



**Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου**  
**Σχολή Οικονομίας και Τεχνολογίας**  
**Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών**  
**Π.Μ.Σ. «Επιστήμη Υπολογιστών»**

**Διπλωματική Εργασία**

**Η χρήση του Edge Computing για την παροχή υπηρεσιών  
Internet of Things**

Στυλιανή Καπελλάκη

AM: 2022202002008

Επιβλέπων: Αν. Καθ. Νικόλαος Τσελίκας

Μάρτιος 2022



Copyright © Καπελλάκη Στυλιανή, 2022. 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 το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.



# Περιεχόμενα

<b>Περιεχόμενα</b>	<b>5</b>
<b>Ευρετήριο σχημάτων</b>	<b>7</b>
<b>Ευρετήριο Πινάκων</b>	<b>9</b>
<b>Ευχαριστίες</b>	<b>11</b>
<b>Περίληψη</b>	<b>13</b>
<b>Abstract</b>	<b>15</b>
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>17</b>
<b>2 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)</b>	<b>19</b>
2.1 Τι είναι το IoT	19
2.2 Υπηρεσίες του IoT	20
2.3 Μοντέλα επικοινωνίας IoT	21
2.3.1 Μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών	21
2.3.2 Μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και περιβάλλον υπολογιστικού νέφους Cloud	22
2.3.3 Μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και θύρας Gateway	23
2.4 Αρχιτεκτονική συμβατικών υπηρεσιών IoT	24
2.4.1 Έξυπνες συσκευές / επίπεδο αισθητήρων	25
2.4.2 Θύρες Gateways και επίπεδο δικτύων	25
2.4.3 Επίπεδο διαχείρισης υπηρεσιών	26
2.4.4 Επίπεδο εφαρμογής	26
2.5 Χαρακτηριστικά υπηρεσιών IoT	26
2.6 Κατηγορίες υπηρεσιών IoT	27
<b>3 Τεχνολογία Edge Computing</b>	<b>29</b>
<b>4 Υπηρεσίες IoT σε δομές Edge Computing</b>	<b>35</b>
4.1 Ενσωμάτωση υπηρεσιών IoT σε δομές Edge Computing	35
4.2 Πλεονεκτήματα υλοποίησης IoT υπηρεσιών με χρήση Edge Computing	40
4.2.1 Πλεονεκτήματα ως προς το δίκτυο μετάδοσης δεδομένων σε περιβάλλον Edge Computing	40
4.2.2 Πλεονεκτήματα ως προς την αποθήκευση δεδομένων σε περιβάλλον Edge Computing	43
4.2.3 Πλεονεκτήματα ως προς την υπολογιστική διεκπεραίωση διεργασιών σε περιβάλλον Edge Computing	45
4.3 Προκλήσεις υλοποίησης IoT υπηρεσιών με χρήση Edge Computing	49
4.3.1 Ενσωμάτωση συστημάτων IoT με χρήση Edge Computing	49
4.3.2 Διαχείριση διαθέσιμων πόρων	50
4.3.3 Ασφάλεια και ιδιωτικότητα	51
4.3.4 Προηγμένα συστήματα επικοινωνίας	55
4.3.5 Υποστήριξη από το επιχειρηματικό οικοσύστημα	56
<b>5 Παραδείγματα εφαρμογών MEC με IoT</b>	<b>57</b>

5.1	Σενάριο χρήσης MEC σε εγκατάσταση IoT για παρακολούθηση και ασφάλεια	57
5.2	Σενάριο χρήσης MEC σε εγκατάσταση IoT για αποφόρτιση των δυνατοτήτων των IoT συσκευών	58
5.3	Σενάριο χρήσης MEC για συνδεδεμένα αυτοκίνητα και κινούμενες συσκευές IoT	59
6	Αλγόριθμος αποφόρτισης δικτύου κορμού	61
7	Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις	65
8	Βιβλιογραφία	67

## Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1 Το διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).....	20
Σχήμα 2 Πλήθος συσκευών στο IoT και πρόβλεψη .....	21
Σχήμα 3 Παράδειγμα επικοινωνίας M2M .....	22
Σχήμα 4 Παράδειγμα επικοινωνίας M2C.....	23
Σχήμα 5 Παράδειγμα επικοινωνίας M2C.....	24
Σχήμα 6 Αρχιτεκτονική εφαρμογών και υπηρεσιών IoT.....	25
Σχήμα 7 Αρχιτεκτονική δικτύου με χρήση MEC κόμβων .....	30
Σχήμα 8 MEC Framework.....	31
Σχήμα 9 MEC Reference architecture .....	32
Σχήμα 10 Φυσικά επίπεδα αρχιτεκτονικής IoT υπηρεσιών.....	35
Σχήμα 11 Βασική Αρχιτεκτονική Edge Computing .....	36
Σχήμα 12 Τυπική Αρχιτεκτονική Edge Computing .....	36
Σχήμα 13 Απεικόνιση απαιτήσεων υπηρεσιών IoT με χρήση περιβάλλοντος Edge Computing .....	39
Σχήμα 14 Απεικόνιση προβλήματος Edge Computing για υπηρεσίες IoT .....	53
Σχήμα 15 Παρακολούθηση και επεξεργασία βίντεο με χρήση MEC κόμβου .....	58
Σχήμα 16 Χρήση MEC για συνδεδεμένα αυτοκίνητα και κινούμενες συσκευές .....	59
Σχήμα 17 Κατηγοριοποίηση τηλεπικοινωνιακής κίνησης για 5G επικοινωνίες .....	61
Σχήμα 18 Στάδια μιας συσκευής IoT.....	62
Σχήμα 19 Πλατφόρμα ME για την περίπτωση μαζικών συσκευών IoT .....	63
Σχήμα 20 Βήματα επικοινωνίας με βάση την πρόταση της παρούσας εργασίας. ....	64





## Ευρετήριο Πινάκων

<i>Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά Internet of Things, υπολογιστικού περιβάλλοντος Edge Computing και υπολογιστικού περιβάλλοντος νέφους Cloud.....</i>	<i>37</i>
<i>Πίνακας 2 Απαιτήσεις δικτύου 5G.....</i>	<i>56</i>



## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Νικόλαο Τσελίκια για τις πολύτιμες γνώσεις, συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.



## Περίληψη

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μία από τις σύγχρονες τάσεις που συναντώνται κατά την παροχή υπηρεσιών στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, στο εξής IoT) και συγκεκριμένα την τεχνολογία Edge Computing. Στο πλαίσιο της εργασίας, αρχικά παρουσιάζονται οι βασικότερες υπηρεσίες που παρέχονται στο IoT, τα μοντέλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται, η επικρατούσα αρχιτεκτονική κατά την παροχή υπηρεσιών στο IoT καθώς και οι κατηγορίες και τα βασικότερα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών στο IoT. Στη συνέχεια, αναλύεται η τεχνολογία Edge Computing και τονίζονται τα πλεονεκτήματα αλλά και ο τρόπος υλοποίησης υπηρεσιών του IoT σε δομές Edge Computing. Επιπλέον παρουσιάζονται παραδείγματα εφαρμογών Mobile Edge Computing στο IoT καθώς και ορισμένα σενάρια χρήσης. Τέλος, προτείνεται ένας αλγόριθμος για την αποδοτικότερη αποφόρτιση του δικτύου κορμού ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου μέσω στατικών συσκευών από πακέτα δεδομένων που παράγονται από συσκευές του IoT εντός του τηλεπικοινωνιακού αυτού δικτύου και η εργασία καταλήγει με τα συμπεράσματα και τις πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις.

## Λέξεις κλειδιά

Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Internet of Things, υπηρεσίες IoT, αρχιτεκτονικές IoT, Edge Computing, Mobile Edge Computing.



## **Abstract**

This thesis presents one of the dominant trends encountered in service provision on the Internet of Things (IoT) and in particular Edge Computing technology. In the context of the work, the main services provided in the IoT, the communication models used, the prevailing architecture in providing services in the IoT as well as the categories and the main characteristics of the services in the IoT are presented. Moreover, Edge Computing technology is analyzed and the advantages and the way of implementing IoT services in Edge Computing structures are also presented. Furthermore, some examples of Mobile Edge Computing applications in the IoT as well as some use case scenarios are briefly presented. Finally, the thesis proposes an algorithm for efficient offloading of the backbone network in a telecommunication network through static devices from data packets generated by IoT devices within this network and the work concludes with potential future extensions.

## **Keywords**

Internet of Things, IoT services, IoT architectures, Edge Computing, Mobile Edge Computing.





# 1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ή αλλιώς Internet of Things (IoT εφεξής) έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας. Το IoT αποτελεί ήδη πολύ σημαντικό μέρος του διαδικτύου ενώ αναμένεται να μεσουρανήσει τα επόμενα χρόνια. Τα «πράγματα» έχουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, παρέχοντας μια μέτρηση ή μια πληροφορία σε κάποιο πρόσωπο, σε κάποια εφαρμογή ή σε κάποιο άλλο «πράγμα» που μπορεί να τη χρειάζεται. Τα αντικείμενα αυτά είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας υπάρχουσες τεχνολογίες και υποδομές και σχηματίζουν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Για τη μετάδοση της πληροφορίας τα αντικείμενα χρησιμοποιούν κυρίως κοινές τεχνολογίες και πρωτόκολλα, γνωστά κι από άλλες εφαρμογές, όπως τα IP, Bluetooth, WiFi, RFID, ZigBee και άλλα. Οι εφαρμογές του IoT εκτείνονται σε όλους τους κλάδους της ανθρώπινης δραστηριότητας με κύριους αυτούς της βιομηχανίας, της υγείας και της περίθαλψης, της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας, της προστασίας του περιβάλλοντος και των μεταφορών.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, στο δεύτερο κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τις υπηρεσίες που παρέχονται στο IoT, τα μοντέλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται, την επικρατούσα αρχιτεκτονική για την παροχή υπηρεσιών στο IoT καθώς και τις κατηγορίες και τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών στο IoT. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η τεχνολογία Edge Computing και στο τέταρτο τονίζονται τα πλεονεκτήματα και ο τρόπος υλοποίησης υπηρεσιών του IoT σε δομές Edge Computing. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται παραδείγματα εφαρμογών Mobile Edge Computing στο IoT και ορισμένα σενάρια χρήσης ενώ το έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την πρόταση ενός αλγορίθμου για την αποδοτικότερη αποφόρτιση του δικτύου κορμού ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου μέσω στατικών συσκευών από πακέτα δεδομένων που παράγονται από συσκευές του IoT εντός του τηλεπικοινωνιακού αυτού δικτύου. Τέλος, η εργασία καταλήγει με τα συμπεράσματα και τις πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις, που παρουσιάζονται στο έβδομο κεφάλαιο.



## 2 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

### 2.1 Τι είναι το IoT

Μέχρι στιγμής, δεν υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός από την επιστημονική κοινότητα για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί το IoT εξελίσσεται συνεχώς και είναι δύσκολο να περιγραφεί στατικά. Η πρώτη αναφορά στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων έγινε από τον Kevin Ashton το 1999, ο οποίος το περιέγραψε ως “ένα σύνολο διασυνδεδεμένων αντικειμένων, μοναδικά ταυτοποιήσιμων με τη χρήση ραδιοσυχνοτήτων (RFID), τα οποία έχουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν”.

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union – ITU) ορίζει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ως μια παγκόσμια υποδομή για την κοινωνία της πληροφορίας, η οποία παρέχει προχωρημένες υπηρεσίες, διασυνδέοντας φυσικά και εικονικά πράγματα, βασιζόμενη σε υπάρχουσες κι εξελισσόμενες διαλειτουργούσες τεχνολογίες πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών.

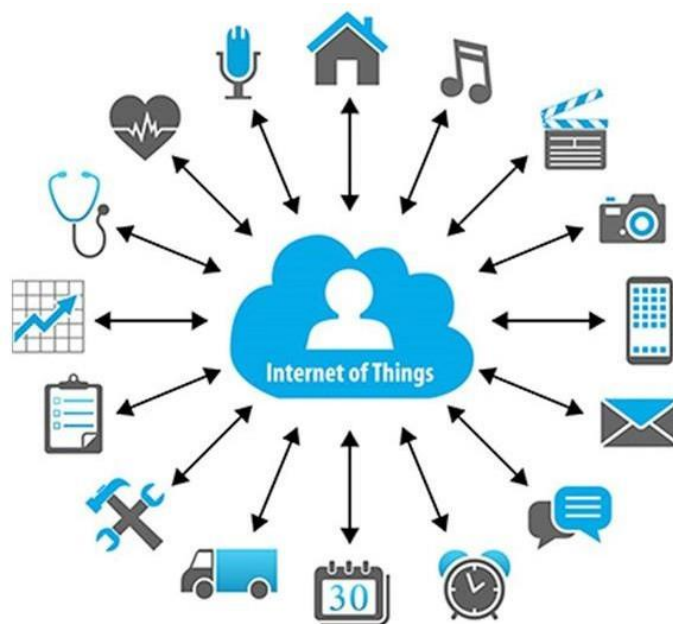
Το IoT γενικά θεωρείται ένα ανοικτό δίκτυο έξυπνων πραγμάτων τα οποία έχουν την ικανότητα να αυτο-οργανώνονται, να μοιράζονται πληροφορίες, δεδομένα και πόρους, να δρουν και να αντιδρούν όταν αντιμετωπίζουν καταστάσεις κι αλλαγές στο περιβάλλον. Το IoT είναι ένα υπερσύνολο συνδεδεμένων συσκευών, οι οποίες μπορούν να ταυτοποιηθούν μοναδικά με τη χρήση τεχνολογιών εγγύς πεδίου (Near Field Communications – NFC). Ως «Πράγμα» ορίζεται κάθε οντότητα ή φυσικό αντικείμενο που μπορεί να ταυτοποιηθεί μοναδικά, έχει ένα ενσωματωμένο σύστημα (embedded system) και μπορεί να μεταδώσει δεδομένα μέσω δικτύου.

Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει συμφωνία ως προς τον ορισμό του IoT, οι ερευνητές, αντιλαμβανόμενοι τη σπουδαιότητα και τις δυνατότητές του, ασχολούνται εντατικά με την ανάπτυξη ευφυών αισθητήρων, ασύρματων τεχνολογιών και διεπαφών σχετικών με το IoT.

Η ραγδαία εξέλιξη των ασύρματων αισθητήρων τα τελευταία χρόνια επέκτεινε σημαντικά τις δυνατότητες των συσκευών σχετικά με την αντίληψη του περιβάλλοντος και τον αυτόματο έλεγχο και κατ’ επέκταση την αρχική ιδέα του IoT. Σήμερα ένας μεγάλος αριθμός τεχνολογιών και προτύπων βοηθούν την εξέλιξη του IoT, όπως οι τεχνολογίες ασύρματων αισθητήρων, τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων (Wireless Sensor Networks - WSN), η ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID), τα barcodes, οι επικοινωνίες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και τα υπολογιστικά συστήματα νέφους (cloud computing).

## 2.2 Υπηρεσίες του IoT

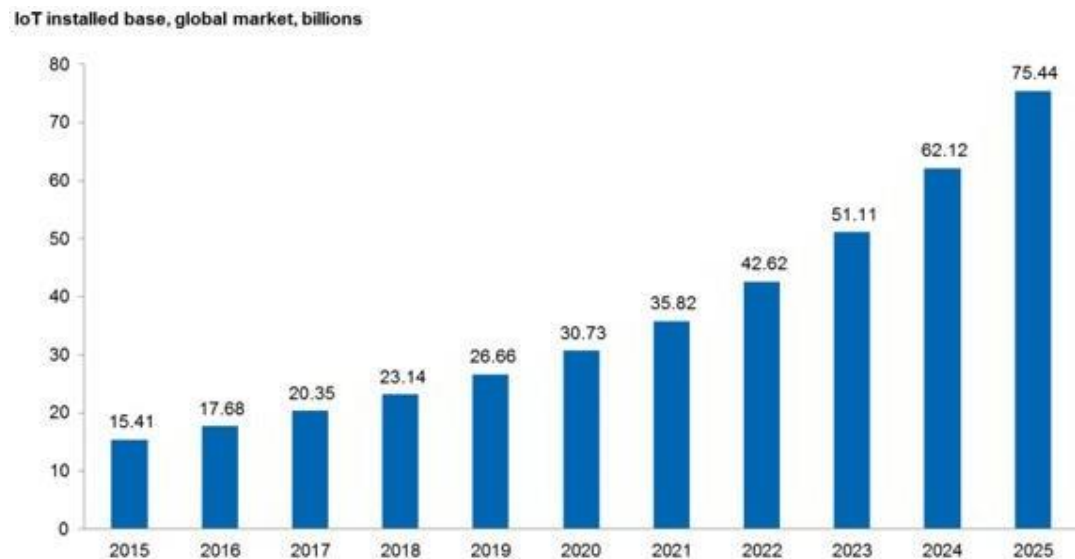
Η τεχνολογία του IoT, εισέρχεται ολοένα και περισσότερο στην καθημερινότητα του παγκόσμιου πληθυσμού, με διαρκώς αυξανόμενους ρυθμούς ως μια καινοφανής και καινοτόμα τεχνολογία. Ως επιχειρηματικό μοντέλο, με βάση τις επιστημονικές έρευνες αλλά και τις κατευθύνσεις πλήθους εταιριών στο οικοσύστημα του IoT, το IoT οραματίζεται την πλειοψηφία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών διασυνδεδεμένες στο Διαδίκτυο, με σκοπό την ανταλλαγή πληροφορίας και δεδομένων μεταξύ τους και με κέντρα δεδομένων (Data Centers). Η μαζική διασύνδεση όλων των συσκευών, θα οδηγήσει σε τεράστια αύξηση παραγωγής δεδομένων, και κατά αυτόν τον τρόπο θα πραγματοποιηθεί ένα μαζικό άλμα στην κλίμακα παραγωγής δεδομένων. Οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές που θα αποτελούν μέρος του IoT, μπορεί να είναι έξυπνα κινητά τηλέφωνα, οχήματα, πάσης φύσεως αισθητήρες, συσκευές εκτέλεσης φυσικών εντολών καθώς και οποιαδήποτε άλλη συσκευή θα διαθέτει ενσωματωμένη τη δυνατότητα διασύνδεσης με το Διαδίκτυο. Επακόλουθο αποτελεί ότι δημοφιλείς τεχνολογίες (έξυπνες πόλεις, έξυπνη μετακίνηση, έξυπνο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, έξυπνη ιατροφαρμακευτική περίθαλψη κ.α.) εξαρτώνται για τη λειτουργία τους από την πανταχού παρούσα λειτουργία του IoT.



*Σχήμα 1 Το διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)*

Η τεχνολογία του IoT, αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά την καθημερινότητα των δυνητικών της χρηστών, όχι μόνο σε ατομικό επίπεδο, αλλά και σε επιχειρηματικό επίπεδο, και

αποτελεί τη βάση για την εξέλιξη προς το μέλλον, όπως επισημαίνεται και σε πλήθος ερευνών μελλοντικών τεχνολογικών τάσεων. Με βάση την τάση που ακολουθείται στο IoT, φυσικό επακόλουθο αποτελεί η ραγδαία αύξηση των συσκευών με σύνδεση στο Διαδίκτυο, όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2 Πλήθος συσκευών στο IoT και πρόβλεψη

Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών αναμένεται να έχει σχεδόν διπλασιαστεί τα επόμενα τρία χρόνια. Γίνεται εύκολα αντιληπτή, κατά συνέπεια, η σημασία των συσκευών του IoT, ως μέσο παραγωγής δεδομένων και στο οικοσύστημα του τομέα Μεγάλων Δεδομένων και Αναλυτικής Δεδομένων (Big Data & Data Analytics).

### 2.3 Μοντέλα επικοινωνίας IoT

Στη συνέχεια αναλύονται τρία βασικά μοντέλα επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών που χρησιμοποιούνται σε υπηρεσίες IoT.

#### 2.3.1 Μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών

Το μοντέλο της επικοινωνίας μεταξύ συσκευών Machine to Machine αντιπροσωπεύει πλήθος συσκευών που μπορούν να συνδέονται απευθείας μεταξύ τους, χωρίς τη χρήση ενδιάμεσου κόμβου, και να ανταλλάσσουν πληροφορίες. Οι συσκευές αυτές έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται μέσω διαφορετικών τεχνολογιών δικτύωσης, συμπεριλαμβανομένου αλλά όχι αποκλειστικά του Διαδικτύου και άλλων IP δικτύων. Στο Σχήμα 3, απεικονίζεται η απευθείας επικοινωνία μεταξύ ενός έξυπνου διακόπτη και μιας έξυπνης λάμπας με χρήση Bluetooth 4.0.



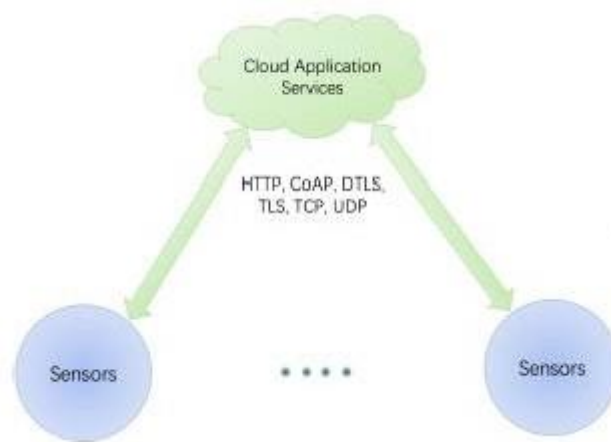
*Σχήμα 3 Παράδειγμα επικοινωνίας M2M*

Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών M2M, επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με υβριδικά πρωτόκολλα, που συνδυάζουν επικοινωνία M2M και ταυτόχρονα συγκεκριμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας με σκοπό την επίτευξη της προαπαιτούμενης από την εκάστοτε υπηρεσία ποιότητας υπηρεσίας Quality of Service (QoS). Το μοντέλο της απευθείας επικοινωνίας μεταξύ συσκευών M2M, χρησιμοποιείται σε πολυάριθμες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα σε συστήματα έξυπνων κτιρίων, αυτοματοποιημένο έλεγχο ηλεκτρικών συστημάτων που ανταλλάσσουν μικρό όγκο πληροφορίας μεταξύ τους και έχουν χαμηλές απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Συνηθισμένες συσκευές IoT μπορεί να είναι έξυπνες κλειδαριές, έξυπνοι διακόπτες και έξυπνες λάμπες και άλλες, που βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι μεταδίδουν μόνο πακέτα δεδομένων μικρού όγκου. Από την οπτική του τελικού χρήστη, το πρόβλημα που προκύπτει από τις συσκευές που υποστηρίζουν απευθείας επικοινωνία M2M, προκύπτει στην έλλειψη συμβατότητας με διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, με τις συσκευές να υποστηρίζουν διαφορετικά δίκτυα επικοινωνίας ανάλογα με τον κατασκευαστή. Στην περίπτωση των έξυπνων κατοικιών, για παράδειγμα, οι συσκευές που υποστηρίζουν Z-Wave πρωτόκολλο επικοινωνίας δεν υποστηρίζουν το πρωτόκολλο επικοινωνίας ZigBee. Κατά επέκταση, οι συσκευές αυτές δεν μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, περιορίζοντας τις δυνατότητες των χρηστών και την ποιότητα εμπειρίας που λαμβάνουν, Quality of Experience (QoE).

### *2.3.2 Μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και περιβάλλον υπολογιστικού νέφους Cloud*

Το μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ τερματικών συσκευών και περιβάλλοντος υπολογιστικού Cloud, Machine to Cloud Communication, αντιπροσωπεύει την επικοινωνία κατά την οποία μια συσκευή IoT, αιτείται την παροχή μιας υπηρεσίας από ένα απομακρυσμένο υπολογιστικό σύστημα, application server, σε περιβάλλον νέφους cloud, ή αποθηκεύει δεδομένα σε κάποιο απομακρυσμένο περιβάλλον μονάδας αποθήκευσης σε περιβάλλον νέφους cloud, λόγω της περιορισμένης υπολογιστικής δυνατότητας των συσκευών IoT και του περιορισμένου χώρου αποθήκευσης δεδομένων. Η προσέγγιση επικοινωνίας M2C, απαιτεί συνήθως την χρήση

κάποιας ήδη υπάρχουσας τεχνολογίας επικοινωνίας, όπως η ενσύρματη διασύνδεση, η χρήση ασύρματης επικοινωνίας μέσω Wi-Fi ή δικτύου κινητής επικοινωνίας, και απεικονίζεται στο Σχήμα 4 Το μοντέλο της επικοινωνίας μεταξύ τερματικών συσκευών και του περιβάλλοντος νέφους Cloud, επιλύει τα προβλήματα συμβατότητας του μοντέλου M2M, που αναλύθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, αλλά εισάγει περιορισμούς ως προς τους δικτυακούς πόρους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από την εκάστοτε υπηρεσία. Η βελτίωση της απόδοσης του μοντέλου M2C, σε σχέση με το μοντέλο M2M, προϋποθέτει τη βέλτιστη δομή του δικτύου που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ συσκευών και περιβάλλοντος νέφους Cloud.

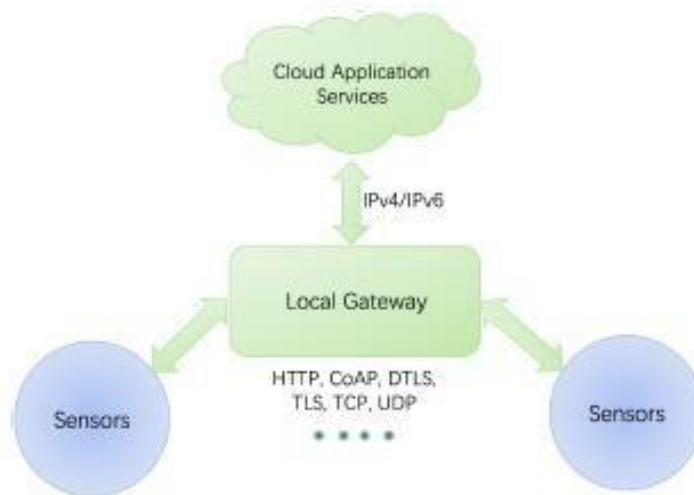


Σχήμα 4 Παράδειγμα επικοινωνίας M2C

### 2.3.3 Μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και θύρας Gateway

Στο μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και θύρας Gateway, M2G (Σχήμα 5), ο ενδιάμεσος κόμβος που λειτουργεί ως θύρα Gateway στο στρώμα εφαρμογής, θεωρείται ότι λειτουργεί ως πληρεξούσιος κόμβος της εφαρμογής. Άλλως, το συγκεκριμένο λογισμικό ονομάζεται ενδιάμεσο λογισμικό, middleware. Στο στρώμα εφαρμογής του ενδιάμεσου κόμβου λειτουργούν σχήματα ελέγχου και ασφάλειας με χρήση του κατάλληλου λογισμικού, καθώς και άλλες λειτουργίες όπως αλγόριθμοι επεξεργασίας δεδομένων και πρωτοκόλλων. Ο ενδιάμεσος κόμβος Gateway, μπορεί να είναι ένας κόμβος του δικτύου που επιτελεί αποκλειστικά αυτή τη λειτουργία ή μια από τις τερματικές IoT δικτυακές συσκευές. Ο ενδιάμεσος κόμβος, εισάγεται με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση του δικτύου συσκευών της εφαρμογής, και γεφυρώνει την επικοινωνία μεταξύ των τερματικών IoT συσκευών και της υπηρεσίας που βρίσκεται σε περιβάλλον νέφους (cloud application). Η υλοποίηση M2G βελτιώνει την ασφάλεια και την ευελιξία των IoT δικτύων, μεταφέρει την ανάγκη για υπολογιστική ισχύ από τις τερματικές

συσκευές στο στρώμα εφαρμογής, και μειώνει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας των τερματικών συσκευών IoT. Για παράδειγμα, ένα έξυπνο κινητό τηλέφωνο, δύναται να λειτουργεί σε περιπτώσεις ως ο ενδιάμεσος κόμβος Gateway, εκτελώντας εφαρμογές που επιτρέπουν τη διασύνδεση IoT συσκευών και της εφαρμογής που λειτουργεί σε περιβάλλον υπολογιστικού νέφους (cloud). Το παράδειγμα αυτό γίνεται πιο κατανοητό σε συγκεκριμένες εφαρμογές τηλεϊατρικής, που το κινητό επικοινωνεί με τους αισθητήρες παραγωγής ιατρικών δεδομένων, κρυπτογραφεί τα δεδομένα που παράγονται και τα αποστέλλει στην εφαρμογή στο περιβάλλον υπολογιστικού νέφους Cloud.



Σχήμα 5 Παράδειγμα επικοινωνίας M2C

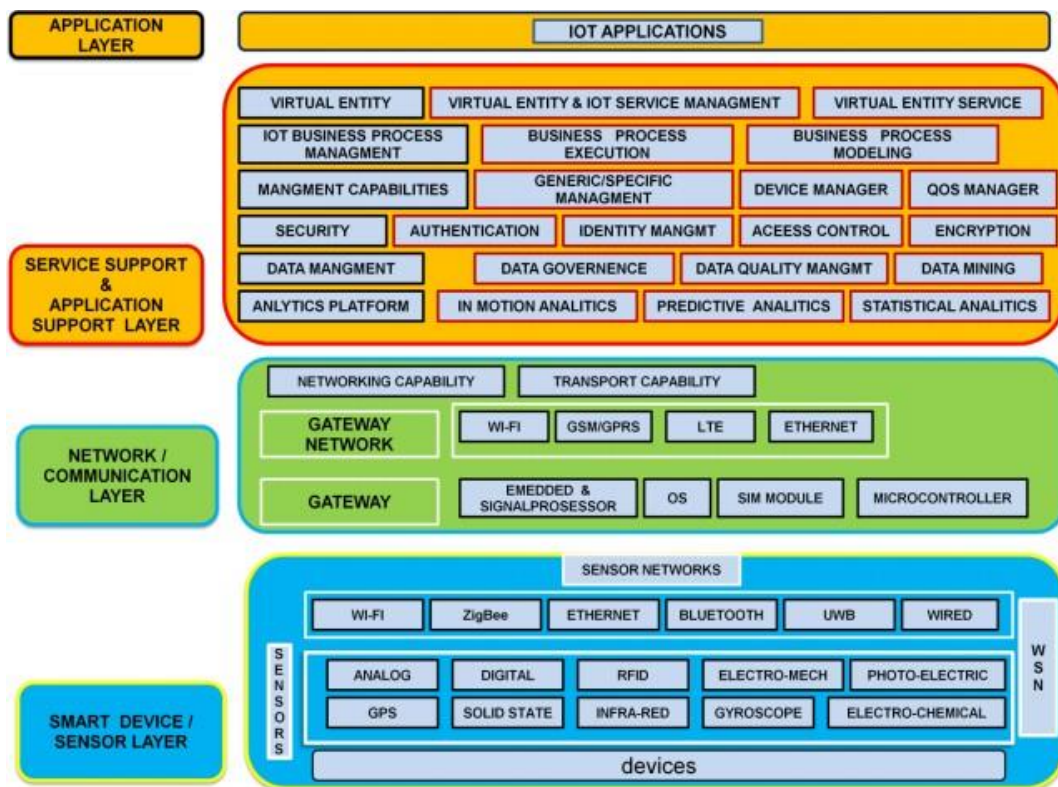
## 2.4 Αρχιτεκτονική συμβατικών υπηρεσιών IoT

Η τεχνολογία IoT μπορεί να οριστεί ως ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων. Το Διαδίκτυο (Internet), είχε αρχικά δημιουργηθεί μόνο για χρήση μέσα από υπολογιστές, ωστόσο με την πάροδο του χρόνου το Διαδίκτυο έχει εξελιχθεί σε ένα δίκτυο που υποστηρίζει συσκευές όλων των τύπων και μεγεθών, αυτοκίνητα, έξυπνα κινητά τηλέφωνα smartphones, οικιακές εγκαταστάσεις, ιατρικά όργανα, κτίρια, ανθρώπους και άλλα. Όλα τα προαναφερθέντα επικοινωνούν και μοιράζονται πληροφορίες με χρήση αυστηρά ορισμένων πρωτόκολλων. Οι σύγχρονες επικοινωνίες, πλέον μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα, οι κατηγορίες είναι, η επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων Human to Human communications (H2H), μεταξύ συσκευών και ανθρώπων Human to machine communications (H2M) ή μόνο μεταξύ συσκευών Machine to Machine communications (M2M). Οι επικοινωνίες H2M και M2M, αποτελούν αντικείμενο μελέτης του IoT.



Μελλοντική εξέλιξη του Internet of Things, αποτελεί η διασύνδεση όλων των συσκευών μέσω ενσύρματων ή ασύρματων μέσων, με κοινά πρωτόκολλα ώστε να μπορούν να αλληλοεπιδρούν και να συνεργάζονται για την δημιουργία ενός καθολικού δικτύου που θα επεξεργάζεται πληροφορίες και θα παρέχει υψηλής ποιότητας ψηφιακές υπηρεσίες.

Η αρχιτεκτονική της τεχνολογίας του IoT, όπως αυτή υλοποιείται έως σήμερα, μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερα λογικά επίπεδα. Κάθε επίπεδο αποτελείται από διαφορετικές τεχνολογίες, και όλα μαζί συντελούν στην παροχή υπηρεσιών τύπου IoT.



Σχήμα 6 Αρχιτεκτονική εφαρμογών και υπηρεσιών IoT

#### 2.4.1 Έξυπνες συσκευές / επίπεδο αισθητήρων

Το χαμηλότερο λογικό επίπεδο, αποτελείται από έξυπνες συσκευές ενσωματωμένες με αισθητήρες. Οι αισθητήρες επιτρέπουν τη διασύνδεση του φυσικού κόσμου με τον ψηφιακό, αφού συλλέγουν και επεξεργάζονται πληροφορίες πραγματικού χρόνου.

#### 2.4.2 Θύρες Gateways και επίπεδο δικτύων

Ο συνολικός όγκος δεδομένων που θα παράγεται από τους αισθητήρες και τις έξυπνες συσκευές αναμένεται να είναι πολύ μεγάλος σε σχέση με την κίνηση που μεταφέρουν σήμερα τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Για το λόγο αυτό, απαιτείται ένα δίκτυο ικανό όχι μόνο να

μεταφέρει το σύνολο της πληροφορίας που απαιτείται αλλά και να διατελέσει εργασίες που απαιτούνται για τις υπηρεσίες IoT, όπως επίγνωση της πληροφορίας που μεταφέρει (context aware) κ.α.

#### 2.4.3 Επίπεδο διαχείρισης υπηρεσιών

Η διαχείριση της υπηρεσίας καθιστά εφικτή την εκμετάλλευση της πληροφορίας μέσω εργαλείων ανάλυσης, ελέγχου ασφάλειας, σχεδιασμού διαδικασιών και διαχείρισης των συνδεδεμένων συσκευών.

#### 2.4.4 Επίπεδο εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής, καλύπτει την εφαρμογή και την υπηρεσία που απολαμβάνει ο τελικός χρήστης. Η εφαρμογή, μπορεί να ανήκει σε οποιαδήποτε από τις κατηγορίες του IoT.

## 2.5 Χαρακτηριστικά υπηρεσιών IoT

Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του IoT είναι τα ακόλουθα:

**Διασυνδεσιμότητα:** Όσον αφορά το IoT, όλες οι συσκευές πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να διασυνδεθούν με το δίκτυο ανταλλαγής πληροφοριών, που αποτελεί το IoT.

**Παροχή υπηρεσιών σε αντικείμενα:** Η παροχή υπηρεσιών σε αντικείμενα τόσο φυσικά όσο και ψηφιακά, και πάντα μέσω των περιορισμών που τίθενται (για παράδειγμα η ασφάλεια των δεδομένων) απαιτεί αλλαγές και εκσυγχρονισμό στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται

**Ανομοιογένεια των συνδεδεμένων συσκευών:** Οι συσκευές στο IoT, όχι μόνο είναι κατασκευασμένες με χρήση διαφορετικών υλικών (hardware), αλλά συνδέονται με τις υπόλοιπες συσκευές ή τις πλατφόρμες της υπηρεσίας τους μέσω διαφορετικών δικτύων.

**Δυναμικές αλλαγές στην κατάσταση των συσκευών:** Μια συσκευή στο IoT μπορεί να αλλάζει κατάσταση δυναμικά, δηλαδή από μια κατάσταση αδράνειας, να μεταφέρετε σε κατάσταση λειτουργίας και μετά σε κατάσταση αποσύνδεσης. Επιπρόσθετα, ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών μπορεί να μεταβάλλεται δραστικά.

**Πλήθος διασυνδεδεμένων συσκευών:** Ο αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών θα είναι τουλάχιστον μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερος από τον αριθμό των συσκευών που ήταν συνδεδεμένες σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα προηγούμενων γενιών (3G, 4G).

## 2.6 Κατηγορίες υπηρεσιών IoT

Η δημιουργία και διαστασιοποίηση ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου με μεγάλο πλήθος συσκευών, με ανομοιογένεια ως προς τα χαρακτηριστικά της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που παράγουν, είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Για το λόγο αυτό, είναι πολύ σημαντική η σωστή κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών IoT, τόσο με βάση τα χαρακτηριστικά της ίδιας της υπηρεσίας, όσο και με βάση τα χαρακτηριστικά της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που αυτές παράγουν. Ενδεικτική κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών IoT είναι η ακόλουθη:

- Έξυπνες κατοικίες
- Έξυπνα προσωπικά αντικείμενα σώματος, Wearables
- Έξυπνες πόλεις smart cities
- Έξυπνο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, smart grid
- Βιομηχανικό Διαδίκτυο ή άλλως Industrial Internet
- Διασυνδεδεμένα αυτοκίνητα, connected cars
- Υπηρεσίες τηλεϊατρικής, smart health
- Έξυπνες υπηρεσίες λιανικής πώλησης, smart retail
- Έξυπνη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, smart supply chain
- Έξυπνες αγροτικές υπηρεσίες, smart agriculture



### 3 Τεχνολογία Edge Computing

Το Multi Access Edge Computing ή Mobile Edge Computing (MEC) είναι η φυσική εξέλιξη των σταθμών βάσης σε συνένωση με τις υπηρεσίες IT και τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Το MEC θα επιτρέψει τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών κλάδων καθώς και υπηρεσίες για οικιακούς και εταιρικούς πελάτες. Ουσιαστικά, ως MEC μπορεί να οριστεί ένας κόμβος που φυσικά θα βρίσκεται μεταξύ των τερματικών συσκευών (User Equipment, UE) και του Core δικτύου. Η εισαγωγή του κόμβου αυτού θα επιτρέπει τη λειτουργία πολλών εικονικών εφαρμογών, χωρίς να χρειάζεται απαραίτητα η χρήση του Core δικτύου. Το MEC Framework, όπως έχει δημοσιευτεί από τον οργανισμό ETSI, απεικονίζεται στο Σχήμα 7 και παρουσιάζει σε βασικό επίπεδο τις οντότητες που συμβάλλουν στη λειτουργία του MEC. Οι οντότητες αυτές, ομαδοποιούνται περαιτέρω στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

#### **Επίπεδο συστημάτων System level**

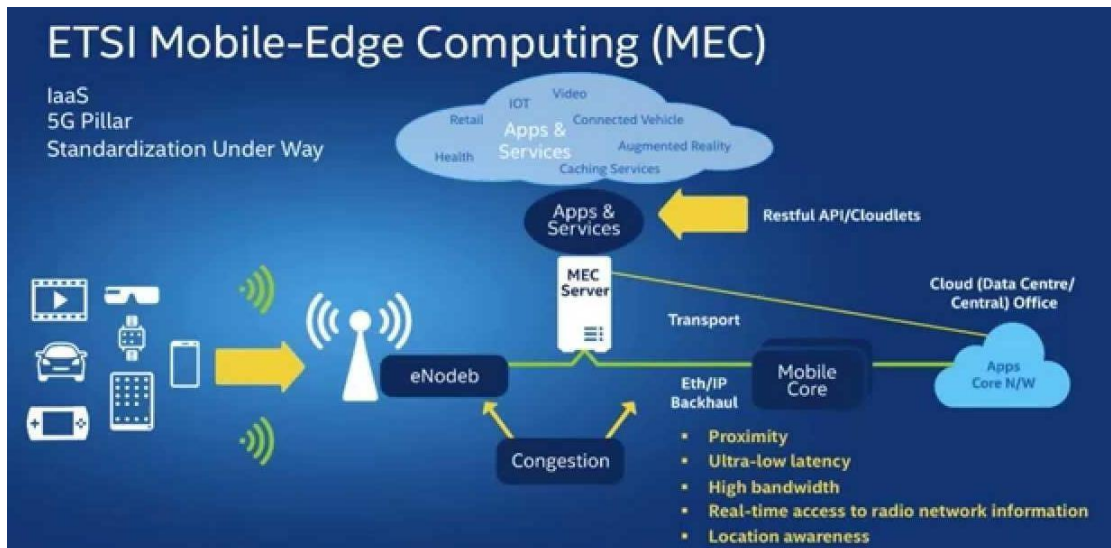
Αποτελεί το υψηλότερο επίπεδο με βάση το MEC Framework, και έχει τη συνολική εποπτεία όλου του συστήματος MEC. Το σύστημα Mobile Edge (ME), αποτελείται από όλους τους απαραίτητους ME hosts και συστήματα διαχείρισης του ME, ώστε να μπορεί να λειτουργήσει τις απαραίτητες ME εφαρμογές που χρησιμοποιεί ένας τηλεπικοινωνιακός πάροχος.

#### **Επίπεδο host level**

Το επίπεδο ME host level (ή άλλως στα ελληνικά επίπεδο οικοδεσπότη), περιλαμβάνει το ME host, καθώς και το αντίστοιχο ME διαχείρισης του επιπέδου host level. Η μονάδα του ME host, περαιτέρω μπορεί να διαιρεθεί στην πλατφόρμα ME platform, τις εφαρμογές ME applications καθώς και το εικονικό περιβάλλον (virtualized infrastructure) πάνω στο οποίο λειτουργούν όλα τα υπόλοιπα.

#### **Επίπεδο Δικτύου Network level**

Το επίπεδο δικτύου αποτελείται από εξωτερικές οντότητες, όπως τα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών 3rd Generation Partnership Project (3GPP), τοπικά δίκτυα καθώς και άλλα εξωτερικά δίκτυα. Μέσα από αυτό το επίπεδο πραγματοποιείται η διασύνδεση σε τοπικά εσωτερικά δίκτυα, εξωτερικά δίκτυα όπως το Διαδίκτυο και το δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών.



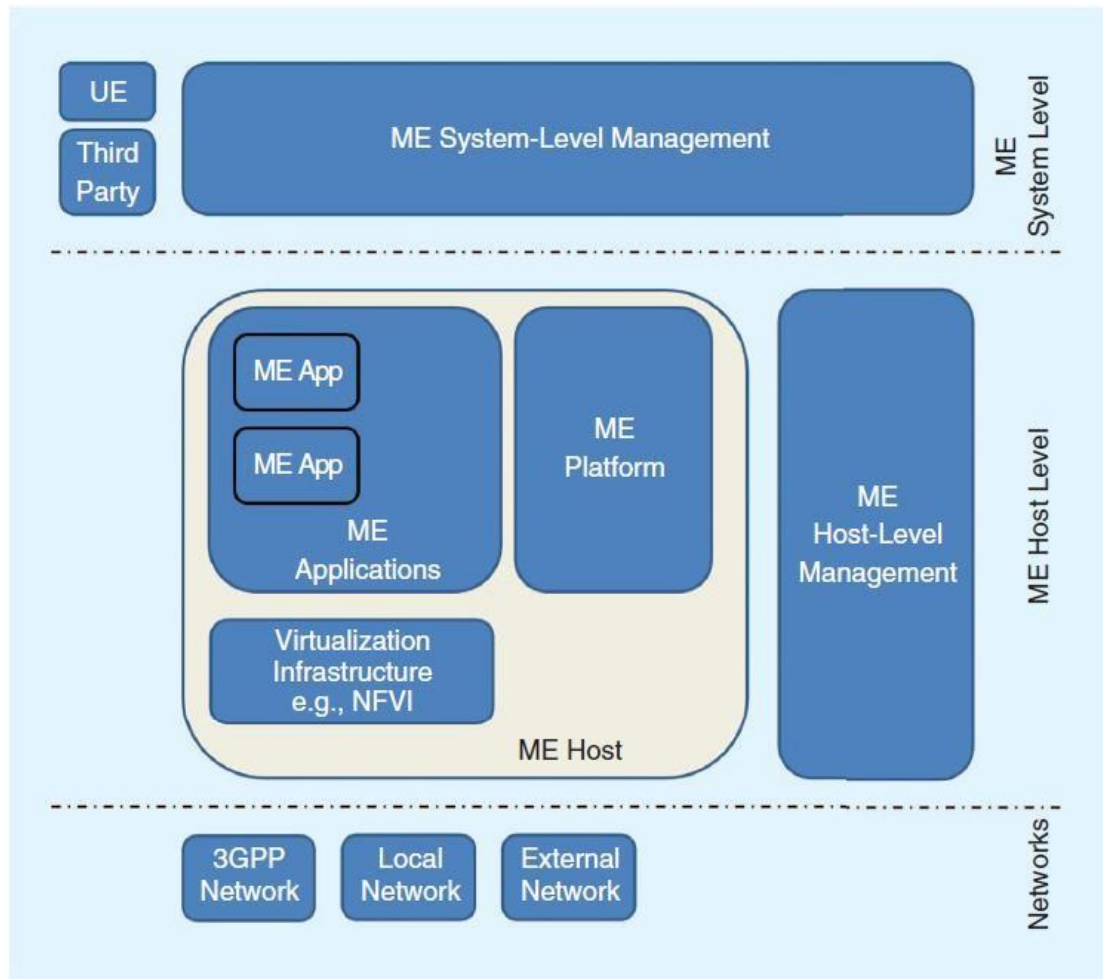
Σχήμα 7 Αρχιτεκτονική δικτύου με χρήση MEC κόμβων

Πιο επεξηγηματικά, η αρχιτεκτονική των Mobile Edge συστημάτων παρουσιάζεται στο Σχ.2.3, που καθορίζονται οι λειτουργικές οντότητες, καθώς και ο τρόπος που αυτές επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο διαχωρισμός που πραγματοποιείται στην αρχιτεκτονική του ME, είναι παρόμοιος με αυτόν που πραγματοποιείται, χωρίς όμως να συμπεριλαμβάνεται το επίπεδο δικτύου Network level, επειδή αποτελεί σημείο εξωτερικής διασύνδεσης ενός MEC κόμβου, και όχι τμήμα της αρχιτεκτονικής του.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, το ME host είναι μια οντότητα που αποτελείται από το ME platform, την εικονική υποδομή (virtualized infrastructure) που παρέχει υπολογιστική ισχύ, δυνατότητα αποθήκευσης και δικτυακούς πόρους στις εφαρμογές ME applications. Η εικονική υποδομή (virtualized infrastructure) περιλαμβάνει ένα επίπεδο δεδομένων data plane που εκτελεί τους κανόνες προώθησης της κίνησης που του έχουν οριστεί από το ME Platform, και επίσης δρομολογεί την κίνηση μεταξύ εφαρμογών, υπηρεσιών και δικτύων.

Η πλατφόρμα του MEC, αντιπροσωπεύει ένα σύνολο από βασικές λειτουργίες που απαιτούνται για τη λειτουργία εφαρμογών ME applications σε ένα συγκεκριμένο ME κόμβο. Η πλατφόρμα ME Platform, δέχεται τις οδηγίες για τους κανόνες προώθησης της κίνησης κλπ, από τη μονάδα διαχείρισης ME Platform Manager, και με βάση αυτές καθώς και την πολιτική που έχει οριστεί, παρέχει οδηγίες στο επίπεδο προώθησης της κίνησης, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθεί τοπικό DNS server/proxy, που στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη κατεύθυνση της κίνησης σε συγκεκριμένες εφαρμογές ME applications. Η ME Platform μπορεί να επικοινωνεί με άλλες ME πλατφόρμες,

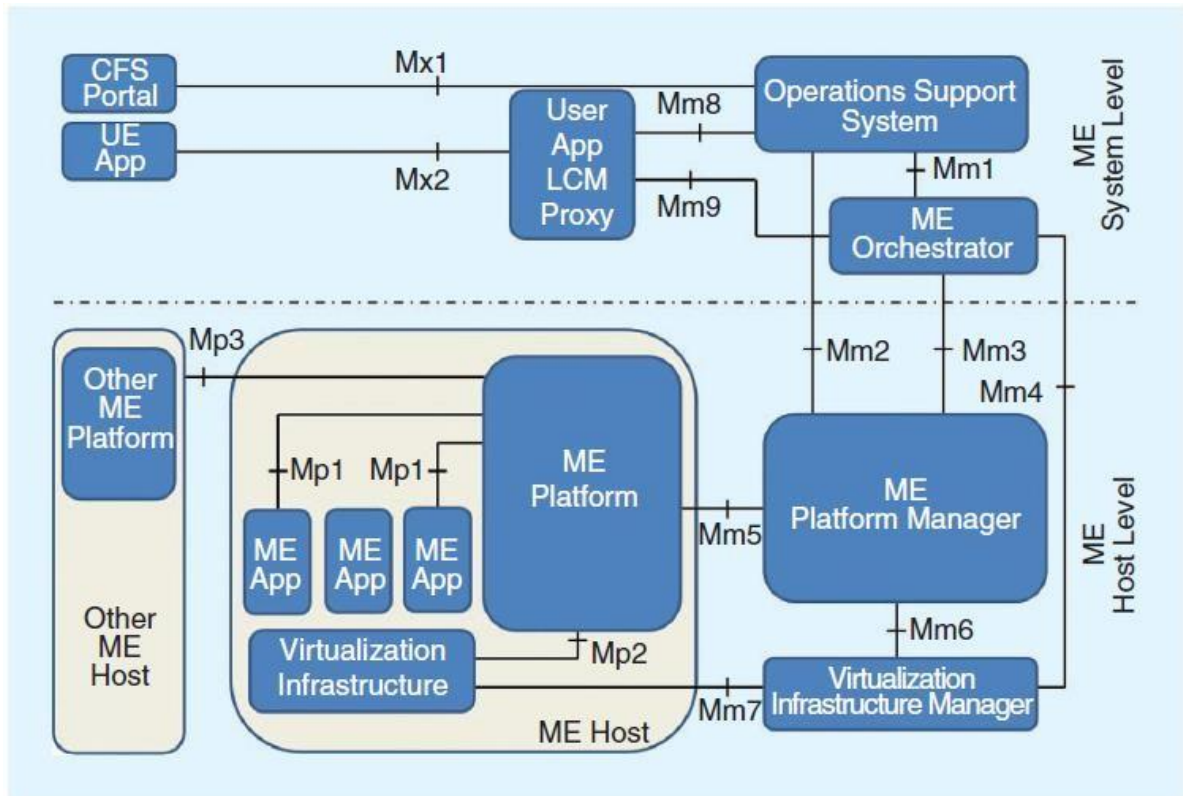
μέσω της διεπαφής Mp3, που προτείνεται για διεργασίες του επιπέδου ελέγχου. Μέσω της συγκεκριμένης διεπαφής, αρκετές πλατφόρμες ME, μπορούν να ομαδοποιηθούν και να σχηματίσουν ένα δίκτυο επικοινωνίας.



Σχήμα 8 MEC Framework

Οι εφαρμογές ME Applications, λειτουργούν ως εικονικά μηχανήματα (virtual machines VMs) πάνω σε μια εικονική υποδομή (virtualization infrastructure) που παρέχετε από το ME host. Οι εφαρμογές ME applications, επικοινωνούν με την πλατφόρμα μέσω μιας διεπαφής Mp1, ώστε να χρησιμοποιήσουν υπηρεσίες που τους παρέχουν οι ME platforms. Οι εφαρμογές ME applications, μπορούν επίσης να παρέχουν υπηρεσίες προς τις πλατφόρμες, οι οποίες με τη σειρά τους θα προσφέρουν αυτές τις υπηρεσίες σε άλλες εφαρμογές ME applications. Η διεπαφή Mp1, χρησιμοποιείται επίσης για υποστηρικτικές διαδικασίες, όπως να υποδεικνύει τη διαθεσιμότητα της εφαρμογής ή για την προετοιμασία μετακόμισης της κατάστασης της εφαρμογής σε περίπτωση κάποιου γεγονότος handover. Οι εφαρμογές ME applications μπορούν να γνωστοποιούν τις απαιτήσεις τους ως προς τους πόρους ή τις υπηρεσίες που

επιθυμούν, και επιπρόσθετα να γνωστοποιούν επίσης τους περιορισμούς ως προς το μέγιστο χρόνο καθυστέρησης latency. Οι απαιτήσεις αυτές, αφού ελεγχθούν από το επίπεδο συστήματος system level, και επιλέγεται το κατάλληλο ME host για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.



Σχήμα 9 MEC Reference architecture

Η μονάδα διαχείρισης της ME Platform (ME Platform Manager MEPM) αποτελεί μια οντότητα σε επίπεδο host-level, και αποτελείται από:

1. Μονάδα διαχείρισης των στοιχείων της ME Platform (ME Platform element management),
2. Μονάδα διαχείρισης του κύκλου ζωής των εφαρμογών ME applications (ME applications lifecycle management)
3. Μονάδα που διαχειρίζεται τους κανόνες και τις απαιτήσεις των εφαρμογών ME applications (ME applications rules and requirements management functions).

Η διεπαφή Mm5 μεταξύ της πλατφόρμας ME platform και της μονάδας που την διαχειρίζεται MEPM χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της πλατφόρμας. Η διεπαφή Mm2 προς τα συστήματα λειτουργίας υποστηρικτικών διαδικασιών OSS χρησιμοποιείται για τη διαχείριση



τυχόν σφαλμάτων, ρύθμιση και την διαχείριση της απόδοσης της πλατφόρμας ME platform. Επίσης ορίζεται και η διεπαφή Mm3 μεταξύ της μονάδας συντονισμού Mobile Edge Orchestrator (MEO) και της μονάδας MEPM, για την παροχή υποστήριξης σχετικά με τη διαχείριση του κύκλου ζωής των εφαρμογών, πολιτικές που σχετίζονται με τις εφαρμογές, καθώς και για την ενημέρωση για τις παρεχόμενες υπηρεσίες ME services στο ME σύστημα.

Η μονάδα συντονισμού MEO αποτελεί τη βασική λειτουργία στο επίπεδο συστήματος ME system με δεδομένο ότι έχει την επίβλεψη στους πόρους και τις δυνατότητες όλου του δικτύου ME network. Η MEO διαθέτει επίσης πληροφορίες για το συνολικό ME system, γνωρίζοντας όλες τις μονάδες ME hosts που έχουν αναπτυχθεί, τις υπηρεσίες και τους διαθέσιμους πόρους σε κάθε μονάδα οικοδεσπότη ME host, τις εφαρμογές που έχουν εγκατασταθεί και τέλος την τοπολογία του δικτύου. Η μονάδα MEO είναι επίσης υπεύθυνη για την εγκατάσταση της λειτουργίας μια εφαρμογής ME application, να ελέγξει την ακεραιότητα της, να ανανεώνει τις πολιτικές χρήσης της εφαρμογής και τέλος να διατηρεί ένα συνολικό κατάλογο με τις διαθέσιμες εφαρμογές. Η μονάδα MEO, παρέχει επίσης πληροφορίες στους διαχειριστές των εικονικών υποδομών για τον τρόπο που πρέπει να χειριστούν την εκάστοτε εφαρμογή. Επίσης, η MEO επικοινωνεί μέσω της διεπαφής Mm1 με τα συστήματα λειτουργίας υποστηρικτικών διαδικασιών OSS, με σκοπό την εγκατάσταση και τερματισμό μιας εφαρμογής ME application στα συστήματα ME.

Όσον αφορά τα ME συστήματα, το OSS αποτελεί τη μονάδα που διαχειρίζεται σε υψηλό επίπεδο τις εφαρμογές. Το OSS, δέχεται αιτήσεις για την εγκατάσταση ή τον τερματισμό εφαρμογών, μέσω της διεπαφής Mx1 από τη μονάδα customer-facing service (CFS), και από τελικούς χρήστες μέσω των τερματικών που χρησιμοποιούν UE. Το OSS εφόσον εγκρίνει μια συγκεκριμένη αίτηση την προωθεί στη μονάδα συντονισμού MEO, για περαιτέρω επεξεργασία. Το OSS, διαθέτει επίσης την πολύ σημαντική δυνατότητα να μετακομίζει εφαρμογές μετακομίζει εφαρμογές μεταξύ cloud συστημάτων.

Η μονάδα CFS αποτελεί το σημείο εισόδου για τρίτους. Το σημείο εισόδου αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενεργοποίηση, επιλογή ή παραγγελία εφαρμογών ME applications. Ταυτόχρονα, στη συγκεκριμένη μονάδα μπορούν να εισάγονται νέες εφαρμογές, για να χρησιμοποιηθούν στα ME συστήματα.

Τέλος, η μονάδα διαχείρισης της ψηφιακής υποδομής VIM είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση των εικονικών πόρων για τις εφαρμογές ME applications. Οι διαχειριστικές λειτουργίες της VIM μονάδας είναι η ανάθεση και η απελευθέρωση πόρων εικονικής υπολογιστικής ισχύος,

χώρου αποθήκευσης και δικτυακών πόρων που διαθέτει η εικονική υποδομή. Η μονάδα VIM επίσης παρακολουθεί την διαδικασία που ακολουθείται, και παρέχει πληροφορίες υποστήριξης σε περίπτωση σφαλμάτων κατά τη λειτουργία της ψηφιακής υποδομής. Η μονάδα VIM επικοινωνεί με την ψηφιακή υποδομή για τη διαχείριση των πόρων μέσω της διεπαφής Mm7, μέσω της διεπαφής Mm4 με τη μονάδα συντονισμού MEO για τη διαχείριση εικόνων λογισμικού (software images) και για την παρακολούθηση των διαθέσιμων πόρων, και τέλος μέσω της διεπαφής Mm6 με τη μονάδα διαχείρισης της πλατφόρμας ME MERPM, για τη διαχείριση εικονικών πόρων για τις εφαρμογές ME applications κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους.

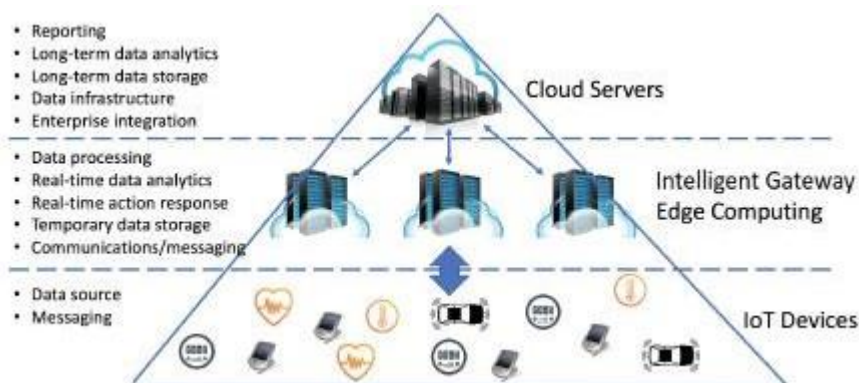
## 4 Υπηρεσίες IoT σε δομές Edge Computing

### 4.1 Ενσωμάτωση υπηρεσιών IoT σε δομές Edge Computing

Η ενότητα αυτή, εξετάζει τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών IoT μέσω κόμβων MEC. Με βάση τη βιβλιογραφία και τη μελέτη των χαρακτηριστικών του IoT και του MEC, συγκρίνονται τα χαρακτηριστικά του IoT, του MEC και του περιβάλλοντος νέφους cloud. Επιπλέον, η μελέτη και σύγκριση των χαρακτηριστικών επικεντρώνεται στους άξονες του δικτύου μετάδοσης δεδομένων, της δυνατότητας αποθήκευσης δεδομένων και τα χαρακτηριστικά της υπολογιστικής δυνατότητας, ώστε να παρουσιαστεί η βελτίωση της απόδοσης των IoT υπηρεσιών και εφαρμογών με τη χρήση κόμβων Edge Computing στα άκρα του δικτύου.

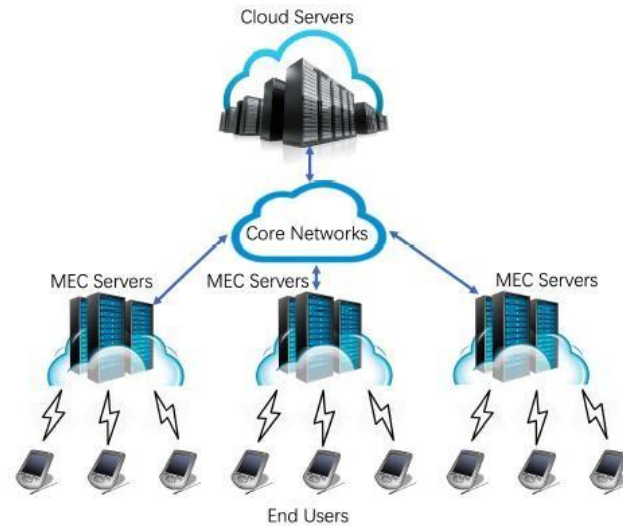
Οι τεχνολογίες IoT και Edge Computing αναπτύσσονται ραγδαία, αλλά ανεξάρτητα μεταξύ τους. Παρά την ανεξαρτησία αυτή όμως, οι πλατφόρμες Edge Computing, βοηθούν την τεχνολογία IoT να επιλύσει σημαντικά προβλήματα που παρουσιάζει και να βελτιώσει την απόδοσή της. Καθίσταται λοιπόν σαφές πως οι τεχνολογίες αυτές ενδέχεται να ενσωματωθούν μελλοντικά.

Το Σχήμα 10 παρουσιάζει αναλυτικά τα τρία φυσικά επίπεδα της αρχιτεκτονικής τους IoT, παρόμοια δηλαδή αρχιτεκτονική με τις υπηρεσίες που υλοποιούνται με χρήση Edge Computing.

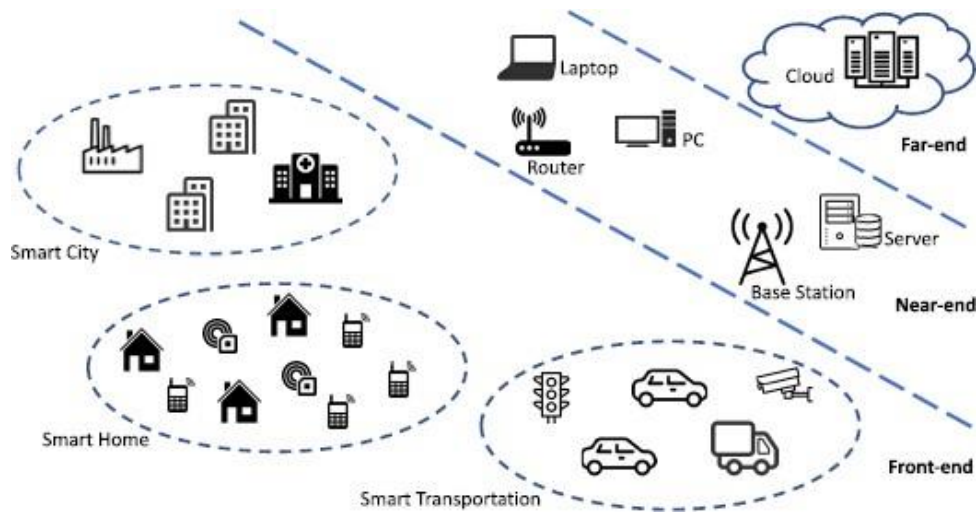


Σχήμα 10 Φυσικά επίπεδα αρχιτεκτονικής IoT υπηρεσιών.

Τα σχήματα 11 και 12, παρουσιάζουν σαφή συσχέτιση των χαρακτηριστικών του IoT και του MEC. Πιο αναλυτικά, η συσχέτιση των χαρακτηριστικών παρουσιάζεται ακόμα καλύτερα στον Πίνακα 1, ειδικά όσον αφορά τη σύγκριση με το συσχετισμό υπηρεσιών IoT με χρήση περιβάλλοντος νέφους cloud.



Σχήμα 11 Βασική Αρχιτεκτονική Edge Computing



Σχήμα 12 Τυπική Αρχιτεκτονική Edge Computing

	<b>Internet of Things</b>	<b>Υπολογιστικό περιβάλλον Edge Computing</b>	<b>Υπολογιστικό περιβάλλον νέφους Cloud</b>
<b>Υλοποίηση</b>	Κατανεμημένη	Κατανεμημένη	Κεντρική
<b>Στοιχεία</b>	Φυσικές Συσκευές	Κόμβοι MEC	Εικονικοί Πόροι
<b>Υπολογιστική Ισχύς</b>	Περιορισμένη	Περιορισμένη	Απεριόριστη
<b>Αποθήκευση Δεδομένων</b>	Εξαιρετικά Περιορισμένη	Περιορισμένη	Απεριόριστη
<b>Χρόνος Απόκρισης</b>	-	Γρήγορος	Αργός
<b>Μεγάλα Δεδομένα</b>	Πηγή	Επεξεργασία	Επεξεργασία

*Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά Internet of Things, υπολογιστικού περιβάλλοντος Edge Computing και υπολογιστικού περιβάλλοντος νέφους Cloud*

Στην περίπτωση της αρχιτεκτονικής τριών φυσικών επιπέδων των υπηρεσιών που υλοποιούνται με χρήση Edge Computing, όλες οι συσκευές IoT αποτελούν τερματικές συσκευές, ή άλλως πελάτες του Edge Computing.

Γενικά, το Internet of Things ως τεχνολογία, μπορεί να επωφεληθεί τόσο από την τεχνολογία του Edge Computing όσο και από την τεχνολογία νέφους Cloud Computing, λόγω των χαρακτηριστικών και των δύο δομών, όπως για παράδειγμα οι υψηλές δυνατότητες σε υπολογιστική ισχύ, η δυνατότητα αποθήκευσης κ.α. Η υλοποίηση υπηρεσιών IoT με χρήση Edge Computing, παρά τους περιορισμούς που υπάρχουν σε πόρους υπολογιστικής ισχύος και χώρου αποθήκευσης δεδομένων, παρουσιάζει σαφή πλεονεκτήματα σε σχέση με την υλοποίηση υπηρεσιών με Cloud Computing. Πιο συγκεκριμένα, η πλειοψηφία των υπηρεσιών IoT, απαιτεί γρήγορους χρόνους απόκρισης από το δίκτυο και όχι υψηλή υπολογιστική ισχύ ή χώρο αποθήκευσης.

Οι υπηρεσίες μέσω κόμβων MEC, παρουσιάζουν ανεκτά επίπεδα υπολογιστικής ισχύος, επαρκή χώρο αποθήκευσης δεδομένων και πολύ γρήγορους χρόνους δικτυακής απόκρισης, ικανοποιώντας, τις απαιτήσεις των IoT εφαρμογών και υπηρεσιών. Ταυτόχρονα, η τεχνολογία Edge Computing, μπορεί να επωφεληθεί από το IoT με την επέκταση της δομής των κόμβων

MEC με κατανομημένη και δυναμική μορφή. Συσκευές IoT καθώς και άλλες τερματικές συσκευές που διαθέτουν υπολογιστικούς πόρους που πλεονάζουν από αυτούς που απαιτούνται για την προκαθορισμένη λειτουργία τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως Edge κόμβοι για την παροχή διαφορετικών υπηρεσιών. Οι απαιτήσεις απόδοσης των υπηρεσιών IoT, εμπίπτουν με βάση τα προηγούμενα σε τρεις κατηγορίες, και αναλύονται με περισσότερες λεπτομέρειες ακολούθως.

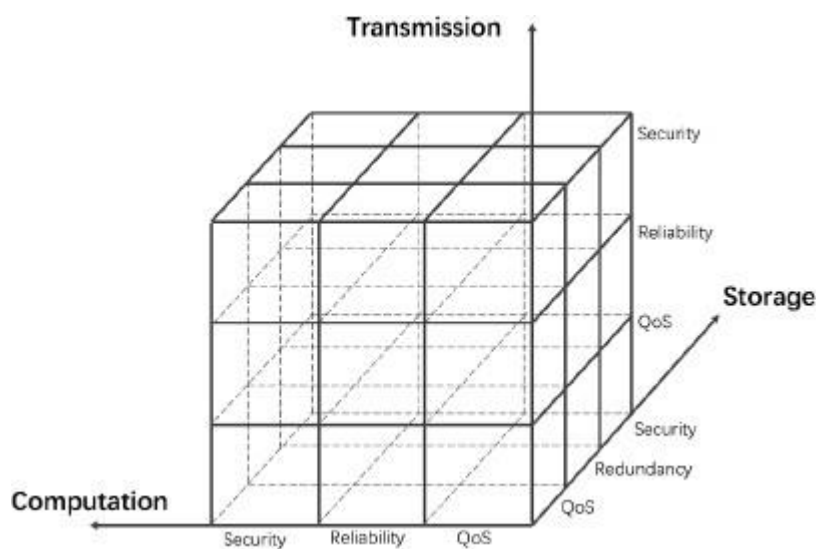
**Δίκτυο μετάδοσης δεδομένων:** Ο συνολικός χρόνος απόκρισης του δικτύου, μπορεί να υπολογισθεί ως το άθροισμα του χρόνου απόκρισης του δικτύου μεταφοράς και του χρόνου ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων από την εκάστοτε υπηρεσία. Γενικά, οι συσκευές IoT παράγουν υψηλό όγκο δεδομένων, συνεχώς, αλλά τα δεδομένα αυτά απαιτούν περιορισμένη ανάλυση και επεξεργασία. Συνεπώς, υψηλοί χρόνοι απόκρισης δικτύου θεωρούνται ως μη αποδεκτοί και δεν ικανοποιούν της απαιτήσεις σε επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας QoS. Πιο συγκεκριμένα παραδείγματα, που γίνονται αντιληπτά εύκολα λόγω των ζητημάτων δημόσιας ασφάλειας που προκύπτουν, είναι η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων vehicle to vehicle (V2V) και μεταξύ οχημάτων και υποδομής vehicle to infrastructure (V2I). Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές υποδομές νέφους, Cloud, η τεχνολογία Edge Computing, δύναται να παρέχει πολυάριθμους κόμβους πλησιέστερα στους τερματικούς χρήστες, υποστηρίζοντας υπηρεσίες συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, η μετάδοση των δεδομένων δεν υποβιβάζει την ποιότητα υπηρεσίας QoS, όπως συμβαίνει σε παραδοσιακές δομές υπηρεσιών νέφους (όπως το Amazon Cloud και το Google Cloud), αλλά αντιθέτως λειτουργεί ως πλεονέκτημα για την τεχνολογία Edge Computing.

**Αποθήκευση δεδομένων:** Οι συσκευές IoT, αποτελούν την πηγή παραγωγής τεράστιου όγκου δεδομένων και αναμένεται να καταστούν ένα αναπόσπαστο τμήμα των Μεγάλων Δεδομένων, Big Data. Τοιούτοτρόπως, οι IoT συσκευές πρέπει να μεταφέρουν τα δεδομένα που συλλέγουν ή παράγουν σε δομές αποθήκευσης σε περιβάλλον MEC ή σε περιβάλλον υπολογιστικού νέφους Cloud. Σημαντικό πλεονέκτημα των δομών MEC, αποτελεί ο μικρός χρόνος μεταφοράς των δεδομένων, μεταξύ των τερματικών συσκευών IoT και των κόμβων MEC. Αξίζει να αναφερθεί, όμως, ότι επιστημονικές έρευνες εκφράζουν ανησυχίες ως προς την ασφάλεια των δεδομένων που μεταφέρονται σε κόμβους MEC. Πιο συγκεκριμένα, επειδή οι κόμβοι Edge Computing θα λειτουργούν σε διαφορετικούς οργανισμούς και επιχειρήσεις, παρουσιάζει δυσκολίες η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων, η προστασία των δεδομένων καθώς, η σύνδεση των δεδομένων με τον ιδιοκτήτη τους με σκοπό την εκδήλωση κακόβουλων ενεργειών, καθώς και γενικά η μη αντιγραφή των δεδομένων. Επιπρόσθετα, ο αποθηκευτικός

χώρος προς αποθήκευση δεδομένων σε Edge Computing κόμβους, είναι περιορισμένος, και δεν συγκρίνεται σε μέγεθος κλίμακας με τους αποθηκευτικούς χώρους που διαθέτουν οι υποδομές cloud. Τέλος, όταν απαιτείται η αποθήκευση δεδομένων σε Edge κόμβους, θα χρειάζεται να απασχολούνται περισσότεροι του ενός MEC κόμβοι, αυξάνοντας έτσι την πολυπλοκότητα της διαχείρισης των δεδομένων.

**Υπολογιστική ισχύς:** Η πλειοψηφία των συσκευών IoT διαθέτει περιορισμένους πόρους τόσο υπολογιστικής ισχύος όσο και ενέργειας προς κατανάλωση. Οι περιορισμοί αυτοί, καθιστούν αδύνατη την ολοκλήρωση πολύπλοκων διεργασιών στις τερματικές συσκευές. Γενικά, οι συσκευές IoT συλλέγουν δεδομένα και τα μεταδίδουν σε κόμβους πιο ισχυρούς, ως προς την υπολογιστική ισχύ, με σκοπό την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων. Η υπολογιστική ισχύς που διαθέτει μεμονωμένα ο κάθε MEC κόμβος είναι περιορισμένη, και συνεπώς η επεκτασιμότητα των υπολογιστικών πόρων παραμένει ένα ανοιχτό πρόβλημα. Με δεδομένο όμως ότι οι υπηρεσίες IoT έχουν χαμηλές απαιτήσεις υπολογιστικών πόρων, η πλειοψηφία των εφαρμογών IoT μπορεί να ικανοποιηθεί από κόμβους MEC. Ταυτόχρονα, η μετάθεση των υπολογιστικών καθηκόντων από τις συσκευές IoT στους κόμβους MEC, ελαττώνει την κατανάλωση ενέργειας των τερματικών συσκευών.

Με βάση τις τρεις κατηγορίες που συνθέτουν τις απαιτήσεις της απόδοσης των IoT συσκευών, κατασκευάζεται το Σχήμα 13, που παρουσιάζει σχηματικά το πρόβλημα των απαιτήσεων των υπηρεσιών IoT που υλοποιούνται με Edge Computing.



Σχήμα 13 Απεικόνιση απαιτήσεων υπηρεσιών IoT με χρήση περιβάλλοντος Edge Computing

## 4.2 Πλεονεκτήματα υλοποίησης IoT υπηρεσιών με χρήση Edge Computing

Το παρόν εδάφιο εξετάζει τα πλεονεκτήματα της χρήσης τεχνολογίας Edge Computing για τη δημιουργία εμπορικών εφαρμογών και υπηρεσιών Internet of Things.

### 4.2.1 Πλεονεκτήματα ως προς το δίκτυο μετάδοσης δεδομένων σε περιβάλλον Edge Computing

Η απόδοση του δικτύου, που αξιολογείται με βάση την καθυστέρηση, ή άλλως απόκριση, του δικτύου για τη χρήση μιας υπηρεσίας (latency), το εύρος ζώνης και τον συντελεστή απώλειας πακέτων, μεταξύ άλλων, επηρεάζει σημαντικά το χρόνο μετάδοσης των δεδομένων εντός του δικτύου. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, η δυνατότητα μετάδοσης των δεδομένων των υπηρεσιών με υψηλές ταχύτητες εντός του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης κόμβων με υπολογιστικές δυνατότητες στο άκρο του δικτύου. Η χρήση MEC κόμβων, ικανοποιεί τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, όπως η ανάλυση εικόνας βίντεο σε πραγματικό χρόνο. Υπηρεσίες ανάλυσης βίντεο συγκεντρώνουν εικόνες από διαφορετικά γεωγραφικά μέρη, και τα αναλύουν ανάλογα με την εκάστοτε παρεχόμενη υπηρεσία. Για παράδειγμα, η εταιρία Microsoft, υλοποιεί μια υπηρεσία πραγματικού χρόνου, χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους συστήματα που επεξεργάζονται εικόνες βίντεο και προβλέπουν την κίνηση των αυτοκινήτων στους δρόμους. Η συγκεκριμένη υλοποίηση της εταιρίας Microsoft, είναι κατανομημένη σε πλήθος διαφορετικών γεωγραφικών τοποθεσιών, και χρησιμοποιεί κόμβους MEC και περιβάλλον υπολογιστικού νέφους cloud. Η χρήση των MEC κόμβων στη συγκεκριμένη περίπτωση, εγγυάται χαμηλότερους χρόνους μετάδοσης, σε σχέση με τη μετάδοση σε περιβάλλοντα υπολογιστικού νέφους cloud, και κατά συνέπεια καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας στους τελικούς αποδέκτες της υπηρεσίας. Επιπρόσθετα, η χρήση κόμβων MEC έχει αναπτυχθεί με σκοπό την επίλυση προβλημάτων υπερφόρτωσης του δικτύου μεταφοράς ενός τηλεπικοινωνιακού παρόχου, καθώς και την επίλυση προβλημάτων κατανομής πόρων σε υπηρεσίες Internet of Things. Η χρήση κόμβων Edge Computing, μεταθέτει την υπολογιστική ισχύ και τη δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον τελικό χρήστη. Ο χρόνος απόκρισης του δικτύου και η ροή της πληροφορίας στο δίκτυο βελτιώνονται σημαντικά σε σχέση με τις παραδοσιακές υλοποιήσεις IoT υπηρεσιών. Οι ιεραρχικά κατανομημένοι κόμβοι MEC, διαθέτουν την δυνατότητα ικανοποίησης υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, όπως η ανάλυση εικόνας βίντεο, η



πρόβλεψη και κατηγοριοποίηση συμπεριφοράς ανθρώπων, η εκτίμηση κινήσεων και πλήθος άλλων.

**Καθυστέρηση απόκρισης δικτύου υπηρεσίας:** Ο χρόνος καθυστέρησης απόκρισης του δικτύου αποτελείται από δυο βασικές συνιστώσες, τη διάρκεια της χρονικής καθυστέρησης λόγω διεργασιών ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων και της χρονικής καθυστέρησης λόγω μετάδοσης δεδομένων. Η χρονική καθυστέρηση λόγω διεργασιών ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων υποδεικνύει το χρόνο που χρειάζεται για την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων, και εξαρτάται από τους διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους ενός συστήματος. Τερματικές συσκευές, όπως αισθητήρες, διαθέτουν περιορισμένη υπολογιστική ισχύ, ενώ αντίθετα, κεντρικά υπολογιστικά συστήματα servers, που αποτελούν μέρος της υλοποίησης του δικτύου, διαθέτουν την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ για την ταχύτερη εκτέλεση πολύπλοκων διεργασιών. Η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των τερματικών συσκευών και των συστημάτων σε περιβάλλον υπολογιστικού νέφους cloud, αυξάνει σημαντικά την καθυστέρηση απόκρισης του δικτύου. Έτσι, η πρόκληση των συστημάτων Edge Computing, είναι ο προσδιορισμός βέλτιστου λόγου, ανάλογα με την κάθε υπηρεσία, μεταξύ της καθυστέρησης απόκρισης λόγω μετάδοσης δεδομένων και της καθυστέρησης απόκρισης λόγω ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων. Συνεπώς, για κάθε εφαρμογή και υπηρεσία, πρέπει να βρεθεί το κατάλληλο σχήμα υλοποίησης, μέσω του οποίου μια διεργασία θα υλοποιηθεί τοπικά, θα υλοποιηθεί σε περιβάλλον Edge Computing, ή θα μεταφερθεί σε κάποιο απομακρυσμένο περιβάλλον υπολογιστικού νέφους cloud. Το συγκεκριμένο πρόβλημα, δηλαδή η μελέτη υπηρεσιών ανεκτικές στις καθυστερήσεις, έχει μελετηθεί από τη βιβλιογραφία, και έχει σχεδιαστεί ένα μαθηματικό μοντέλο βέλτιστης κατανομής πόρων. Με χρήση μεθόδων χρονοπρογραμματισμού διεργασιών σε υπηρεσίες ανεκτικές στην καθυστέρηση, βελτιστοποιούνται οι χρόνοι αναμονής για την εκτέλεση μια διεργασίας σε τοπικό επίπεδο (τερματική συσκευή ή κόμβος MEC), και μειώνεται η ενεργειακή κατανάλωση σε επίπεδο τερματικών συσκευών. Ταυτόχρονα, βελτιώνεται η απόδοση του δικτύου μετάδοσης που χρησιμοποιεί η εκάστοτε υπηρεσία. Πλήθος νέων ερευνών, προτείνουν καινοτόμους τρόπους που θα βελτιστοποιήσουν την λειτουργία υπηρεσιών IoT μέσω Edge Computing υλοποιήσεων. Οι νέοι αυτοί τρόποι υλοποίησης, θα αλλάξουν σημαντικά την αρχιτεκτονική των IoT υπηρεσιών.

**Εύρος Ζώνης Δικτύου Μετάδοσης:** Οι υπηρεσίες IoT, αναμένεται να υλοποιούνται με τη χρήση αξιοσημείωτου αριθμού τερματικών συσκευών, όπως για παράδειγμα αισθητήρων, και κατά συνέπεια θα παράγουν μεγάλο όγκο δεδομένων στο δίκτυο. Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η

συμπίεση των δεδομένων, καθώς η μεταφορά των δεδομένων χωρίς καμία επεξεργασία από τις τερματικές IoT συσκευές προς τα συστήματα σε περιβάλλον νέφους cloud, θα κατανάλωνε μεγάλο ποσοστό από τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου και θα οδηγούσε σε πλήθος προβλημάτων από μεριάς του δικτύου, μεταξύ των οποίων μεγάλη καθυστέρηση στη μετάδοση δεδομένων και απώλεια πακέτων. Για το λόγο αυτό, είναι αναγκαίο οι ενδιάμεσοι κόμβοι, ή άλλως θύρες IoT gateways, να επεξεργάζονται τα δεδομένα προτού τα μεταδώσουν στα συστήματα σε περιβάλλον νέφους cloud. Η επεξεργασία από τους ενδιάμεσους κόμβους, μπορεί να περιλαμβάνει ακόμα και την ενοποίηση πλήθους διαφορετικών πακέτων δεδομένων, πριν αυτά μεταδοθούν από τους ενδιάμεσους κόμβους στα συστήματα cloud. Η πρόκληση που ανακύπτει στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι ο έλεγχος της ροής των δεδομένων με βέλτιστο τρόπο, συνενώνοντας τις διεργασίες επεξεργασίας δεδομένων και συνένωσης πακέτων, με σκοπό τη μείωση των απαιτήσεων των τερματικών συσκευών σε πόρους εύρους ζώνης, χωρίς ταυτόχρονα να επηρεάζεται η ποιότητα των δεδομένων.

**Ενεργειακή κατανάλωση τερματικών συσκευών:** Οι τερματικές συσκευές στα δίκτυα που υποστηρίζουν υπηρεσίες IoT, θα διαφέρουν όχι μόνο προς τις ανάγκες σε δικτυακούς πόρους, αλλά και στην ανάγκη για κατανάλωση ενέργειας και στην απαιτούμενη χωρητικότητα μπαταρίας που θα διαθέτουν. Κατά συνέπεια, όταν μια τερματική συσκευή χρειάζεται να εκτελέσει διαδικασίες ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων ή μετάδοσης δεδομένων σε υψηλότερο ιεραρχικά φυσικό επίπεδο, πρέπει να γίνεται προσεκτική ανάλυση από την ίδια την συσκευή και γενικότερα την υπηρεσία, ως προς την κατανάλωση ενεργειακών πόρων. Η μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής των τερματικών συσκευών IoT, είναι ιδιαίτερα σημαντική, ειδικά όταν πρόκειται για συσκευές με περιορισμένη χωρητικότητα μπαταρίας. Προς επίτευξη του συγκεκριμένου, η υλοποίηση υπηρεσιών με κόμβους MEC δύναται να συνενώνει ευέλικτες διεργασίες σχημάτων αποφόρτισης των τερματικών συσκευών, ως προς τους υπολογιστικούς πόρους, λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακούς πόρους της κάθε συσκευής.

**Πλεονάζουσα πληροφορία επικεφαλίδας:** Στη μετάδοση δεδομένων μέσω δικτύων, κάθε πακέτο περιλαμβάνει τα πραγματικά προς μετάδοση δεδομένα, payload, καθώς και τμήματα επικεφαλίδας, με πλεονάζουσα πληροφορία που χρησιμεύει στη μετάδοση των δεδομένων εντός του δικτύου. Λόγω των χαρακτηριστικών των δεδομένων στις υπηρεσίες IoT, δηλαδή του μικρού όγκου δεδομένων που παράγονται από μεγάλο πλήθος συσκευών, εισάγεται σημαντική πλεονάζουσα πληροφορία στο δίκτυο, λόγω των επικεφαλίδων. Η μείωση των επικεφαλίδων στο δίκτυο παραμένει ένα ανοιχτό πρόβλημα στο Edge Computing. Ωστόσο, με τη χρήση MEC κόμβων, τα πακέτα δεδομένων μπορούν να επεξεργαστούν και συνενωθούν πριν την αποστολή

τους σε υπολογιστικά περιβάλλοντα νέφους, αφαιρώντας μεγάλο μέρος της πλεονάζουσας πληροφορίας που προκύπτει από το μεγάλο πλήθος επικεφαλίδων των δεδομένων στο δίκτυο.

#### 4.2.2 Πλεονεκτήματα ως προς την αποθήκευση δεδομένων σε περιβάλλον Edge Computing

Η αποθήκευση δεδομένων σε υπολογιστικά περιβάλλοντα νέφους πραγματοποιείται κεντρικά, σε πολύπλοκα συστήματα, πολλών λογικών επιπέδων, και αποτελείται από ομάδες υπολογιστικών συστημάτων και μονάδων αποθήκευσης. Η υλοποίηση χτίζεται σε ένα λογικό επίπεδο πάνω από το δικτυακό επίπεδο, και αποτελεί το σημείο συσσώρευσης της δικτυακής τοπολογίας. Στην περίπτωση αποθήκευσης δεδομένων με χρήση MEC κόμβων, η αποθήκευση των δεδομένων κατανέμεται στις άκρες της δικτυακής δομής. Όπως συμβαίνει και με τα υπολογιστικά περιβάλλοντα νέφους, η αποθήκευση περιλαμβάνει συνδυασμούς συστάδων μονάδων, clusters, με αποθηκευτική ικανότητα, και επιπρόσθετα ισορροπεί τις ανάγκες για αποθήκευση δεδομένων μεταξύ των διαφορετικών κόμβων MEC στα άκρα του δικτύου. Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της ποιότητας υπηρεσίας QoS, οι μονάδες αποθήκευσης σε MEC περιβάλλον δύναται να υλοποιούν τεχνικές εξισορρόπησης φόρτου μεταξύ των διαφορετικών κόμβων καθώς και τεχνικές ανάκτησης από ενδεχόμενες βλάβες του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, οι έννοιες της εξισορρόπησης φόρτου και της ανάκτησης δεδομένων από ενδεχόμενες βλάβες αναλύονται ακολούθως.

**Εξισορρόπηση φόρτου σε μονάδες αποθήκευσης δεδομένων:** Στις περιπτώσεις δικτύων IoT, οι συσκευές συνήθως διαθέτουν εξαιρετικά περιορισμένο χώρο προς αποθήκευση δεδομένων. Όλα τα παραγόμενα δεδομένα που συλλέγονται ή παράγονται από τις συσκευές πρέπει να μεταφερθούν και να αποθηκευτούν σε κάποιο υπολογιστικό σύστημα που υποστηρίζει τη δυνατότητα αποθήκευσης. Επίσης, υπάρχουν περιπτώσεις που πολλές συσκευές IoT παράγουν ταυτόχρονα μεγάλο όγκο δεδομένων. Εάν οι συσκευές μεταδώσουν ταυτόχρονα τα δεδομένα που παράγουν, σε κάποιο απομακρυσμένο υπολογιστικό σύστημα σε περιβάλλον νέφους, θα υπάρχει σημαντική συμφόρηση στο δίκτυο μετάδοσης. Για παράδειγμα, η εφαρμογή της Microsoft “Live Video Analytics”, παράγει υψηλό όγκο δεδομένων, το οποίο απαιτείται να στέλνεται προς αποθήκευση σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, και να επεξεργάζεται με αυστηρή χρονική αλληλουχία. Με βάση τις απαιτήσεις της υπηρεσίας, οι αισθητήρες και οι κάμερες που θα επιθυμούν να μεταδώσουν τα δεδομένα σε κάποιο απομακρυσμένο περιβάλλον νέφους, θα δημιουργούν συμφόρηση στο δίκτυο μετάδοσης. Αντί αυτού, με βάση τα χαρακτηριστικά της τεχνικής αποθήκευσης σε κόμβους MEC που βρίσκονται στο άκρο του δικτύου, η επιφόρτιση

του δικτύου μπορεί να μειωθεί. Η αποθήκευση σε περιβάλλον κόμβων Edge computing, δίνει τη δυνατότητα διαχείρισης κατανεμημένων τερματικών συσκευών IoT, με διαφορετικές ροές δεδομένων και διαφορετικές φυσικές τοποθεσίες εγκατάστασης. Ερευνητικές μελέτες, προτείνουν τη χρήση αλγορίθμων για την κατανομή των δεδομένων αποθήκευσης, μέσω των οποίων εξετάζεται αν οι κόμβοι MEC διαθέτουν τους απαιτούμενους πόρους για την επαρκή αποθήκευση των δεδομένων. Επιπρόσθετα, οι κόμβοι MEC επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ροών δεδομένων data streams, εξισορροπώντας τα επίπεδα φόρτου αποθήκευσης δεδομένων του κάθε κόμβου MEC. Επιπρόσθετα, οι κόμβοι MEC, μετά την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων, μπορούν να διαγράφουν δεδομένα που πλέον δεν χρειάζονται για την υπηρεσία και χαρακτηρίζονται ως περιττά, προς αποσυμφόρηση του χώρου αποθήκευσης που διαθέτουν.

**Πολιτική ανάκτησης δεδομένων:** Όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενο εδάφιο, η πολιτική ανάκτησης δεδομένων είναι βασικό προαπαιτούμενο στα συστήματα αποθήκευσης δεδομένων σε περιβάλλον Edge Computing. Η αξιοπιστία των συστημάτων αποθήκευσης, επηρεάζεται σημαντικά από τη δυνατότητα αποθήκευσης και ανάκτησης αξιόπιστων αναπαραστάσεων των δεδομένων. Με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας, τα συστήματα Edge computing, θα ελέγχουν τη διαθεσιμότητα των κόμβων αποθήκευσης, θα αντιγράφουν τα δεδομένα σε άλλους κόμβους και επίσης θα χρησιμοποιούν άλλους κόμβους ως εφεδρικούς σε περίπτωση συστημικής βλάβης. Κυριότερα χαρακτηριστικά της πολιτικής ανάκτησης δεδομένων είναι τα ακόλουθα.

➤ Διαθεσιμότητα Δεδομένων

Μια συσκευή αποθήκευσης μπορεί να μεταβεί σε κατάσταση μη διαθέσιμη για πλήθος διαφορετικών λόγων. Ο περιοδικός έλεγχος τύπου ping ή heartbeat πραγματοποιείται από τα συστήματα παρακολούθησης των αποθηκευτικών μονάδων, με σκοπό την επαλήθευση της λειτουργίας των συστημάτων, καθώς και το ποσοστό ελεύθερου αποθηκευτικού χώρου του κόμβου αποθήκευσης σε περιβάλλον MEC. Παραδείγματα βλαβών των συστημάτων αποθήκευσης, όπου ο κόμβος μεταβαίνει σε κατάσταση μη διαθέσιμη προς αποθήκευση δεδομένων, περιλαμβάνουν βλάβη του λειτουργικού συστήματος, επανεκκίνηση του κόμβου, πρόβλημα στο υλικό του κόμβου ή ακόμα και την εκτέλεση προγραμματισμένων εργασιών στους κόμβους. Με βάση εμπειρικά και στατιστικά αποτελέσματα, ποσοστό μικρότερο από 10% των βλαβών διαρκεί χρονικά περισσότερο από 15 λεπτά. Στις εγκαταστάσεις σε περιβάλλον υπολογιστικού νέφους, οι εφεδρικοί κόμβοι αναλαμβάνουν την αποθήκευση των δεδομένων και διασφαλίζουν την λειτουργία των υπηρεσιών. Σε περιβάλλον Edge computing, η

διασφάλιση της συνέχειας της υπηρεσίας, δηλαδή της αποθήκευσης δεδομένων, θα πραγματοποιείται από παρακείμενους κόμβους Edge computing. Επισημαίνεται επίσης, ότι υπάρχουν αλγόριθμοι που υπολογίζουν το μέσο χρόνο μέχρι την επόμενη βλάβη του συστήματος, Mean Time To Failure (MTTF), και υπολογίζουν με βάση τις πιθανότητες την επόμενη βλάβη του συστήματος.

➤ Αντιγραφή Δεδομένων

Σε υπηρεσίες Internet of Things, η ορθότητα των ευαίσθητων δεδομένων είναι επιτακτική. Τέτοια δεδομένα μπορεί μεταξύ άλλων να είναι προσωπικά ιατρικά δεδομένα, εγγραφές κατανάλωσης ενέργειας, ταχύτητα και δείκτες ένδειξης κυκλοφοριακής συμφόρησης στην περίπτωση των έξυπνων οχημάτων μεταξύ άλλων. Η λειτουργία των κατακευματισμένων συστημάτων αποθήκευσης σε περιβάλλον Edge Computing, πρέπει υποχρεωτικά να περιλαμβάνει τη συμμετοχή του IoT οικοσυστήματος, για τη διασφάλιση της ακεραιότητας των προς αποθήκευση δεδομένων. Τα κατακευματισμένα συστήματα, μπορούν να αυξήσουν την αξιοπιστία τους και να επεκτείνουν το μέσο χρόνο μέχρι την επόμενη βλάβη του συστήματος MTTF με τη χρήση τεχνικών αντιγραφής των δεδομένων σε παρακείμενους κόμβους Edge Computing. Σε κατακευματισμένα συστήματα, όπως η αποθήκευση σε κόμβους Edge Computing, τα δεδομένα διαιρούνται σε μικρά τμήματα και έχουν προκαθορισμένο μέγεθος. Τα τμήματα δεδομένων επικαλύπτονται μεταξύ τους, και κάθε τμήμα μπορεί να ανακατασκευαστεί από άλλα γειτονικά τμήματα. Η αποθήκευση σε κόμβους Edge Computing, δεν κατανέμει τα δεδομένα μόνο με λογική κατανομή μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων δεδομένων, αλλά και σε φυσικό επίπεδο μεταξύ διαφορετικών κόμβων. Συνεπώς, τα ευαίσθητα δεδομένα από IoT, με τη χρήση Edge Computing, τα δεδομένα κατανέμονται σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες, και μπορούν να ανακτηθούν ακόμα και στην περίπτωση απώλειας ή βλάβης ενός κόμβου MEC. Η διαδικασία διασφάλισης των δεδομένων, όπως αυτή αναλύθηκε, μετριάξει αξιοσημείωτα το ρίσκο απώλειας δεδομένων.

#### *4.2.3 Πλεονεκτήματα ως προς την υπολογιστική διεκπεραίωση διεργασιών σε περιβάλλον Edge Computing*

Στο περιβάλλον Edge Computing, κάθε κόμβος διαθέτει σημαντικά λιγότερους πόρους υπολογιστικής ισχύος σε σχέση με τους υπολογιστικούς πόρους που διαθέτουν κόμβοι σε υπολογιστικό περιβάλλον νέφους Cloud. Διεργασίες που σε περιβάλλον Cloud εξυπηρετούνται από ένα αποκλειστικά κόμβο, στην περίπτωση περιβάλλοντος Edge Computing απαιτούν

καταμερισμό των διεργασιών σε περισσότερους του ενός κόμβους MEC. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το υπολογιστικό περιβάλλον Edge Computing, θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις των τερματικών συσκευών, μεταθέτοντας την ανάγκη για υπολογιστικούς πόρους και αποθήκευση στα άκρα του δικτύου. Η εκτέλεση των διεργασιών στο συγκεκριμένο περιβάλλον, θα επιτελείται μέσω σχημάτων χρονοπρογραμματισμού διεργασιών. Οι αλγόριθμοι των σχημάτων χρονοπρογραμματισμού διεργασιών, δύναται να σχεδιαστούν με βάση τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε υπηρεσίας. Στη συνέχεια, αναλύονται διάφορες μέθοδοι εφαρμογής των σχημάτων προγραμματισμού διεργασιών σε περιβάλλον Edge Computing.

**Αποφόρτιση Υπολογιστικών Πόρων:** Για την αύξηση της απόδοσης των υπολογιστικών διεργασιών, απαιτείται η προσαρμογή της τοποθεσίας διαφορετικών υπολογιστικών διεργασιών. Ακολούθως αναλύεται η διαδικασία της διεκπεραίωσης των υπολογιστικών διεργασιών ανάλογα με την τοποθεσία που πραγματοποιείται η διαδικασία των υπολογιστικών διεργασιών.

➤ Υπολογιστικές διεργασίες σε τοπικό επίπεδο τερματικών συσκευών

Σε σύγχρονα συστήματα IoT, τα ενσωματωμένα κυκλώματα έχουν γίνει πιο οικονομικά και ευρέως διαδεδομένα. Κατά αυτόν τον τρόπο, η υπολογιστική ισχύς των τερματικών συσκευών έχει βελτιωθεί σημαντικά σε σχέση με την υπολογιστική ισχύ των τερματικών συσκευών στο παρελθόν. Κατά συνέπεια, είναι δυνατό οι τερματικές συσκευές να πραγματοποιούν κάποιες βασικές διεργασίες σε επίπεδο δικτύου Machine to Machine, του δικτύου δηλαδή που δημιουργείται μεταξύ των τερματικών IoT συσκευών. Ο υψηλός αριθμός συσκευών IoT γενικά συνεπάγεται και υψηλό αριθμό γειτονικών συσκευών για κάθε IoT τερματική συσκευή, οπότε υψηλότερες δυνατότητες υπολογιστικών διεργασιών στο σύνολο των συσκευών, και ταυτόχρονα με πολύ χαμηλό χρόνο απόκρισης μεταξύ των συσκευών.

➤ Υπολογιστικές διεργασίες σε περιβάλλον Edge Computing

Παρά τη δυνατότητα εκτέλεσης υπολογιστικών διεργασιών από δίκτυα τερματικών συσκευών Machine to Machine, σε πολλές περιπτώσεις η διαθέσιμη υπολογιστική ισχύς από τα δίκτυα αυτά, δεν είναι αρκετή για την ικανοποίηση των αναγκών συγκεκριμένων υπηρεσιών. Κατά συνέπεια, το υπολογιστικό περιβάλλον Edge Computing απαιτείται να παρέχει την πλειοψηφία των πόρων σε υπηρεσίες IoT. Για να πετύχει επαρκώς την παροχή πόρων, το υπολογιστικό περιβάλλον Edge Computing, πρέπει να χρησιμοποιεί μηχανισμούς χρονοπρογραμματισμού διεργασιών στους κόμβους MEC. Ο κύριος στόχος λειτουργίας των σχημάτων

χρονοπρογραμματισμού διεργασιών είναι η εύρεση του βέλτιστου συνόλου κόμβων MEC, με βάση τους περιορισμούς κατανομής που ισχύουν σε κάθε σενάριο, για την ολοκλήρωση μιας υπολογιστικής διεργασίας. Το βέλτιστο σύνολο, θα περιλαμβάνει το σύνολο των κόμβων, που ως αποτέλεσμα έχει τον ελάχιστο χρόνο απόκρισης, δηλαδή του χρόνου υπολογιστικών διεργασιών και τον χρόνο απόκρισης του δικτύου μετάδοσης των δεδομένων, την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και την χρησιμοποίηση του ελάχιστου εύρους ζώνης που απαιτείται για τη μετάδοση των δεδομένων που απαιτείται από τις εφαρμογές IoT.

➤ Υπολογιστικές διεργασίες σε περιβάλλον υπολογιστικού νέφους Cloud

Μερικές διεργασίες, απαιτούν περισσότερους υπολογιστικούς πόρους ή αποθηκευτικό χώρο, από αυτές που μπορούν να παρέχουν οι τερματικές συσκευές ή το περιβάλλον Edge Computing. Διεργασίες που απαιτούν μεγάλο πλήθος υπολογιστικών πόρων, προκειμένου να εκτελεστούν επαρκώς, πρέπει να ανατεθούν σε συστήματα υπολογιστικού περιβάλλοντος Cloud. Τα συστήματα σε υπολογιστικό περιβάλλον Cloud, διαθέτουν τους περισσότερους υπολογιστικούς πόρους εντός του δικτύου που λειτουργεί μια υπηρεσία, και κατά συνέπεια, η εκτέλεση των διεργασιών σε τέτοια περιβάλλοντα οδηγεί σε χαμηλότερους χρόνους απόκρισης λόγω του υπολογιστικών διεργασιών. Αντίθετα όμως, η εκτέλεση σε περιβάλλοντα υπολογιστικού νέφους cloud συνεπάγεται υψηλότερους χρόνους απόκρισης λόγω μετάδοσης δεδομένων, λόγω της μεγάλης φυσικής απόστασης μεταξύ των τερματικών συσκευών και των κόμβων σε περιβάλλον νέφους Cloud. Παρουσιάζεται, λοιπόν, μια σημαντική πρόκληση ισοστάθμισης των χρόνων καθυστερήσεων λόγω απόκρισης υπολογιστικών διεργασιών και μετάδοσης δεδομένων.

**Τιμολογιακή πολιτική χρήσης υπολογιστικών πόρων σε υπολογιστικό περιβάλλον Edge Computing:** Σε περιβάλλοντα Edge Computing, οι κόμβοι MEC ή ακόμα και οποιοσδήποτε τερματική συσκευή μπορεί να παρέχει τους απαιτούμενους υπολογιστικούς και δικτυακούς πόρους που απαιτούνται για την ολοκλήρωση μιας διεργασίας. Συνεπώς, τα σχήματα κατανομής πόρων πρέπει να τιμολογούν ορθά την χρήση πόρων εντός του δικτύου μιας υπηρεσίας.

➤ Παροχή υπηρεσιών αποκλειστικού παρόχου

Στις μέχρι τώρα παρεχόμενες υπηρεσίες σε περιβάλλοντα που προσομοιάζουν περιβάλλοντα Edge Computing, οι υπολογιστικοί και δικτυακοί πόροι διαχειρίζονται από ένα αποκλειστικά πάροχο υπηρεσίας. Στην περίπτωση αυτή, ο πάροχος, δύναται να ορίσει την τιμολογιακή

πολιτική για τη χρήση πόρων που διαθέτει. Στη συνέχεια, η τερματική συσκευή μπορεί να ελαχιστοποιήσει το οικονομικό κόστος, διαλέγοντας το βέλτιστο σύνολο από τους διαθέσιμους κόμβους, και να αναθέσει εκεί τις απαιτούμενες διεργασίες για την ομαλή λειτουργία μια υπηρεσίας. Ερευνητικές εργασίες έχουν διερευνήσει τις επιπτώσεις της τιμολογιακής πολιτικής σε υπηρεσίες ανεκτικές στην χρονική καθυστέρηση, και προτείνουν τρόπους για μεγιστοποίηση των κερδών του παρόχου των πόρων του περιβάλλοντος Edge Computing.

➤ Παροχή υπηρεσιών από πολλαπλούς παρόχους

Λόγω της φύσης των IoT υπηρεσιών, που συνδυάζουν ποικίλες τερματικές συσκευές διαφορετικών παρόχων υπηρεσιών, οι υπολογιστικοί πόροι πιθανόν να μην ανήκουν σε αποκλειστικά ένα πάροχο περιβάλλοντος Edge Computing. Με βάση το συγκεκριμένο, οι χρήστες των υπηρεσιών IoT που υλοποιούνται μέσα από περιβάλλον Edge Computing, θα χρειάζεται να πληρώνουν για τους αντίστοιχους πόρους που χρησιμοποιούν σε διαφορετικούς παρόχους υπολογιστικών υπηρεσιών. Η ορθή τιμολογιακή πολιτική, θα ενθαρρύνει τους παρόχους πόρων περιβάλλοντος Edge Computing, με απώτερο σκοπό την οικονομική ανταμοιβή για την παροχή των απαιτούμενων πόρων. Επιπρόσθετα, θα παρουσιαστούν φαινόμενα ανταγωνισμού και συνεργασίας μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών περιβάλλοντος Edge Computing. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η ορθή τιμολόγηση των υπηρεσιών μέσω περιβάλλοντος Edge Computing. Ερευνητικές εργασίες που έχουν μελετήσει το συγκεκριμένο αντικείμενο, προτείνουν τη χρήση δημοπρασιών πραγματικού χρόνου για την παροχή των υπολογιστικών και δικτυακών πόρων από τις υποδομές Edge Computing.

**Προτεραιότητα υπολογιστικών διεργασιών σε υπολογιστικό περιβάλλον Edge Computing:**

Η προτεραιότητα των υπολογιστικών διεργασιών αποτελεί μια ακόμα σημαντική πτυχή του χρονοπρογραμματισμού των διεργασιών σε υπολογιστικό περιβάλλον Edge Computing. Η εισαγωγή της έννοιας της προτεραιότητας σε υπολογιστικές διεργασίες σε περιβάλλον Edge Computing, μεγιστοποιεί τα συνολικά πλεονεκτήματα των ποικίλων IoT υπηρεσιών. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές IoT πραγματικού χρόνου, θα χαρακτηρίζονται ως υψηλότερης προτεραιότητας σε σχέση με εφαρμογές που καταναλώνουν μεγάλο όγκο πόρων του περιβάλλοντος Edge Computing και δεν απαιτούν άμεση εξυπηρέτηση, που θα χαρακτηρίζονται με χαμηλότερη προτεραιότητα. Ο χαρακτηρισμός των εφαρμογών με επίπεδα προτεραιότητας, οδηγεί σε βελτιωμένη απόδοση του συνολικού δικτύου.



### 4.3 Προκλήσεις υλοποίησης IoT υπηρεσιών με χρήση Edge Computing

Σε αντίθεση με το προηγούμενο εδάφιο που παρουσιάστηκαν τα πλεονεκτήματα της υλοποίησης υπηρεσιών IoT με χρήση περιβάλλοντος κατανομής υπολογιστικών πόρων στα άκρα του δικτύου, στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές προκλήσεις που προκύπτουν. Η παρουσίαση των προκλήσεων, μπορεί να οδηγήσει τον αναγνώστη σε καλύτερη αντίληψη του αντικειμένου της παρούσας εργασίας, αλλά και να τον κατευθύνει σε πιο πραγματικά αποτελέσματα στην έρευνα και τη μελέτη του, με δεδομένο ότι οι προκλήσεις που παρουσιάζονται αναμένεται να κατευθύνουν την υλοποίηση των υπηρεσιών IoT σε κόμβους MEC.

#### 4.3.1 Ενσωμάτωση συστημάτων IoT με χρήση Edge Computing

Η υποστήριξη πλήθους διαφορετικών τερματικών συσκευών IoT καθώς και υπηρεσιών που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τις λειτουργικές τους ανάγκες αποτελεί σημαντική πρόκληση. Το υπολογιστικό περιβάλλον στα άκρα του δικτύου Edge Computing, ενσωματώνει ποικίλες πλατφόρμες, δικτυακές τοπολογίες και γενικότερα υπολογιστικά συστήματα. Λόγω των ετερογενών συστημάτων που αποτελούν τις υλοποιήσεις περιβάλλον Edge Computing, παρουσιάζονται πρακτικές δυσκολίες στον προγραμματισμό των υπηρεσιών, τη διαχείριση των πόρων και των δεδομένων, που μεταξύ άλλων βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες.

Ο προγραμματισμός και η ανάπτυξη εφαρμογών IoT που προορίζονται για λειτουργία σε περιβάλλον Edge Computing αναμένεται να παρουσιάσει προκλήσεις. Η ετερογένεια των κόμβων σε περιβάλλον Edge Computing, πιθανόν να απαιτεί τον προγραμματισμό σε διαφορετικά προγραμματιστικά περιβάλλοντα. Επιπρόσθετα, σε αντίθεση με την ανάπτυξη εφαρμογών για υπολογιστικά περιβάλλοντα νέφους που ο κόμβος λειτουργεί εντελώς αυτόνομα, στους κόμβους MEC απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός από την ομάδα ανάπτυξης των υπηρεσιών, με μέριμνα για την εξοικονόμηση πόρων του δικτύου. Τέλος, ενώ αναπτύσσονται λύσεις για την διαχείριση των προκλήσεων κατά τη φάση ανάπτυξης των υπηρεσιών, καμία έως τώρα δεν λαμβάνει ειδική μέριμνα για τις υπηρεσίες IoT.

Όσον αφορά τη διαχείριση των δεδομένων, παρουσιάζονται επίσης προβλήματα που χρήζουν επίλυσης για την ομαλή λειτουργία υπηρεσιών IoT σε περιβάλλον Edge Computing. Οι μονάδες αποθήκευσης δεδομένων, λειτουργούν με πλήθος διαφορετικών λειτουργικών συστημάτων. Η αρχιτεκτονική τους λοιπόν διαφέρει σημαντικά, και στη περίπτωση που

απαιτείται διαφορετικά συστήματα αποθήκευσης δεδομένων να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, αναμένεται να παρουσιαστούν προβλήματα στη διαχείριση των πόρων, την αξιοπιστία των συστημάτων κ.α.. Τέλος, επειδή τα συστήματα διαχείρισης δεδομένων έχουν υλοποιηθεί με σκοπό τη διαχείριση συστημάτων σε στατικό περιβάλλον, αναμένονται δυσκολίες στη διαχείριση δυναμικών συστημάτων που λειτουργούν σε κατανεμημένα περιβάλλοντα στα άκρα του δικτύου.

#### *4.3.2 Διαχείριση διαθέσιμων πόρων*

Η συσσωμάτωση των υπηρεσιών IoT σε υπολογιστικά περιβάλλοντα Edge Computing, απαιτεί ενδελεχή κατανόηση και βελτιστοποίηση της διαχείρισης των πόρων του συστήματος. Οι συσκευές IoT, συχνά παρουσιάζουν ελλείψεις στη σχεδίαση ως προς τη διαχείριση των υπολογιστικών και δικτυακών πόρων, με φυσικό επακόλουθο να προκαλείται συμφόρηση στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο και αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης τόσο των τερματικών συσκευών όσο και των κόμβων του δικτύου. Οι κόμβοι MEC, πρέπει να διαθέτουν μηχανισμούς ελέγχου της κατασπατάλησης των πόρων του συστήματος, σε περίπτωση υπηρεσιών που δε διαθέτουν τον απαιτούμενο σχεδιασμό. Η ετερογένεια των παρόχων των υπηρεσιών IoT και των τερματικών συσκευών κάνει ακόμα πιο επιτακτική την ορθή σχεδίαση των υπηρεσιών IoT και των μηχανισμών επίβλεψης στους κόμβους Edge Computing. Σε ένα σύστημα με πολλαπλούς διαφορετικούς παρόχους πόρων και ποικιλομορφία ως προς τις απαιτήσεις των υπηρεσιών και των τερματικών συσκευών, η κατανομή, ο διαμοιρασμός και η τιμολόγηση των πόρων των συστημάτων Edge Computing μπορεί να ικανοποιηθεί μεγιστοποιώντας και βελτιστοποιώντας τη συνολική οικονομική ευημερία του οικοσυστήματος, μέσω τεχνικών δημοπρασίας ή άλλων στρατηγικών. Το μοντέλο δημοπράτησης των πόρων, ως μέσο διαχείρισης, θα δίνει τη δυνατότητα μια δίκαιης κατανομής πόρων στις τερματικές συσκευές και ταυτόχρονα θα μεγιστοποιεί το οικονομικό όφελος στους παρόχους των πόρων. Ταυτόχρονα, διασφαλίζεται η πλήρης χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων ενός συστήματος, καθώς ακόμα και σε περιόδους χαμηλής κινητικότητας και ζήτησης, όπως για παράδειγμα νυχτερινές ώρες, οι πόροι θα παρέχονται με χαμηλότερο οικονομικό αντίτιμο. Τα σχήματα δημοπράτησης πόρων του συστήματος, προϋποθέτουν τη δημιουργία των απαραίτητων διαδικασιών, που θα είναι απόλυτα ασφαλείς και ευαίσθητες ως προς τα προσωπικά δεδομένα των χρηστών που μεταφέρουν οι τερματικές συσκευές. Επιπρόσθετα, υπάρχει και το μοντέλο της βελτιστοποίησης του οικονομικού οφέλους του παρόχου των πόρων

του συστήματος. Το συγκεκριμένο μοντέλο, επιτρέπει την παροχή πόρων, στους χρήστες που επιλέγει ο πάροχος. Επίσης, το μοντέλο αυτό, παρέχει ευελιξία στους παρόχους, που μπορούν να δημιουργούν συμβόλαια παροχής υπηρεσιών στους MEC κόμβους. Κατά αυτή την έννοια, οι πάροχοι μπορεί να διαθέτουν διαφορετικά οικονομικά αντίτιμα ανάλογα με την ώρα της ημέρας που επιθυμούν να δραστηριοποιούνται οι υπηρεσίες, ανάλογα με την ποιότητα που δεσμεύονται ότι θα παρέχουν και γενικότερα ανάλογα με οποιοδήποτε χαρακτηριστικό της υπηρεσίας επιθυμούν.

#### *4.3.3 Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα*

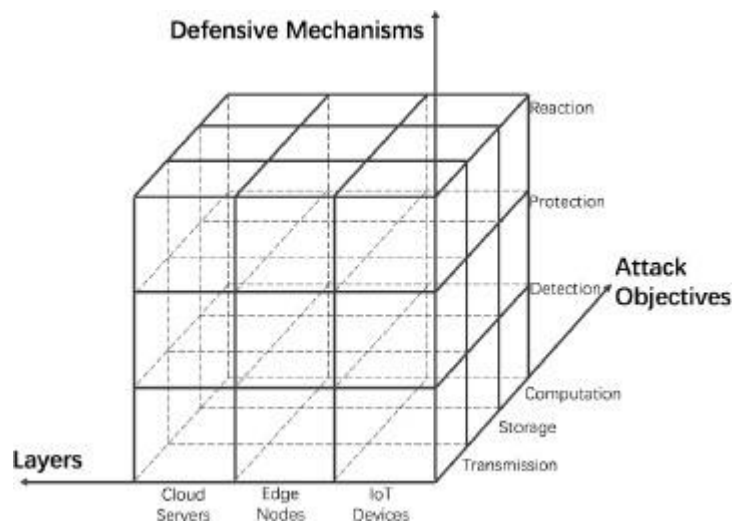
Η ασφάλεια των δεδομένων καθώς και η ιδιωτικότητα των τελικών καταναλωτών των υπηρεσιών αποτελούν πολύ σημαντικό ζήτημα που πρέπει να μελετηθεί. Στην υιοθέτηση της τεχνολογίας Edge Computing για υπηρεσίες IoT, το ζήτημα της ασφάλειας των δεδομένων και της ιδιωτικότητας αποτελούν μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις. Η τεχνολογία Edge Computing βασίζεται στη διασύνδεση διαφορετικών τεχνολογιών, και απαιτεί την υλοποίηση ενός συστήματος που θα επιτηρεί και διαχειρίζεται το σύνολο των στοιχείων μιας λύσης Edge Computing. Η ανάπτυξη υλοποιήσεων σε περιβάλλον Edge Computing, θα δημιουργήσει νέες προκλήσεις στην κομμάτι της ασφάλειας της υπηρεσίας. Περιπτώσεις κενών ασφαλείας που δε θα έχουν προβλεφθεί κατά την υλοποίηση των υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα η αλληλεπίδραση πλήθους ετερογενών συσκευών και συστημάτων και η ενσωμάτωση υπηρεσιών σε παγκόσμια και τοπική γεωγραφική κλίμακα δημιουργεί δυνητικές κακοήθεις συμπεριφορές. Επιπρόσθετα, όπως ακριβώς και στο υπολογιστικό περιβάλλον νέφους, υπάρχουν πολλές προκλήσεις που προκύπτουν από την ίδια την αρχιτεκτονική της υπηρεσίας και πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Η κατανεμημένη δομή των συστημάτων και υπηρεσιών, ενώ προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στο Internet of Things, δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις ως προς την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα των δεδομένων τελικών χρηστών. Η φυσική δομή του περιβάλλοντος Edge Computing, είναι πιο ευάλωτη σε σχέση με το υπολογιστικό περιβάλλον νέφους Cloud, καθώς δεν θα βρίσκεται σε παρόμοιο φυσικό περιβάλλον και θα μπορεί πιο εύκολα να αποκτήσει κάποιος πρόσβαση σε κάποιο σύστημα Edge Computing. Εκτός από τις προκλήσεις φυσικής ασφάλειας των συστημάτων, ένα επιπλέον συχνό πρόβλημα είναι κάποιος τελικός καταναλωτής με σκοπό την παραποίηση των δεδομένων του, σε περιπτώσεις μετρήσεων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ύδρευσης και άλλα, μπορεί να υποδυθεί την τερματική

συσκευή, και να μεταδώσει ψευδή δεδομένα. Για το λόγο αυτό, απαιτείται πιστοποίηση από τους κόμβους αναμετάδοσης δεδομένων και τα συστήματα περιβάλλοντος Edge Computing, για τον κάθε κόμβο που συνδέεται και μεταδίδει δεδομένα. Επιπρόσθετα, η λειτουργία του περιβάλλοντος Edge Computing, από διαφορετικές εταιρίες και παρόχους υπηρεσιών, δημιουργεί προβλήματα στη δημιουργία μιας καθολικής λύσης ασφαλείας για όλο το περιβάλλον Edge Computing.

Ακολούθως, αναλύονται οι προκλήσεις ασφαλείας στους τρεις βασικούς πυλώνες του Edge Computing, τη μετάδοση των δεδομένων, την αποθήκευση των δεδομένων και την υπολογιστική διεργασία που αυτά υφίστανται.

**Προκλήσεις ασφάλειας στη μετάδοση δεδομένων:** Η διασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων κατά τη διαδικασία μετάδοσης τους εντός του δικτύου αποτελεί την κυρίαρχη πρόκληση για της υπηρεσίες IoT που υλοποιούνται με χρήση περιβάλλοντος Edge Computing. Κατά τη διάρκεια της μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των τερματικών συσκευών και των εφαρμογών, συγκεκριμένες επιθέσεις θα μπορούσαν να παρεμποδίσουν τη μετάδοση των δεδομένων ή και ακόμα να παρακολουθήσουν τη ροή μετάδοσης δεδομένων. Στα δίκτυα μετάδοσης δεδομένων, όπως αυτά υλοποιούνται έως σήμερα, οι αλλαγές και παραμετροποιήσεις στο δίκτυο γίνονται από τους διαχειριστές του δικτύου με αξιόπιστο τρόπο. Οι υλοποιήσεις σε περιβάλλον Edge Computing, θα χρησιμοποιούν πλήθος διαφορετικών δικτύων για τη μετάδοση των δεδομένων των υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα Wi-Fi και το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Η διαχείριση των διαφορετικών δικτύων μετάδοσης δεδομένων αποτελεί πρόκληση, επειδή τα δίκτυα δεν θα διαχειρίζονται από τους παρόχους του περιβάλλοντος του Edge Computing, αλλά από ξεχωριστές ανεξάρτητες επιχειρηματικές οντότητες. Η αντιμετώπιση της συγκεκριμένης πρόκλησης μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τη χρήση της τεχνολογίας δικτύωσης που βασίζεται σε λογισμικό, Software Defined Networking (SDN). Οι βασικές πτυχές της τεχνολογίας SDN που θα χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες.



Σχήμα 14 Απεικόνιση προβλήματος Edge Computing για υπηρεσίες IoT

➤ Ανίχνευση κακόβουλων ενεργειών

Η υλοποίηση ενός συστήματος παρακολούθησης του δικτύου, το οποίο ταυτόχρονα διαθέτει και δυνατότητες ανίχνευσης κακόβουλων ενεργειών, δίνει τη δυνατότητα της παρακολούθησης και εξέτασης της κίνησης δεδομένων που μεταφέρεται εντός του δικτύου. Η εξέταση των πακέτων του δικτύου, προσπαθεί να ανιχνεύσει τμήματα κακόβουλου κώδικα λογισμικού, που μεταφέρεται εντός του δικτύου μετάδοσης. Με τη χρήση τεχνικών SDN, είναι πολύ απλή η υλοποίηση ενός τέτοιου δικτύου, και βελτιώνεται η διαχείριση της ροής των δεδομένων του δικτύου σε υπηρεσίες Internet of Things που υλοποιούνται σε περιβάλλον Edge Computing.

➤ Προστασία δεδομένων υπηρεσιών

Για την προστασία των δεδομένων των υπηρεσιών, η απομόνωση και προτεραιοποίηση της κίνησης των δεδομένων των υπηρεσιών που μεταφέρεται εντός του δικτύου μετάδοσης, είναι ο πιο αποδοτικός τρόπος. Στην περίπτωση αυτή, η τεχνολογία SDN μπορεί να απομονώσει την κίνηση που προέρχεται από διαφορετικά υποδίκτυα VLAN ή να διαχωρίσει την κίνηση σε περεταίρω υποδίκτυα ώστε τελικά να βρεθεί και να απομονωθεί ο κόμβος που προκαλεί τις κακόβουλες ενέργειες εντός του δικτύου. Συνεπώς, η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτροπή συγκεκριμένων κακόβουλων ενεργειών εντός του δικτύου.

➤ Αντίδραση σε μελλοντικές κακόβουλες επιθέσεις

Υπάρχουν επιστημονικές έρευνες και μελέτες που αποσκοπούν στην έγκαιρη αντίληψη και αντίδραση σε κακόβουλες ενέργειες στο επίπεδο δικτύου των υπηρεσιών σε περιβάλλον Edge Computing. Αντίστοιχες προσπάθειες και αντίμετρα για κακόβουλες ενέργειες εφαρμόζονται και σε συμβατικά δίκτυα επικοινωνιών.

**Αποθήκευση δεδομένων:** Στις υπηρεσίες IoT σε περιβάλλον Edge Computing, θα παράγεται μεγάλο πλήθος δεδομένων από τον μεγάλο αριθμό αισθητήρων και τερματικών συσκευών. Τα δεδομένα που παράγονται από τις τερματικές συσκευές και τους αισθητήρες, θα μεταφέρονται σε μονάδες αποθήκευσης στο άκρο του δικτύου, και κοντά στην παρεχόμενη υπηρεσία. Οι μονάδες που θα παρέχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης, θα υλοποιούνται πιθανώς από ανεξάρτητες επιχειρηματικές οντότητες και κατά συνέπεια δε θα τις διαχειρίζεται ο πάροχος του υπολογιστικού περιβάλλοντος Edge Computing. Παρουσιάζονται λοιπόν προκλήσεις, όσον αφορά τη διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων, της πρόσβασης μη εξουσιοδοτημένων οντοτήτων και χρηστών στα δεδομένα καθώς και η διασφάλιση της αξιοπιστίας των δεδομένων.

**Υπολογιστική διεργασία δεδομένων υπηρεσιών:** Σημαντικές είναι οι προκλήσεις στην ασφάλεια των δεδομένων που προκύπτουν από την ανάθεση υπολογιστικών διεργασιών από τις υπηρεσίες και εφαρμογές, σε κόμβους MEC στα άκρα του δικτύου που διαθέτουν υπολογιστικές δυνατότητες. Με σκοπό τη διασφάλιση των υπολογιστικών διεργασιών, αλλά και ταυτόχρονα την αύξηση των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων στα άκρα του δικτύου, έχει αναπτυχθεί μια διαδικασία πιστοποίησης για την εισαγωγή νέων κόμβων στα άκρα του δικτύου. Με βάση τη διαδικασία αυτή, όποια μη αξιόπιστη συσκευή επιθυμεί να διαθέσει υπολογιστικούς πόρους για τις υπηρεσίες που λειτουργούν σε περιβάλλον, πιστοποιείται από αξιόπιστους κόμβους, ώστε να της επιτραπεί να λειτουργεί στο περιβάλλον του Edge Computing. Τέλος, λόγω της αποκεντριοποιημένης διαχείρισης του περιβάλλοντος Edge Computing και του μεγάλου αριθμού συσκευών που είναι διασυνδεδεμένες με τις υπηρεσίες που υλοποιούνται στο περιβάλλον αυτό, ερευνητικές εργασίες προτείνουν υλοποιήσεις σε επίπεδο υπηρεσίας για τη διασφάλιση της υπηρεσίας. Παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής διασφάλισης της υπηρεσίας είναι η SecureBox.

#### *4.3.4 Προηγμένα συστήματα επικοινωνίας*

Τα δίκτυα 5ης γενιάς 5G, αποτελούν την εξέλιξη της τεχνολογίας των σημερινών δικτύων επικοινωνίας. Ο στόχος τους είναι να παρέχουν διασύνδεση στο Διαδίκτυο και πρόσβαση σε πληροφορίες που επιθυμούν οι τελικοί χρήστες, σε οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκονται αυτοί. Συνεπώς, οι έννοιες των δικτύων 5G, του IoT και της χρήσης υπολογιστικών πόρων στα άκρα του δικτύου Edge Computing, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα, για την επίτευξη ευέλικτων, αξιόπιστων και αποδοτικών επικοινωνιών. Επιπρόσθετα, αξίζει να αναφερθεί ότι η τεχνολογία 5G, μπορεί να βοηθήσει την αποδοτικότητα των υπηρεσιών IoT.

<b>Βασικές απαιτήσεις του 5G δικτύου και οι τεχνολογίες που απαιτούνται για την επίτευξή τους</b>		
<b>Απαίτηση</b>	<b>Λεπτομέρειες</b>	<b>Τεχνολογίες που το επιτυγχάνουν</b>
<b>Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων</b>	10 Gbps peak data rate; 100 Mbps cell edge data rate; Enhancing mobile broadband services	Millimeter wave communications; Massive MIMO; Ultra-densification.
<b>Χαμηλοί χρόνοι απόκρισης του τηλεπικοινωνιακού δικτύου</b>	1 ms end-to-end latency	D2D communications; Big data and mobile cloud computing
<b>Επικοινωνίες με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας</b>	10 0 0 times decrease in energy consumption per bit; Enhancing massive machine type communications.	Ultra-densification;  D2D communications; Green communications
<b>Δυνατότητα επεκτασιμότητας του δικτύου</b>	Accommodating 50 billion devices	Massive MIMO; Wireless software-defined networking; Mobile cloud computing.
<b>Βελτιωμένη συνδεσιμότητα και αξιοπιστία του δικτύου</b>	Improving connectivity for cell edge users	Ultra-densification; D2D communications; Wireless software-defined networking;
<b>Αυξημένη ασφάλεια στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο</b>	Standardization on authentication, authorization and accounting	Wireless software-defined networking; Big data and mobile cloud computing

*Πίνακας 2 Απαιτήσεις δικτύου 5G*

#### *4.3.5 Υποστήριξη από το επιχειρηματικό οικοσύστημα*

Η ανάπτυξη των συστημάτων IoT με χρήση υπολογιστικού περιβάλλοντος Edge Computing, προϋποθέτει την υποστήριξη από το επιχειρηματικό οικοσύστημα. Το συγκεκριμένο, απαιτεί την διανομή πόρων στις περιοχές αυτές, με σκοπό την εξερεύνηση νέων επιχειρηματικών ευκαιριών. Περιοχές που μπορούν να χρησιμοποιήσουν Edge Computing περιβάλλον για την ανάπτυξη των υπηρεσιών που παρέχουν, είναι το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο, οι έξυπνες πόλεις, η έξυπνη οδική μεταφορά, η τηλεϊατρική και άλλες.



## 5 Παραδείγματα εφαρμογών MEC με IoT

Ένας κόμβος MEC και πιο συγκεκριμένα η μονάδα ME host του κόμβου αποτελεί ένα προνομιούχο σημείο για τη λειτουργία μιας υπηρεσίας ή εφαρμογής που είναι ευαίσθητη ως προς το χρόνο, με δεδομένη την εγγύτητα του κόμβου MEC και του τελικού χρήστη της υπηρεσίας. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αναμένεται να εκμεταλλευθεί πλήρως, καθώς σύμφωνα με προβλέψεις, το μεγαλύτερο ποσοστό των δεδομένων από υπηρεσίες IoT, θα συλλέγεται, αποθηκεύεται και επεξεργάζεται σε κόμβους edge, δηλαδή στο άκρο του δικτύου, και πλησιέστερα στον τελικό χρήστη από ότι γίνεται τώρα. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ένα ME σύστημα θα δώσει τη δυνατότητα στις IoT εφαρμογές να εγκατασταθούν στα σημεία πρόσβασης των παρόχων τηλεπικοινωνιακών δικτύων, δηλαδή στους σταθμούς βάσης. Η εγκατάσταση της εφαρμογής κοντά στο σταθμό βάσης, δίνει τη δυνατότητα να αξιοποιηθεί το δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών με μειωμένο χρόνο καθυστέρησης latency.

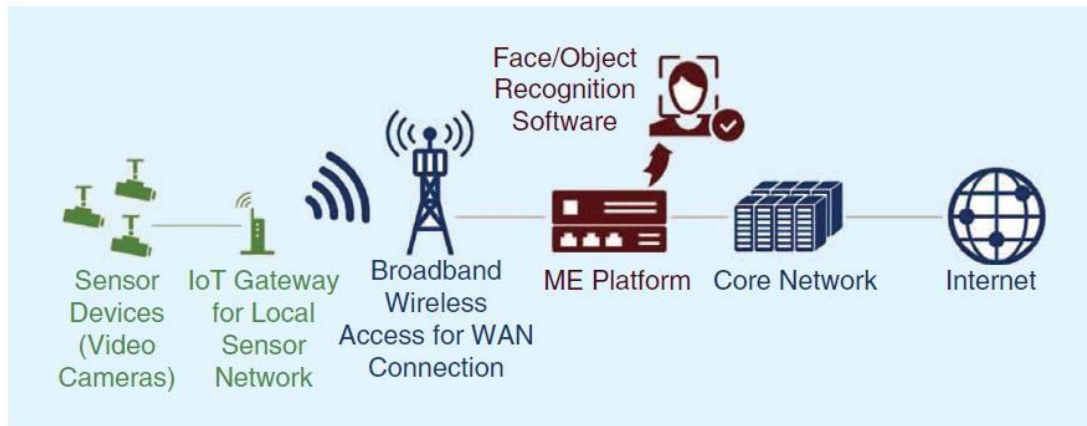
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αρχικά εφαρμογές IoT με χρήση τεχνολογίας MEC, όπως έχουν παρουσιαστεί και από τον ETSI. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια πρόταση για τις επικοινωνίες μεταξύ συσκευών στο δίκτυο IoT.

### 5.1 Σενάριο χρήσης MEC σε εγκατάσταση IoT για παρακολούθηση και ασφάλεια

Το παράδειγμα της χρήσης εγκατάστασης MEC για υπηρεσίες IoT, παρουσιάζει ενδιαφέρον στην περίπτωση όπου απαιτείται έντονη υπολογιστική ισχύς, στη συγκεκριμένη περίπτωση σε χρήση εικόνας, δηλαδή video και ανάλυση εικόνας για την αναγνώριση αντικειμένων. Το συγκεκριμένο παράδειγμα απεικονίζεται και στο Σχήμα 15.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ένα δίκτυο από IoT συσκευές, για παράδειγμα οι κάμερες καταγραφής video συνδέονται στο ευζωνικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο (LTE ή κάποιο άλλο δίκτυο), μέσω μιας θύρας IoT gateway. Οι ροές της εικόνας του βίντεο αποστέλλονται στο ME host που λειτουργεί η εφαρμογή του IoT, που έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται εικόνα. Η συγκεκριμένη εφαρμογή εκτελεί τις απαραίτητες διεργασίες επεξεργασίας, και όταν εντοπιστεί κάποια ανωμαλία, ενημερώνεται κάποιο κατάλληλο κέντρο στο Διαδίκτυο. Το συγκεκριμένο κέντρο μπορεί να είναι είτε φυσικό είτε ψηφιακό, αλλά η ενημέρωση αποστέλλεται πάντα προς κάποια ψηφιακή εφαρμογή. Η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτρέπει τη δημιουργία κέντρων παρακολούθησης υψηλού κόστους, και ταυτόχρονα αποφεύγει

την υπερφόρτωση του δικτύου κορμού ενός τηλεπικοινωνιακού παρόχου από τη συνεχή μεταφορά βίντεο εικόνας.

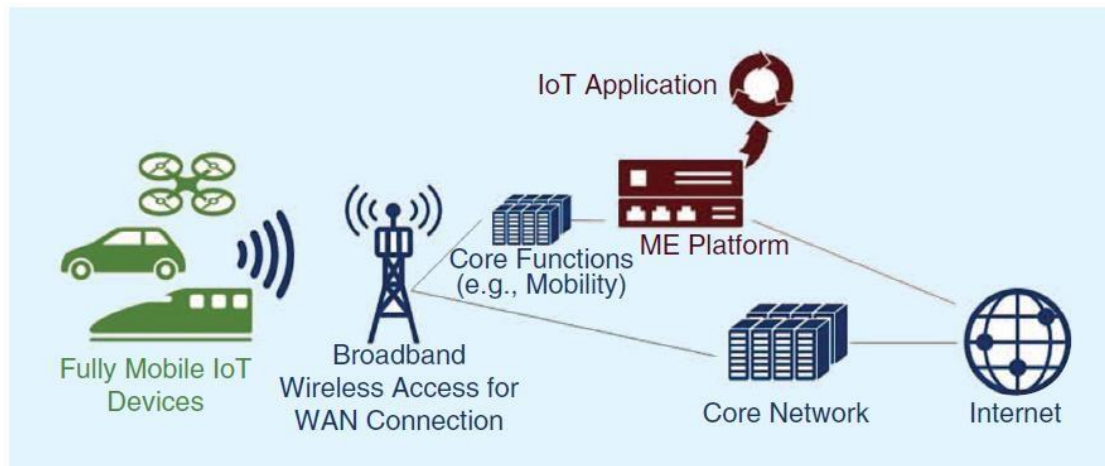


Σχήμα 15 Παρακολούθηση και επεξεργασία βίντεο με χρήση MEC κόμβου

## 5.2 Σενάριο χρήσης MEC σε εγκατάσταση IoT για αποφόρτιση των δυνατοτήτων των IoT συσκευών

Αντίστοιχα με το προηγούμενο παράδειγμα, το συγκεκριμένο αποτελεί μια εφαρμογή που δεν απαιτεί τη δυνατότητα για κινητικότητα, καθώς οι κόμβοι είναι στατικοί. Παραδείγματα είναι έξυπνοι μετρητές για την παρακολούθηση της κατανάλωσης νερού ή ηλεκτρικής ενέργειας, αισθητήρες για έξυπνα σπίτια και βιομηχανικό αυτοματισμό και γενικά οποιαδήποτε έξυπνη συσκευή είναι εγκατεστημένη σε σταθερό σημείο ακόμα και αν χρησιμοποιεί κάποια ασύρματη ζεύξη για να επικοινωνεί με το υπόλοιπο δίκτυο. Με δεδομένο ότι συσκευές τέτοιου τύπου επιτελούν περιορισμένες λειτουργίες, η μονάδα επεξεργασίας δεδομένων λειτουργεί στον κόμβο MEC ως ME application. Με χρήση των εργαλείων που παρέχονται από την πλατφόρμα ME platform, τέτοιες εφαρμογές μπορούν να διαχειρίζονται πολύ πιο εύκολα σε σχέση με τη λειτουργία των εφαρμογών στις απομακρυσμένες συσκευές, που πολλές φορές μπορεί να απαιτούσαν και φυσική παρουσία για την αναβάθμισή τους. Η μονάδα MEC, όπως έχει αναφερθεί και πριν, μπορεί να βρίσκεται στο σταθμό βάσης, ή σε άλλο σημείο του ραδιοδικτύου Radio Access Network RAN. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, πρέπει να δίνεται η δυνατότητα στον κόμβο ME, να μπορεί να απομονώνει κίνηση και να τη μεταφέρει στην εφαρμογή ME application, χωρίς να επηρεάζει την ομαλή λειτουργία της κίνησης δεδομένων που πραγματοποιούν άλλοι χρήστες ή εφαρμογές.

### 5.3 Σενάριο χρήσης MEC για συνδεδεμένα αυτοκίνητα και κινούμενες συσκευές IoT



Σχήμα 16 Χρήση MEC για συνδεδεμένα αυτοκίνητα και κινούμενες συσκευές

Αντίθετα με τα προηγούμενα δυο παραδείγματα υπηρεσιών, εφαρμογές του IoT απαιτούν να τους παρέχεται η δυνατότητα να συνδέονται στο δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών, καθώς κινούνται στο χώρο και καλύπτονται από διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Τέτοιες εφαρμογές μπορεί να είναι ιπτάμενα αντικείμενα drones, οχήματα που κινούνται σε δρόμους, τρένα και διάφορα άλλα. Στην περίπτωση αυτή, η αρχιτεκτονική που παρουσιάστηκε προηγουμένως για τους στατικούς κόμβους, παρουσιάζονται προβλήματα στην επικοινωνία των IoT συσκευών με τα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών. Ο τρόπος που πραγματοποιείται η διαχείριση των κινούμενων κόμβων, δηλαδή μέσω των μονάδων του core δικτύου ενός τηλεπικοινωνιακού παρόχου, δεν μπορεί να καλύψει της ανάγκες για edge εφαρμογές που λειτουργούν στα άκρα του δικτύου. Η υποστήριξη της κινητικότητας των συσκευών με χρήση πλατφόρμας ME platform, θα επιφέρει αλλαγές στις αρχιτεκτονικές του δικτύου, που με βάση την υπάρχουσα αρχιτεκτονική δεν μπορούν να υποστηριχθούν. Το συγκεκριμένο ζήτημα είναι ανοιχτό στην ερευνητική κοινότητα και στις εταιρίες, που προσπαθούν να μεταφέρουν λειτουργίες του δικτύου σε εικονικές υποδομές στα άκρα του δικτύου. Η κατεύθυνση που υπάρχει, είναι να μεταφερθούν λειτουργίες του δικτύου core, όπως η μονάδα Evolved Packet Core (EPC) σε εικονικές υποδομές στο άκρο του δικτύου και πλησιέστερα στον τελικό χρήστη, για να μπορούν να υποστηριχθούν IoT συστήματα με χρήση MEC. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η πλατφόρμα ME θα διασυνδέει το δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών με τις μονάδες που χειρίζονται τα πακέτα δεδομένων του δικτύου, όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 16. Η ανάπτυξη πάντως του συγκεκριμένου τομέα, και η ανάγκη που παρατηρείται για εικονικές

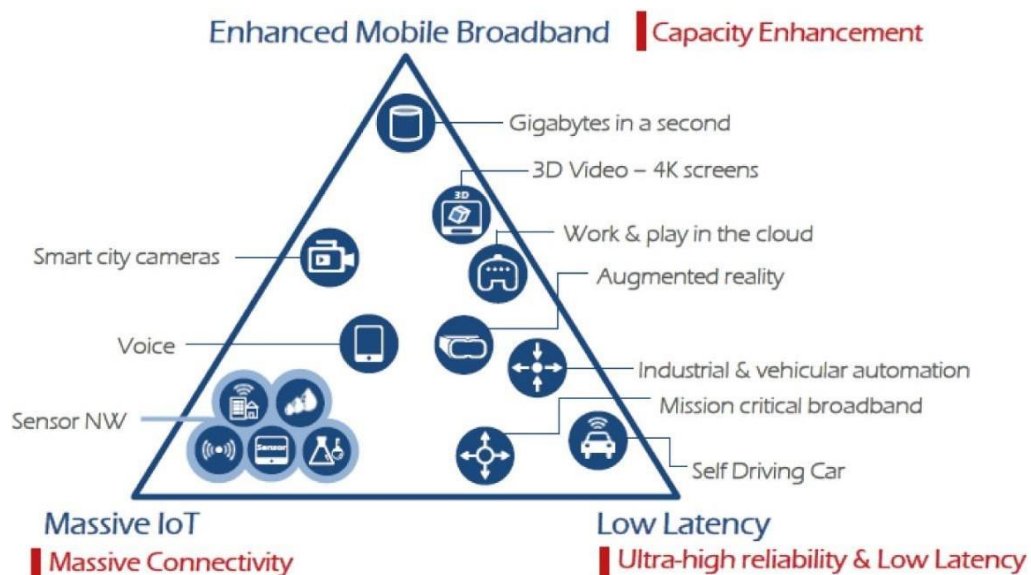
υλοποιήσεις στα άκρα του δικτύου, οδηγεί στη μεταφορά των λειτουργιών ενός δικτύου σου Network Function Virtualization υποδομές.

## 6 Αλγόριθμος αποφόρτισης δικτύου κορμού

Εκτός από την παράθεση θεωρητικών παραδειγμάτων καθώς και του τρόπου υλοποίησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας, με βάση τις δημοσιεύσεις του οργανισμού ETSI καθώς και ερευνητικές δημοσιεύσεις από τη βιβλιογραφία, είναι σημαντική η περαιτέρω συνεισφορά στη συγκεκριμένη ερευνητική περιοχή.

Για το λόγο αυτό, παρουσιάζεται επιγραμματικά ένας αλγόριθμος για στατικές συσκευές, δηλαδή συσκευές που δεν μεταβάλλουν τη γεωγραφική τους θέση ενώ βρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας, με σκοπό να αποφορτιστεί το δίκτυο κορμού ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου από τα πακέτα δεδομένων που παράγονται από συσκευές IoT.

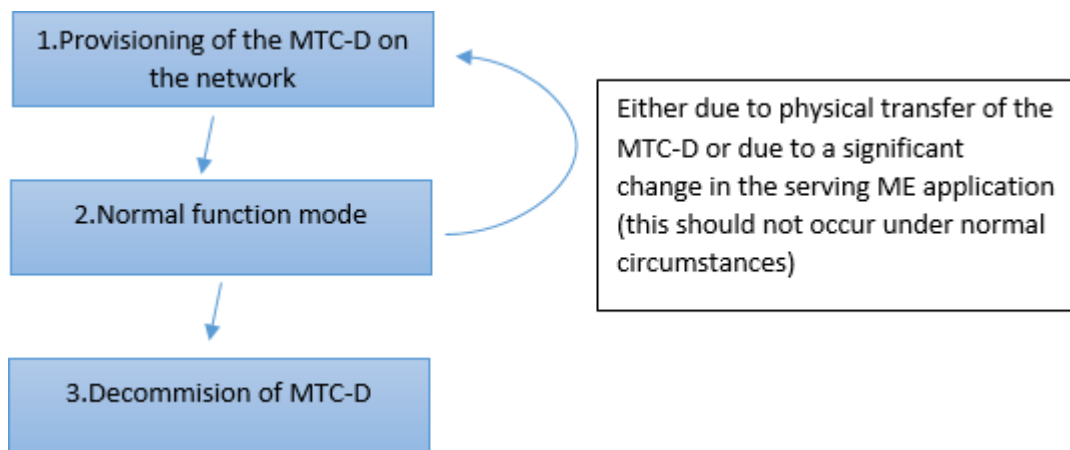
Αρχικά, αξίζει να αναφέρουμε ότι με βάση τη βιβλιογραφία, η τηλεπικοινωνιακή κίνηση που παράγεται από συσκευές IoT, χωρίζεται σε μαζική κίνηση massive Machine Type Communications (mMTC), και σε κίνηση που απαιτεί αξιοπιστία και χαμηλό χρόνο καθυστέρησης latency Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC). Η πρόταση που παρουσιάζεται ακολούθως, προτείνεται για την περίπτωση επικοινωνίας τύπου mMTC.



(Source: ETRI graphic, from ITU-R IMT 2020 requirements)

Σχήμα 17 Κατηγοριοποίηση τηλεπικοινωνιακής κίνησης για 5G επικοινωνίες

Επίσης, πρέπει να οριστούν τα στάδια μια συσκευής που συνδέεται σε ένα δίκτυο IoT. Όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 18, μια συσκευή πρώτα πρέπει να ενεργοποιηθεί στο δίκτυο, δηλαδή στο ME application στο οποίο θα λειτουργεί, στη συνέχεια θα λειτουργεί με φυσιολογικά επιτελώντας τις λειτουργίες που του έχουν ανατεθεί, μέχρις ότου είτε μετακινηθεί σε κάποιο άλλο ME application είτε αποφασιστεί ότι πλέον δεν χρειάζεται να λειτουργεί η συγκεκριμένη συσκευή και μπορεί να τερματιστεί η λειτουργία του.



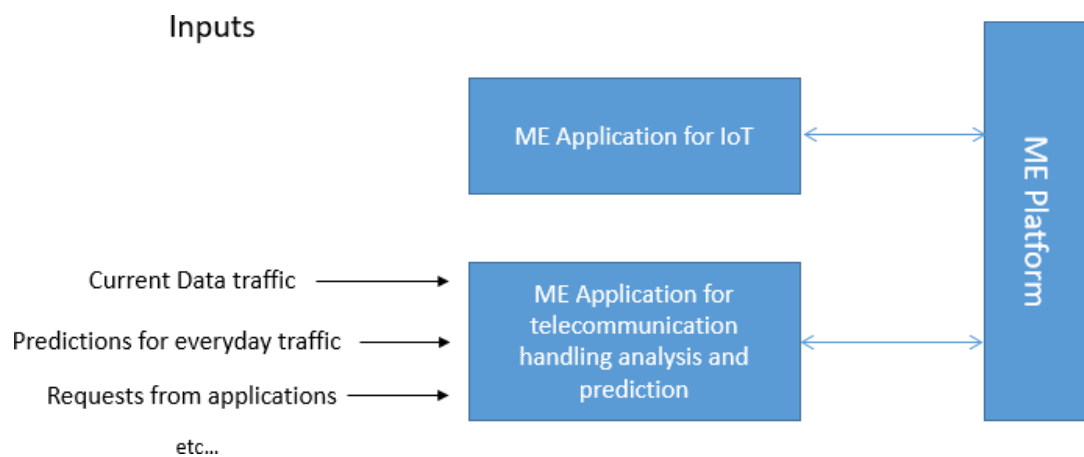
Σχήμα 18 Στάδια μιας συσκευής IoT

Η πρόταση του αλγορίθμου αφορά το στάδιο φυσιολογικής λειτουργίας, δηλαδή κατά τη διάρκεια που μια συσκευή επιτελεί τις φυσιολογικές λειτουργίες τις. Στα παραδοσιακά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, η εκκίνηση της επικοινωνίας και η σηματοδότηση πραγματοποιείται πάντοτε από την συσκευή και ποτέ από το δίκτυο. Εξετάζοντάς όμως τις αλλαγές που πραγματοποιούνται, καθώς και τις υπηρεσίες που θα λειτουργούν στο μέλλον, είναι σημαντικό η όποια πρόταση για σχεδιασμό του δικτύου και των υπηρεσιών, να μη στηρίζεται στα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που ήδη υπάρχουν, αλλά να εισάγει νέα χαρακτηριστικά.

Για το λόγο αυτό, προτείνεται λοιπόν η εκκίνηση της επικοινωνίας να πραγματοποιείται από την εφαρμογή, γνωρίζοντας το φόρτο τηλεπικοινωνιακής κίνησης που υπάρχει, και τους πιθανούς χρόνους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία μεταξύ της εφαρμογής και των συσκευών. Ανάγεται λοιπόν η κλασική μορφή επικοινωνίας των παραδοσιακών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, σε επικοινωνία που θα ορίζει η ME πλατφόρμα, με βάση τις εισόδους που λαμβάνει από την εφαρμογή ME application που υποστηρίζει και διαχειρίζεται τις IoT συσκευές. Με βάση την αρχιτεκτονική του MEC, όπως

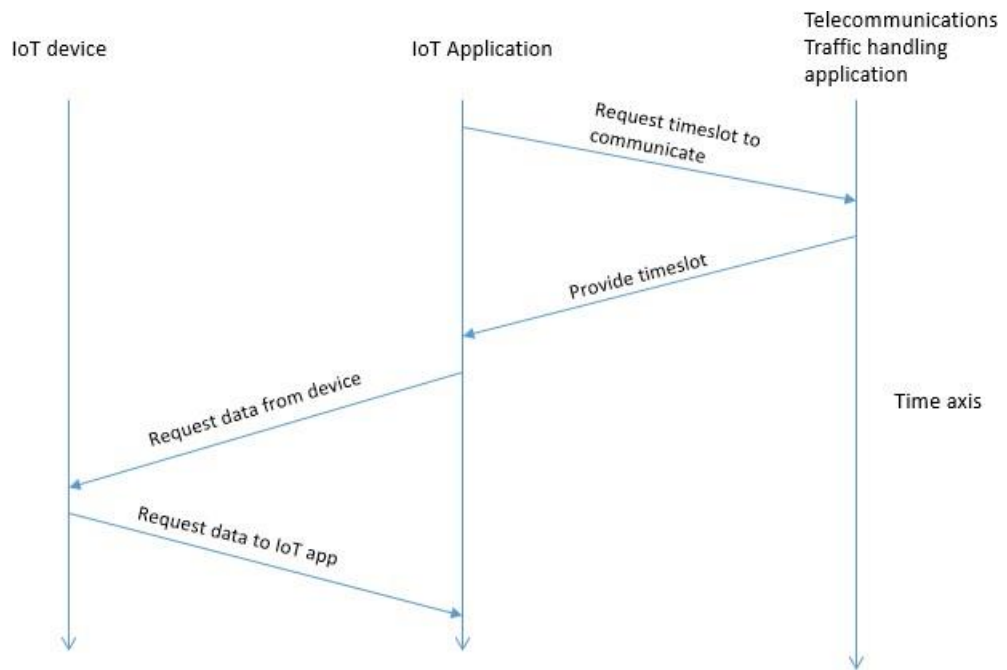
ορίστηκε στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, μπορεί να υλοποιηθεί μια εφαρμογή ME application από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο που διαχειρίζεται το δίκτυο, που θα διαχειρίζεται και θα προβλέπει την τηλεπικοινωνιακή κίνηση, με χρήση εργαλείων ανάλυσης και πρόβλεψης. Η εφαρμογή που θα χειρίζεται τις πληροφορίες της τηλεπικοινωνιακής κίνησης του δικτύου θα λαμβάνει ως είσοδο τις απαιτήσεις της εφαρμογής που διαχειρίζεται την εκάστοτε υπηρεσίας IoT, και θα υποδεικνύει χρονικές στιγμές για την επικοινωνία της εφαρμογής προς τη συσκευή.

Για τις συγκεκριμένες συσκευές IoT, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η προτεραιότητα της πληροφορίας που μεταφέρεται. Απεικονιστικά η εφαρμογή θα μπορεί να λειτουργεί όπως φαίνεται στα Σχήματα 19 και 20.



Σχήμα 19 Πλατφόρμα ME για την περίπτωση μαζικών συσκευών IoT

Συγκεκριμένα, το Σχήμα 20 παρουσιάζει τα βήματα που ακολουθούνται από όλους τους εμπλεκόμενους κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας. Η εφαρμογή που λειτουργεί στην ME Platform, αρχικά αιτείται από την εφαρμογή διαχείρισης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, μια χρονική στιγμή που μπορεί να επικοινωνήσει με τη συσκευή. Στη συνέχεια λαμβάνει το συγκεκριμένο χρονικό περιθώριο που της δίνεται η δυνατότητα να επικοινωνήσει με τη συσκευή, και στη συνέχεια εντός αυτού του περιθωρίου επικοινωνεί. Η IoT συσκευή που έως τότε βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής - προς εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που αποτελεί ένα από τα βασικά προαπαιτούμενα των τηλεπικοινωνιακών δικτύων επόμενης γενιάς - μεταβαίνει σε κατάσταση λειτουργίας από την κατάσταση αδράνειας, πραγματοποιεί την όποια λειτουργία είναι προγραμματισμένο να εκτελεί (για παράδειγμα ένας μετρητής θερμοκρασίας όταν του ζητηθεί να μετράει τη θερμοκρασία), και στη συνέχεια θα μεταφέρει αυτή την πληροφορία στην εφαρμογή προς αποθήκευση και επεξεργασία.



*Σχήμα 20 Βήματα επικοινωνίας με βάση την πρόταση της παρούσας εργασίας.*



## 7 Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

Η χρήση MEC κόμβων στο άκρο του δικτύου θα δώσει τη δυνατότητα για τη δημιουργία πλήθους νέων εφαρμογών και υπηρεσιών για οικιακούς και εταιρικούς καταναλωτές. Η ψηφιοποίηση των πάντων, μέσω του Internet of Things αλλά και των υπηρεσιών που αυτό θα παρέχει, θα αλλάξουν τον τρόπο που ο κόσμος λειτουργεί καθημερινά. Τα δίκτυα 5ης γενιάς αναμένεται να αποτελέσουν τη βάση και το μέσο για την εκμετάλλευση της πληροφορίας που παράγεται.

Συμπερασματικά, πρέπει να αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος τομέας βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο. Αρχικά, ενώ τα πρότυπα έχουν ήδη δημιουργηθεί, πρέπει να υλοποιηθούν τόσο οι εικονικές υποδομές όσο και οι κατάλληλες εφαρμογές που θα διαχειρίζονται τις πληροφορίες για να προσφέρουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα στους ανθρώπους και γενικά στην ανθρωπότητα, αλλά και όλα αυτά να υιοθετηθούν από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους.

Μελλοντικές πιθανές επεκτάσεις στο συγκεκριμένο αντικείμενο μπορούν να είναι οι ακόλουθες:

- Εφαρμογή προσομοιώσεων για την μέτρηση του οφέλους της εφαρμογής MEC κόμβων σε υπηρεσίες IoT
- Επέκταση της μελέτης για την περίπτωση της χρήσης IoT σε συσκευές που κινούνται στο χώρο



## 8 Βιβλιογραφία

V. Issarny, N. Georgantas, S. Hachem, A. Zarras, P. Vassiliadis, et al. Service-Oriented Middleware for the Future Internet: State of the Art and Research Directions. Journal of Internet, Services and Applications, Springer, 2011.

E. Kosmatos, N. Tselikas and A. Boucouvalas, "Integrating RFIDs and Smart Objects into a Unified Internet of Things Architecture," *Advances in Internet of Things*, Vol. 1 No. 1, 2011, pp. 5-12. doi: 10.4236/ait.2011.11002.

D. An, Q. Yang, W. Yu, X. Yang, X. Fu and W. Zhao, "SODA: Strategy-Proof Online Double Auction Scheme for Multimicrogrids Bidding," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 48, no. 7, pp. 1177-1190, July 2018.

A Survey on the Edge Computing for the Internet of Things, IEEE Access, 2017.

IoT platforms: enabling the Internet of Things, HIS Technology White Paper, March 2016.

A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials.*, vol. 17, no. 4, pp. 2347\_2376, 4th Quart., 2015.

F. Bonomi, R. Milito, P. Natarajan, and J. Zhu, "Fog computing: A platform for Internet of Things and analytics," in *Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments (Studies in Computational Intelligence)*, vol. 546. Cham, Switzerland: Springer, 2014, pp. 169\_186.

D. Georgakopoulos, P. P. Jayaraman, M. Frazia, M. Villari, and R. Ranjan, "Internet of Things and edge cloud computing roadmap for manufacturing," *IEEE Cloud Comput.*, vol. 3, no. 4, pp. 66\_73, Jul./Aug. 2016.

M. M. Hossain, M. Fotouhi, and R. Hasan, "Towards an analysis of security issues, challenges, and open problems in the Internet of Things," in *Proc. IEEE World Congr. Serv. (SERVICES)*, Jun. 2015, pp. 21\_28.

J. Liu, Y. Mao, J. Zhang, and K. B. Letaief, "Delay-optimal computation task scheduling for mobile-edge computing systems," in *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Jun. 2016, pp. 1451\_1455.

T. Zhao, S. Zhou, X. Guo, Y. Zhao, and Z. Niu, "Pricing policy and computational resource provisioning for delay-aware mobile edge computing," in *Proc. IEEE/CIC Int. Conf. Commun. China (ICCC)*, Jul. 2016, pp. 1-6.

A. Kiani and N. Ansari. (Dec. 2016). "Towards hierarchical mobile edge computing: An auction-based profit maximization approach." Available: <https://arxiv.org/abs/1612.00122>

Y. Zhang, C. Lee, D. Niyato, and P. Wang, "Auction approaches for resource allocation in wireless systems: A survey," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 15, no. 3, pp. 1020\_1041, 3rd Quart., 2013.

Internet of Things IOT: Definition, Characteristics, Architecture Enabling Technologies, Application & Future Challenges 2016.

ETSI GS MEC-IEG 004 V1.1.1 2015 Mobile-Edge Computing (MEC); Service Scenarios.

ETSI GS MEC 003 V1.1.1 2016 Mobile-Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture.

ETSI GS MEC 001 V1.1.1 2016 Mobile-Edge Computing (MEC); Mobile Edge Computing (MEC) Terminology.

D. Sabella, A. Vaillant, P. Kuure, U. Rauschenbach and F. Giust, "Mobile-Edge Computing Architecture: The role of MEC in the Internet of Things," in IEEE Consumer Electronics Magazine, vol. 5, no. 4, pp. 84-91, Oct. 2016. Chih-Lin I, Han S, Xu Z, Sun Q, Pan Z. 2016 5G: rethink mobile communications for 2020+. Phil. Trans. R.

Ian F. Akyildiz, Shuai Nie \*, Shih-Chun Lin, Manoj Chandrasekaran , 5G roadmap: 10 key enabling technologies, Elsevier Computer Networks.

[http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1774-5g\\_wiseharbour](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1774-5g_wiseharbour)

<http://www.3gpp.org/release-15>

<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/thing-in-the-Internet-of-Things>

<https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>