχόμενης ζεύξης

Πεδίο	Μήκος (Bytes)	Περιεχόμενο
DSRCmsgID	1	Τύπος μηνύματος
MsgCount	1	Αριθμός που αυξάνεται σε κάθε διάδοση μηνύματος σε διαφορετικό όχημα, για ανίχνευση λάθους
TempID	4	Προσωρινό ID, για λόγους ασφαλείας
DSecond	2	Ώρα αποστολής μηνύματος
SCH_num	1	Αριθμός καναλιού που εξυπηρετεί το όχημα
Selling_Price	1	Τιμή προς πώληση μονάδας ρεύματος
Purchase_Price	1	Τιμή προς αγορά μονάδας ρεύματος
Checksum	4	Τιμή ανίχνευσης λαθών

5.1.3 Δομή μηνύματος απάντησης ηλεκτρικών οχημάτων



Σχήμα 5.4 Δομή μηνύματος ανοδικής ζεύξης

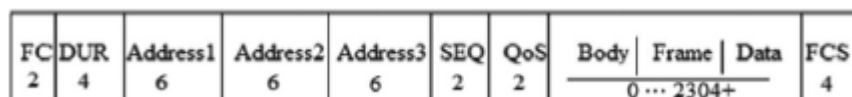
Μέσω της οντότητας RSU, το ηλεκτρικό όχημα αποστέλλεται στο δίκτυο HE το μήνυμα του Σχ.5.4. Το πλαίσιο του μηνύματος έχει μήκος 28 bytes και αποστέλλεται όταν το όχημα είναι ακόμα σε κίνηση (δεν έχει φθάσει στο σταθμό φόρτισης). Το περιεχόμενο των ένδεκα πεδίων του πλαισίου φαίνεται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2 Περιεχόμενο πεδίων μηνύματος ανερχόμενης ζεύξης

Πεδίο	Μήκος (Bytes)	Περιεχόμενο
DSRCmsgID	1	Τύπος μηνύματος
MsgCount	1	Αριθμός που αυξάνεται σε κάθε διάδοση μηνύματος σε διαφορετικό όχημα για την ανίχνευση λάθους
TempID	4	Προσωρινό ID, για λόγους ασφαλείας
DSecond	2	Ώρα αποστολής μηνύματος
Latitude	4	Γεωγραφικό πλάτος οχήματος
Longitude	4	Γεωγραφικό μήκος οχήματος
Elevation	2	Υψόμετρο (σε σχέση με το επίπεδο θαλάσσης) του οχήματος
Position-Accuracy	4	Εκφράζει την ακρίβεια γεωγραφικού μήκους και πλάτους, για να εκτιμήσει την τοποθεσία οχήματος
SoC	1	Κατάσταση φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος
Priority	1	Επίπεδο προτεραιότητας με βάση το SoC
Checksum	4	Αριθμός ανίχνευσης λαθών

5.1.4 Διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων

Τα μηνύματα κατερχόμενης και ανερχόμενης ζεύξης που αναφέρθηκαν προηγουμένως ενσωματώνονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο του προτύπου IEEE802.11p. Το συγκεκριμένο πρότυπο προσθέτει επιπλέον 32 bytes (overhead) στα πακέτα ανταλλαγής μηνυμάτων.



Σχήμα 5.5 Μορφή πλαισίου IEEE802.11p

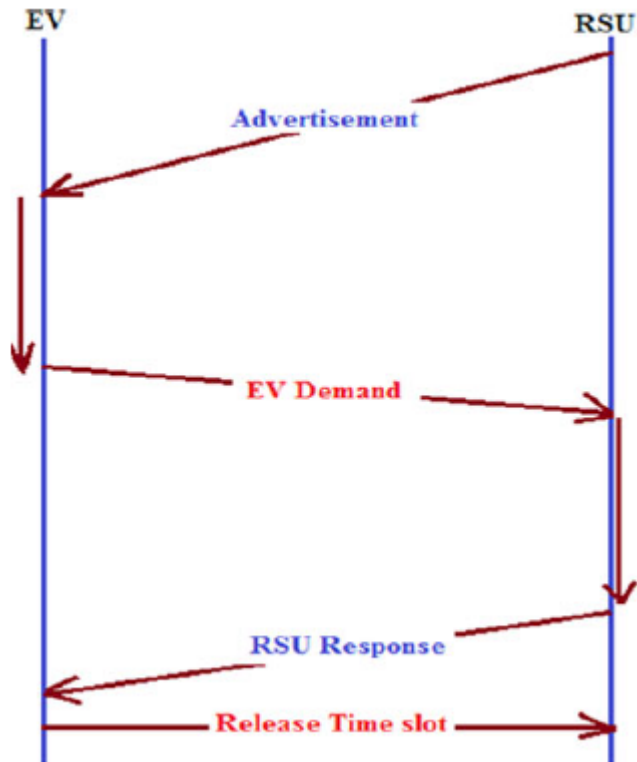
Η διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και της οντότητας RSU περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Advertisement/Κοινοποίηση
Η οντότητα RSU εκπέμπει τη διαθεσιμότητα και τις παραμέτρους της υπηρεσίας φόρτισης
2. EV Demand/Αίτημα οχήματος
Κάθε όχημα που ενδιαφέρεται για την υπηρεσία φόρτισης αποστέλλει σχετικό αίτημα στην οντότητα RSU, σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στο αίτημα γνωστοποιείται η κατάσταση του οχήματος (SoC)
3. RSU Response/Απόκριση οντότητας RSU
Αφού λάβει την απάντηση του οχήματος που ισοδυναμεί με αίτημα φόρτισης, αποστέλλει στο όχημα τον αριθμό θέσεων (επαρκής χώρος για το όχημα) του

κοντινότερου σταθμού φόρτισης, καθώς και την τιμή ρεύματος (υπηρεσίας) φόρτισης.

4. Release Time Slot/Αποδέσμευση

Το τελευταίο μήνυμα δηλώνει το τέλος επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και της RSU οντότητας. Στο μήνυμα αυτό γίνεται κράτηση θέσης για φόρτιση.



Σχήμα 5.6 Ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ οχήματος και οντότητας RSU

5.2 Τροποποίηση διαδικασίας φόρτισης

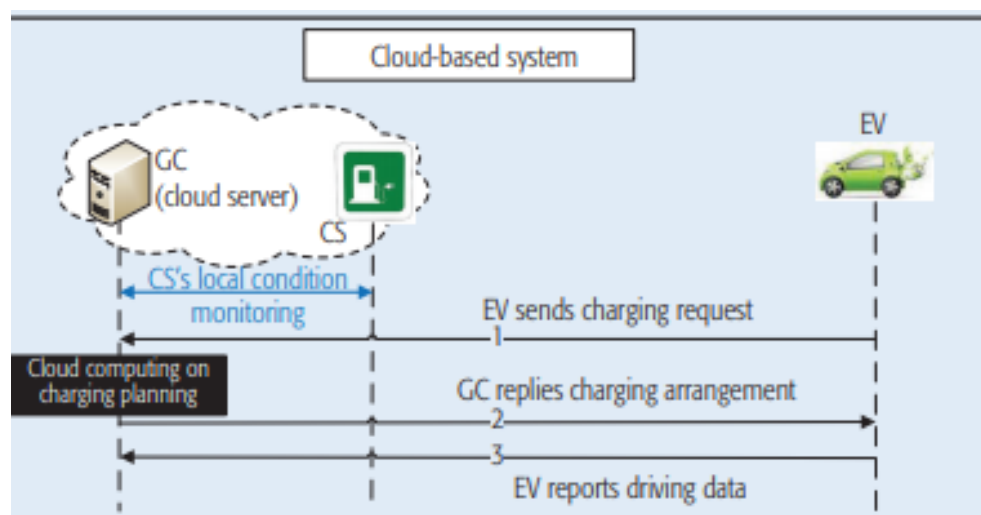
Στη συγκεκριμένη ενότητα θα επιχειρηθούν κάποιες τροποήσεις του προαναφερθέντος σχεδιασμού φόρτισης, ώστε στη συνέχεια αυτό να μπορεί να εφαρμοσθεί θεωρητικά στον κόμβο Κηφισίας. Το πρότυπο IEEE802.11p υποστηρίζει ένα ad-hoc τρόπο επικοινωνίας ώστε τα οχήματα να έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους, χωρίς να βρίσκονται στην περιοχή κάλυψης του δικτύου. Με τη βοήθεια των οντοτήτων RSU αυξάνεται η εμβέλεια της επικοινωνίας. Ωστόσο, η τοποθέτηση RSU είναι αρκετά δαπανηρή, ενώ η εμβέλεια τους αρκετά μικρή (200-300 m). Για το λόγο αυτό, θα γίνει προσαρμογή της προαναφερθείσας ανταλλαγής δεδομένων στο LTE δίκτυο, στο οποίο η εμβέλεια για ανταλλαγή μηνυμάτων είναι μεγαλύτερη. Το μήκος των πακέτων που υποστηρίζονται στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 50-300 bytes.

Πίνακας 5.3 Σύγκριση χαρακτηριστικών IEEE802.11p και LTE

	IEEE802.11p	LTE
Τρόπος επικοινωνίας	V2V και V2I	V2I
Εμβέλεια επικοινωνίας	200-300 m	Έως αρκετά km
Ρυθμός μετάδοσης	Έως 27Mbps	Έως 100Mbps
Καθυστέρηση	Εξαρτάται από τον αριθμό οχημάτων	Εξαρτάται από το βαθμό χρησιμοποίησης του δικτύου κορμού

5.2.1 Σενάριο φόρτισης με εφαρμογή της LTE αρχιτεκτονικής

Κατά τη μελέτη χρήσης του LTE δικτύου δεν θα θεωρηθούν οι οντότητες RSU· όπως έχει αναλυθεί και στο Κεφάλαιο 4, οι οντότητες που θα ανταλλάσσουν μηνύματα θα είναι ο εξυπηρετητής νέφους, ο σταθμός φόρτισης και το ηλεκτρικό όχημα.



Σχήμα 5.7 Διάγραμμα ανταλλαγής μηνυμάτων

Στον Πίνακα 5.4 καταγράφονται τρία επίπεδα κίνησης στον Κόμβο Κηφισιάς. Επίσης, θεωρείται ότι ο εξυπηρετητής νέφους γνωρίζει την κατάσταση των σταθμών φόρτισης και ανανεώνει αυτή την πληροφορία όταν κάποιο όχημα αποχωρήσει από κάποιο σταθμό και στείλει μήνυμα στον εξυπηρετητή.

Το περιεχόμενο του πακέτου που αποστέλλει ένα όχημα περιλαμβάνει το περιεχόμενο του πακέτου του Σχ.5.4 και έχει παρόμοια μορφή με αυτό. Αντίστοιχα, τα πακέτα που αποστέλλονται από τον εξυπηρετητή νέφους έχουν τη μορφή του πακέτου του Σχ.5.3.

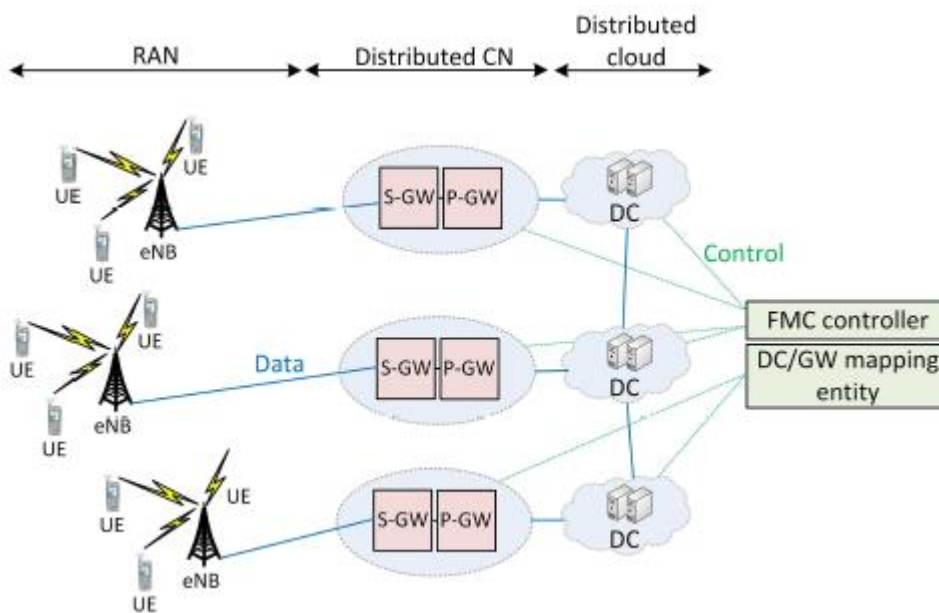
Είναι φανερό ότι πρέπει να εφαρμοστεί μια εξειδικευμένη αρχιτεκτονική στο LTE δίκτυο, καθώς στην περίπτωση φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων εμπλέκονται πολλοί χρήστες. Πριν μελετηθεί η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής MEC, ως περισσότερο ρεαλιστικό σενάριο στην περίπτωση LTE θα εξεταστεί η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής FMC (Follow Me Cloud).

Πίνακας 5.4 Επίπεδα κίνησης κόμβου Κηφισίας

	Χαμηλή κίνηση	Μέτρια κίνηση	Υψηλή κίνηση
Μέσο πλήθος οχημάτων	127	304	510
Πυκνότητα οχημάτων (οχήματα/km)	50.8	121.6	204

Τα χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής κίνησης του Πίνακα 5.4 εκτιμήθηκαν από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο [43].

Εισάγονται στο σύστημα δύο νέες οντότητες, ο FMC ελεγκτής και η οντότητα απεικόνισης (mapping entity). Ο ελεγκτής FMC περιλαμβάνει τους αποθηκευτικούς και υπολογιστικούς πόρους του συστήματος, ενώ παράλληλα αποφασίζει σε ποιον εξοπλισμό χρήστη θα αντιστοιχιστεί κάποιο κέντρο δεδομένων. Η οντότητα απεικόνισης συλλέγει δεδομένα, όπως το χρόνο επικοινωνίας μεταξύ του πυρήνα του δικτύου και του κέντρου δεδομένων.



Σχήμα 5.8 Αρχιτεκτονική FMC

(RAN-Radio Access Network, DC-Distributed Cloud, S-GW-Serving Gateway, P-GW-PDN Gateway, DC/GW-Distributed Cloud/Gateway)

Κάθε πακέτο που αποστέλλει ένα όχημα έχει μέγεθος $s_{UL}=300\text{bytes}$ και ρυθμό μετάδοσης uplink $R_{UL}=100\text{kbps}$. Το περιεχόμενο και η μορφή του υποτίθεται ότι είναι παρόμοια με αυτά του Σχ.5.4, δηλαδή περιλαμβάνει την τοποθεσία του οχήματος και τη SoC. Κάθε πακέτο που αποστέλλεται στα οχήματα έχει μέγεθος $s_{DL}=200\text{bytes}$ και έχει μορφή και περιεχόμενο παρόμοια με αυτά του Σχ.5.3 (περιλαμβάνει τον αριθμό διαθέσιμων θέσεων και την τιμή της υπηρεσίας φόρτισης). Ο ρυθμός μετάδοσης του πακέτου downlink είναι $R_{DL}=1\text{Mbps}$. Κάθε ζεύξη του Σχ.5.8 έχει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 100Mbps και εισάγει συνολική καθυστέρηση στην ανοδική και καθοδική

ζεύξη 20ms. Η διαδικασία στην περίπτωση της αρχιτεκτονικής LTE εκκινεί με το όχημα να αποστέλλει κάποιο αίτημα φόρτισης στον εξυπηρετητή νέφους. Στη συνέχεια ο τελευταίος ενημερώνει το όχημα για τη διαθεσιμότητα συγκεκριμένου σταθμού και τελικά το όχημα πραγματοποιεί κράτηση θέσης. Υποτίθεται ότι το 20% των οχημάτων σε κάθε επίπεδο κίνησης αποστέλλουν κάποιο πακέτο στον εξυπηρετητή νέφους, αλλά τελικά μόνο το 10% πραγματοποιεί κράτηση θέσης στο συγκεκριμένο σταθμό φόρτισης. Οι ουρές των ζεύξεων είναι DropTail με χωρητικότητα 100 πακέτων. Η διάρκεια καθυστέρησης κάθε πακέτου ανοδικής και καθοδικής ζεύξης είναι $44 \left(\frac{300 \times 8 \text{ bits}}{10 \text{ kbps}} + 20 \text{ ms} \right)$ και $21.6 \text{ ms} \left(\frac{200 \times 8 \text{ bits}}{1 \text{ Mbps}} + 20 \text{ ms} \right)$ αντίστοιχα. Οι τιμές λαμβάνονται από τη σχέση (5.1).

$$\tau = \frac{s \times 8 \text{ bits}}{R} + 20 \text{ ms} \quad (5.1)$$

όπου s είναι το μέγεθος του πακέτου σε bytes και R ο ρυθμός μετάδοσης του πακέτου σε bps. Το τ προκύπτει από το άθροισμα του χρόνου μετάδοσης του πακέτου και της συνολικής καθυστέρησης από τις ζεύξεις (20ms). Τα μεγέθη των πακέτων ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης (300 και 200bytes αντίστοιχα) επιλέχθηκαν με βάση τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο [44], ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης (100kbps και 1Mbps) επιλέχθηκαν με βάση τη μελέτη που έγινε στο [43].

Χαμηλή κίνηση

Υποθέτοντας μέσες τιμές για τα πλήθη των οχημάτων στην περίπτωση της χαμηλής κίνησης (20%), 26 οχήματα αποστέλλουν αίτημα στον εξυπηρετητή νέφους. Με βάση τη σχέση (5.1), κάθε πακέτο φθάνει στον εξυπηρετητή νέφους σε 44ms (καθυστέρηση στην ανοδική ζεύξη). Η συνολική διαδικασία για την αποστολή όλων των πακέτων είναι 1144 ms ($26 \times 44 \text{ ms}$) και τα πακέτα εισέρχονται στην ουρά και αποστέλλονται με τη σειρά. Στη συνέχεια, ο εξυπηρετητής νέφους αποστέλλει πακέτο πληροφορίας σε κάθε ένα από τα 26 οχήματα. Η διαδικασία αποστολής κάθε πακέτου είναι 21.6ms (καθυστέρηση στην καθοδική ζεύξη). Τέλος, κάνουν κράτηση 13 οχήματα (καθυστέρηση διάρκειας 44 ms). Η συνολική διαδικασία διαρκεί περίπου 2.3sec ($26 \times 44 \text{ ms} + 26 \times 21.6 \text{ ms} + 13 \times 44 \text{ ms}$).

Μέτρια κίνηση

Υποθέτοντας μέσες τιμές για τα πλήθη των οχημάτων στην περίπτωση της μέτριας κίνησης (20%), 61 οχήματα αποστέλλουν μήνυμα αιτήματος στον εξυπηρετητή νέφους. Η διαδικασία αποστολής όλων των πακέτων στον εξυπηρετητή νέφους διαρκεί 2.7sec ($61 \times 44 \text{ ms}$). Η διαδικασία ενημέρωσης των 61 οχημάτων από τον εξυπηρετητή νέφους διαρκεί 1.4sec ($61 \times 21.6 \text{ ms}$) περίπου. Τελικά, γίνονται 30 κρατήσεις θέσεων, διαδικασία διάρκειας 1.3sec ($30 \times 44 \text{ ms}$). Επομένως η συνολική διαδικασία διαρκεί 5.4sec ($2.7 \text{ sec} + 1.4 \text{ sec} + 1.3 \text{ sec}$).

Υψηλή κίνηση

Κατ' αντιστοιχία με τις περιπτώσεις χαμηλής και μέτριας κίνησης, ζητούν πληροφορία σχετικά με τη διαθεσιμότητα θέσεων 102 οχήματα. Στην προκειμένη περίπτωση, θα γίνει αρχικά η εξυπηρέτηση των 100 πρώτων οχημάτων, ενώ τα 2 οχήματα που αρχικά θα απορριφθούν θα μπορούν να εξυπηρετηθούν μόλις αδειάσει η ουρά κατά 2 πακέτα (εξυπηρέτηση με μεγαλύτερη καθυστέρηση). Η διαδικασία αποστολής των πακέτων στον εξυπηρετητή νέφους διαρκεί περίπου 4.5sec (102x44ms), ενώ η διαδικασία αποστολής πακέτων στα οχήματα (από τον εξυπηρετητή νέφους) διαρκεί περίπου 2.2sec(102x21.6ms). Τέλος, η κράτηση 51 θέσεων διαρκεί 2.3sec (51x44ms). Η συνολική διαδικασία διαρκεί 9sec (4.5sec + 2.2sec + 2.3sec).

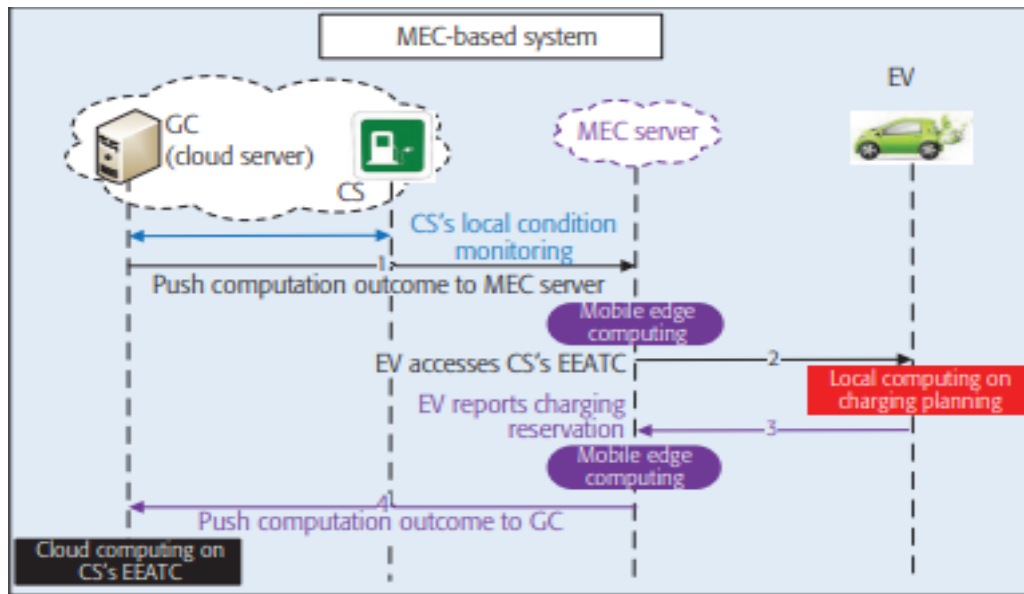
Σε περισσότερο ρεαλιστικά σενάρια, η κίνηση πακέτων δεν αφορά μόνο τη φόρτιση οχημάτων. Το δίκτυο απασχολούν πεζοί με τις υπηρεσίες (εφαρμογές) που ζητούν, αλλά και οχήματα για εφαρμογές οδικής ασφάλειας. Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, φαίνεται ότι είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός τοπικού εξυπηρετητή που θα συλλέγει και θα επεξεργάζεται δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό, δεν θα αποστέλλονται πακέτα από κάθε όχημα στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή νέφους, αλλά ένα πακέτο που θα περιλαμβάνει τα αιτήματα κάποιων οχημάτων για φόρτιση· ο τοπικός εξυπηρετητής θα συγχωνεύει τα πακέτα από κάποια ομάδα οχημάτων και θα αποστέλλει στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή ως ενιαία πληροφορία. Επιπλέον, τα αιτήματα φόρτισης αυτοκινήτων, υπηρεσιών οδικής ασφάλειας (από οχήματα) και των εφαρμογών (από τους πεζούς) θα έχουν διαφορετικό αναγνωριστικό και θα αντιμετωπίζονται με διαφορετικό τρόπο και προτεραιότητα.

5.2.2 Σενάριο φόρτισης με εφαρμογή της αρχιτεκτονικής MEC

Σε ένα σύστημα βασισμένο στην αρχιτεκτονική MEC, η ανταλλαγή πακέτων γίνεται όπως στο Σχ.5.9. Όταν υπάρχει MEC εξυπηρετητής, η ανταλλαγή μηνυμάτων εκκινεί από τον εξυπηρετητή νέφους. Όπως και στην προσέγγιση της Ενότητας 5.1, τα οχήματα αποτελούν τις οντότητες που απαντούν σε κάποιο πακέτο που τους γνωστοποιεί την πληροφορία φόρτισης και δεν εκκινούν την ανταλλαγή πληροφοριών. Ανά χρονικά διαστήματα διάρκειας T , ο εξυπηρετητής νέφους γνωστοποιεί τη διαθεσιμότητα ενός σταθμού φόρτισης στον εξυπηρετητή MEC. Όταν το όχημα ενημερωθεί για τη διαθεσιμότητα θέσεων, αποστέλλει, εφόσον το επιθυμεί, στον εξυπηρετητή MEC αίτημα φόρτισης ώστε να γίνει κράτηση μία θέση φόρτισης.

Στη συνέχεια, ο εξυπηρετητής MEC αθροίζει όλα τα αιτήματα φόρτισης (σε κάποιο χρονικό διάστημα διάρκειας $T+L$) και προωθεί την πληροφορία στον εξυπηρετητή νέφους. Είναι φανερό ότι στο διάστημα διάρκειας $T+L$ ο MEC εξυπηρετητής είναι ρυθμισμένος ώστε να μπορεί να δεχθεί συγκεκριμένο πλήθος πακέτων. Στην Ενότητα 5.2.2, θα ληφθούν υπόψη μόνο τα μηνύματα/πακέτα που σχετίζονται με φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων.

Έστω ότι ο εξυπηρετητής νέφους ενημερώνει τον εξυπηρετητή MEC κάθε $T=0.5\text{sec}$ και σε χρόνο $L=1\text{sec}$ ο τελευταίος συλλέγει τα δεδομένα/πακέτα από τα οχήματα. Η καθυστέρηση της ζεύξης μεταξύ του εξυπηρετητή MEC και του οχήματος είναι πρακτικά μηδενική, ενώ η καθυστέρηση της ζεύξης μεταξύ των εξυπηρετητών νέφους και των MEC κόμβων είναι 10ms σύμφωνα με το [43]. Επιπλέον, θεωρείται ότι το πακέτο με όλες τις κρατήσεις θέσεων που αποστέλλει ο MEC εξυπηρετητής στον εξυπηρετητή νέφους έχει μέγεθος $s_{\text{mec}}=1000\text{bytes}$. Αν η ανερχόμενη ζεύξη εξυπηρετεί με ρυθμό μετάδοσης 100kbps , η διάρκεια μετάδοσης του πακέτου αυτού θα είναι 90ms ($\frac{1000 \times 8 \text{bits}}{100 \text{kbps}} + 10\text{ms}$) σύμφωνα με τη σχέση (5.2).



Σχήμα 5.9 Ανταλλαγή μηνυμάτων με εφαρμογή MEC αρχιτεκτονικής

$$\tau = \frac{s \times 8 \text{ bits}}{R} + 10 \text{ ms} \quad (5.2)$$

Όπως και στην περίπτωση της Ενότητας 5.2.1, οι ρυθμοί μετάδοσης uplink και downlink θεωρούνται ίσοι προς 100kbps και 1Mbps αντίστοιχα.

Χαμηλή κίνηση

Τα οχήματα που εισέρχονται στην περιοχή κάλυψης του εξυπηρετητή MEC λαμβάνουν την πληροφορία που σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα θέσεων στο σταθμό φόρτισης. Η πληροφορία αυτή αποστέλλεται σε 127 οχήματα, από τα οποία αναμένεται να πραγματοποιήσουν κράτηση τα 13. Αν και είναι δύσκολο να προσεγγιστεί τότε θα πραγματοποιήσει κράτηση θέσης ένα όχημα μέσα στο διάστημα L , για την υλοποίηση της υπόθεσης θα θεωρήσω ότι σε κάθε διάστημα L κάνουν αίτημα φόρτισης 5 οχήματα. Η διαδικασία κράτησης 5 θέσεων διαρκεί

$$T + L + 90\text{ms} = 1.2 \text{ sec} \quad (5.3)$$

όπου $T+L$ ο χρόνος συλλογής των πακέτων που θα αθροιστούν και θα μεταδοθούν ως ενιαία πληροφορία και 90ms η καθυστέρηση μετάδοσης του πακέτου 1000bytes από

τον εξυπηρετητή MEC στον εξυπηρετητή νέφους. Η συνολική διαδικασία κράτησης 13 θέσεων διαρκεί 3.6sec ($3 \times 1.2sec$).

Μέτρια κίνηση

Η πληροφορία σχετικά με τη διαθεσιμότητα θέσεων αποστέλλεται σε 304 οχήματα, από τα οποία θα κάνουν κράτηση θέσης τα 30. Υποθέτοντας ότι σε κάθε διάστημα L ανταποκρίνονται 10 οχήματα, σε 1.2sec θα γίνονται 10 κρατήσεις. Τα οχήματα θα εξυπηρετούνταν σε 3 ομάδες των 10, επομένως η συνολική διαδικασία συνεχίζει να διαρκεί 3.6sec ($3 \times 1.2ms$).

Υψηλή κίνηση

Η πληροφορία σχετικά με τη διαθεσιμότητα θέσεων αποστέλλεται σε 510 οχήματα, από τα οποία θα κάνουν κράτηση θέσης τα 51. Αν υποθέσω ότι σε κάθε διάστημα L, ανταποκρίνονται 25 οχήματα, σε 1.2 sec θα γίνονται 25 κρατήσεις. Τότε η διαδικασία θα διαρκέσει 3.6 sec ($3 \times 1.2ms$).

Αποτελέσματα

Παρατηρώ ότι στην περίπτωση όπου γίνεται χρήση της MEC αρχιτεκτονικής δεν είναι αναγκαία η αποστολή πακέτου από την πλευρά του οχήματος για να λάβουν ενημέρωση σχετικά με την υπηρεσία φόρτισης. Το μοναδικά οχήματα που επικοινωνούν έμμεσα με τον εξυπηρετητή νέφους είναι μόνο αυτά που επιθυμούν να κάνουν κράτηση θέσης. Ο χρόνος εξυπηρέτησης των οχημάτων βελτιώνεται σημαντικά στις περιπτώσεις μέτριας και υψηλής κίνησης. Πάντως, το αξιοσημείωτο σε αυτή τη διαδικασία είναι η απλουστευμένη μορφή ανταλλαγής μηνυμάτων. Η τοποθέτηση ενός τοπικού εξυπηρετητή εγγύτερα στα οχήματα εξασφαλίζει την εξυπηρέτηση όλων των οχημάτων. Επιπλέον, ο απομακρυσμένος εξυπηρετητής δεν επιβαρύνεται καθόλου με την ενημέρωση των οχημάτων ή την κράτηση μεμονωμένων θέσεων. Αρχίζει, λοιπόν, να γίνεται περισσότερο κατανοητός ο ρόλος ενός συλλέκτη δεδομένων (aggregator) πλησιέστερα στην πλευρά των χρηστών/οχημάτων.

Πίνακας 5.5 Σύγκριση εφαρμογής LTE και MEC ως προς το χρόνο εξυπηρέτησης οχημάτων

	Χρόνος εξυπηρέτησης-LTE (sec)	Χρόνος εξυπηρέτησης-MEC (sec)
Χαμηλό κίνηση	2.3	3.6
Μέτρια κίνηση	5.4	3.6
Υψηλή κίνηση	12.5	3.6

Στον Πίνακα 5.5, ο χρόνος εξυπηρέτησης οχημάτων αναφέρεται στη συνολική διάρκεια κράτησης των θέσεων στο σταθμό φόρτισης. Από τον Πίνακα 5.3 προκύπτει ότι με τη χρησιμοποίηση της αρχιτεκτονικής MEC, ο χρόνος εξυπηρέτησης των οχημάτων εξαρτάται από το διάστημα L, δηλαδή το χρονικό διάστημα στο οποίο συναθροίζονται τα αιτήματα φόρτισης. Η μείωση της συνολικής καθυστέρησης από 20ms σε 10ms και η συνάθροιση πολλών αιτημάτων φόρτισης σε ένα πακέτο 1000bytes οδήγησε στη μείωση του χρόνου εξυπηρέτησης των οχημάτων.

5.2.3 Παραμετροποίηση προβλήματος κινούμενων οχημάτων

Συνοψίζοντας, θα πραγματοποιηθεί ακολούθως μια προσπάθεια παραμετροποίησης των δεδομένων του προβλήματος κινούμενων οχημάτων, με σκοπό τη μελλοντική εμβάθυνση σε επόμενες μελέτες που σχετίζονται με φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων.

- Μεταβλητές εισόδου: πλήθος οχημάτων σε κάθε επίπεδο κίνησης, εμβέλεια των οντοτήτων RSU, ποσοστό οχημάτων που συμμετέχουν στην ανταλλαγή πακέτων, ποσοστό οχημάτων που πραγματοποιούν κράτηση θέσης σε σταθμούς φόρτισης
- Υποθέσεις: μέγεθος πακέτων (bytes) κατά περίπτωση (περιπτώσεις ανοδικής και καθοδικής ζεύξης, περίπτωση πακέτου από συλλογή δεδομένων από ομάδα οχημάτων), τιμή συνολικής καθυστέρησης σε κάθε ζεύξη (ανοδική και καθοδική)
- Αποτελέσματα εξόδου: χρόνος εξυπηρέτησης των οχημάτων που θα πραγματοποιήσουν φόρτιση (κράτηση θέσης σε σταθμούς φόρτισης)

5.3 Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος στην οικία

Στην Ενότητα 5.3, θα μελετηθεί η G2H (Grid to Home) τεχνολογία σε μια αραιοκατοικημένη περιοχή (με χαμηλό βαθμό χρησιμοποίησης δικτύου HE) για ευκολίας. Η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων πραγματοποιείται κυρίως τις απογευματινές και βραδινές ώρες. Προς μελέτη επιλέγεται μια περιοχή ακτίνας 0.20km στο Καπανδρίτι. Αν και η περίπτωση της φόρτισης στην κατοικία φαίνεται απλούστερη, πρέπει να διατίθεται ο κατάλληλος εξοπλισμός, όπως αισθητήρες και συσκευές έξυπνης μέτρησης (smart metering), ώστε να μην υπερφορτωθεί το δίκτυο HE (κατά το διάστημα όπου φορτίζονται ταυτόχρονα πολλά οχήματα). Συνεπώς, διευκολύνεται αρκετά η υπόθεση/σενάριο όταν η κατοικία είναι «έξυπνο σπίτι» και υποστηρίζει IoT συσκευές και υπηρεσίες.

5.3.1 Σενάριο φόρτισης με την εφαρμογή αρχιτεκτονικής LTE

Για την πραγματοποίηση του σεναρίου φόρτισης με την εφαρμογή αρχιτεκτονικής LTE θα πραγματοποιηθεί μία υπόθεση ανταλλαγής μηνυμάτων παρόμοια με αυτή του Σχ.5.7. Δηλαδή, κάθε πακέτο που συμμετέχει στην ανταλλαγή μηνυμάτων του Σχ.5.12 έχει μέγεθος $s=100\text{bytes}$ (σύμφωνα με το [45]) και η ταχύτητα μετάδοσης τους είναι 100kbps και 1Mbps στην ανοδική και καθοδική ζεύξη αντίστοιχα. Θεωρώ ότι υπάρχει ένας απομακρυσμένος εξυπηρετητής που έχει γνώση της κατάστασης του δικτύου HE. Επιπλέον, όταν χρησιμοποιείται η FMC αρχιτεκτονική, εισάγεται καθυστέρηση 20ms σε κάθε αποστολή πακέτου (από την οικία στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή και αντίστροφα).

Κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου υπάρχει αισθητά μεγαλύτερη ζήτηση φόρτισης τις απογευματινές και βραδινές ώρες (όταν οι κάτοικοι έχουν επιστρέψει από το χώρο εργασίας). Η περιοχή μελέτης του Σχ.5.11 περιλαμβάνει 50 περίπου κατοικίες και υποτίθεται ότι η διάρκεια φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι

περίπου 2 ώρες (1-1:30 ώρες η ρεαλιστική τιμή για σταθμούς ταχείας φόρτισης). Υποτίθεται ότι σε κάθε οικία φορτίζεται ένα ηλεκτρικό όχημα.



Σχήμα 5.10 Περιοχή μελέτης στο Καπανδρίτι

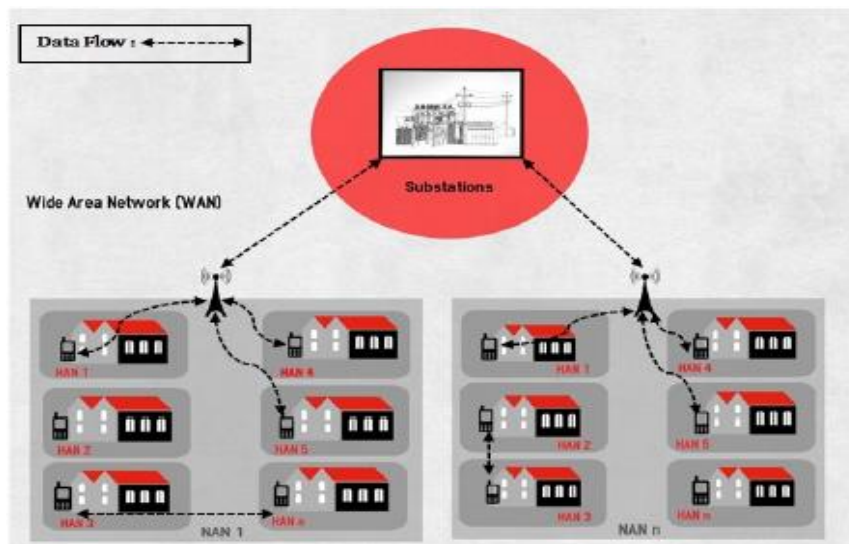
Πρωινές ώρες

Κατά το διάστημα αυτό αναμένεται να γίνει αίτημα φόρτισης από 10 οχήματα. Κάθε θέση φόρτισης στο σπίτι αποστέλλει ένα πακέτο αιτήματος φόρτισης στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή με διάρκεια αποστολής πακέτου σύμφωνα με τη σχέση (5.1) $28ms \left(\frac{100 \times 8 \text{bits}}{100 \text{kbps}} + 20ms \right)$ (ανοδική ζεύξη). Ο εξυπηρετητής αποστέλλει ένα πακέτο, στο οποίο ενημερώνει για την κατάσταση του δικτύου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ενημερώνει ότι το δίκτυο ΗΕ δεν είναι απασχολημένο, καθώς επίσης και για την τιμή της υπηρεσίας φόρτισης. Η διάρκεια αποστολής του πακέτου στην καθοδική ζεύξη σύμφωνα με τη σχέση (5.1) είναι $20.8ms \left(\frac{100 \times 8 \text{bits}}{1 \text{Mbps}} + 20ms \right)$. Στη συνέχεια, αποστέλλεται πακέτο πληροφορίας στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή, για την εκκίνηση της διαδικασίας φόρτισης (ανοδική ζεύξη με διάρκεια $\frac{100 \times 8 \text{bits}}{100 \text{kbps}} + 20ms = 28ms$). Η συνολική διάρκεια για την εκκίνηση φόρτισης σε μια οικία είναι $77ms (28ms + 20.8ms + 28ms)$.

Απογευματινές/Βραδινές ώρες

Κατά το διάστημα αυτό, το δίκτυο ΗΕ είναι υπερφορτωμένο. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο απομακρυσμένος εξυπηρετητής γνωρίζει για κατάσταση του δικτύου ΗΕ, απορρίπτει κάποια από τα αιτήματα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Αν και η

περιοχή μελέτης που έχει επιλεγεί είναι αραιοκατοικημένη, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα οχήματα μιας ευρύτερης περιοχής θα ζητήσουν φόρτιση. Η υπόθεση συμφόρησης του δικτύου ΗΕ είναι δύσκολο να προσεγγιστεί. Μια πιθανή λύση είναι να αποστέλλεται από τον απομακρυσμένο εξυπηρετητή ένα μήνυμα που θα ενημερώνει τα οχήματα σε πόση ώρα περίπου θα είναι διαθέσιμο το δίκτυο ΗΕ.



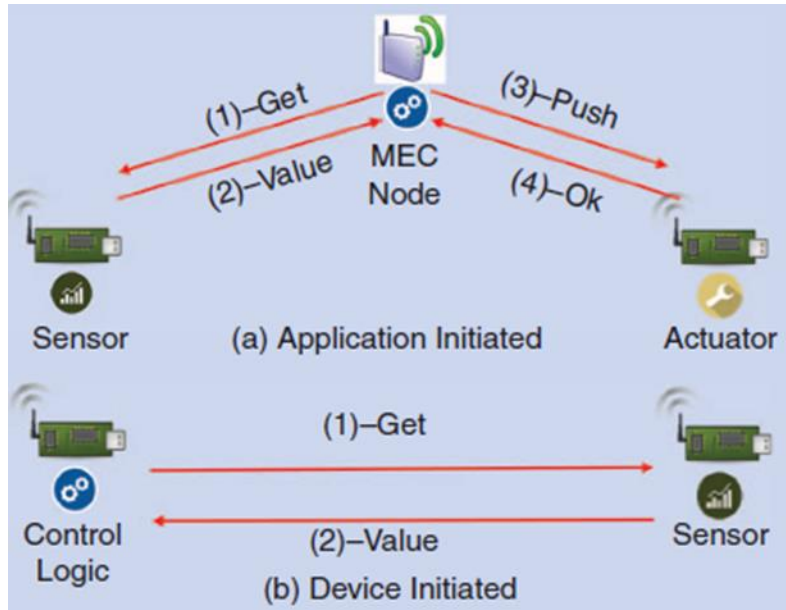
Σχήμα 5.11 Σενάριο φόρτισης οχημάτων με εφαρμογή LTE αρχιτεκτονικής

Η εγκατάσταση ενός MEC εξυπηρετητή εγγύτερα στις κατοικίες, αλλά και η τοποθέτηση κατάλληλου εξοπλισμού θα συνεισφέρουν στην εξυπηρέτηση όλων των οχημάτων που θα ζητήσουν φόρτιση.

5.3.2 Σενάριο φόρτισης με την εφαρμογή αρχιτεκτονικής MEC

Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 5.3.2, θα τοποθετηθεί ένας εξυπηρετητής MEC (τοπικός εξυπηρετητής) εγγύτερα στο χρήστη (κατοικία). Για να υλοποιηθεί το σενάριο φόρτισης με μεσολάβηση MEC εξυπηρετητών, πρέπει να τοποθετηθεί ένας αισθητήρας υποδοχής (κοντά στην πρίζα όπου θα συνδεθεί το όχημα) που θα λαμβάνει πληροφορία από τον τοπικό εξυπηρετητή MEC. Ο MEC εξυπηρετητής λαμβάνει ενημέρωση για την κατάσταση του δικτύου ΗΕ σε πραγματικό χρόνο.

Ο MEC εξυπηρετητής ενημερώνει τον αισθητήρα υποδοχής για το βαθμό απασχόλησης του δικτύου. Ο αισθητήρας (αφού το όχημα έχει συνδεθεί στην πρίζα) λαμβάνει την τιμή SoC και αποστέλλει ένα πακέτο στον εξυπηρετητή MEC που γνωστοποιεί την τιμή SoC. Όταν το δίκτυο ΗΕ δεν είναι υπερφορτωμένο, ο εξυπηρετητής MEC αποστέλλει ένα πακέτο εκκίνησης της διαδικασίας στην ίδια την υποδοχή (actuator) και η τελευταία με τη σειρά της ανταποκρίνεται (δηλαδή αποστέλλει μήνυμα προς αυτόν). Αυτή είναι η περιγραφή της εκκίνησης εφαρμογής φόρτισης (a).



Σχήμα 5.12 Ανταλλαγή πακέτων με την εφαρμογή αρχιτεκτονικής MEC

Υποθέτω ότι επίπεδο εκκίνησης συσκευής (b) περιγράφει τη λογική επικοινωνίας μεταξύ οχήματος και ενός αισθητήρα έξυπνης μέτρησης. Στη συγκεκριμένη διαδικασία, γίνεται η επίβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας από τον εξυπηρετητή MEC, ώστε να μην υπάρχει υπερφόρτωση του δικτύου.

Η καθυστέρηση στις ζεύξεις επικοινωνίας με τον αισθητήρα υποδοχής (sensor) και την πρίζα (actuator) είναι μηδενική και η καθυστέρηση μεταξύ τοπικού και απομακρυσμένου εξυπηρετητή είναι σύμφωνα με το [43] 10ms. Τα πακέτα που ανταλλάσσει ο εξυπηρετητής MEC με τις οντότητες της κατοικίας (sensor, actuator) έχουν μέγεθος $s=100\text{bytes}$ και οι ταχύτητες των πακέτων ανοδικής και καθοδικής ζεύξης είναι 100kbps και 1Mbps, αντίστοιχα. Η διάρκεια αποστολής μηνυμάτων μεταξύ των MEC εξυπηρετητή, αισθητήρα και πρίζας υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (5.4).

$$\tau = \frac{s \times 8 \text{ bits}}{R} \quad (5.4)$$

Όπως φαίνεται στο Σχ.5.13, ανταλλάσσονται συνολικά τέσσερα πακέτα (δύο ανοδικής και δύο καθοδικής ζεύξης) μεταξύ των MEC εξυπηρετητή, actuator και sensor. Σύμφωνα με τη σχέση (5.4) κάθε πακέτο ανοδικής ζεύξης έχει καθυστέρηση διάρκειας 8ms ($\frac{100 \times 8 \text{ bits}}{100\text{kbps}}$) και κάθε πακέτο καθοδικής ζεύξης 0.8ms ($\frac{100 \times 8 \text{ bits}}{1\text{Mbps}}$). Τέλος, αποστέλλεται ένα πακέτο από τον εξυπηρετητή MEC στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή και η διάρκεια καθυστέρησης του υπολογίζεται με βάση τη σχέση (5.2) στα 10ms ($\frac{100 \times 8 \text{ bits}}{100\text{kbps}} + 10\text{ms}$). Επομένως, όταν το δίκτυο δεν είναι απασχολημένο η διάρκεια εκκίνησης φόρτισης του οχήματος είναι 27.5ms ($10\text{ms} + 8\text{ms} + 8\text{ms} + 0.8\text{ms}$) περίπου.

Στην περίπτωση όπου θα εφαρμοζόταν η λογική της Ενότητας 5.2.2 θα προέκυπταν τα εξής:

Υποτίθεται ότι θα διατηρηθούν οι τιμές $T=0.5\text{sec}$ και $L=1\text{sec}$. Κάθε διάστημα διάρκειας T ο εξυπηρετητής MEC ενημερώνεται από τον απομακρυσμένο εξυπηρετητή. Όταν το δίκτυο HE δεν είναι φορτωμένο, σε διάστημα διάρκειας $T+L$ ο εξυπηρετητής MEC συλλέγει τα αιτήματα φόρτισης από τα οχήματα (τέταρτο μήνυμα του Σχ.5.13). Όταν το δίκτυο HE είναι φορτωμένο, τότε ο εξυπηρετητής MEC αποστέλλει την πληροφορία αυτή στον αισθητήρα (πρώτο μήνυμα του Σχ.5.13). Στην περίπτωση αυτή, το όχημα μπορεί να είναι συνδεδεμένο στην πρίζα και η διαδικασία φόρτισης να εκκινήσει όταν το δίκτυο HE είναι διαθέσιμο. Δηλαδή, ο εξυπηρετητής MEC θα ενημερώσει τον αισθητήρα, μέσω του πρώτου μηνύματος του Σχ.5.13, ότι το δίκτυο HE είναι διαθέσιμο.

Πρωινές ώρες

Υποτίθεται ότι θα γίνει αίτημα φόρτισης από 10 οχήματα. Σε αυτή την περίπτωση υποτίθεται ότι σε κάθε $T+L$ (1.5sec) θα κάνουν αίτημα φόρτισης 5 οχήματα. Επομένως, θα αποσταλεί ένα πακέτο 100bytes με την πληροφορία για τα 5 οχήματα από τον εξυπηρετητή MEC στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή σε χρόνο 10ms ($\frac{100 \times 8 \text{ bits}}{100 \text{ kbps}} + 10\text{ms}$), σύμφωνα με τη σχέση (5.2). Άρα, η συνολική διαδικασία εκκίνησης φόρτισης 5 οχημάτων είναι 1.51sec ($T+L+10\text{ms}$).

Το ανωτέρω αποτέλεσμα είναι αρκετά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο με τη χρησιμοποίηση του LTE δικτύου, δηλαδή ($77\text{ms} \times 5$ οχήματα) 385msec . Επομένως, στην περίπτωση της φόρτισης στο χώρο κατοικίας και προκειμένου να αξιοποιηθεί η χαμηλή καθυστέρηση από τον MEC εξυπηρετητή στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή θα εξαλειφθεί ο ρόλος του εξυπηρετητή MEC ως «αθροιστή πακέτων».

Αποτελέσματα

Πίνακας 5.6 Σύγκριση χρόνου εξυπηρέτησης ενός οχήματος

Χρόνος εξυπηρέτησης με τη χρήση LTE (ms)	Χρόνος εξυπηρέτησης με χρήση MEC (ms)
77	27.5

Η σύγκριση είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί στην περίπτωση συμφόρησης του δικτύου HE, όμως η διευκόλυνση που προσφέρει η αρχιτεκτονική MEC είναι προφανής καθώς:

- Με τη χρησιμοποίηση της αρχιτεκτονικής LTE η ανταλλαγή πακέτων εκκινεί από το όχημα. Στην περίπτωση συμφόρησης, πρέπει ανά τακτά διαστήματα ο χρήστης να αποστέλλει κάποιο πακέτο δεδομένων, ώστε να ελέγχει τη διαθεσιμότητα του δικτύου HE. Αυτή η μέθοδος δεν είναι πρακτική τις βραδινές ώρες.
- Με τη χρησιμοποίηση της αρχιτεκτονικής MEC, η ανταλλαγή πακέτων εκκινεί από τον εξυπηρετητή MEC, που ενημερώνει για τη διαθεσιμότητα του δικτύου. Το όχημα μπορεί να συνδεθεί ακόμα και όταν υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο HE. Η διαδικασία φόρτισης θα εκκινήσει όταν απελευθερωθεί το δίκτυο HE. Η μέθοδος αυτή είναι προτιμότερη στην πράξη, καθώς ο χρήστης/οδηγός μπορεί να συνδέσει οποιαδήποτε ώρα το όχημα και η

διαδικασία να εκκινήσει μόλις ο τοπικός εξυπηρετητής αποστείλει το κατάλληλο πακέτο.

5.3.3 Παραμετροποίηση προβλήματος φόρτισης στην οικία

Στην τρέχουσα ενότητα, θα πραγματοποιηθεί μια προσπάθεια παραμετροποίησης του προβλήματος φόρτισης στην οικία, όπως έγινε και στην ενότητα 5.2.3.

- Μεταβλητές εισόδου: πλήθος οχημάτων (θέσεις φόρτισης) που αιτούνται φόρτιση, διαθεσιμότητα δικτύου ΗΕ
- Υποθέσεις: μέγεθος πακέτων και καθυστερήσεις σε ανοδική και καθοδική ζεύξη
- Μεταβλητές εξόδου: χρόνος εξυπηρέτησης ενός οχήματος

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι σε περισσότερο ρεαλιστικά σενάρια (τόσο για κινούμενα οχήματα, όσο και για φόρτιση στην οικία) λαμβάνονται υπόψη ως μεταβλητές εισόδου η SoC του ηλεκτρικού οχήματος και ο βαθμός χρησιμοποίησης του τηλεπικοινωνιακού δικτύου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα σενάρια που μελετήθηκαν στο Κεφάλαιο 5, γίνεται αντιληπτό ότι με τη χρήση της αρχιτεκτονικής Mobile Edge Computing μειώνεται αισθητά ο χρόνος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, σε αντίθεση με τη χρήση της αρχιτεκτονικής LTE, όπου ελλοχεύει ο κίνδυνος απώλειας πακέτων και μεγάλων καθυστερήσεων στην περίπτωση όπου υπάρχει συμφόρηση στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο.

Με την εγκατάσταση ενός τοπικού εξυπηρετητή εγγύτερα στους τελικούς χρήστες (ηλεκτρικά οχήματα) εξασφαλίζεται η έμμεση επικοινωνία μόνο των οχημάτων που θα πραγματοποιήσουν φόρτιση με τον απομακρυσμένο εξυπηρετητή. Συνεπώς, οι αναγκαίοι υπολογιστικοί πόροι εξασφαλίζονται από τους εξυπηρετητές MEC και ο πυρήνας του τηλεπικοινωνιακού δικτύου δεν επιβαρύνεται με την ανταλλαγή πληροφοριών με κάθε όχημα ξεχωριστά.

Στο σενάριο κινούμενων οχημάτων με χρήση της αρχιτεκτονικής MEC παρατηρήθηκε μια σταθερή τιμή στο χρόνο εξυπηρέτησης οχημάτων, η οποία είναι ανεξάρτητη από το επίπεδο της κυκλοφοριακής κίνησης. Σε αυτή την περίπτωση, τα αποτελέσματα της σύγκρισης με τη χρήση του LTE γίνονται αντιληπτά στο υψηλό επίπεδο κίνησης, όταν υπάρχει και μεγαλύτερος κίνδυνος συμφόρησης του δικτύου. Στο σενάριο φόρτισης στο χώρο κατοικίας, παρατηρείται η γνώση του τοπικού εξυπηρετητή σχετικά με την κατάσταση του δικτύου HE (εποπτεία φόρτισης από τον MEC εξυπηρετητή). Και στις δύο περιπτώσεις, το μοντέλο MEC φαίνεται να επιτυγχάνει αξιόπιστη και ταχύτερη μετάδοση πληροφορίας, κάτι εξαιρετικά σημαντικό για την περίπτωση φόρτισης κινούμενων οχημάτων.

Ως προς το MEC και τα ηλεκτρικά οχήματα, ένα σημαντικό θέμα προς διερεύνηση, σχετικά με το MEC και τα ηλεκτρικά οχήματα, είναι αυτό της κινητικότητας (mobility). Στην πραγματικότητα, η κινητικότητα είναι ο κύριος λόγος αποσύνδεσης μεταξύ των συσκευών (οχήματα) και των παρυφών του δικτύου (εξυπηρετητής MEC). Στην περίπτωση κινούμενων οχημάτων, η ποιότητα της επικοινωνίας τους με τους εξυπηρετητές MEC μειώνεται· αυτό συμβαίνει διότι καθώς ένα όχημα απομακρύνεται από τον τοπικό εξυπηρετητή, εισάγεται πρόσθετη καθυστέρηση και διακύμανση καθυστέρησης (jitter). Πρέπει, λοιπόν, να αναπτυχθεί μια τεχνική διαχείρισης της κινητικότητας και να ενσωματωθεί στην αρχιτεκτονική MEC.

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4, σε ένα V2G σύστημα, όπως αυτό της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, οι συσκευές/οντότητες που εμπλέκονται χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα, όπως 4G, Wi-Fi και Wi-Max. Τα V2G συστήματα είναι ετερογενή και ευαίσθητα στις παρεμβολές από γειτονικά σήματα. Επομένως, πρέπει να μελετηθεί η τροποποίηση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων για την εφαρμογή ενός ενιαίου MEC συστήματος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. D. Founda, S. Kazadris, N. Mihalopoulos, E. Gerasopoulos, «Long-term visibility variation in Athens (1931–2013): A proxy for local and regional atmospheric aerosol loads», March 2016, Atmospheric Chemistry and Physics
- [2]. W. Wu, Z. Yang, K. Li, «Internet of Things: Principles and Paradigms», 2016
- [3]. «Make your Network Edge Intelligent and Meet Tomorrow’s Needs Today», 2016, Cisco public
- [4]. A. Mackay, T. Fisher, «Building the Mobile Network Foundation for the 5G era», March 2017, Cisco
- [5]. J. Larminie, J. Lowry, «Electric Vehicle Technology Explained», 2003, JW Publications
- [6]. M. Wang, R. Zhang, X. Shen, «Mobile electric vehicles: Online Charging and Discharging», 2016, Springer Publications
- [7]. C. McKerracher, «Charging forward: The state of EV in 2016», 2016, ChargePoint Inc.
- [8]. J. Moorhouse, K. Laufenberg, «Electric Vehicles: Powering the future», September 2010, The Pembina Institute
- [9]. Y. Gao, M. Ehsani, «Electronic Braking system of EV», 2001, SAE Technical Paper Series
- [10]. D. Pattel, «Technology used in electric vehicle», July 2018, Presentation
- [11]. D. Carley, «The beginners guide to EV», August 2014, emotive-The electric vehicle experience
- [12]. M. Yilmaz, P. Krein, «Review of Charger Topologies, Charging Power Levels and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles», May 2013, IEEE Transactions on power electronics
- [13]. www.tutorialspoint.gr
- [14]. <https://5g.co.uk/guides/what-is-network-slicing/>
- [15]. D. Sabella, A. Vaillant, P. Kuure, U. Rauschenbach, F. Giust, «Mobile-Edge Computing Architecture: The role of MEC in the Internet of Things», October 2016
- [16]. A. Ahmed, E. Ahmed, «A survey on mobile edge computing», January 2016, Conference paper
- [17]. ETSI MEC 003 V.1.1.1, «Mobile edge computing: Framework and Reference architecture», March 2016
- [18]. T. Subramanya, S. Khan, E. Kafetzakis, R. Riggio, «A practical architecture for mobile edge computing», November 2017
- [19]. ETSI MEC-IEG 004 V.1.1.1, «MEC: Service Scenarios», November 2011
- [20]. P. Bellavista, «Edge Computing for IoT Scenarios», June 2017
- [21]. «Saguna and Intel using MEC to improve mobile networks performance and profitability», White paper
- [22]. T. Izumi, M. Hirota, Y. Itoyama, K. Sano «Bidirectional Charging Unit for V2X Power flow», October 2014
- [23]. 5GAA white paper, «Toward fully connected vehicles: Edge computing for advanced automotive communications», December 2017

- [24]. ETSI GS MEC 009 v1.1.1, «Mobile Edge Computing (MEC); General principles for Mobile Edge Service APIs», June 2017
- [25]. ETSI «Mobile-Edge Computing – Introductory Technical White Paper», September 2014
- [26]. ETSI GS MEC 001 v1.1.1, «Mobile Edge Computing (MEC); Terminology», March 2016
- [27]. Q. Wang, J. Liui, B. Zheng, M. Qiu, «A scalable and quick response Software Defined Vehicular Network assisted by MEC», July 21017, IEEE Communications Magazine
- [28]. Y. Cao, H. Song, O. Kaiwartaya, B. Zhou, «MEC for big data-enabled electric vehicle charging», August 2017, IEEE Communications Magazine
- [29]. Y. Sun, X. Hu, X. Liu, X. He, K. Wang, «A Sotware Defined Green Framework for Hybrid EV Charging network», November 2017, IEEE Communications Magazine
- [30]. T. Wang, O. Kaiwartya, G. Min, N. Ahmad, A. Abdullah, «An EV Charging Management System concerning drivers' trip duration and mobility uncertainty», September 2016
- [31]. Y. Cao, O. Kaiwartya, R, Wang, T. Jiang, Y. Cao, N. Aslam, G. Sexton, «Towards Efficient, scalable and coordinated on-the-move EV charging management», IEEE Wireless Communications, April 2017
- [32]. K. Zhang, Y. Mao, S. Leng, Y. He, Y. Zhang, «Mobile Edge Computing for Vehicular Networks», IEEE Vehicular Technology Magazine, June 2017
- [33]. Y. Cao, O. Kaiwartya, Y. Zhuang, N. Ahmad, Y. Sun, J. Loret, «A Decentralized Deadline-Driven Electric Vehicle Charging Recommendation», IEEE Systems Journal, 2018
- [34]. N. Kumar, S. Zeadally, J. P. C. Rodrigues, «Vehicular Delay-Tolerant Networks for Smart Grid Data Management Using Mobile Edge Computing», IEEE Communications Magazine, October 2016
- [35]. Q. Wang, G. Qu, Z. Lu, «Edge Computing Based GPS Spoofing Detection Methods», November 2018
- [36]. Owens II, A. Durresti, «Video over Software-Defined Networking (VSDN)», Conference Paper, September 2013
- [37]. G. Lempidis, Y. Zhang, M. Jung, R. Marklein, S. Sotiriou, Y. Ma, «Wired and Wireless Charging of Electric Vehicles – A system approach», 4thInternational Electric Drives Production Conference (EDPC), 2014
- [38]. R.Y Udaykumar, «Performance Analysis of LTE Protocol for EV to EV Communication in Vehicle-to-Grid», IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 2015
- [39]. M. Wang, R. Zhang, X. Shen, «Mobile Electric Vehicles- Online Charging and Discharging», Springer International Publishing, 2016
- [40]. Y. Cao, Y. Miao, G. Min, T. Wang, Z. Zhao, H. Song, «Vehicular Publish/Subscribe Communication Enabled On-the-Move EV Charging Management», IEEE Communication Magazine, November 2017
- [41]. H. Liu, T. Yang, «Blockchain-enabled security in electric vehicles cloud and edge computing», May 2018, IEEE Network
- [42]. P. Mach, Z. Beevar, «Mobile edge computing: a survey on architecture and computing offloading», March 2017

- [43]. Π. Γραμματικός, «Εφαρμογή MEC στις επικοινωνίες οχημάτων», Οκτώβριος 2018, Διπλωματική εργασία
- [44]. D. Said, H. Mouftah, « Novel communication protocol for the EV Charging/discharging service based on vanets», May 2017
- [45]. C. Vallati, A. Viridis, «Mobile edge computing come home», October 2016
- [46]. R. Rikil, «Design of a trust security model for smart meters in an urban power grid network», September 2014