

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

ΛΥΔΙΑ ΚΩΣΤΙΚΙΔΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΩΤΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2020

ΛΥΔΙΑ ΚΩΣΤΙΚΙΔΟΥ

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

ΛΥΔΙΑ ΚΩΣΤΙΚΙΔΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΩΤΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2020

ΛΥΔΙΑ ΚΩΣΤΙΚΙΔΟΥ

.....
Λυδία Κωστικίδου

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

Copyright © Λυδία Κωστικίδου, 2020

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 το 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 Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η τεχνολογία Mobile/Multi-Access Edge Computing (MEC). Αναφέρονται οι λόγοι που οδήγησαν στην εμφάνιση της και οι απαιτήσεις υλοποίησης της. Περιγράφεται η δομή της, η δυνατότητα συνδυασμού της με το Cloud Computing και η αξιοποίηση της στο υπάρχον δίκτυο 4G καθώς και στο επερχόμενο 5G.

Αρχικά δίνεται ο ορισμός του MEC και η παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του. Αφού αναλύεται ο ρόλος του κάθε στοιχείου της δομής του, παρουσιάζονται οι πιο κατάλληλες περιπτώσεις χρήσης της τεχνολογίας. Μελετώνται επίσης οι απαιτήσεις υλοποίησης της ενώ έμφαση δίνεται στα πλεονεκτήματα της υλοποίησης του MEC σε συνδυασμό με το CRAN. Τέλος, περιγράφεται η αξιοποίηση της τεχνολογίας σε 4G και 5G δίκτυα και τονίζεται η ανεξαρτησία της τεχνολογίας από το δίκτυο.

Οι περισσότερες επιχειρήσεις που ασχολούνται με σχετικά αντικείμενα έχουν ήδη επενδύσει στην έρευνα και ανάπτυξη στην κατεύθυνση του MEC. Το συνολικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παρούσα διπλωματική εργασία είναι ότι το Mobile Edge Computing είναι απαραίτητο για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του υπάρχοντος δικτύου και πολύ περισσότερο του 5G δικτύου.

Λέξεις Κλειδιά

Mobile/Multi-Access Edge Computing, Cloud Computing, Fog Computing, Internet of Things, Ανεξαρτησία από το δίκτυο

Abstract

The purpose of this thesis is to examine Mobile/Multi-Access Edge Computing (MEC) technology. The requirements that led to its development and its deployment challenges are mentioned. MEC's structure, the ability of co-deployment with Cloud Computing and its exploitation in existing 4G and upcoming 5G networks are described.

The thesis begins with the definition of MEC and the MEC's architecture presentation. After analyzing the role of each structure's item, the most suitable use cases for the technology are presented. The challenges of the deployment are examined while emphasis is placed on the advantages of MEC and CRAN co-deployment. Finally, the exploitation of the technology in 4G and 5G networks is described and the independency from the network is highlighted.

Most companies working on related fields have already invested in research and development in MEC's direction. The general conclusion that comes up from this thesis is that Mobile Edge Computing is necessary in order to fully benefit from the capabilities of the existing network and even more from the 5G network.

Key Words

Mobile/Multi-Access Edge Computing, Cloud Computing, Fog Computing, Internet of Things, network independency

Ευχαριστίες

Η διπλωματική εργασία αυτή συντάχθηκε κατά τη διάρκεια του 2019 στο τμήμα Μεταπτυχιακών Σπουδών “Τεχνοοικονομικά Συστήματα” στον τομέα των συστημάτων μετάδοσης πληροφορίας και τεχνολογίας υλικών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κύριο Κωπτή που μου έδωσε μέσα από αυτήν την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα σύγχρονο και ενδιαφέρον θέμα, ένα θέμα που όπως φαίνεται θα με απασχολήσει και στην εργασία μου τα επόμενα χρόνια.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και τη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών για την προσφορά χρήσιμων γνώσεων κατά τη διάρκεια όλων των χρόνων φοίτησης σε αυτό αλλά και τους γονείς και φίλους μου.

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

Περιεχόμενα

1 Δίκτυα επόμενης γενιάς:Απαιτήσεις-Λύσεις.....	13
1.1 Αυξανόμενη ζήτηση εύρους ζώνης και μείωση καθυστερήσεων.....	13
1.2 Εφαρμογές που αυξάνουν τις απαιτήσεις δικτύου.....	14
1.3 Είδη καθυστερήσεων στο δίκτυο.....	16
1.4 Μείωση καθυστερήσεων.....	18
1.5 Γιατί το MEC είναι το μέλλον;.....	21
2 Mobile Edge Computing:Ορισμός και εφαρμογές.....	23
2.1 Τι είναι το Mobile Edge Computing (MEC);.....	23
2.2 Αρχιτεκτονική και Δομή MEC.....	23
2.2.1 Δομή.....	23
2.2.2 Αρχιτεκτονική.....	24
2.3 Διαχείριση κινητικότητας χρήστη και μετακίνηση υπολογιστικού φόρτου.....	28
2.4 Περιπτώσεις χρήσης MEC - πληροφορίες εφαρμογής τεχνολογίας.....	29
2.4.1 Έξυπνη επιτάχυνση video.....	30
2.4.2 Ανάλυση ροής video.....	31
2.4.3 Επαυξημένη πραγματικότητα.....	32
2.4.4 Ανάπτυξη του MEC σε εφαρμογές επιχειρήσεων.....	33
2.4.5 Συνδεδεμένα οχήματα.....	34
2.4.6 Internet of Things (IoT).....	36
2.5 Υλοποιήσεις.....	37
2.6 Τεχνολογίες απαραίτητες για το MEC.....	37
2.6.1 Cloud and Virtualization.....	38
2.6.2 Servers μεγάλης χωρητικότητας.....	38
2.6.3 Εφαρμογές και υπηρεσίες για MEC.....	38
3 CRAN και MEC.....	39
3.1 CRAN και MEC: Πλεονέκτημα συνδυασμένης εφαρμογής.....	39
3.2 Προκλήσεις στο συνδυασμό CRAN και MEC.....	40
3.2.1 Διαχείριση.....	40
3.2.2 Ασφάλεια.....	41

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

3.2.3 Δικτύωση.....	42
3.2.4 Ρυθμιστικοί κανόνες.....	44
3.3 Ενεργοποίηση υπηρεσιών RAN στο MEC.....	45
3.3.1 RNI API.....	45
3.3.2 API Τοποθεσίας.....	46
3.3.3 API ταυτότητας εξοπλισμού χρήστη.....	47
3.3.4 API διαχείρισης εύρους ζώνης.....	47
4 MEC στο 4G και το 5G.....	49
4.1 MEC: Ανεξαρτησία τεχνολογίας από το δίκτυο.....	49
4.2 Εφαρμογή MEC σε 4G δίκτυα.....	49
4.3 Το MEC ως οδηγός για τη μετάβαση στο 5G.....	53
4.4 Εφαρμογή του MEC στην αρχιτεκτονική του 5G.....	54
5 Συμπεράσματα και περαιτέρω έρευνα.....	57
5.1 Προκλήσεις-Ανοιχτά θέματα προς έρευνα.....	57
5.2 Τι θα ακολουθήσει;.....	59
5.3 Αξίζει η επένδυση στο MEC;.....	61

Εικόνες

Σχήμα 1: Ανάλυση της αύξησης της κίνησης του δικτύου κορμού.....	13
Σχήμα 2: Ιεραρχία δικτύου: δίκτυο πρόσβασης, backhaul δίκτυο and δίκτυο κορμού.....	17
Σχήμα 3: Συνεισφορά στην καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου.....	18
Σχήμα 4: Κατηγορίες λύσεων για μείωση καθυστερήσεων στο 5G.....	19
Σχήμα 5: Δομή MEC.....	24
Σχήμα 6: Αρχιτεκτονική MEC.....	25
Σχήμα 7: Η αρχή της κινητικότητας εφαρμογών στο MEC.....	29
Σχήμα 8: Ευφυής επιτάχυνση βίντεο.....	31
Σχήμα 9: Ανάλυση ροής βίντεο.....	32
Σχήμα 10: Επαυξημένη Πραγματικότητα.....	33
Σχήμα 11: MEC πλατφόρμα σε επιχειρησιακό δίκτυο.....	34
Σχήμα 12: Συνδεδεμένα Οχήματα.....	35
Σχήμα 13: IoT πύλη.....	36
Σχήμα 14: Σενάρια υλοποίησης του MEC Server.....	37
Σχήμα 15: Βασικές EPS Οντότητες και Διεπιφάνειες.....	42
Σχήμα 16: RRU-BBU σύνδεση.....	44
Σχήμα 17: Λήψη RAN πληροφοριών από το MEC απευθείας από το CRAN.....	46
Σχήμα 18: Εφαρμογή MEC με την προσέγγιση “Bump in the wire”.....	50
Σχήμα 19: Εφαρμογή MEC με κατακευματισμένο EPC.....	51
Σχήμα 20: S-GW και P-GW MEC υλοποίηση.....	52
Σχήμα 21: S-GW-LBO υλοποίηση.....	52
Σχήμα 22: Παράδειγμα σύνδεσης MEC με τη 5G αρχιτεκτονική.....	54
Σχήμα 23: Μεταφορά MEC εφαρμογών από το 4G στο 5G.....	55
Σχήμα 24: Εξέλιξη της αρχιτεκτονικής δικτύου.....	60
Σχήμα 25: Προγραμματισμένες συναντήσεις για το MEC το 2020.....	61
Σχήμα 26: Ποιοτικό διάγραμμα παγκόσμιας αγοράς MEC από το 2016 έως το 2024.....	61

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

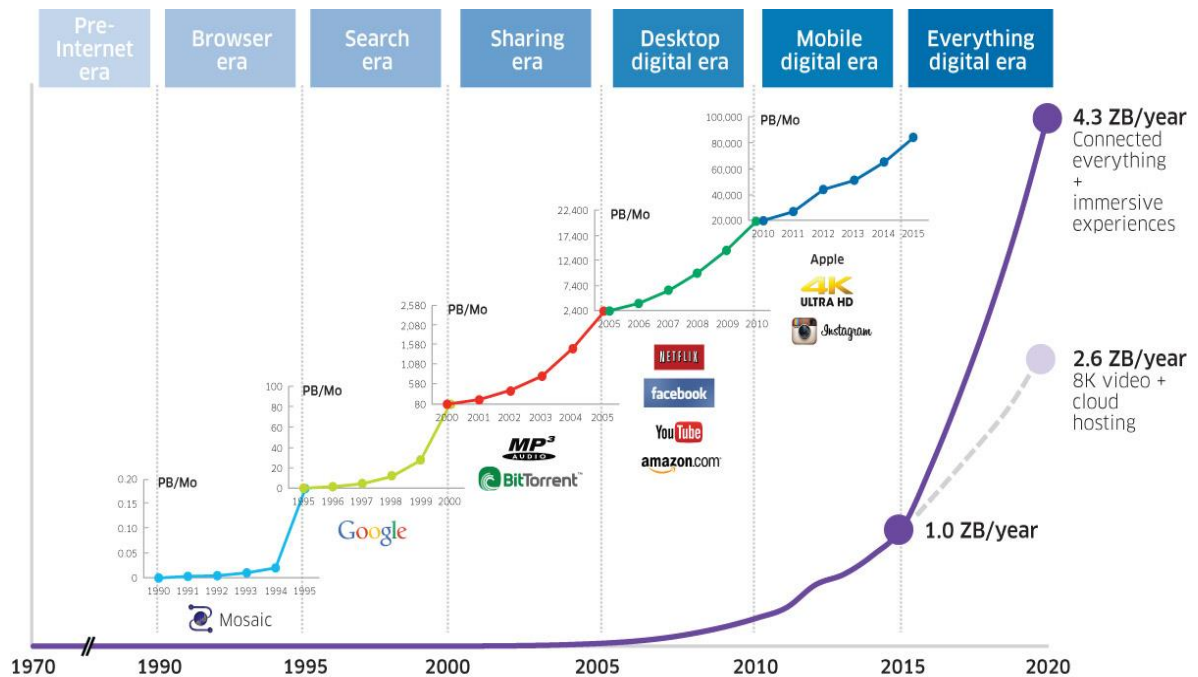
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΑΣ: ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ-ΛΥΣΕΙΣ

1.1 Αυξανόμενη ζήτηση εύρους ζώνης και μείωση καθυστερήσεων

Στη σύγχρονη καθημερινότητα, εμφανίζεται όλο και συχνότερα η απαίτηση για διαδικτυακή κάλυψη και παροχή υπηρεσιών ανά πάσα στιγμή, οπουδήποτε και μάλιστα με ένα εξασφαλισμένο επίπεδο ποιότητας. Μέχρι το 2021 εκτιμάται πως θα υπάρχουν 28 δισεκατομμύρια διασυνδεδεμένων συσκευών παγκοσμίως.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο διαχωρισμός των χρονικών περιόδων με βάση τη μεταφορά δεδομένων που υπήρχε τότε. Αναφέρεται το ποσό δεδομένων που μεταφερόταν ανά χρονικό διάστημα στην κάθε περίοδο καθώς οι βασικές εφαρμογές που αφορούσαν τα δεδομένα αυτά. Τέλος, γίνεται μία πρόβλεψη για την ποσότητα των δεδομένων που αναμένεται να διακινηθούν στα επόμενα χρόνια, συγκεκριμένα μέχρι το 2020.



Σχήμα 1: Ανάλυση της αύξησης της κίνησης του δικτύου κορμού

Οι νέες υπηρεσίες που σταδιακά εμφανίζονται έχουν απαιτήσεις που τα υπάρχοντα 4G δίκτυα δεν μπορούν να καλύψουν. Τα δίκτυα επόμενης γενιάς 5G έχουν στόχο να καλύψουν αυτές τις απαιτήσεις, παρέχοντας εξασφαλισμένες ταχύτητες μετάδο-

σης δεδομένων 100 Mbps οπουδήποτε, μέγιστες ταχύτητες μετάδοσης 10-20 Gbps και σχεδόν μηδενικές καθυστερήσεις.

1.2 Εφαρμογές που αυξάνουν τις απαιτήσεις δικτύου

Ορισμένες από τις εφαρμογές που αυξάνουν τις απαιτήσεις δικτύου παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Εργοστασιακοί μηχανισμοί:

Πρόκειται για τον έλεγχο μηχανών και συστημάτων σε πραγματικό χρόνο με στόχο την αύξηση της ταχύτητας παραγωγής και τον περιορισμό την ανθρώπινης συμμετοχής σε αυτή. Οι γραμμές παραγωγής είναι συνήθως πολλαπλές και συνεχόμενες, πράγμα αρκετά απαιτητικό από άποψη καθυστερήσεων αλλά και αξιοπιστίας.

Απαιτήσεις

Latency	0.25-10 ms
Packet loss rate	10^{-9}
Data Rate	1 Mbps

2. Έξυπνα συστήματα μεταφοράς:

Η αυτόνομη κίνηση των οχημάτων και η διαχείριση της κίνησης των οχημάτων στους δρόμους απαιτεί μεγάλη αξιοπιστία και πολύ χαμηλές καθυστερήσεις στη μετάδοση δεδομένων. Απαιτείται επικοινωνία μεταξύ των αυτόνομα κινούμενων οχημάτων για λόγους ασφαλείας και οργάνωσης της κίνησης. Επίσης, απαιτείται η μετάδοση πληροφοριών σχετικά με τα σήματα των φωτεινών σηματοδοτών και της κατάστασης κίνησης στους δρόμους.

Απαιτήσεις

Latency	10- 100 ms
Packet loss rate	10^{-3} - 10^{-5}
Data Rate	10-700 Mbps

3. Ρομποτική – απομακρυσμένος έλεγχος:

Τα επόμενα χρόνια προβλέπεται η χρήση ρομποτ για έργα σε επικίνδυνες περιοχές μέσω απομακρυσμένου ελέγχου. Αυτό απαιτεί μετάδοση εικόνας σε πραγματικό χρόνο για να μπορέσει να λειτουργήσει αποτελεσματικά.

Απαιτήσεις

Latency	1 ms
Data Rate	100 Mbps

4. Εικονική πραγματικότητα:

Η εικονική πραγματικότητα υποστηρίζει υπηρεσίες όπου πολλαπλοί χρήστες αλληλεπιδρούν μέσω προσομοιώσεων. Οι τωρινές αποδόσεις δικτύων δεν μπορούν να παρέχουν αδιάλειπτες υπηρεσίες εικονικής πραγματικότητας που επιτρέπουν τον πλήρη συντονισμό των απομακρυσμένων χρηστών.

Απαιτήσεις για σταθερή παροχή υπηρεσιών εικονικής πραγματικότητας

Latency	1 ms
Data Rate	1 Gbps

5. Επαυξημένη πραγματικότητα:

Η εισαγωγή πληροφοριών στο οπτικό πεδίο του χρήστη μπορεί να βοηθήσει στην οδήγηση, την εκπαίδευση, τις επισκέψεις σε μουσεία ή άλλους χώρους ενδιαφέροντος, καθώς και υπηρεσίες ασφάλειας.

Απαιτήσεις

Latency	μερικά ms
---------	-----------

6. Υπηρεσίες υγείας:

Η διεξαγωγή απομακρυσμένων ιατρικών διαγνώσεων, η απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών ή ακόμα και η διεξαγωγή χειρουργείων σε απομακρυσμένους ασθενείς με τη βοήθεια ρομπότ είναι υπηρεσίες που απαιτούν υψηλή αξιοπιστία για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν.

Απαιτήσεις για σταθερή παροχή υπηρεσιών εικονικής πραγματικότητας

Latency	1-10 ms
Data Rate	100 Mbps

7. Smart Grid:

Πρόκειται για ένα σύστημα που έχει στόχο την καλύτερη διαχείριση ενέργειας. Απαιτείται η ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τις ενεργειακές ανάγκες κάθε

σπιτιού, τις ώρες αιχμής, τη διαθεσιμότητα ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η αποδοτικότητα του συστήματος εξασφαλίζεται με την εξασφάλιση αυστηρών απαιτήσεων αξιοπιστίας και καθυστερήσεων

Απαιτήσεις

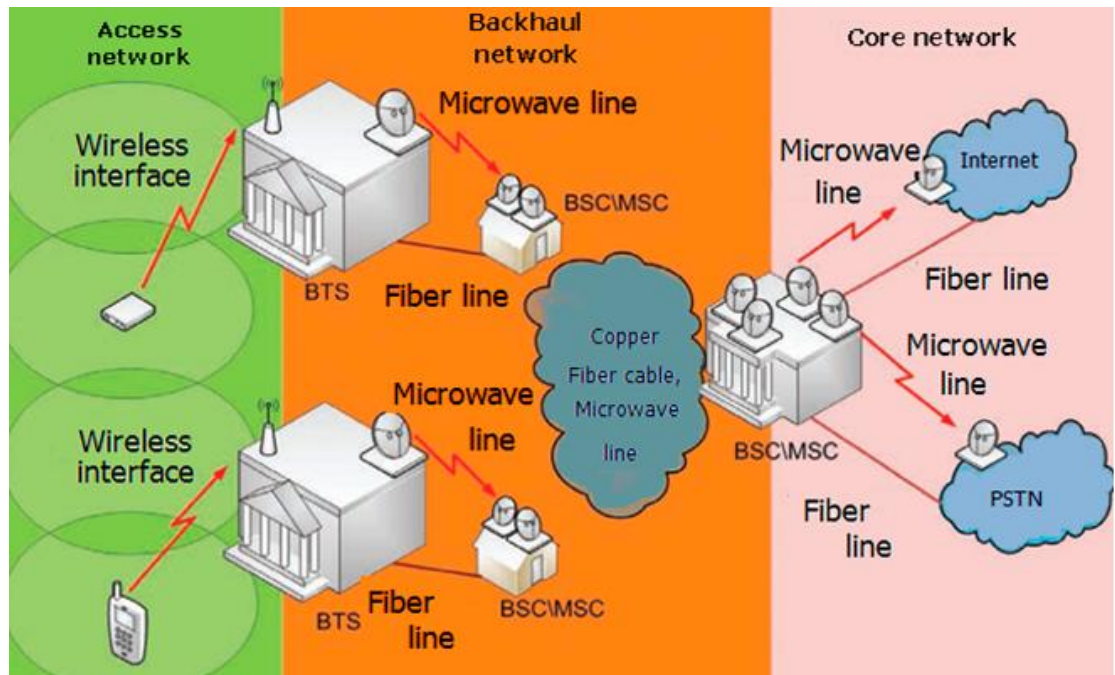
Latency	1-20 ms
Data Rate	10-1500 Kbps

1.3 Είδη καθυστερήσεων στο δίκτυο

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια μικρή αναφορά στην ιεραρχία των δικτύων. Αρχικά, θα εξηγηθούν ορισμένοι όροι:

1. Base Transceiver Station(BTS) ή Base Station(BS): Πρόκειται για ένα τμήμα δικτυακού εξοπλισμού που διευκολύνει την ασύρματη επικοινωνία ανάμεσα σε μία συσκευή και το δίκτυο. Περιλαμβάνει κεραιές εκπομπής/λήψης και ηλεκτρονικά κυκλώματα για τη διαχείριση των σημάτων. Συνδέεται με ένα Mobile Switching Center(MSC).
2. Base Station Controller(BSC): Σημαντικό τμήμα ασύρματου δικτύου που ελέγχει έναν ή περισσότερους BSs. Είναι υπεύθυνο για τη διανομή των ραδιοπórων και τα handovers μεταξύ των BSs που ελέγχει. Αποτελεί τον ενδιάμεσο ανάμεσα στα BSs και το MSC.
3. Mobile Switching Center(MSC): Αποτελεί το τμήμα του δικτύου που ελέγχει τα στοιχεία του υποδικτύου μεταγωγής, δηλαδή φροντίζει η πληροφορία που στέλνει ένας σταθμός, αφού περάσει από διάφορους κόμβους του δικτύου, να φτάσει στον κόμβο προορισμού. Επίσης φροντίζει για τα handovers μεταξύ των BSs που βρίσκονται υπό τον έλεγχο διαφορετικών BTSs.
4. Core/Backbone δίκτυο: Είναι το κεντρικό τμήμα ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου που προσφέρει ποικίλες υπηρεσίες στους πελάτες που συνδέονται μέσω του δικτύου access. Το δίκτυο αυτό συνδέει τους τοπικούς παρόχους υπηρεσιών μεταξύ τους.
5. Access δίκτυο(RAN-Radio Access Network): Είναι το τμήμα του τηλεπικοινωνιακού δικτύου που συνδέει τους συνδρομητές με τον πάροχο των υπηρεσιών.
6. Backhaul δίκτυο: Είναι το δίκτυο που μεσολαβεί ανάμεσα στο δίκτυο κορμού και τους σταθμούς βάσης.

Τα παραπάνω συνοψίζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 2: Ιεραρχία δικτύου: δίκτυο πρόσβασης, backhaul δίκτυο and δίκτυο κορμού

Στο δίκτυο LTE υπάρχουν δύο είδη καθυστερήσεων οι U-plane (User plane) ή καθυστερήσεις μετάδοσης και οι C-plane (Control plane).

Το πρώτο είδος καθυστέρησης (U-plane delay) αναφέρεται στο χρόνο που χρειάζεται ώστε ένα πακέτο να περάσει από το IP στρώμα στην πλευρά του αποστολέα στο IP στρώμα στην πλευρά του παραλήπτη. Η συνολική αυτή καθυστέρηση T προκύπτει από το παρακάτω άθροισμα:

$$T = T_{\text{Radio}} + T_{\text{Backhaul}} + T_{\text{core}} + T_{\text{Transport}}$$

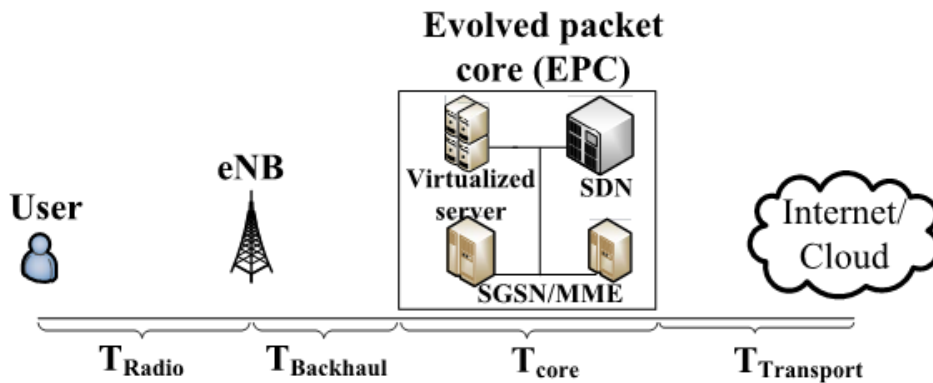
Όπου:

T_{Radio} είναι ο χρόνος μετάδοσης από το χρήστη μέχρι το σταθμό

T_{Backhaul} είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη δημιουργία συνδέσεων μεταξύ των σταθμών και του δικτύου κορμού

T_{core} είναι ο χρόνος επεξεργασίας που χρειάζεται το δίκτυο κορμού

$T_{\text{Transport}}$ είναι οι καθυστερήσεις που δημιουργούνται μεταξύ του δικτύου κορμού και του διαδικτύου



Σχήμα 3: Συνεισφορά στην καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου

Το δεύτερο είδος καθυστέρησης (C-plane delay) αναφέρεται στο χρόνο που απαιτείται για τη μετάβαση μίας συσκευής από κατάσταση σε κατάσταση, και συγκεκριμένα από RRC_IDLE ή DRX (Discontinuous Reception) σε RRC_CONNECTED. Οι καταστάσεις αναλύονται παρακάτω:

1. RRC_IDLE: Η RU (radio unit) είναι ανενεργή. Γίνεται ανάθεση IP διεύθυνσης ώστε το δίκτυο να γνωρίζει την κατάσταση, ωστόσο ο σταθμός βάσης δεν είναι ενήμερος.
2. RRC_CONNECTED: Η RU (radio unit) είναι ενεργή. Τόσο το δίκτυο όσο και ο σταθμός βάσης είναι ενήμεροι για την κατάσταση του εξοπλισμού του χρήστη.
3. DRX: Περιοδική μετάβαση από κατάσταση αδράνειας (sleep mode) σε ενεργή και αντίστροφα.

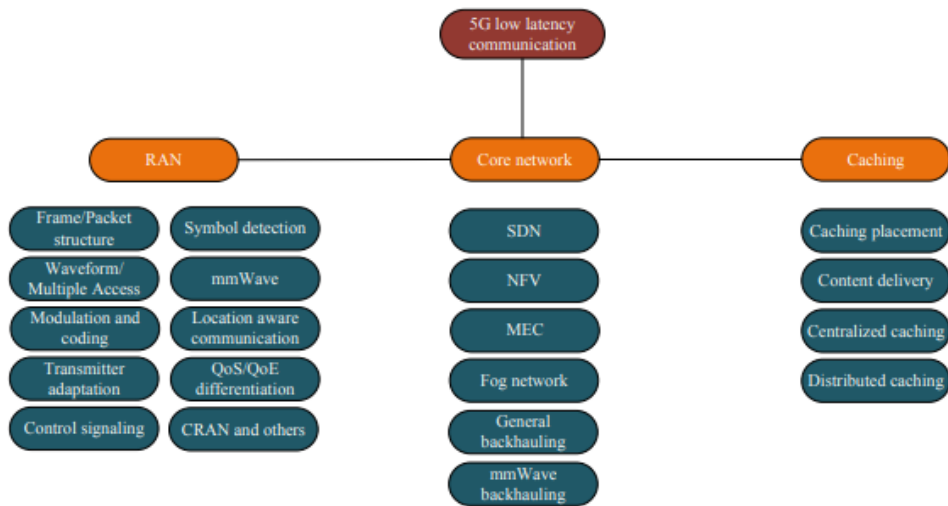
1.4 Μείωση καθυστερήσεων

Οι τεχνικές για τη μείωση των καθυστερήσεων έχουν χωριστεί σε τρεις κατηγορίες και συνοψίζονται στο παρακάτω σχήμα. Οι κατηγορίες είναι

1. λύσεις που αφορούν το access δίκτυο,
2. λύσεις που αφορούν το δίκτυο κορμού και το backhaul καθώς και

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

- λύσεις με caching, δηλαδή χρήση μνήμης υψηλής ταχύτητας για αποθήκευση κάποιων δεδομένων με στόχο την ταχύτερη εξυπηρέτηση μελλοντικών αιτημάτων.



Σχήμα 4: Κατηγορίες λύσεων για μείωση καθυστερήσεων στο 5G

Οι λύσεις στο RAN σχετίζονται με:

- τη δομή των πλαισίων και των πακέτων που χρησιμοποιούνται
- τις τεχνικές διαμόρφωσης-κωδικοποίησης
- τις ρυθμίσεις μετάδοσης
- τη σηματοδότηση ελέγχου
- το περιορισμό πολυπλοκότητας στην ανίχνευση συμβόλων
- τη χρήση αναξιόπιστων μέχρι τώρα τμημάτων εύρους ζώνης (mm Wave 30-300GHz)
- την αξιοποίηση των πληροφοριών τοποθεσίας όσων επικοινωνούν
- τη ρύθμιση ορισμένων παραμέτρων σχετικά με την ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας και
- τη χρήση CRANs(Cloud RANs) δικτύων

Οι λύσεις στο Core και το Backhaul δίκτυο σχετίζονται με:

- SDN (Software Defined Networks)

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

Πρόκειται για μία προσέγγιση αρχιτεκτονικής δικτύου που επιτρέπει τον κεντρικό και έξυπνο έλεγχο του δικτύου μέσω εφαρμογών λογισμικού.

2. NFV (Network Functions Virtualization)

Πρόκειται για μία μέθοδο αποσύνδεσης των λειτουργιών από εξοπλισμό αποκλειστικά αφιερωμένο σε αυτές, και ανάθεσής τους σε εικονικούς εξυπηρετητές.

3. MEC (Mobile Edge Computing)

Θα μελετηθεί αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια

4. Fog

Είναι μια δικτυακή αρχιτεκτονική, οργανωμένη με επιμέρους κόμβους που επικοινωνούν μεταξύ τους και με το Cloud. Οι κόμβοι εκτελούν μέρος των επεξεργασιών που χρειάζονται στα άκρα του δικτύου, κάνοντας προεπεξεργασία στα δεδομένα που αποστέλλονται στο Cloud.

5. General and mmWave backhauling

Πρόκειται για τις αρχιτεκτονικές, τα πρωτόκολλα και τους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται στο backhaul δίκτυο. Η χρήση των mmWave είναι ένα βήμα προς τη βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης και την επίτευξη μικρότερων καθυστερήσεων.

Οι λύσεις με caching είναι:

1. Content caching

Πρόκειται για ανάπτυξη τεχνικών που θα μπορούν να αξιοποιούν τους χρόνους στους οποίους το δίκτυο δεν έχει υψηλή κίνηση.

2. Content delivery

Αναζητώνται τρόποι διανομής πληροφορίας στους χρήστες με στόχο τη μείωση καθυστερήσεων.

3. Distributed caching

Μελετάται το κατανεμημένο caching σε διάφορα σενάρια με στόχο τη μείωση του χρόνου εξυπηρέτησης.

4. Centralized caching

Μελετάται το συγκεντρωμένο caching σε διάφορα σενάρια με την υπόθεση ότι ένας «συντονιστής» έχει πρόσβαση σε όλη την πληροφορία σχετικά με τους διαθέσιμους αποθηκευτικούς χώρους και τη συνδεσιμότητα των χρηστών.

Στην πτυχιακή αυτή εργασία θα μελετηθεί το MEC (Mobile Edge Computing) που αποτελεί τρόπο μείωσης καθυστερήσεων σε ότι αφορά το δίκτυο κορμού.

1.5 Γιατί το MEC είναι το μέλλον;

Οι περισσότερες σύγχρονες συσκευές, εφαρμογές και υπηρεσίες χρησιμοποιούν υπολογιστικούς πόρους cloud. Το υλικό που απαρτίζει το cloud είναι κυρίως CPUs, GPUs, RAMs. Ωστόσο, δεν είναι μόνο το υλικό που καθορίζει το πως οι υπολογιστικοί αυτοί πόροι θα αξιοποιηθούν. Το cloud computing επηρεάζει την ταχύτητα με την οποία μεταδίδονται τα δεδομένα σε ms (latency), καθώς και την ποσότητα δεδομένων που μεταδίδεται σε ένα sec (bandwidth). Αυτοί οι δύο παράγοντες καθορίζουν ποιες εφαρμογές και υπηρεσίες είναι βιώσιμες στο κάθε δίκτυο.

Cloud computing: Πρόκειται για την αποθήκευση δεδομένων και προγραμμάτων στο Internet αντί για τον εκάστοτε υπολογιστή. Δεν υπάρχει πλέον τοπική αποθήκευση δεδομένων αλλά διαμοιρασμένοι πόροι μέσω του Internet.

Το MEC εμφανίστηκε ως σενάριο προς υλοποίηση λόγω των πολλών υποδομών που ήδη έχουν εγκαταστήσει οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, με στόχο την επέκταση των δυνατοτήτων τους. Το internet είναι σχεδιασμένο με βάση την αρχή της καθολικής συνδεσιμότητας. Οποιοσδήποτε μπορεί να επικοινωνήσει με οποιονδήποτε. Υπάρχει συνδεσιμότητα από όλους προς όλους είτε αυτή χρειάζεται είτε όχι. Σε αυτό το μοντέλο η απόσταση μετάδοσης δεδομένων παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας, και άρα είναι σημαντικό να μειωθούν οι αποστάσεις μετάδοσης.

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

MOBILE EDGE COMPUTING: ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

2.1 Τι είναι το Mobile Edge Computing (MEC);

Πρόκειται για μία τεχνολογία που φαίνεται να είναι βασικό στοιχείο για τα δίκτυα 5G, συμβατή με τα τωρινά 4G δίκτυα. Επιτρέπει στους παρόχους να προσφέρουν τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες τους στην άκρη του δικτύου αντί να χρησιμοποιούν το δίκτυο κορμού. Με άλλα λόγια υπάρχει ένα cloud περιβάλλον στην άκρη του δικτύου, κοντά στους χρήστες που προσφέρει τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές σε αυτούς. Η βασική ιδέα πίσω από την εμφάνιση της τεχνολογίας αυτής είναι η τοπική επίλυση των τοπικών προβλημάτων. Το MEC, όχι μόνο μειώνει τις καθυστερήσεις αλλά συμβάλλει και στην αποφυγή συσσωρευμένης κίνησης στο δίκτυο κορμού, αφού την περιορίζει στην τοποθεσία των εκάστοτε χρηστών.

Ο όρος “edge” σημαίνει τον ίδιο το σταθμό βάσης (radio base station) και τους servers στο δίκτυο του. Η παρουσία του MEC server στο “edge” του RAN δικτύου επιτρέπει την παροχή πληροφοριών δικτύου(τοποθεσία συνδρομητή, φόρτος δικτύου) σε πραγματικό χρόνο.

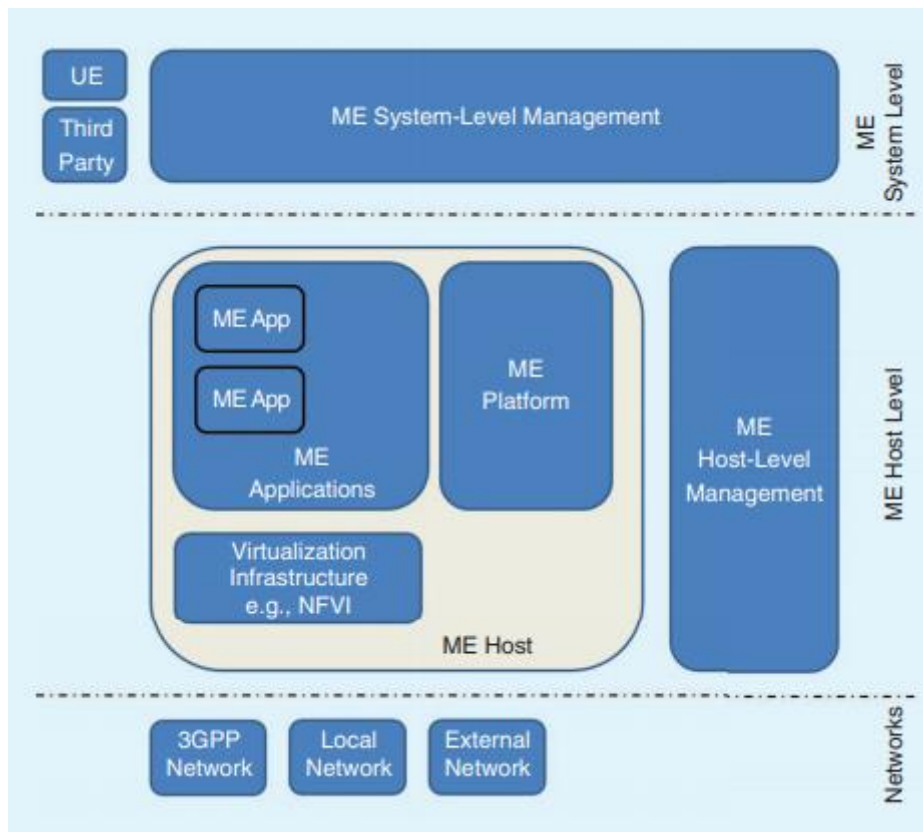
Ο όρος άλλαξε από Mobile Edge Computing σε Multi-Access Edge Computing το Σεπτέμβριο του 2017 από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI). Ο λόγος που οδήγησε στην αλλαγή ήταν ότι η έρευνα έδειξε ότι η άκρη του δικτύου δεν αποτελείται πάντα από ασύρματα δίκτυα όπως αρχικά είχε υποθεθεί.

2.2 Αρχιτεκτονική και Δομή MEC

2.2.1 Δομή

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα το MEC αποτελείται από τρεις λειτουργικές οντότητες:

1. στο επίπεδο συστήματος,
2. στο επίπεδο υπολογιστή και
3. στο επίπεδο δικτύων.

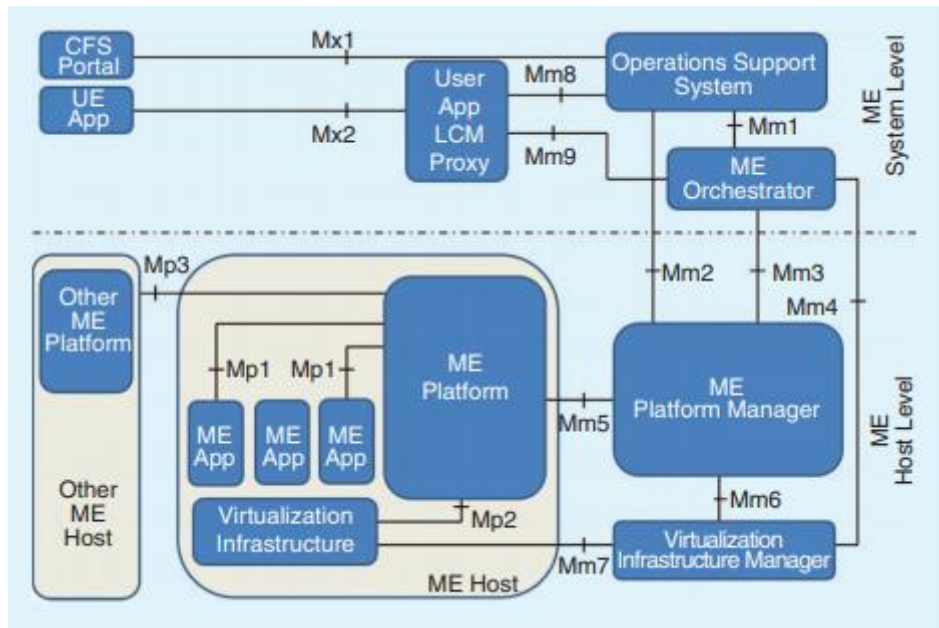


Σχήμα 5: Δομή MEC

1. Το πρώτο επίπεδο (System Level) έχει ολική ορατότητα του ME(Mobile Edge) συστήματος, το οποίο αποτελείται από τους υπολογιστές(ME Hosts) και τις διαδικασίες διαχείρισης, που απαιτούνται για να μπορούν οι ζητούμενες εφαρμογές να εκτελούνται σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο ή υποδίκτυο.
2. Το δεύτερο επίπεδο (Host Level) αποτελείται από το ME Host καθώς και την αντίστοιχη οντότητα διαχείρισης του. Το ME Host με τη σειρά του χωρίζεται στη ME πλατφόρμα, τις εφαρμογές και την υποδομή για Virtualization. Ο όρος Virtualization αναφέρεται στην εικονική δημιουργία κάποιου υπολογιστικού πόρου, σε ένα στρώμα που διαχωρίζεται από τον υλικό εξοπλισμό.
3. Το τρίτο επίπεδο (Networks) εκπροσωπεί τη συνδεσιμότητα σε τοπικά δίκτυα, κυψελοειδή δίκτυα και εξωτερικά δίκτυα όπως το Internet.

2.2.2 Αρχιτεκτονική

Το παρακάτω σχήμα συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των συστημάτων του MEC καθώς και των μεταξύ τους σχέσεων.



Σχήμα 6: Αρχιτεκτονική MEC

Τα τρία επίπεδα που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο για τη δομή του MEC ισχύουν και εδώ. Το επίπεδο δικτύου δεν φαίνεται στο σχήμα καθώς δεν υπάρχουν συγκεκριμένα MEC σημεία αναφοράς που χρειάζονται για πρόσβαση σε αυτές τις οντότητες.

Το ME Host προσφέρει υπολογιστικούς, αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους για τις εφαρμογές ME. Η υποδομή virtualization περιλαμβάνει ένα data/user plane (τμήμα δικτύου που μεταφέρει τα δεδομένα από και προς το χρήστη) που εκτελεί τους κανόνες προώθησης που λαμβάνει από τη ME πλατφόρμα και δρομολογεί τα δεδομένα μεταξύ εφαρμογών, υπηρεσιών και δικτύων.

Η ME πλατφόρμα αντιπροσωπεύει μια σειρά βασικών λειτουργιών που απαιτούνται για να εκτελεστούν εφαρμογές σε ένα συγκεκριμένο ME host και να μπορούν οι εφαρμογές αυτές να ανακαλύπτουν, διαφημίζουν, προσφέρουν και χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες ME. Οι υπηρεσίες αυτές μπορούν να προσφέρονται αλλά και να χρησιμοποιούνται από την πλατφόρμα και τις εφαρμογές. Οι βασικές λειτουργίες που προαναφέρθηκαν απαιτούνται για τη διαχείριση της κίνησης ανάμεσα σε εφαρμογές, υπηρεσίες και δίκτυα. Η ME πλατφόρμα λαμβάνει τους κανόνες προώθησης της κίνησης από τον αντίστοιχο διαχειριστή, από ME εφαρμογές και υπηρεσίες, και ανάλογα με αυτά και τις ακολουθούμενες πολιτικές παρέχει οδηγίες για το πλάνο προώθησης. Επιπλέον, η ME πλατφόρμα φροντίζει για τη διαμόρφωση του DNS proxy/server που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατεύθυνση των δεδομένων του χρήστη στις επιθυμητές εφαρμογές. Η ME πλατφόρμα μπορεί να επικοινωνήσει με άλλες ME πλατφόρμες μέσω μιας Mp3 διασύνδεσης (πρόκειται για μία διασύνδεση μεταξύ ME πλατφορμών που χρησιμοποιείται για ανταλλαγή στοιχείων ελέγχου μεταξύ τους). Έτσι είναι δυνατή η ομαδοποίηση πολλαπλών πλατφορμών.

DNS (Domain Name System/Server): πρόκειται για μία βάση δεδομένων που περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την αντιστοίχιση των URLs στις IP διευθύνσεις που αντιστοιχούν. Έτσι επιτρέπει τη σύνδεση των χρηστών σε διάφορες ιστοσελίδες.

Οι εφαρμογές εκτελούνται ως εικονικές μηχανές πάνω στην υποδομή virtualization. Οι εφαρμογές αλληλεπιδρούν με τη ME πλατφόρμα μέσω μιας mp1 διασύνδεσης για να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες που παρέχονται από την πλατφόρμα. Οι εφαρμογές μπορούν επίσης να προσφέρουν υπηρεσίες στην πλατφόρμα που μπορεί με τη σειρά της να τις προσφέρει σε άλλες εφαρμογές. Η mp1 διασύνδεση χρησιμοποιείται για πρόσθετη υποστήριξη διαδικασιών, όπως η υπόδειξη διαθεσιμότητας των εφαρμογών. Οι ME εφαρμογές υποδεικνύουν τις απαιτήσεις τους σε πόρους και τα όρια των επιτρεπόμενων καθυστερήσεων. Οι απαιτήσεις μελετώνται στο επίπεδο συστήματος και επιλέγεται ο κατάλληλος ME host.

Ο διαχειριστής της ME πλατφόρμας (ME platform manager-MEPM) είναι μία οντότητα του host επιπέδου που χωρίζεται σε διαχειριστή στοιχείων (element manager), κύκλου ζωής εφαρμογών (application lifecycle manager) και κανόνων και απαιτήσεων εφαρμογών (application rules and requirements manager). Η διαχείριση κύκλου ζωής εφαρμογών περιλαμβάνει την έναρξη και τον τερματισμό διαδικασιών καθώς και την ενημέρωση του ME συντονιστή (ME orchestrator-MEO) για γεγονότα σχετικά με τις εφαρμογές. Η διαχείριση κανόνων και απαιτήσεων περιλαμβάνει κανόνες κίνησης, παροχή δικαιωμάτων, DNS διαμορφώσεις και επίλυση θεμάτων που δημιουργούνται από αλληλοσυγκρουόμενους κανόνες. Η διασύνδεση μεταξύ της πλατφόρμας ME και του MEPM (Mm5) χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της πλατφόρμας, την πρόβλεψη των κανόνων φιλτραρίσματος της κίνησης, τη μετατόπιση των εφαρμογών και την υποστήριξη των διαδικασιών που έχουν να κάνουν με τον κύκλο ζωής των εφαρμογών. Η διασύνδεση (Mm2) του MEPM με τον OSS (Operations Support System) χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της επίδοσης και των λαθών της ME πλατφόρμας. Η διασύνδεση (Mm3) μεταξύ του MEO και του MEPM παρέχει υποστήριξη για τη διαχείριση του κύκλου ζωής των εφαρμογών και τις σχετικές με τις εφαρμογές πολιτικές και διατηρεί ενημερωμένες τις πληροφορίες στις διαθέσιμες ME υπηρεσίες.

Ο MEO έχει ορατότητα όλων των πόρων και δυνατοτήτων του ME συστήματος αποτελώντας έτσι το κέντρο λειτουργιών του ME συστήματος. Περιέχει πληροφορίες για όλο το ME σύστημα, γνωρίζει ποιοι είναι οι ME hosts, τις υπηρεσίες και τους πόρους που είναι διαθέσιμοι σε καθέναν, τις εφαρμογές που εκτελούνται και την τοπολογία του δικτύου. Έχει την ευθύνη για τη διαχείριση των εφαρμογών, τον έλεγχο αυθεντικότητας της εφαρμογής, την επικύρωση των ακολουθούμενων

πολιτικών αλλά και τη διατήρηση καταλόγου με τις διαθέσιμες εφαρμογές. Επιπλέον, προετοιμάζει την εκκίνηση των εφαρμογών παρέχοντας οδηγίες στο διαχειριστή των virtualization υποδομών για την αντιμετώπιση των εφαρμογών. Ο MEO φροντίζει να καλύπτονται οι απαιτήσεις των εφαρμογών. Λαμβάνει τις απαιτήσεις από τις εφαρμογές και διαλέγει τον κατάλληλο host και σε περίπτωση που απαιτείται αλλαγή του, αυτός εκκινεί τη διαδικασία. Η διασύνδεση του MEO με τον OSS (Mm1) χρησιμοποιείται για την εκκίνηση και τον τερματισμό των εφαρμογών. Η διασύνδεση του MEO με το διαχειριστή της virtualization υποδομής (Mm4) χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των “εικονικών” πόρων του host, τη διαχείριση των προς εκκίνηση εφαρμογών και τη διατήρηση της κατάστασης των διαθέσιμων πόρων. Ο OSS αποτελεί μία ευρέως χρησιμοποιούμενη λειτουργία για τη διαχείριση υπηρεσιών και υποδικτύων του δικτύου.

Από την πλευρά του ME συστήματος, ο OSS είναι το υψίστου επιπέδου σύστημα διαχείρισης που φροντίζει για την εκτέλεση των εφαρμογών στο σωστό σημείο του δικτύου. Ο OSS λαμβάνει αιτήματα εκκίνησης και τερματισμού ME εφαρμογών από την πύλη αντιμετώπισης πελατών(customer-facing service portal – CFS portal) και τους πελάτες. Όντας στα σύνορα ενός συγκεκριμένου δικτύου και του εξωτερικού κόσμου, ελέγχει την αυθεντικότητα της εφαρμογής και εγκρίνει ή απορρίπτει το αίτημα. Όταν ένα αίτημα εγκρίνεται από τον OSS, προωθείται στο MEO για περαιτέρω επεξεργασία. Ο OSS μπορεί επίσης να μετακινήσει τις εφαρμογές μεταξύ διαφορετικών συστημάτων cloud.

Η CFS πύλη αποτελεί σημείο επικοινωνίας με τρίτους. Ο πάροχος μπορεί να προβλέψει, να επιλέξει και να παραγγείλει τις ME εφαρμογές. Οι προγραμματιστές που τις υλοποιούν μπορούν να κάνουν τις εφαρμογές τους διαθέσιμες στο ME σύστημα. Οι πελάτες μπορούν να διαλέξουν τις εφαρμογές που τους ενδιαφέρουν και να ενημερώσουν για το που και πότε θέλουν αυτές να εκτελεστούν. Η πύλη αυτή μπορεί να παρέχει και πληροφορίες για το συμφωνηθέν επίπεδο υπηρεσίας καθώς και την κοστολόγηση της. Η πύλη CFS συνδέεται με τον OSS μέσω της διασύνδεσης Mx1.

Μία ακόμη οντότητα στην αρχιτεκτονική που περιγράφεται, είναι το UALP(User App LCM-LifeCycle Management Proxy) που επιτρέπει στους ME πελάτες να ζητούν οδηγίες, έναρξη ή τερματισμό των εφαρμογών και τη μετατόπιση εφαρμογών εντός και εκτός του MEC συστήματος. Τα αιτήματα φιλτράρονται σε αυτό το στάδιο πριν προωθηθούν στο MEO ή τον OSS. Το UALP δεν υποστηρίζεται πάντα σε ένα MEC σύστημα.

Τέλος, ο διαχειριστής της Virtualization υποδομής(VIM) είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση «εικονικών» πόρων και συγκεκριμένα τη διανομή και απελευθέρωση υπολογιστικών, αποθηκευτικών και δικτυακών πόρων. Προετοιμάζει την υποδομή virtualization για το λογισμικό που θα χρειαστεί να εκτελεστεί. Οι “εικονικοί” πόροι

μπορούν να εξαντληθούν ή να υπάρξει κάποια αποτυχία σε κάποια εκτέλεση. Για το λόγο αυτό ο VIM παρακολουθεί τα λάθη και την επίδοση συλλέγοντας πληροφορίες για τους “εικονικούς” πόρους και παρέχοντας τις σε ανώτερα επίπεδα διαχείρισης. Η σύνδεση του με την αντίστοιχη υποδομή γίνεται μέσω του Mm7 συνδέσμου που παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα. Ο σύνδεσμος Mm6 μεταξύ του MEO και του VIM χρησιμοποιείται για τη διαχείριση στοιχείων εφαρμογών, «εικονικών» πόρων αλλά και την παρακολούθηση της διαθεσιμότητας αυτών των πόρων.

2.3 Διαχείριση κινητικότητας χρήστη και μετακίνηση υπολογιστικού φόρτου

Το MEC δίνει τη δυνατότητα εκτέλεσης εφαρμογών στον υλικό εξοπλισμό του χρήστη, μεταφέροντας τις ενεργοβόρες υπολογιστικές διαδικασίες στο MEC server. Μία σημαντική παράμετρος σε αυτή τη διαδικασία είναι η απόφαση μεταφοράς του υπολογιστικού φόρτου, όλου ή μερικού. Η απόφαση αυτή εξαρτάται από το αν η εφαρμογή περιέχει στοιχεία που δεν μπορούν να μεταφερθούν (π.χ εισαγωγή δεδομένων από την κάμερα της συσκευής), από το αν η εφαρμογή είναι συνεχούς εκτέλεσης (στην περίπτωση αυτή δεν μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα των προς επεξεργασία δεδομένων) και ο βαθμός εξάρτησης των ξεχωριστών οντοτήτων που πρέπει να επεξεργαστούν.

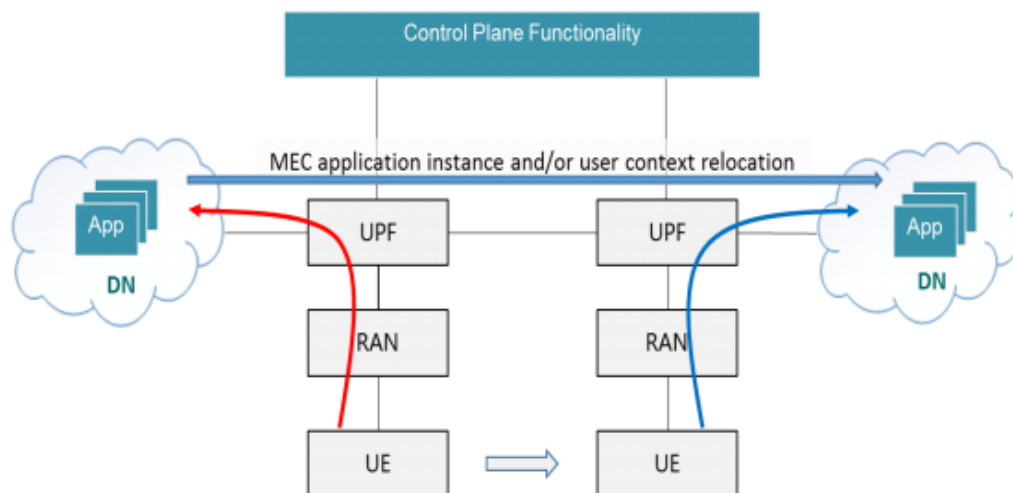
Όπως έχει αναφερθεί, το MEC εκτελεί κάποιες λειτουργίες στην “άκρη” του δικτύου για να βελτιστοποιήσει την επίδοση και να μπορεί να παρέχει υπηρεσίες εξαιρετικά χαμηλών καθυστερήσεων και μεγάλου εύρους ζώνης. Μία άμεση συνέπεια της μεταφοράς κάποιων λειτουργιών πιο κοντά στο χρήστη είναι ότι επηρεάζονται από την κινητικότητα του χρήστη. Μία εφαρμογή που χρησιμοποιεί έναν κινούμενο χρήστη μέσω κάποιου edge host του δικτύου, μπορεί να φτάσει να μην εξυπηρετείται από τον τοπικά βέλτιστο host. Για να καλυφθούν οι απαιτήσεις των χρησιμοποιούμενων εφαρμογών κινούμενων χρηστών απαιτείται κινητικότητα και στις ίδιες τις εφαρμογές. Ουσιαστικά όταν ο χρήστης προωθεί μία υπολογιστική διεργασία στο MEC, γίνεται μετάβαση VM(Virtual Machine) από μία φυσική συσκευή σε μία άλλη. Σε εφαρμογές MEC μεγάλης έκτασης είναι αναμενόμενο να χρησιμοποιούνται τεχνικές πρόβλεψης για την επιλογή hosts για τις εκτελούμενες εφαρμογές σε όλο το σύστημα. Έτσι, μειώνεται η πιθανότητα να χρειαστεί μία αλλαγή host για την εκτέλεση μίας εφαρμογής, ωστόσο, η δυνατότητα αυτή θα πρέπει και πάλι να υπάρχει.

Μία υπηρεσία εφαρμογής μπορεί να διαχωριστεί σε stateful (ο χρήστης παρέχει στοιχεία τα οποία αποθηκεύονται στο server) και stateless (κανένα στοιχείο δεν αποθηκεύεται στο server και όλοι οι χρήστες αντιμετωπίζονται ισότιμα). Η δυνατότητα μετακίνησης μίας stateful εφαρμογής απαιτεί τη δυνατότητα μεταφοράς και

συγχρονισμού της κατάστασης υπηρεσίας μεταξύ του αρχικού και τελικού host ώστε να μην υπάρξει διακοπή στην παροχή υπηρεσίας. Για να είναι αυτό εφικτό χρειάζεται κατάλληλη σχεδίαση και υλοποίηση της εφαρμογής. Απαιτείται η δυνατότητα πολλαπλής παράλληλης εκτέλεσης της εφαρμογής και αντιγραφή των πληροφοριών σε όλες τις παράλληλες εκτελέσεις. Έτσι, ο τελικός host θα συνεχίσει την εκτέλεση της εφαρμογής χωρίς διακοπή τη στιγμή που ο χρήστης θα αποσυνδεθεί από τον αρχικό. Από την άλλη πλευρά, η διαχείριση της μετατόπισης μιας stateless εφαρμογής είναι πολύ πιο απλή, καθώς, δεν απαιτείται διαμοιρασμός κάποιας πληροφορίας μεταξύ του αρχικού και του τελικού host.

Η κινητικότητα εφαρμογής είναι ένα χαρακτηριστικό των MEC συστημάτων. Είναι απαραίτητη η δυνατότητα μετατόπισης της εφαρμογής του χρήστη από ένα MEC host σε έναν άλλο για τη συνεχή και βέλτιστη παροχή υπηρεσίας στο χρήστη. Κάποιες από τις διαδικασίες που απαιτούνται για τη χρήση αυτής της δυνατότητας εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής, του περιβάλλοντος και τις δυνατότητες του MEC host, του MEO και της ίδιας της εφαρμογής.

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει τη βασική χρήση κινητικότητας εφαρμογής σε μία MEC δομή.



Σχήμα 7: Η αρχή της κινητικότητας εφαρμογών στο MEC

2.4 Περιπτώσεις χρήσης MEC - πληροφορίες εφαρμογής τεχνολογίας

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένες περιπτώσεις εφαρμογής της μελετούμενης τεχνολογίας και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει σε αυτές. Επίσης δίνο-

νται ορισμένες πληροφορίες για τον τρόπο εφαρμογής της τεχνολογίας στην εκάστοτε περίπτωση.

2.4.1 Έξυπνη επιτάχυνση video

Πρόκειται για την αξιοποίηση των δικτυακών πόρων, σε πραγματικό χρόνο, για τον περιορισμό των αδυναμιών που παρουσιάζει η παράδοση περιεχομένου video. Ο χρήστης μπορεί έτσι να έχει καλύτερη ποιότητα στην υπηρεσία που χρησιμοποιεί και οι δικτυακοί πόροι να αξιοποιούνται στο μέγιστο.

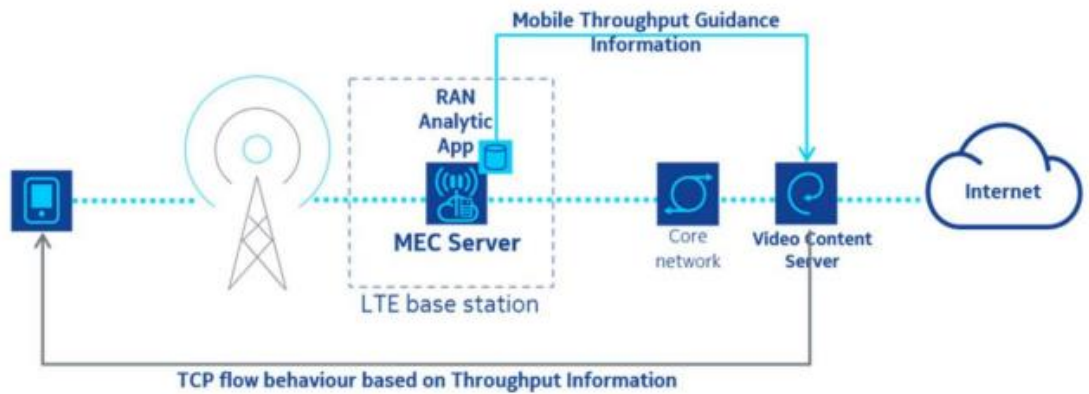
Πρακτικά, μία εφαρμογή στο RAN παρέχει πληροφορίες στο video server με μία ένδειξη για τη διαθεσιμότητα των πόρων που εκτιμάται να έχει το downlink. Οι πληροφορίες αυτές βοηθούν στη λήψη αποφάσεων για τον περιορισμό συσσώρευσης των δεδομένων που διακινούνται, καθώς και στην προσαρμογή της κωδικοποίησης.

Η συμπεριφορά του TCP (Transmission Control Protocol-Πρωτόκολλο Ελέγχου Μεταφοράς) που υποθέτει ότι η βασική αιτία για απώλεια πακέτων και καθυστερήσεις μετάδοσης, είναι η συμφόρηση του δικτύου, μπορεί να οδηγήσει σε αναποτελεσματική αξιοποίηση πόρων, να μειώσει την απόδοση μιας εφαρμογής, και έτσι την ποιότητα υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης.

TCP: Βρίσκεται πάνω από το πρωτόκολλα IP. Οι κύριοι στόχοι του πρωτοκόλλου TCP είναι να επιβεβαιώνεται η αξιόπιστη αποστολή και λήψη δεδομένων, να μεταφέρονται τα δεδομένα χωρίς λάθη μεταξύ του στρώματος δικτύου (network layer) και του στρώματος εφαρμογής (application layer) και, φτάνοντας στο πρόγραμμα του στρώματος εφαρμογής, να έχουν σωστή σειρά.

Το πρόβλημα εντοπίζεται στο ότι το TCP δεν προσαρμόζεται εύκολα στη γρήγορη μεταβολή των δικτυακών συνθηκών. Στα ασύρματα δίκτυα το διαθέσιμο εύρος ζώνης μπορεί να αλλάξει σε μερικά δευτερόλεπτα, λόγω της κίνησης των χρηστών και των αλλαγών του φόρτου από είσοδο συσκευών στο δίκτυο ή έξοδο από αυτό.

Στο σχήμα 8 παρουσιάζεται η εφαρμογή όσων περιγράφηκαν παραπάνω στο δίκτυο. Η εφαρμογή που δίνει τα στοιχεία για τους διαθέσιμους πόρους στο video server βρίσκεται σε ένα MEC server. Ο video server χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για την ορθότερη επιλογή των TCP παραμέτρων (αρχικό μέγεθος παραθύρου και προσαρμογή του στις συνθήκες). Έτσι, το TCP δεν χρειάζεται να υπερφορτώσει το δίκτυο ούτε να μειώσει το ρυθμό με τον οποίο στέλνει δεδομένα σε περίπτωση συμφόρησης.



Σχήμα 8: Ευφυής επιτάχυνση βίντεο

Το MEC επιτρέπει στην εφαρμογή που στέλνει δεδομένα στο video server (RAN Analytic App) να αναπτυχθεί πάνω σε πλατφόρμες διαφορετικού υλικού εξοπλισμού και μεταξύ δικτύων διαφορετικών παρόχων. Έτσι, επιτυγχάνει καλύτερη αξιοποίηση των δικτυακών πόρων και βελτιωμένη ποιότητα για την πλειοψηφία των χρηστών.

2.4.2 Ανάλυση ροής video

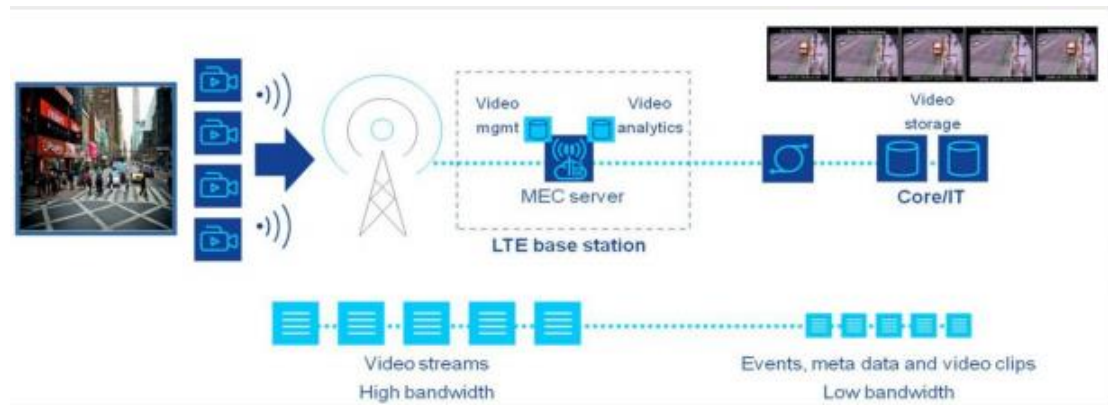
Σε ένα σύστημα αναγνώρισης των πινακίδων των οχημάτων που εισέρχονται ή εξέρχονται σε/από μία περιοχή π.χ. χώροι στάθμευσης, η πληροφορία μπορεί μετά τη λήψη της μέσω καταγραφής βίντεο να αποστέλλεται σε ένα cloud σύστημα παρακολούθησης. Τα βίντεο μπορεί να χρησιμοποιηθούν για εξαγωγή περαιτέρω πληροφοριών.

Η μετακίνηση της ανάλυσης του βίντεο από τη βιντεοκάμερα στο cloud μειώνει το κόστος των χρησιμοποιούμενων καμερών, ειδικά όταν ο αριθμός τους είναι μεγάλος. Επιπλέον, η τοπική επεξεργασία (κοντά στο σταθμό) μετριάζει την ανάγκη μετάδοσης μεγάλης ποσότητας πληροφορίας που προέρχεται από τα βίντεο, τη στιγμή που η τελικά ζητούμενη πληροφορία που εξάγεται από τα βίντεο έχει πολύ μικρότερο μέγεθος.

Μέχρι τώρα σε τέτοια συστήματα βιντεοπαρακολούθησης τα βίντεο έπρεπε ή να σταλούν σε ένα server για την επεξεργασία τους ή να γίνει αυτό στην τοποθεσία της βιντεοκάμερας. Οι δύο αυτές μέθοδοι είναι αναποτελεσματικές και δαπανηρές αν συγκριθούν με την αντίστοιχη επεξεργασία σε ένα MEC server. Μετά την επεξεργασία και την εξαγωγή της επιθυμητής πληροφορίας, αυτή μπορεί να μεταδοθεί

στο server της εφαρμογής μειώνοντας σημαντικά το μέγεθος της προς μετάδοση πληροφορίας.

Η χρήση του MEC server προσδίδει ευελιξία στην ανάλυση των βίντεο ειδικά συγκριτικά με την ανάλυση που μπορεί να γίνει στην τοποθεσία της πηγής (βιντεοκάμερα). Επιπλέον μειώνει την ποσότητα των μεταδιδόμενων δεδομένων από το δίκτυο κορμού.



Σχήμα 9: Ανάλυση ροής βίντεο

2.4.3 Επαυξημένη πραγματικότητα

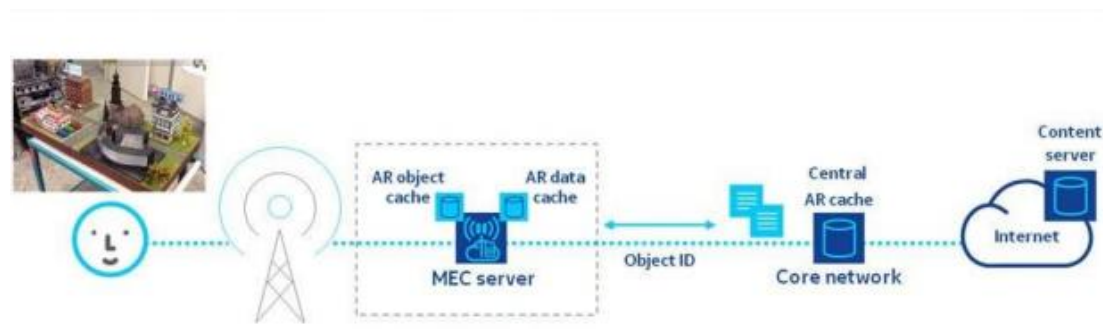
Με τον όρο επαυξημένη πραγματικότητα αναφερόμαστε στη σε πραγματικό χρόνο άμεση ή έμμεση θέαση ενός φυσικού, πραγματικού περιβάλλοντος, του οποίου τα στοιχεία επαυξάνονται από στοιχεία αναπαραγόμενα από συσκευές υπολογιστών.

Για παράδειγμα ο επισκέπτης ενός μουσείου, μνημείου, αθλητικού αγώνα ή συναυλίας τοποθετώντας την κάμερα του κινητού του προς το σημείο που τον ενδιαφέρει και ανοίγοντας την αντίστοιχη εφαρμογή μπορεί να λάβει πληροφορίες για το στοιχείο που τον ενδιαφέρει.

Μία εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας πρέπει να γνωρίζει την τοποθεσία του χρήστη είτε μέσω τεχνικών προσδιορισμού θέσης είτε μέσω της εικόνας της κάμερας. Μετά την ανάλυση των εισερχόμενων δεδομένων, η εφαρμογή μπορεί να προσφέρει επιπλέον πληροφορίες για το σημείο ενδιαφέροντος σε πραγματικό χρόνο. Αν ο χρήστης βρίσκεται σε κίνηση, οι πληροφορίες αυτές πρέπει να ανανεώνονται συνεχώς.

Η επαυξημένη πραγματικότητα έχει ένα τοπικό χαρακτήρα καθώς οι πληροφορίες που παρέχει έχουν να κάνουν με ένα συγκεκριμένο σημείο ενδιαφέροντος κάθε φορά. Έτσι, η τοπική διαχείριση της πληροφορίας είναι πιο αποδοτική από τη διαχείριση της από το cloud και άρα η χρήση ενός MEC server προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα. Η επεξεργασία της τοποθεσίας του χρήστη μπορεί να γίνει σε ένα MEC

server, αντί για έναν πιο κεντρικό, και έτσι μπορούν να μειωθούν οι καθυστερήσεις μετάδοσης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, καθώς η χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας θα γίνεται κυρίως σε μέρη όπου υπάρχουν πολλαπλά αντικείμενα ενδιαφέροντος σε πολύ μικρές αποστάσεις το ένα από το άλλο π.χ. σε ένα μουσείο, τα εκθέματα απέχουν μερικά μέτρα το ένα από το άλλο και το καθένα πρέπει να μπορεί να συνδεθεί με το όνομα του καλλιτέχνη και τις πληροφορίες για το συγκεκριμένο έργο. Για να μπορεί ο χρήστης να παίρνει τις σωστές κάθε φορά πληροφορίες, θα πρέπει η ανανέωση της εφαρμογής να γίνεται χωρίς καθυστερήσεις, ανάλογα με την τοποθεσία και τον προσανατολισμό της συσκευής του χρήστη.



Σχήμα 10: Επαυξημένη Πραγματικότητα

2.4.4 Ανάπτυξη του MEC σε εφαρμογές επιχειρήσεων

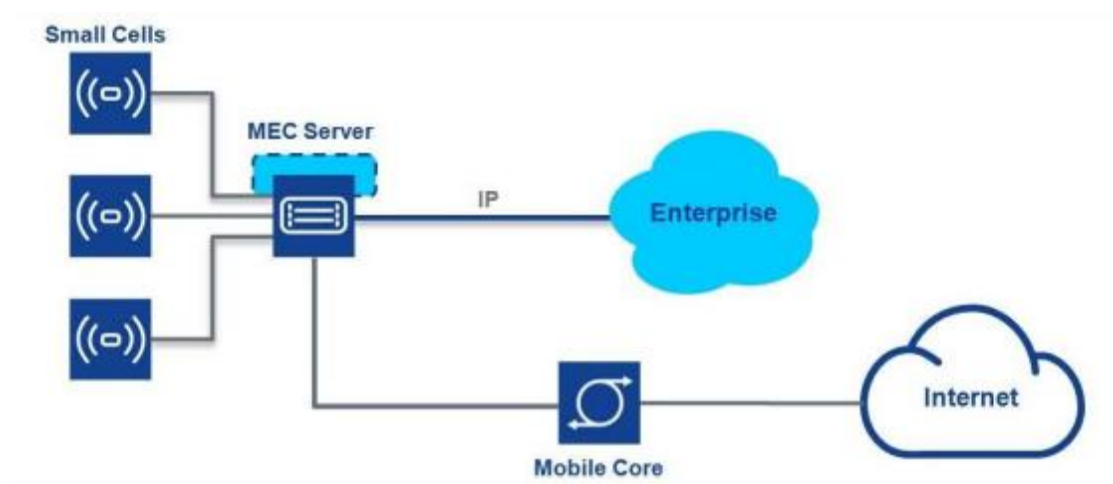
Καθώς οι σταθερές συσκευές αντικαθιστώνται από κινητές (smartphones, tablets, laptops), οι επιχειρήσεις αρχίζουν να χρησιμοποιούν cloud πλατφόρμες για να εξυπηρετήσουν τους κινητούς πλέον χρήστες. Όλο και περισσότεροι χρήστες έχουν το δικαίωμα να συνδέονται με τις προσωπικές τους συσκευές στο εταιρικό τους δίκτυο. Ο συνδυασμός ενός IP-PBX με μία MEC πλατφόρμα δίνει τη δυνατότητα συνεχούς παροχής υπηρεσίας μεταξύ μίας “μικροκυτταρικής” εφαρμογής (small cell) του λειτουργού και του WLAN της επιχείρησης.

IP-PBX(Internet Protocol-Private Branch Exchange): Πρόκειται για ένα κεντρικό σύστημα μεταγωγής τηλεφωνικών κλήσεων συνήθως σε μία επιχείρηση. Διαχειρίζεται τις κλήσεις μεταξύ VoIP (Voice Over Internet protocol) χρηστών σε τοπικές γραμμές ενώ επιτρέπει σε πολλαπλούς χρήστες να μοιράζονται έναν αριθμό εξωτερικών τηλεφωνικών γραμμών. Το τυπικό IP-PBX μπορεί να ανταλλάξει κλήσεις και μεταξύ VoIP χρηστών και χρηστών του παραδοσιακού τηλεφωνικού δικτύου ή και μόνο χρηστών του παραδοσιακού τηλεφωνικού δικτύου.

Small Cell: Πρόκειται για κόμβους του RAN, χαμηλής ισχύος και εύρους μερικών χιλιομέτρων. Μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα χρησιμοποιώντας εύρος ζώνης με ή χωρίς άδεια.

WLAN(Wireless Local Area Network): Πρόκειται για ένα ασύρματο δίκτυο υπολογιστών που συνδέει δύο ή περισσότερες συσκευές, σχηματίζοντας ένα τοπικό δίκτυο εντός μίας περιορισμένης περιοχής π.χ. σχολείο, εταιρεία, εργαστήριο υπολογιστών. Οι χρήστες μπορούν να παραμένουν συνδεδεμένοι στο δίκτυο ενώ κινούνται εντός της περιοχής αυτής. Μέσω μίας πύλης το WLAN συνδέεται με το Internet.

Η χρήση της MEC πλατφόρμας στο εταιρικό δίκτυο επιτρέπει στους υπαλλήλους να συνδέονται κατευθείαν στο εταιρικό LAN μέσω των συσκευών τους. Οι χρήστες λαμβάνουν τις ίδιες υπηρεσίες είτε συνδεθούν μέσω των small cells είτε μέσω του WLAN. Απαιτείται έτσι να γίνεται κάποια εξισορρόπηση στα φορτία που δέχονται αυτά τα δύο. Η MEC πλατφόρμα ελέγχει ποιες συσκευές θα συνδεθούν σε ποιο δίκτυο. Επίσης καθορίζει τα διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών των χρηστών (π.χ. επισκέπτες) εντός της επιχείρησης και μπορεί να προσφέρει εξωτερική σύνδεση με το Internet.



Σχήμα 11: MEC πλατφόρμα σε επιχειρησιακό δίκτυο

2.4.5 Συνδεδεμένα οχήματα

Ο αριθμός των οχημάτων που δημιουργούν συνδέσεις μέσω τεχνολογιών DSRC για κοντινές αποστάσεις και LTE για μεγαλύτερες, συνεχώς αυξάνεται.

Dedicated Short Range Communications(DSRC): Πρόκειται για ένα ελεύθερο πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιείται με στόχο την ασφαλή και γρήγορη επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και υποδομών.

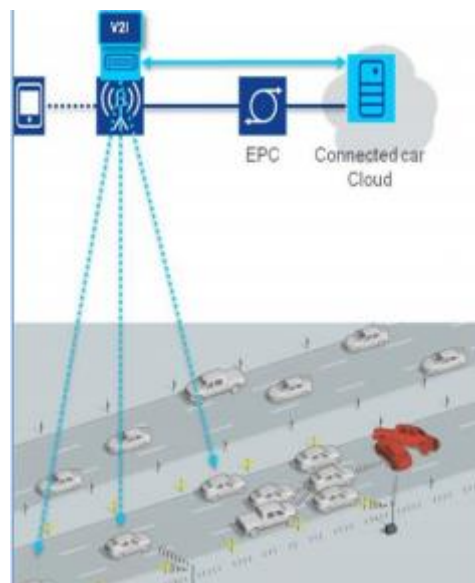
MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

Η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και αισθητήρων που υπάρχουν στους δρόμους στοχεύει στην αύξηση της ασφάλειας, της αποδοτικότητας αλλά και της άνεσης στις μεταφορές. Η ενημέρωση για τους κινδύνους στο δρόμο και η μείωση της συσσωρευμένης κίνησης είναι μόνο μερικές από τις δυνατότητες που θα παρέχονται. Καθώς ο αριθμός των διασυνδεδεμένων οχημάτων αυξάνεται, η ποσότητα των μεταδιδόμενων δεδομένων και άρα οι απαιτήσεις στην καθυστέρηση αυξάνονται ανάλογα.

Το LTE μπορεί να παρέχει συνδεσιμότητα μεταξύ οχημάτων σε 300-500m απόσταση και καθυστερήσεις 100ms. Ωστόσο και η μετάδοση μηνυμάτων σε πραγματικό χρόνο θα μπορούσε να γίνει εφικτή με την είσοδο μίας MEC πλατφόρμας στο δίκτυο. Η εναλλακτική της εφαρμογής του DSRC σε ευρεία κλίμακα, είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, κάνοντας τη λύση του MEC την πλέον κατάλληλη.

Οι εφαρμογές MEC μπορούν να εκτελεστούν σε MEC servers που υπάρχουν σε σταθμούς βάσης. Έτσι το MEC δίνει τη δυνατότητα τα δεδομένα και οι εφαρμογές να κρατώνται σε τοποθεσίες κοντά στα οχήματα, μειώνοντας το χρόνο μετάδοσης τους και αφαιρώντας διαδικασίες από το δίκτυο κορμού. Οι καθυστερήσεις μετάδοσης μειώνονται. Οι εφαρμογές MEC στο server μπορούν να δεχτούν μηνύματα από τα οχήματα και τους αισθητήρες του δρόμου, να τα αναλύσουν και να στείλουν προειδοποιήσεις μέσα σε msec, επιτρέποντας στους οδηγούς να αντιδράσουν εγκαίρως.

Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να μεταδοθούν σε οχήματα που βρίσκονται σε κοντινές περιοχές μέσω των γειτονικών MEC servers.



Σχήμα 12: Συνδεδεμένα Οχήματα

2.4.6 Internet of Things (IoT)

Το IoT είναι πηγή μιας μεγάλης ποσότητας πρόσθετων προς μετάδοση δεδομένων, των οποίων η μετάδοση πρέπει να είναι ασφαλής και με μικρές καθυστερήσεις. Λόγω της φύσης των συνδεδεμένων συσκευών απαιτείται η εξυπηρέτηση σε πραγματικό χρόνο και η ομαδοποίηση των συσκευών. Ο MEC server μπορεί να βοηθήσει στην κάλυψη αυτών των απαιτήσεων.

Internet of Things(IoT): πρόκειται για ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων συσκευών με ενσωματωμένους αισθητήρες και λογισμικό, με μοναδικές ταυτότητες που μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω του δικτύου χωρίς να απαιτείται η ανθρώπινη παρέμβαση.

Η τεράστια ποσότητα κίνησης δεδομένων που δημιουργείται από τις IoT συσκευές τίθεται σε περιορισμούς επεξεργασίας και αποθήκευσης. Υπάρχει η ανάγκη μείωσης των αποστάσεων μετάδοσης για να μειωθούν οι καθυστερήσεις.

Ένας MEC server μπορεί να προσφέρει κάποια επιπλέον υπολογιστική και αποθηκευτική δυνατότητα στο σύστημα και να χρησιμοποιηθεί για:

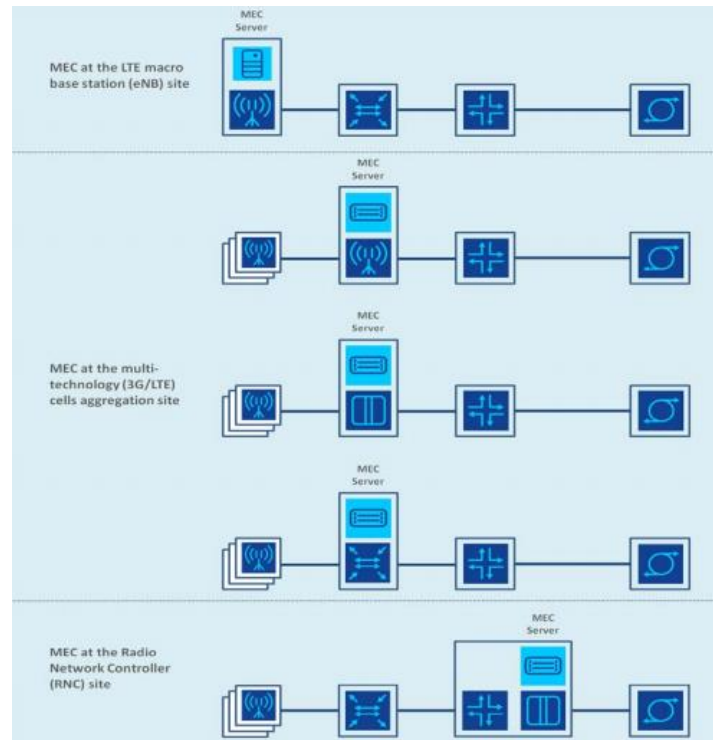
1. Υπηρεσίες συγκέντρωσης και διανομής
2. Ανάλυση των μηνυμάτων των συσκευών
3. Λήψη αποφάσεων με βάση τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης
4. Καταγραφή βάσεων δεδομένων
5. Έλεγχο πρόσβασης συσκευών



Σχήμα 13: IoT πύλη

2.5 Υλοποιήσεις

Στην πρώτη εκδοχή του MEC, ο server θα μπορεί να βρίσκεται στο σταθμό βάσης LTE (evolved Node B), στο RNC(Radio NetworkController) ή σε ένα σταθμό συνδιασμού 3G/4G. Η τελευταία περίπτωση μπορεί να συναντηθεί σε μία επιχείρηση, σε ένα γήπεδο, σε ένα εμπορικό κέντρο κτλ. για να μπορεί να ελέγξει τα 3G/4G σημεία πρόσβασης παρέχοντας κάλυψη στην περιοχή.



Σχήμα 14: Σενάρια υλοποίησης του MEC Server

ENodeB: Πρόκειται για τον υλικό εξοπλισμό του σταθμού LTE που συνδέεται ασύρματα με το χρήστη (αντιστοιχία στο GSM:BTS, αντιστοιχία στο UMTS: NodeB)

RNC: κυρίαρχο στοιχείο στο δίκτυο πρόσβασης του UMTS υπεύθυνο για τον έλεγχο των NodeBs που είναι συνδεδεμένα σε αυτό.

2.6 Τεχνολογίες απαραίτητες για το MEC

Τα τελευταία χρόνια οι βιομηχανίες τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής προχώρησαν σε τεχνολογικές βελτιώσεις που θα βοηθήσουν στην επιτυχημένη εφαρμογή του MEC στα δίκτυα. Παρακάτω αναφέρονται αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις:

2.6.1 Cloud and Virtualization

Ο διαχωρισμός του λογισμικού από τον υλικό εξοπλισμό αποτελεί βασικό λόγο ανάπτυξης νέων δυνατοτήτων στις τηλεπικοινωνίες και την πληροφορική κατά την τελευταία δεκαετία. Ουσιαστικά καθίσταται πλέον δυνατή η αποσύνδεση του λογισμικού και των εφαρμογών από τους υλικούς πόρους και η μετάβαση του σε μία εικονική μηχανή (Virtual Machine-VM).

Πολλαπλές εικονικές μηχανές μπορούν να μοιράζονται τους ίδιους υλικούς πόρους με έναν ελεγχόμενο, αποδοτικό και ευέλικτο τρόπο. Η επικοινωνία μεταξύ των εικονικών μηχανών εξασφαλίζεται από εικονικούς μεταγωγείς. Η κίνηση δεδομένων οδηγείται σε μία εικονική μηχανή μέσω μίας φυσικής διεπαφής.

Οι τεχνολογίες cloud αξιοποιούν τις παραπάνω δυνατότητες για να προσφέρουν υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους όταν αυτοί ζητούνται, εισάγοντας νέα επίπεδα αυτοματοποίησης και ευελιξίας στο δίκτυο.

Το cloud και η χρήση εικονικών μηχανών είναι απαραίτητα στοιχεία για την εφαρμογή MEC τεχνολογιών στο δίκτυο καθώς επιτρέπουν σε εφαρμογές να τρέχονται σε μία πλατφόρμα με ευέλικτο και αποδοτικό τρόπο, ανεξάρτητα από τον κύκλο ζωής των 3GPP(3rd generation partnership project) στοιχείων του δικτύου.

2.6.2 Servers μεγάλης χωρητικότητας

Για την εμπορική επιτυχία του MEC και άρα για την ευρεία χρήση της τεχνολογίας απαιτείται η χρήση servers μεγάλης χωρητικότητας. Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί πλατφόρμες ικανές να διαχειριστούν εφαρμογές και υπηρεσίες που καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες υλικών πόρων και άρα μπορούν να υποστηρίξουν τη MEC τεχνολογία.

2.6.3 Εφαρμογές και υπηρεσίες για MEC

Το MEC μπορεί να προσφέρει δυνατότητες που μέχρι τώρα δεν υπήρχαν, αλλά για να αξιοποιηθούν αυτές θα πρέπει οι πάροχοι λογισμικού και εφαρμογών να δημιουργήσουν καινοτόμες εφαρμογές που εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες αυτές. Η χρήση ελεύθερων προτύπων και APIs καθώς και μοντέλων προγραμματισμού είναι απαραίτητα στοιχεία για τη δημιουργία νέων εφαρμογών και την προσαρμογή των υπάρχόντων στο περιβάλλον του MEC.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

CRAN και MEC

3.1 CRAN και MEC: Πλεονέκτημα συνδυασμένης εφαρμογής

Η χρήση της MEC τεχνολογίας φαίνεται να είναι απαραίτητο στοιχείο για ορισμένες από τις δυνατότητες που αναμένεται να προσφέρει το 5G. Οι 5G υπηρεσίες έχουν διαχωριστεί σε τρεις κατηγορίες: eMBB(enhanced Mobile Broad Band-ενισχυμένες ευρυζωνικές), URLLC (Ultra Reliability and Low Latency Communications -μεγάλης αξιοπιστίας και χαμηλών καθυστερήσεων) και mMTC(massive Machine Type Communications-μαζικών μηχανών). Διαδραστικά παιχνίδια, εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα, αυτοοδηγούμενα οχήματα είναι μόνο μερικά παραδείγματα URLLC υπηρεσιών που δείχνουν την ανάγκη ελαχιστοποίησης των καθυστερήσεων στη μετάδοση δεδομένων. Η κατηγορία των eMBB υπηρεσιών έχει να αντιμετωπίσει τη μετάδοση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων που σχετίζονται για παράδειγμα με την κοινή χρήση βίντεο υψηλής ποιότητας. Η τελευταία κατηγορία υπηρεσιών mMTC έχει επίσης να διαχειριστεί τη μετάδοση μεγάλης ποσότητας δεδομένων, τα οποία όμως τώρα προέρχονται από διαφορετικές συσκευές (αισθητήρες) που βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία και πολλές φορές τα δεδομένα αυτά υπόκεινται σε περιορισμούς μετάδοσης εντός καθορισμένων ορίων(περιορισμοί από κατόχους δεδομένων). Φαίνεται λοιπόν, πως και οι τρεις κατηγορίες υπηρεσιών έχουν την ανάγκη για επεξεργασία των δεδομένων κοντά στον παραλήπτη της υπηρεσίας.

Από την πλευρά του παρόχου του δικτύου, η πρόκληση για την παροχή 5G υπηρεσιών βρίσκεται στην επένδυση που απαιτείται για τη δημιουργία επαρκών MEC σημείων στο δίκτυο. Η εκτεταμένη χρήση του MEC στο δίκτυο κάνει δελεαστική την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του αλλά από την άλλη αποτελεί μία μεγάλου μεγέθους επένδυση για το μέλλον που δεν εγγυάται κάποιο κέρδος άμεσα. Ένας τρόπος για να μετριαστεί το κόστος και ο κίνδυνος μίας τέτοιας στρατηγικής είναι η εφαρμογή του MEC πάνω στο ήδη υπάρχον CRAN δίκτυο. Το CRAN έχει συγκεντρωμένα σημεία επεξεργασίας τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από το MEC. Το κόστος για την παροχή της επιπλέον απαιτούμενης ισχύος επεξεργασίας είναι σαφώς μικρότερο από μία αυτόνομη εφαρμογή MEC.

Η δημιουργία Cloud-RAN δικτύου αποτελεί από μόνη της μία σημαντική επένδυση για τον πάροχο, το κόστος της οποίας δεν είναι όμως αμελητέο. Πέρα από το κόστος των μονάδων επεξεργασίας, υπάρχει το κόστος για το πέρασμα στη δημιουργία εικονικών δικτύων, για τη δοκιμή και τη συντήρηση των νέων αυτών λύσεων. Τα

εικονικά δίκτυα μπορεί να προσφέρουν σημαντική λειτουργική ευελιξία μακροπρόθεσμα αλλά βραχυπρόθεσμα απαιτούν μεγάλη προσπάθεια και κεφάλαιο για να υλοποιηθούν. Το γεγονός ότι το CRAN και το MEC μπορούν να εφαρμοστούν στο δίκτυο συνδιάζοντας τις δυνατότητες και λειτουργίες που προσφέρουν και μειώνοντας το συνολικό κόστος υλοποίησης, κάνει την υλοποίηση αυτή πολύ δελεαστική για το λειτουργό και πάροχο του δικτύου.

Συνοψίζοντας το CRAN και το MEC αποτελούν συμπληρωματικές τεχνολογίες. Υπάρχουν περισσότερα κίνητρα για τη συνδυασμένη εφαρμογή τους στο δίκτυο, τόσο σχετικά με τη μείωση των βραχυπρόθεσμων εξόδων, όσο και τη δυνατότητα παροχής 5G εφαρμογών στους χρήστες που αλλιώς δεν θα μπορούσαν να υποστηριχτούν.

3.2 Προκλήσεις στο συνδυασμό CRAN και MEC

Η χρήση των υπαρχόντων CRAN υλοποιήσεων για MEC εφαρμογές αποτελεί μείζον θέμα καθώς τίθεται το ερώτημα της οικονομικότερης υλοποίησης. Το αν η επαναχρησιμοποίηση του CRAN για MEC σκοπούς ή η εφαρμογή του MEC κοντά σε CRAN υλοποιήσεις είναι οικονομικότερη, έχει να κάνει με τη συγκεκριμένη κάθε φορά περίπτωση και χρήση. Τα παρακάτω κριτήρια πρέπει να ληφθούν υπόψιν για την επιλογή της εκάστοτε υλοποίησης:

1. Διαχείριση
2. Ασφάλεια
3. Δικτύωση
4. Θεσμικό Πλαίσιο

3.2.1 Διαχείριση

Το MEC αποτελείται από λειτουργικές οντότητες όπως και οντότητες διαχείρισης και συντονισμού που επιτρέπουν στις εφαρμογές να εκτελούνται ως εικονικές μηχανές σε εικονικό υπολογιστικό περιβάλλον ακολουθώντας το μοντέλο IaaS (Infrastructure as a Service-υποδομή ως υπηρεσία). Μέσω των διεπαφών διαχείρισης του MEC μπορούν και υποστηρίζονται οι κατ'απαίτηση εφαρμογές και ο συντονισμός των υπηρεσιών που παρέχονται. Σε μία προσέγγιση σταδιακής αντικατάστασης του υπάρχοντος εξοπλισμού, το MEC θα αποτελούσε πιθανώς μία αυτόνομη οντότητα κοντά στο CRAN. Η από κοινού διαχείριση των δύο θα απαιτούσε τη μετέπειτα παρέμβαση για την εναρμόνιση των συστημάτων διαχείρισης και συντονισμού των δύο, πράγμα που έχει υψηλό βαθμό δυσκολίας στην υλοποίηση.

Η τεχνική NFV όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιείται για την αποσύνδεση λειτουργιών δικτύου από δεσμευμένους υλικούς πόρους και επιτρέπει οι υπηρεσίες να παρέχονται μέσω ενός εικονικού περιβάλλοντος. Η τεχνική αυτή μπορεί να διευκολύνει τις CRAN υλοποιήσεις. Στο CRAN υπάρχουν λειτουργίες πραγματικού χρόνου και μη πραγματικού χρόνου. Οι λειτουργίες πραγματικού χρόνου δεσμεύονται με συγκεκριμένους υλικούς πόρους ενώ οι μη πραγματικού χρόνου μπορούν εύκολα να εκτελούνται σε εικονικές μηχανές μέσω του NFV.

Αντίστοιχα το MEC χρησιμοποιεί και αυτό μία πλατφόρμα για να τρέξει ορισμένες δικτυακές λειτουργίες σε εικονικές μηχανές. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα το MEC και το CRAN να μοιραστούν το ίδιο σύστημα διαχείρισης και συντονισμού και οι υποδομές του NFV (NFV Infrastructure – NFVI) να διαχειρίζονται, να συντονίζουν και να εκτελούν όλες τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες. Αν το MEC και το CRAN είναι φτιαγμένα πάνω στις ίδιες NFV υποδομές, το MEC θα μπορεί να χρησιμοποιεί τα συστήματα διαχείρισης και συντονισμού του CRAN για τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες του. Το MEC όμως αλληλεπιδράει και με εφαρμογές που μπορεί να εκτελούνται σε άλλα clouds π.χ. Amazon Web Service Greengrass, Microsoft Azure και Google Cloud τα οποία μπορεί να χρησιμοποιούν διαφορετικές εικονικές δομές από το CRAN. Η πρόκληση λοιπόν, είναι το MEC να μπορεί να διαχειριστεί αυτές τις εφαρμογές από το cloud σε εικονικές μηχανές, χωρίς να χρειαστεί τροποποίηση στο συνολικό σύστημα.

Η “χαλαρή” σύζευξη αναφέρεται στη δυνατότητα της MEC πλατφόρμας να κάνει τις υπηρεσίες της χρησιμοποιήσιμες από εφαρμογές που βρίσκονται σε άλλα clouds. Από την άλλη η “σφιχτή” σύζευξη αναφέρεται στην απαίτηση πρόσθε-της λογικής στο σύστημα για τη διάδοση οδηγιών διαχείρισης καθορισμένων από το MEC, σε άλλα clouds. Οι οδηγίες που διαδίδονται είναι απαραίτητες για τη λήψη αποφάσεων από το σύστημα.

3.2.2 Ασφάλεια

Το MEC θα δώσει τη δυνατότητα παροχής νέων υπηρεσιών, που ενδέχεται να συνοδευτούν με νέους κινδύνους. Ένα μοντέλο που είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί, προβλέπει ότι οι εφαρμογές MEC θα εκτελούνται στις ίδιες φυσικές πλατφόρμες με ορισμένες λειτουργίες δικτύου. Οι εφαρμογές αυτές μπορεί να μην ελέγχονται απευθείας από τον πάροχο του δικτύου. Υπάρχει έτσι ο κίνδυνος να καταναλώσουν πόρους απαραίτητους για τις λειτουργίες δικτύου. Υπάρχουν ακόμα κίνδυνοι, κακοσχεδιασμένες εφαρμογές να δώσουν την ευκαιρία σε κακόβουλους χρήστες ή εφαρμογές να έχουν πρόσβαση στην πλατφόρμα επηρεάζοντας τις λειτουργίες δικτύου.

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

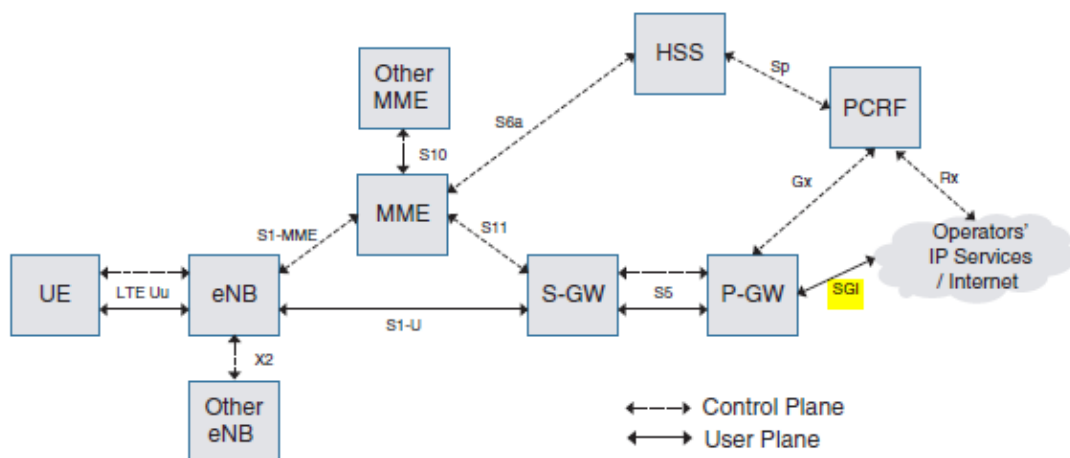
Πιο συγκεκριμένα, μερικές MEC εφαρμογές έχουν στόχο να επηρεάσουν τη διαμόρφωση του δικτύου(παράμετροι δικτύου πρόσβασης και κορμού) σε πραγματικό χρόνο με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης του και της εμπειρίας του πελάτη. Αν η επίδραση αυτή είναι πολύ μεγάλη, μπορεί να προκαλέσει σοβαρή υποβάθμιση της ποιότητας υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης ή και άρνηση παροχής της σε ορισμένους χρήστες. Κάποιες εφαρμογές μπορεί να πάρουν όλους τους πόρους από ανταγωνιστικές εφαρμογές είτε τυχαία είτε κακόβουλα.

Είναι λοιπόν μείζονος σημασίας για τους παρόχους υπηρεσιών να εξασφαλίσουν ότι αν ένα σύστημα δεν λειτουργεί σωστά στο MEC, δεν επηρεάζει το CRAN τμήμα. Η δυσλειτουργία μπορεί να προέρχεται από κακόβουλη χρήση ή από κατάρρευση κάποιου συστήματος. Σε κάθε περίπτωση ο πάροχος έχει την ευθύνη να το διορθώσει. Σε κάθε περίπτωση μηχανισμοί προστασίας και απομόνωσης πρέπει να λειτουργούν για να διασφαλίζουν ότι τα στοιχεία του CRAN λειτουργούν και προσφέρουν κάλυψη στους χρήστες.

Παράλληλα σε περιπτώσεις όπου οι πάροχοι φιλοξενούν εξωτερικές εφαρμογές σε ένα MEC σύστημα θα πρέπει να κάνουν ελέγχους ασφαλείας κατά την εγκατάσταση, την αναβάθμιση και την επανεκκίνηση κάποιου server.

3.2.3 Δικτύωση

Για την αξιοποίηση όλων των αναμενόμενων πλεονεκτημάτων του MEC (π.χ. μείωση καθυστερήσεων, αποφυγή συσσωρευμένης κίνησης στο backhaul δίκτυο), το κοντινότερο σημείο στο χρήστη για την υλοποίηση του MEC είναι κοντά στους σταθμούς βάσης(eNBs). Η τοποθεσία αυτή παρουσιάζει προκλήσεις σχετικά με τη διαχείριση της κινητικότητας και τη διασφάλιση ότι θα γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες για τα δεδομένα που μπορεί να μη φτάσουν στη SGi διεπιφάνεια.



Σχήμα 15: Βασικές EPS Οντότητες και Διεπιφάνειες

EPS(Evolved Packet System): Πρόκειται για την αρχιτεκτονική του δικτύου κορμού του LTE όπως ορίζεται από το 3GPP (Ο όρος SAE-System Architecture Evolution χρησιμοποιείται για την ίδια έννοια)

SGi διεπιφάνεια: Συνδέει τη P-GW/PDN-GW(Packet Data Network Gateway) με ένα εξωτερικό PDN (δημόσιο ή ιδιωτικό). Αναλαμβάνει την κατανομή IP διευθύνσεων και λειτουργίες επικύρωσης και εξουσιοδότησης.

S1-U διεπιφάνεια: Συνδέει τη S-GW (Serving Gateway) με το eNodeB και είναι υπεύθυνη για τη μετάδοση δεδομένων χρήστη μεταξύ τους.

S1-MME διεπιφάνεια: Συνδέει τη MME(Mobility Management Entity) με το eNodeB και είναι υπεύθυνη για τη μετάδοση δεδομένων ελέγχου μεταξύ τους.

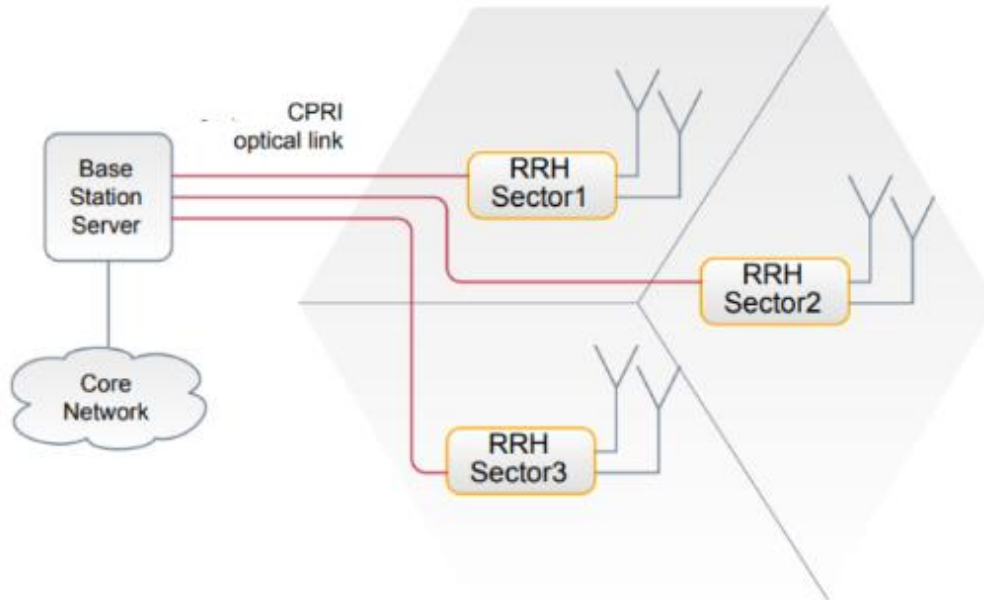
Το CRAN με το συγκεντρωτικό του χαρακτήρα έχει τη δυνατότητα να μειώσει τους MEC hosts που χρειάζονται για την εξυπηρέτηση ίδιου πληθυσμού. Παρόλ'αυτά διαφορετικές υλοποιήσεις του CRAN μπορούν να υιοθετηθούν ανάλογα με τη στρατηγική που ακολουθείται σε κάθε περίπτωση. Ο διαχωρισμός των λειτουργιών μεταξύ των κατανεμημένων RRHs(Remote Radio Heads) και των συγκεντρωμένων BBUs(Baseband Units) είναι κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Στο 4G χρησιμοποιούνται CPRI καλώδια που συνδέουν τη RRH του σταθμού με την κεντρική τοποθεσία όπου βρίσκεται η BBU. Το 5G θα διαφοροποιηθεί λόγω της απαίτησης μεγάλου εύρους ζώνης και φαίνεται ότι η χρήση του eCPRI θα συμβάλει στην υλοποίηση που θα υιοθετηθεί. Αυτό που τελικά επηρεάζει το MEC είναι ο τρόπος που επιλέγεται για την τοποθέτηση των BBUs, αφού αυτό επηρεάζει με τη σειρά του τον αριθμό γεγονότων κινητικότητας που πρέπει το MEC να διαχειριστεί.

RRH(Remote Radio Head): Ονομάζεται και RRU(Remote Radio Unit). Πρόκειται για έναν πομποδέκτη που πέρα από την αποστολή και λήψη σήματος εκτελεί λειτουργίες φιλτραρίσματος, ενίσχυσης και μετατροπής από αναλογικό σε ψηφιακό και αντίστροφα

BBU(Baseband Unit): Πρόκειται για μία μονάδα διαχείρισης σημάτων βασικής ζώνης υπεύθυνη για την επικοινωνία μέσω του φυσικού στρώματος

CPRI (Common Public Radio Interface): προτυποποιημένο πρωτόκολλο για την επικοινωνία της BBU με τη RRU

eCPRI (evolved Common Public Radio Interface): εξελιγμένο CPRI ικανό να μεταφέρει μεγάλη ποσότητα δεδομένων για να ανταποκριθεί στις ανάγκες της 5G τεχνολογίας



Σχήμα 16: RRU-BBU σύνδεση

Με τη συγκέντρωση των BBUs που ανήκουν σε διαφορετικές RRUs σε μία τοποθεσία (BBU hostelling) εξοικονομείται ενέργεια, βελτιώνεται το επίπεδο ασφάλειας και η υποδομή ετοιμάζεται για να μπορεί να δεχτεί εξελιγμένα συστήματα LTE.

Με τη μείωση του αριθμού των χρησιμοποιούμενων BBUs (BBU pooling) σε συνδυασμό με το παραπάνω απλοποιείται η διαχείριση κινητικότητας. Οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν σχετικά με την κινητικότητα των χρηστών μειώνονται, καθώς δεν χρειάζονται όταν οι χρήστες κινούνται εντός μίας συγκεκριμένης περιοχής που καλύπτεται από συγκεντρωμένες BBUs. Η γεωγραφική περιοχή στην οποία μπορεί να κινείται ένας χρήστης χωρίς να αλλάξει το MEC host που τον εξυπηρετεί μεγαλώνει.

3.2.4 Ρυθμιστικοί κανόνες

Οι πάροχοι δικτύων είναι υπεύθυνοι να παρέχουν υποστήριξη στις υπηρεσίες επιβολής του νόμου συμπεριλαμβανομένης της νόμιμης παρακολούθησης και διατήρησης δεδομένων που περνάνε από το δίκτυο τους. Η λειτουργία αυτή υποστηρίζεται στο δίκτυο κορμού για όλα τα δεδομένα που περνάνε από εκεί.

Με την εφαρμογή του MEC, ορισμένα δεδομένα μπορεί να δημιουργούνται μέσα στο MEC σύστημα και έτσι να μην περνάνε από το δίκτυο κορμού για να καταγραφούν. Η εγκατάσταση περισσότερων σημείων καταγραφής στο δίκτυο ενέχει κιν-

δύνους, καθώς όχι μόνο αυξάνει τα σημεία στα οποία υπάρχει η ευαίσθητη πληροφορία αλλά τα τοποθετεί και σε σημεία εκτός του δικτύου κορμού τα οποία είναι πιο εκτεθειμένα σε επιθέσεις. Η απόφαση τοποθέτησης σημείων καταγραφής και διατήρησης δεδομένων σε κόμβο εκτός του δικτύου κορμού, θα πρέπει να συνοδεύεται επομένως με την κάλυψη υψηλών απαιτήσεων ασφάλειας.

3.3 Ενεργοποίηση υπηρεσιών RAN στο MEC

Δύο σημαντικά στοιχεία της υλοποίησης του RAN σε συνδυασμό με το MEC είναι η δυνατότητα του CRAN να εκμεταλλευτεί τα MEC APIs (Application Programming Interfaces-Διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών) και η έκθεση των πληροφοριών του CRAN στις εφαρμογές του MEC. Θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα της εκμετάλλευσης των παρακάτω MEC APIs από το CRAN:

1. Radio Network Information (RNI) API – API πληροφοριών ασύρματου δικτύου
2. API τοποθεσίας
3. API ταυτότητας εξοπλισμού χρήστη
4. API διαχείρισης εύρους ζώνης

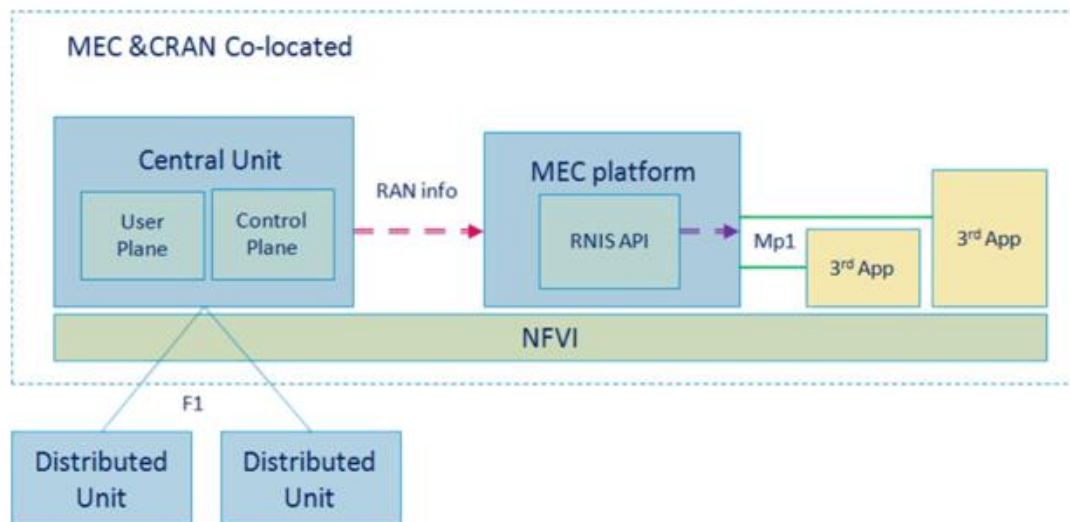
3.3.1 RNI API

Η υπηρεσία παροχής πληροφοριών για το ασύρματο δίκτυο (Radio Network Information Service-RNIS) είναι μία υπηρεσία που παρέχει πληροφορίες για το δίκτυο στις MEC εφαρμογές και πλατφόρμες. Οι βασικές πληροφορίες που παρέχονται χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Πληροφορίες φορέα πρόσβασης (Radio Access Bearer-RAB): πρόκειται για πληροφορίες για τα RABs που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο γεγονός μίας MEC εφαρμογής, την εγκατάσταση νέων RABs, την απελευθέρωση και την τροποποίηση υπαρχόντων RABs.
2. PLMN(Public Land Mobile Network) πληροφορίες: πρόκειται για πληροφορίες σχετικά με το ασύρματο δίκτυο με το οποίο σχετίζεται μία MEC εφαρμογή
3. Πληροφορίες φορέα S1: πρόκειται για πληροφορίες για τη σύνδεση S1-U, τις υπάρχουσες συνδέσεις, την εγκατάσταση νέων και την απελευθέρωση και τροποποίηση των υπαρχόντων
4. Πληροφορίες για την αλλαγή κατάστασης των cells: περιλαμβάνει πληροφορίες για παράδοση σύνδεσης σε άλλα cells, πληροφορίες PLMN δικτύου καθώς και τα αναγνωριστικά των cells
5. Αναφορές μετρήσεων RRC(Radio Resource Control) των χρηστών
6. Πληροφορίες που είναι απαραίτητες για το συγχρονισμό στο eNodeB

Η υπηρεσία RNI παρέχει τις προαναφερόμενες πληροφορίες στους χρήστες της μέσω ενός REST(Representational State Transfer) API. Πρόκειται για ένα αρχιτεκτονικό μοντέλο ανάπτυξης διαδικτυακών υπηρεσιών που βασίζεται στο πρωτόκολλο HTTP(Hypertext Transfer Protocol).

Καθώς το MEC βρίσκεται κοντά στο RAN, ο καλύτερος τρόπος για τις RNI υπηρεσίες να πάρουν τις πληροφορίες που χρειάζονται είναι μέσω απευθείας επικοινωνίας με το CRAN και όχι μέσω του δικτύου κορμού. Ειδικά στην κοινή υλοποίηση MEC με CRAN που μοιράζονται την ίδια NFV υποδομή, η ανταλλαγή πληροφοριών μπορεί να γίνει μέσω εσωτερικών διεπιφανειών. Έτσι επιτυγχάνεται η αποτελεσματικότητα εφαρμογών πραγματικού χρόνου μέσω της εκμετάλλευσης των πλεονεκτημάτων της κοινής υποδομής.



Σχήμα 17: Λήψη RAN πληροφοριών από το MEC απευθείας από το CRAN

3.3.2 API Τοποθεσίας

Η υπηρεσία τοποθεσίας παρέχει πληροφορίες σχετικές με την τοποθεσία π.χ. τοποθεσία eNodeB, τοποθεσία χρήστη, χρήστες που εισέρχονται σε μία συγκεκριμένη περιοχή σε MEC πλατφόρμες και εφαρμογές. Οι πληροφορίες τοποθεσίας μπορεί να προέρχονται απευθείας από τις συσκευές των χρηστών ή από πληροφορίες δικτύου.

Σε αυτή την κατηγορία πληροφοριών τίθενται θέματα ασφάλειας και διατήρησης της ιδιωτικότητας αν ο στόχος είναι η εγκατάσταση MEC hosts σε όλο το CRAN. Η τοποθεσία στην οποία βρίσκεται ένας χρήστης αποτελεί ευαίσθητη πληροφορία από τη μία και χρήσιμη για τις επιχειρήσεις από την άλλη. Για να γίνει η διαθεσι-

μότητα αυτών των πληροφοριών αποδεκτή από το ευρύ κοινό, θα πρέπει να υπάρχουν αυστηροί μηχανισμοί ασφαλείας στο CRAN. Για τη διατήρηση της ανωνυμίας του χρήστη που συνδέεται με μία τοποθεσία απαιτείται η ανταλλαγή δεδομένων μέσω ελεγχόμενων APIs, ώστε να αποφευχθεί η διαρροή ιδιωτικών πληροφοριών.

Σημαντικός είναι και ο διαχωρισμός διαδικασιών μέσω εικονικών μηχανών αλλά και διαφορετικών υλικών πόρων, για να αποφευχθεί η εξαγωγή δεδομένων από διαδικασίες που μοιράζονται τους ίδιους φυσικούς πόρους.

3.3.3 API ταυτότητας εξοπλισμού χρήστη

Το χαρακτηριστικό της ταυτότητας της κάθε συσκευής του χρήστη, παρέχεται για να μπορούν οι εξουσιοδοτημένες MEC εφαρμογές, να καλούν συγκεκριμένους κανόνες διαχείρισης της κίνησης δεδομένων εντός της MEC πλατφόρμας. Κάθε συσκευή έχει μία συγκεκριμένη “ετικέτα” που παρέχεται στην εφαρμογή. Αυτή χρησιμοποιείται σαν ενδιάμεσο αναγνωριστικό ανάμεσα στο 5-tuple(οι 5 τιμές που συνθέτουν μια TCP/IP σύνδεση: IP διεύθυνση και αριθμός πύλης προέλευσης και προορισμού και χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο) και το εξωτερικό αναγνωριστικό της συσκευής. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κάλυψη πληροφοριών μεταξύ του αναγνωριστικού συστήματος του παρόχου του δικτύου και των λοιπών εξωτερικών δικτύων. Το MEC για να ενεργοποιήσει κάποιον κανόνα κίνησης για μία συσκευή, λαμβάνει την “ετικέτα” της μέσω του API ταυτότητας εξοπλισμού χρήστη(UE Identity API). Μετά την επιτυχημένη εγγραφή, η MEC πλατφόρμα ενεργοποιεί τον κανόνα που σχετίζεται με τη συγκεκριμένη “ετικέτα” και μπορεί αργότερα να τον απενεργοποιήσει με αφαίρεση της εγγραφής.

3.3.4 API διαχείρισης εύρους ζώνης

Στόχος αυτού του API είναι η αποτελεσματική και έγκαιρη ικανοποίηση των απαιτήσεων εύρους ζώνης των MEC εφαρμογών. Διαφορετικές εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις εύρους ζώνης μπορούν να εκδηλωθούν ταυτόχρονα σε ένα MEC host, ή εφαρμογές με ίδιες απαιτήσεις εύρους ζώνης μπορούν να ζητηθούν από χρήστες που βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία. Η υπηρεσία διαχείρισης εύρους ζώνης πρέπει να λάβει όλες τις απαιτήσεις και να μοιράσει το διαθέσιμο εύρος ζώνης με δίκαιο και βέλτιστο τρόπο.

Σε μία υλοποίηση MEC χωρίς CRAN δομή, η κατανομή του εύρους ζώνης βασίζεται σε τοπικές αποφάσεις που μπορούν να λαμβάνονται γρήγορα λόγω των μικρών αποστάσεων. Αν δεν υπάρχει όμως κεντρικός συντονισμός από μία μονάδα όπως το

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

CRAN, δεν μπορεί να υπάρξει η βέλτιστη κατανομή εύρους ζώνης καθώς η κατανομή γίνεται χωριστά ανά μικρές περιοχές.

Από την άλλη, σε μία υλοποίηση CRAN χωρίς MEC και άρα χωρίς το API διαχείρισης εύρους ζώνης, η κατανομή εύρους ζώνης γίνεται μέσω κεντρικού συντονισμού. Ο συντονισμός συμβάλλει στη βελτίωση της επίδοσης του συστήματος, αλλά η κατανομή αυτή επηρεάζεται άμεσα από τη σύνδεση του CRAN με τους σταθμούς και μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στη συνολική κατανομή εύρους ζώνης.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι οι τεχνολογίες MEC και CRAN είναι συμπληρωματικές. Η κοινή υλοποίηση τους μειώνει το συνολικό κόστος και προσφέρει περισσότερες δυνατότητες αλλά απαιτεί την αντιμετώπιση ορισμένων προκλήσεων ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες υλοποίησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

MEC στο 4G και το 5G

4.1 MEC: Ανεξαρτησία τεχνολογίας από το δίκτυο

Όπως έχει αναφερθεί, η τεχνολογία MEC αποτελεί βασικό στοιχείο για την κάλυψη μεγάλου εύρους αναγκών, που έχουν απαιτήσεις μείωσης καθυστερήσεων. Το MEC μπορεί να εφαρμοστεί για να καλύψει ποικίλες ανάγκες χρηστών σε διάφορες εφαρμογές, χωρίς να περιορίζεται από την τεχνολογία δικτύου (4G ή 5G). Πρόκειται για μία καθολική τεχνολογία που προσφέρεται για κάθε περίπτωση που υπάρχουν τοπικές ανάγκες, όπως ένα εμπορικό κέντρο ή ένα γήπεδο ποδοσφαίρου σε αγώνα. Πολλές φορές θεωρείται ότι το MEC αποτελεί τεχνολογία που συνοδεύει την ανάπτυξη του 5G, αλλά καθώς αναμένεται το 4G δίκτυο να χρησιμοποιείται για πολλά χρόνια ακόμα, γίνεται έρευνα για την εφαρμογή του MEC και στα υπάρχοντα 4G δίκτυα. Η αρχιτεκτονική MEC που έχει παρουσιαστεί είναι ανεξάρτητη από την εξέλιξη του δικτύου, ώστε να μπορεί μετά την εφαρμογή της σε 4G δίκτυα, να επαναχρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει και 5G υπηρεσίες. Είναι λοιπόν κρίσιμο για τους παρόχους δικτύου να κατανοήσουν την επίπτωση της εφαρμογής της MEC τεχνολογίας τόσο στα υπάρχοντα 4G δίκτυα όσο και στα μελλοντικά 5G δίκτυα.

4.2 Εφαρμογή MEC σε 4G δίκτυα

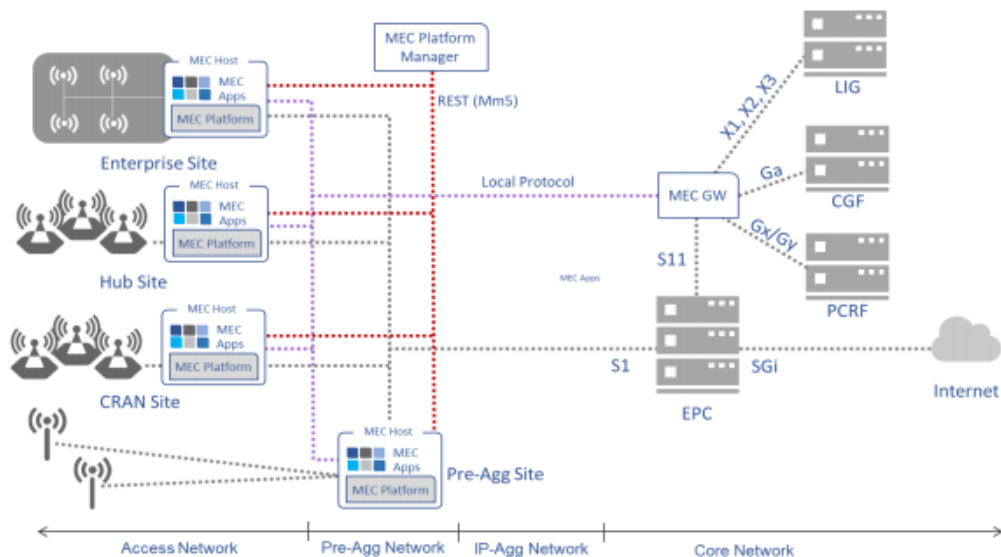
Μία βασική λειτουργία της MEC πλατφόρμας είναι να δρομολογεί τα IP πακέτα στις MEC εφαρμογές που αναμένεται να διαχειρίζονται την κίνηση με τους εξής τρόπους:

- Η σύννοδος σύνδεσης μεταφέρεται σε μία MEC εφαρμογή που είτε φιλοξενείται τοπικά στη MEC πλατφόρμα είτε σε έναν απομακρυσμένο server (Breakout). Τυπικές εφαρμογές breakout είναι οι υπηρεσίες πολυμέσων και τα παιχνίδια.
- Η συνδεσιμότητα διατηρείται με τον αρχικό εξυπηρετητή καθώς όλη κίνηση περνάει από τη MEC εφαρμογή(In-line). Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι οι εφαρμογές ασφαλείας.
- Συγκεκριμένη κίνηση δεδομένων αντιγράφεται και προωθείται στη MEC εφαρμογή (Tap). Παράδειγμα αποτελεί η ανάπτυξη εικονικών δικτύων.
- Δεν απαιτείται λειτουργία εκφόρτωσης δικτύου(Independent) αλλά η εφαρμογή MEC εγγράφεται στη MEC πλατφόρμα και λαμβάνει άλλες MEC υπηρεσίες όπως RNIS.

Η δρομολόγηση της κίνησης από και προς τις MEC εφαρμογές γίνεται με τη διαμόρφωση των τοπικών MEC DNS(Domain Name System) και του data plane των MEC hosts. Η τοποθεσία εγκατάστασης του MEC host στην αρχιτεκτονική του 4G καθορίζει τις λεπτομέρειες υλοποίησης του data plane στο MEC host και τις εφαρμογές. Οι επιλογές τοποθέτησης στο δίκτυο συνοψίζονται στις εξής:

1. Ανάμεσα στο σταθμό βάσης και το δίκτυο κορμού (Bump in the wire)

Αυτή ήταν η πρώτη πρόταση που παρουσιάστηκε για την τοποθεσία της MEC πλατφόρμας. Η MEC πλατφόρμα μπορεί να δρομολογεί τα IP πακέτα από και προς τις MEC εφαρμογές και τα GTP-ενθυλακωμένα πακέτα για την κανονική κίνηση από και προς την πύλη εξυπηρέτησης (SGW) σύμφωνα με τα PDNs του παρόχου. Αποτελεί κατάλληλη υλοποίηση σε επιχειρησιακά δίκτυα και σε περιπτώσεις κοινής υλοποίησης MEC και CRAN που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.



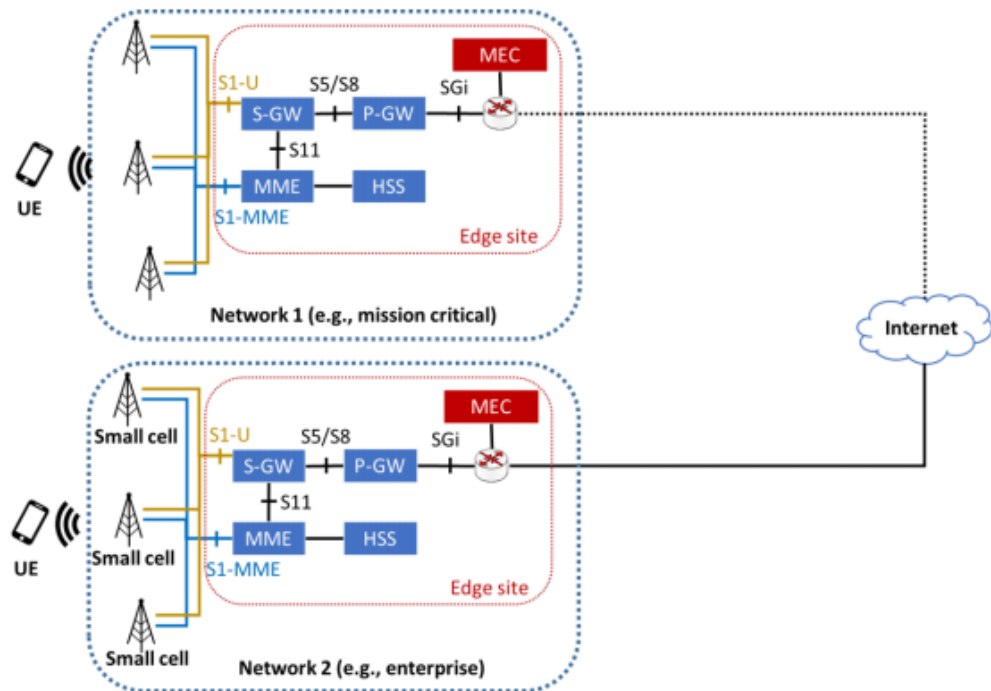
Σχήμα 18: Εφαρμογή MEC με την προσέγγιση “Bump in the wire”

GTP(GPRS Tunneling Protocol): Πρόκειται για ένα σημαντικό πρωτόκολλο IP/UDP που χρησιμοποιείται στα δίκτυα κορμού για 2G,3G,4G. Χρησιμοποιείται για την ενθυλάκωση δεδομένων χρήστη κατά το πέρασμα από το δίκτυο κορμού καθώς και για την ανταλλαγή πληροφοριών ελέγχου μεταξύ των δικτύων κορμού.

PDN(Packet Data Network): Γενική περιγραφή δικτύου που παρέχει υπηρεσίες δεδομένων.

2. Κατανεμημένο EPC(Evolved Packet Core)

Σε αντίθεση με την προηγούμενη προσέγγιση, εδώ ο MEC host περιλαμβάνει όλα ή κάποια από τα στοιχεία του EPC και το data plane του MEC τοποθετείται στη SGi διεπιφάνεια. Η δρομολόγηση της κίνησης των δεδομένων προς το MEC σύστημα γίνεται τώρα μέσω των τοπικών DNS του MEC και της πύλης PDN (PGW). Σε αυτήν την υλοποίηση, όταν ο χρήστης εγγράφεται στο κατανεμημένο EPC που συνυπάρχει με το MEC host, η PGW τερματίζει τη σύνδεση PDN και χρησιμοποιεί την IP διεύθυνση και το τοπικό DNS για την απόδοση IP διεύθυνσης στις MEC εφαρμογές. Αποτελεί κατάλληλη υλοποίηση για MCPTT και επικοινωνία μεταξύ μηχανών όπου η επικοινωνία με τον πυρήνα του δικτύου είναι προαιρετική.

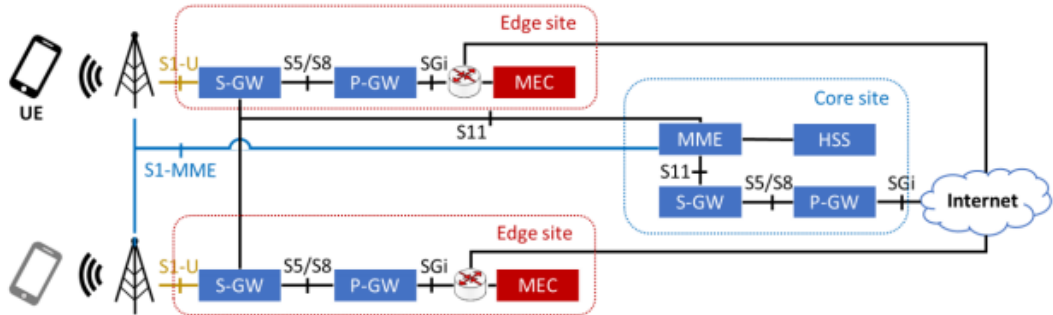


Σχήμα 19:Εφαρμογή MEC με κατανεμημένο EPC

MCPTT(Mission Critical Push to Talk): Πρότυπο του 3GPP για το LTE που επιτρέπει την καλύτερη διαχείριση των κρίσιμων κλήσεων με στόχο να ικανοποιήσει τις ανάγκες επικοινωνίας για τη δημόσια ασφάλεια.

3. Κατανεμημένη S/PGW

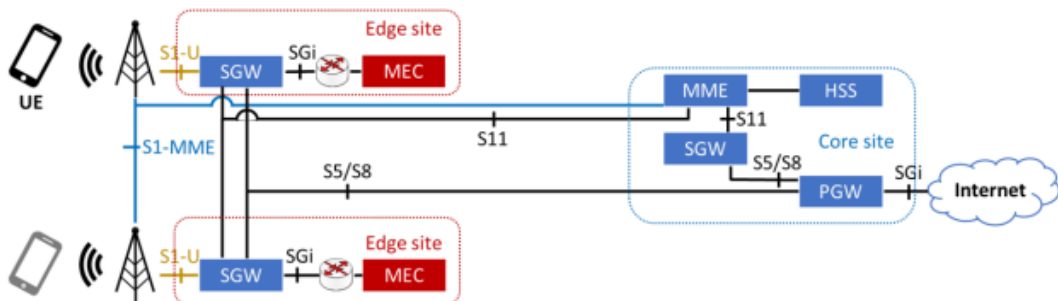
Πρόκειται για μία υλοποίηση παρόμοια με την προηγούμενη καθώς ο MEC host συνδέεται με την PGW μέσω της διεπιφάνειας SGi. Ωστόσο μόνο οι SGW και PGW βρίσκονται στο άκρο(edge) της υλοποίησης.



Σχήμα 20: S-GW και P-GW MEC υλοποίηση

4. Κατανεμημένη SGW με τοπικό ξεμπλοκάρισμα (SGW-LBO)

Το τοπικό ξεμπλοκάρισμα αποτελεί μία νέα αρχιτεκτονική για το MEC που προέρχεται από την επιθυμία των παρόχων να έχουν μεγαλύτερο έλεγχο των λεπτομερειών της κίνησης δεδομένων που πρέπει να επεξεργαστούν και/ή να προωθηθούν. Υπαγορεύεται από την ανάγκη των χρηστών να έχουν πρόσβαση και στις MEC εφαρμογές αλλά και στις εφαρμογές του πυρήνα του δικτύου επιλεκτικά μέσω των ίδιου APN. Η κίνηση διαβιβάζεται μέσω της διεπιφάνειας SGi που επιτρέπει διαχωρισμό της. Ουσιαστικά, ο πάροχος αποκτάει τη δυνατότητα τοποθέτησης φίλτρων(ανάλογα με την πολιτική που ακολουθεί) για τη διακίνηση του φορτίου.



Σχήμα 21: S-GW-LBO υλοποίηση

5. Διαχωρισμός Control/User Plane (CUPS)

Οι προαναφερθείσες υλοποιήσεις μπορούν να εφαρμοστούν και σε συνδυασμό με το διαχωρισμό του control plane από το user plane. Τότε, το νέο User Plane τοποθετείται στο MEC host. Η αρχιτεκτονική CUPS επιτρέπει την τοπική διαβίβαση της κίνησης.

4.3 Το MEC ως οδηγός για τη μετάβαση στο 5G

Το MEC δεν θέτει περιορισμούς ως προς την υπάρχουσα υποδομή πράγμα που το καθιστά ένα ευέλικτο στοιχείο στα δίκτυα επικοινωνιών. Οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να το χρησιμοποιήσουν για τη δοκιμή εφαρμογών και τη δημιουργία νέων εσόδων χωρίς να χρειάζεται να περιμένουν την εγκατάσταση του 5G στα δίκτυα. Έτσι ξεκινώντας από τη δοκιμή περιορισμένου αρχικά πλήθους εφαρμογών MEC στο 4G μπορεί να γίνει ομαλά η μετάβαση στο 5G.

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας για τη μετάβαση στα 5G δίκτυα είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των υπάρχοντων συστημάτων. Η παρακολούθηση της απόδοσης και των πόρων που χρειάζεται μία εφαρμογή, είναι εύκολη με το MEC λόγω των εικονικών του χαρακτηριστικών. Έτσι η κοστολόγηση που πρέπει να γίνει από τον εκάστοτε πάροχο μπορεί να είναι πιο ακριβής λαμβάνοντας υπόψιν και τη διαστασιολόγηση για τον απαιτούμενο εξοπλισμό.

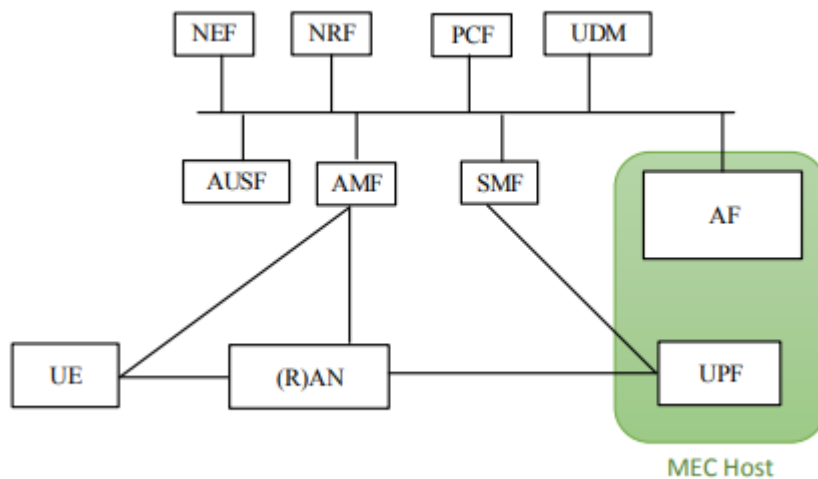
Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το MEC καθιστούν δελεαστική την ανάπτυξη του σε δοκιμαστικό επίπεδο, με στόχο την ανάδειξη των δυνατοτήτων που προσφέρει και της ανάγκης υλοποίησης του. Η συμβατότητα του με το 5G επιτρέπει τη διοχέτευση κεφαλαίων στην ανάπτυξη του καθώς θα μπορεί να αξιοποιηθεί και μετά από τη μετάβαση στο 5G.

Η συμβατότητα του MEC με το 5G περιλαμβάνει:

1. Ενσωμάτωση του MEC data plane στο 5G σύστημα που είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση της κίνησης στο τοπικό δίκτυο δεδομένων και τη μεταβίβαση σε μία εφαρμογή
2. Μία λειτουργία εφαρμογής (Application Function-AF) που αλληλεπιδράει με το 5G control plane για τη δρομολόγηση της κίνησης των δεδομένων και την υποστήριξη κινητικότητας των εφαρμογών
3. Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των πόρων του edge computing και συντονισμού/οργάνωσης των εφαρμογών και/ή των λειτουργιών του δικτύου 5G ενώ το MEC συντονίζει τις εφαρμογές υπηρεσιών

4.4 Εφαρμογή του MEC στην αρχιτεκτονική του 5G

Η Αρχιτεκτονική 5G που έχει καθοριστεί από το 3GPP TS 23.501 περιλαμβάνει πολλαπλές λειτουργικές οντότητες του control plane (π.χ. Policy Control Function-PCF, Session Management Function-SMF, Application Function-AF κτλ) και του Data Plane (π.χ. User Plane Function-UPF). Σε αντίθεση με το υπάρχον δίκτυο, το 5G σύστημα σχεδιάστηκε να επιτρέπει μία πιο ευέλικτη εφαρμογή του data plane, στοχεύοντας στην υποστήριξη του edge computing. Συνεπώς οι αρχιτεκτονικές των MEC και 5G μπορούν εύκολα να συνυπάρξουν. Στο σχήμα 22 φαίνεται η αντιστοίχιση του MEC στην αρχιτεκτονική του 5G. Το data plane του MEC host αντιστοιχίζεται στην UPF του 5G. Η MEC πλατφόρμα αξιοποιεί την αρχιτεκτονική του δικτύου 5G και εκτελεί τη δρομολόγηση της κίνησης στην UPF.



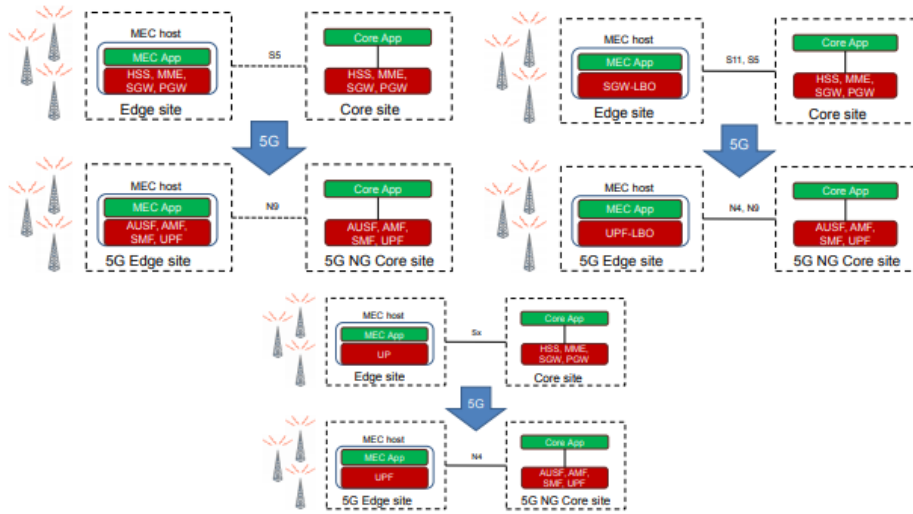
Σχήμα 22: Παράδειγμα σύνδεσης MEC με τη 5G αρχιτεκτονική

Στη μετάβαση από το 4G στο 5G οι λειτουργίες του MEC που παρουσιάστηκαν στο 4G παραμένουν, εκπληρώνοντας απαιτήσεις όπως:

1. Επαναχρησιμοποίηση πόρων του edge computing
2. Αλληλεπίδραση με το 5G control plane
3. Ενσωμάτωση στο δίκτυο 5G

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως ο MEC host, που περιλαμβάνει τις λειτουργίες του 4G δικτύου κορμού, μπορεί να μετατραπεί κατάλληλα για να υποστηρίξει το 5G μέσω αναβάθμιση του λογισμικού.

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G



Σχήμα 23: Μεταφορά MEC εφαρμογών από το 4G στο 5G

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

5.1 Προκλήσεις-Ανοιχτά θέματα προς έρευνα

Η αποκέντρωση της cloud υποδομής στο edge παρέχει ποικίλα πλεονεκτήματα που συνεισφέρουν στην εξέλιξη προς το 5G, συνοδεύεται όμως παράλληλα από πλήθος προκλήσεων που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν. Οι βασικότερες αναφέρονται παρακάτω:

1. Διαχείριση πόρων

Οι υπολογιστικοί και αποθηκευτικοί πόροι της κάθε επιμέρους MEC πλατφόρμας αναμένεται να είναι περιορισμένοι και ικανοί να υποστηρίξουν ένα συγκεκριμένο αριθμό εφαρμογών. Στην παρούσα κατάσταση οι πάροχοι δικτύου συχνά αντιμετωπίζουν το δίλημμα δημιουργίας αυτόνομων υποδομών για την κάλυψη των αναγκών που υπάρχουν, έναντι των εσόδων που προκύπτουν από μία τέτοια επένδυση. Η προσέγγιση του MEC ως υπηρεσία είναι μία ενδιαφέρουσα εναλλακτική, καθώς οι πόροι θα μπορούν έτσι να δοθούν στους παρόχους υπηρεσιών όταν αυτό χρειάζεται, και να ελευθερωθούν όταν δεν χρησιμοποιούνται.

2. Διαλειτουργικότητα

Οι υποδομές MEC που ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους δικτύου θα πρέπει να μπορούν να συνεργάζονται μεταξύ τους. Αυτό απαιτεί τον καθορισμό συγκεκριμένων πρωτοκόλλων χρήσης για όλες τις υποδομές και τη δυνατότητα των παρόχων υπηρεσιών να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο και τις πληροφορίες του ανεξαρτήτως τοποθεσίας εγκατάστασης.

3. Παρακολούθηση και Συγχρονισμός

Η εκμετάλλευση των κατανεμημένων πόρων και των διαφορετικών οντοτήτων που προβλέπεται να υπάρχουν στη MEC αρχιτεκτονική, απαιτεί μηχανισμούς εύρεσης των κατάλληλων κάθε φορά κόμβων. Για την αξιοποίηση της αποκεντρωμένης αυτής νέας δομής απαιτείται συνεχής παρακολούθηση των ετερογενών πόρων και ακριβής συγχρονισμός μεταξύ πολλαπλών συσκευών.

4. Υποστήριξη κινητικότητας

Σε ένα δίκτυο όπου το εύρος κάλυψης κάθε μεμονωμένου στοιχείου περιορίζεται, όπως αναμένεται να συμβεί στο MEC, η υποστήριξη της κινητικότητας

των εφαρμογών/χρηστών και η άμεση επανάθεση τους είναι εξαιρετικά σημαντική.

5. Δικαιοσύνη ανάθεσης

Η δίκαιη κατανομή των πόρων και η εξισορρόπηση των φορτίων αποτελεί επίσης ένα σημαντικό πρόβλημα. Υπάρχει η πιθανότητα ένας μικρός αριθμός κόμβων να αναλαμβάνει όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας που απαιτούνται και οι υπόλοιποι να έχουν ελάχιστη συμμετοχή στην αποδοτικότητα της κατανεμημένης δομής.

6. Ασφάλεια

Τα θέματα ασφαλείας μπορεί να αποτελέσουν ανασταλτικό παράγοντα στην επιτυχία της αρχιτεκτονικής MEC αν δεν αντιμετωπιστούν κατάλληλα. Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα κεντρικής πιστοποίησης μπορεί να μην εφαρμόζονται σε ορισμένα τμήματα της υποδομής που έχουν περιορισμένη συνδεσιμότητα με τον κεντρικό server πιστοποίησης. Επίσης, καθώς οι πάροχοι υπηρεσιών επιθυμούν να λαμβάνουν πληροφορίες από τους χρήστες για να προσαρμόζουν τις υπηρεσίες τους ανάλογα, είναι σημαντικό να υπάρχει αποτελεσματικό σύστημα προστασίας της ιδιωτικότητας, και άρα της τοποθεσίας και της χρήσης υπηρεσιών, των χρηστών.

7. Big Data Mining

Ο όρος Big Data αναφέρεται σε τεράστιες ποσότητες δεδομένων που είναι δύσκολο να επεξεργαστούν με τις παραδοσιακές βάσεις δεδομένων και τεχνικές λογισμικού. Η εξόρυξη (mining) δεδομένων είναι η εξαγωγή πληροφορίας από τεράστιες συλλογές δεδομένων. Για να προσαρμοστεί στη μεγάλη ποικιλία δεδομένων προς μετάδοση και στις μεταβολές του όγκου μετάδοσης στο χρόνο, το edge computing πρέπει να μπορεί να αναδιαμορφωθεί ανάλογα με τα εκάστοτε δεδομένα. Η γρήγορη εξέλιξη του big data mining καθιστά δυνατή την αξιοποίηση της τεχνολογίας για την εξαγωγή γνώσεων που ενισχύουν τις δυνατότητες αυτοοργάνωσης του edge computing. Η μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές του edge προσθέτει μεγάλο φόρτο στο δίκτυο δίνοντας τη δυνατότητα προεπεξεργασίας στις συσκευές αυτές. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την ανάπτυξη σύνθετων αλγοριθμών για την επεξεργασία ατελών δεδομένων.

8. Network Slicing

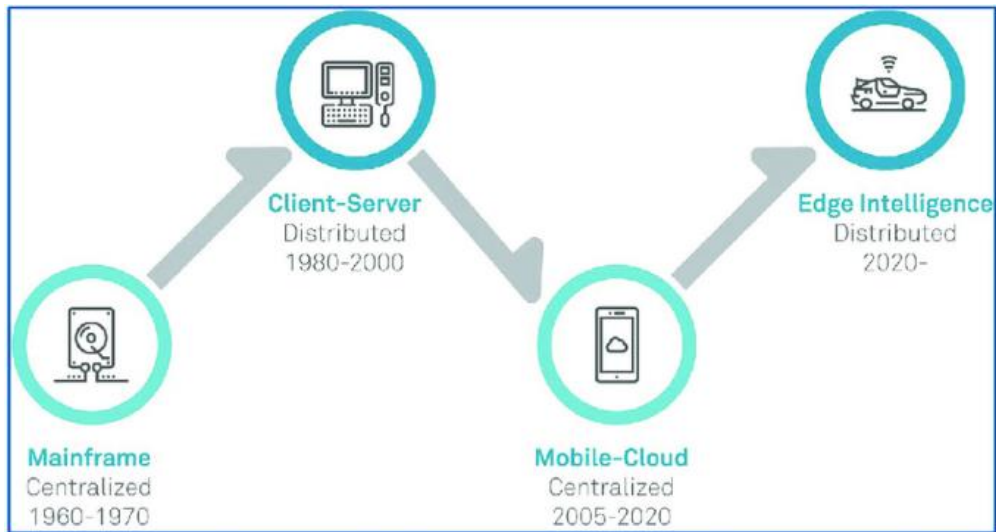
Για την κάλυψη των ποικίλων περιπτώσεων και επιχειρηματικών μοντέλων στον τομέα των τηλεπικοινωνιών έχει προταθεί ένας τεμαχισμός του δικτύου

ου(network slicing). Σε αυτόν κάθε οντότητα του δικτύου χωρίζεται σε πολλαπλά απομονωμένα κομμάτια καθένα από τα οποία έχει τις κατάλληλες λειτουργίες δικτύου και χρησιμοποιεί τεχνολογίες του δικτύου πρόσβασης για να καλύψει μία συγκεκριμένη περίπτωση. Με τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού το δίκτυο χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα που καλύπτουν συγκεκριμένες ανάγκες με ένα αποδοτικό από άποψη κόστους τρόπο. Υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις στην εφαρμογή της τεχνικής του network slicing στο edge computing. Ο συμβατικός τρόπος “τεμαχισμού” του δικτύου καθορίζεται από τις επιχειρήσεις που εξυπηρετεί. Ουσιαστικά πρόκειται για μία λύση για την αντιμετώπιση των αναγκών που προκύπτουν από τις διάφορες υπηρεσίες, που δεν αναδεικνύει τα χαρακτηριστικά του edge computing. Για παράδειγμα, όταν οι δικτυακοί πόροι είναι περιορισμένοι, ο ζητούμενος “τεμαχισμός” του δικτύου μπορεί να μην είναι αποδοτικός. Επιπλέον στην παρούσα κατάσταση ο “τεμαχισμός” δικτύου βασίζεται στο δίκτυο κορμού, ενώ σαν υπηρεσία από άκρο σε άκρο θα έπρεπε να λαμβάνει υπόψιν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του RAN. Περαιτέρω μελέτη απαιτείται για την ανάπτυξη μίας δομής που θα επιτρέπει τον “τεμαχισμό” του δικτύου σε συνδυασμό με το MEC.

5.2 Τι θα ακολουθήσει;

Η IDC (International Data Corporation) προβλέπει την ύπαρξη 150 δισεκατομμυρίων διασυνδεδεμένων συσκευών παγκοσμίως, μέχρι το 2025, μεγάλο μέρος των οποίων θα πρέπει να ανταλλάσσουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Το 2017 μόνο το 15% της παραγόμενης πληροφορίας χρειαζόταν να μεταδοθεί/επεξεργαστεί σε πραγματικό χρόνο. Το ποσοστό αναμένεται να φτάσει το 30% το 2020 πράγμα που σε συνδυασμό με την αύξηση του όγκου δεδομένων, από 5 σε 50 zetabytes, που αναμένεται, καθιστά φανερό την τεράστια αύξηση των αναγκών του δικτύου. Το MEC δίνει τη δυνατότητα ευφυούς ανάλυσης του τεράστιου όγκου δεδομένων που πρέπει να επεξεργαστεί σε πραγματικό χρόνο.

Ωστόσο, θα ήταν λάθος να θεωρήσει κάποιος ότι το MEC αποτελεί διάδοχο του Cloud Computing. Στην πραγματικότητα πρόκειται για μία υλοποίηση που θα λειτουργήσει συνδιαστικά με το Cloud. Το edge ενδείκνυται όταν η απαίτηση περιλαμβάνει τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο ωστόσο, πάντα θα υπάρχουν και σενάρια όπου δεδομένα από πολλαπλές edge συσκευές θα πρέπει να συγκεντρωθούν κεντρικά, και τότε θα υπάρχει η ανάγκη ύπαρξης του Cloud. Η συνδυασμένη αυτή υλοποίηση γνωστή ως “ομιχλώδης” (fog computing) έχει αναφερθεί παραπάνω, και φαίνεται ότι αποτελεί αυτήν που θα κυριαρχήσει μελλοντικά, αφού επιτρέπει στις επιχειρήσεις τη μεγιστοποίηση των δυνατοτήτων τους με ταυτόχρονη μείωση των περιορισμών τους.



Σχήμα 24: Εξέλιξη της αρχιτεκτονικής δικτύου

Η εξέλιξη του Edge Computing κατά το 2020 θα καθοριστεί από τα παρακάτω στοιχεία:

- Σε κάθε περίπτωση χρήσης του υπάρχουν διαφορετικές ανάγκες επεξεργασίας και αποθήκευσης που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Η ποικιλία των διαφορετικών αναγκών που αναμένεται να καλύψει το MEC είναι βασικό χαρακτηριστικό του και απαιτεί την ανάπτυξη εργαλείων και μεθόδων για την επίτευξη της προσαρμοστικότητάς του.
- Οι ανάγκες που θα καλύπτει το Edge Cloud αναμένεται να αυξηθούν τουλάχιστον κατά 50% το 2020. Στόχος των σχετιζόμενων επιχειρήσεων είναι η παροχή υποδομής ως υπηρεσία (IaaS) που παρέχεται ανεξάρτητα από τη συνδεσιμότητα στο Cloud ή μόνο με διακοπτόμενη συνδεσιμότητα σε αυτό.
- Οι επιχειρήσεις θα επιλέξουν λύσεις μέσω πολλαπλών προμηθευτών αντί για μεμονωμένους, καθώς πλέον δεν θα είναι εύκολο για ένα μεμονωμένο προμηθευτή να καλύψει όλες τις πτυχές του Edge.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι προγραμματισμένες για το 2020 συναντήσεις με θεματολογία το MEC σύμφωνα με την ιστοσελίδα του ETSI.

UPCOMING MEETINGS

[MEC#21](#): 10-13 February 2020, ETSI, Sophia Antipolis, France

[MEC F2F#5](#): 23-27 March 2020, TBD

[MEC#22](#): 1-5 June 2020, ETSI, Sophia Antipolis, France

[MEC#23](#): 21-25 September 2020, TBD

[MEC F2F#6](#): 2-6 November 2020, TBD

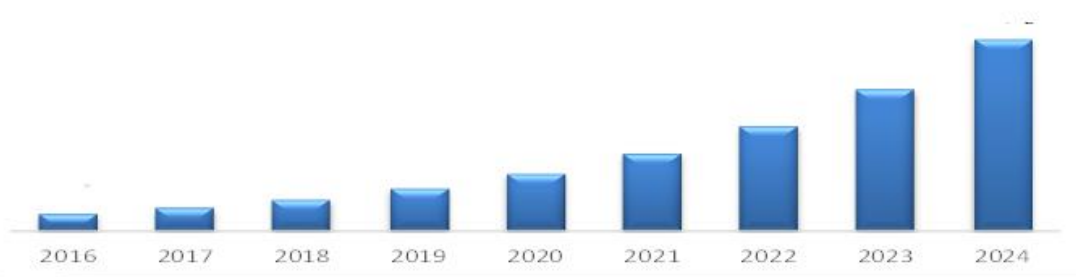
[MEC#24](#): 8-11 December 2020, KDDI Tokyo, Japan

Σχήμα 25: Προγραμματισμένες συναντήσεις για το MEC το 2020

5.3 Αξίζει η επένδυση στο MEC;

Το 2020 η εγκατάσταση και χρήση του 5G δικτύου αποτελεί γεγονός. Καθώς αυξάνονται οι συμβατές με το 5G συσκευές, το όφελος που προκύπτει από αυτό μεγαλώνει τόσο σε επίπεδο χρήστη όσο και παρόχου. Το MEC αποτελεί βασικό στοιχείο για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του 5G, με βασικό το Internet of Things, και έτσι συγκεντρώνει την προσοχή τα τελευταία χρόνια. Παράλληλα, η συμβατότητα του με το 4G υπάρχον δίκτυο μειώνει τις τυχόν αμφιβολίες των επιχειρήσεων να επενδύσουν σε αυτό.

Εταιρείες όπως οι Amazon, Microsoft, Dell, IBM, Cisco, Nokia, Huawei επενδύουν ήδη στην κατεύθυνση του MEC. Η παγκόσμια αγορά του Edge Computing αναμένεται να μεγαλώσει από τα 2,8 δισεκατομμύρια δολάρια (2019) στα 9 δισεκατομμύρια μέχρι το 2024.



Σχήμα 26: Ποιοτικό διάγραμμα παγκόσμιας αγοράς MEC από το 2016 έως το 2024

MOBILE EDGE COMPUTING: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ 5G

Βιβλιογραφία

- [1] Imtiaz Parvez, Ali Rahmati, Ismail Guvenc, Arif I. Sarwat, Huaiyu Dai, *A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Network and Caching Solutions*, 2016
- [2] Swaroop Nunna, Apostolos Kousaridas, Mohamed Ibrahim, Markus Dillinger, Christoph Thuemmler, Hubertus Feussner, Armin Schneider, *Enabling Real-Time Context-Aware Collaboration through 5G and Mobile Edge Computing*, 2015
- [3] Alex Reznik, Luis Miguel Contreras Murillo, Yonggang Fang, Walter Featherstone, Miltiadis Filippou, Francisco Fontes, Fabio Giust, Qiang Huang, Alice Li, Charles Turyagyenda, Christof Wehner, Zhou Zheng, *Cloud-RAN and MEC: A Perfect Pairing*, 2018
- [4] Yuan Ai, Mugen Peng, Kecheng Zhang, *Edge Computing Technologies for Internet of Things: A Primer*, 2017
- [5] Sami Kekki, Walter Featherstone, Yonggang Fang, Pekka Kuure, Alice Li, Anurag Ranjan, Debashish Purkayastha, Feng Jiangping, Danny Frydman, Gianluca Verin, Kuo-Wei Wen, Kwihoon Kim, Rohit Arora, Andy Odgers, Luis M. Contreras, Salvatore Scarpina, *MEC in 5G networks*, June 2018
- [6] ETSI GS MEC-IEG 004 V1.1.1, *Mobile-Edge Computing (MEC); Service Scenarios*, 2015
- [7] Fabio Giust, Gianluca Verin, Kiril Antevski, Joey Chou, Yonggang Fang, Walter Featherstone, Francisco Fontes, Danny Frydman, Alice Li, Antonio Manzalini, Debashish Purkayastha, Dario Sabella, Christof Wehner, Kuo-Wei Wen, Zheng Zhou, *MEC Deployments in 4G and Evolution Towards 5G*, 2018
- [8] Dario Sabella, Alessandro Vaillant, Pekka Kuure, Uwe Rauschenbach, and Fabio Giust, *Mobile-Edge Computing Architecture*, 2016
- [9] Tuyen X. Tran, Abolfazl Hajisami, Parul Pandey, Dario Pompili, *Collaborative Mobile Edge Computing in 5G Networks: New Paradigms, Scenarios, and Challenges*, 2017
- [10] Sathya Atreyam, *Mobile Edge Computing – A Gateway to 5G Era*, 2016
- [11] Milan Patel, Yunchao Hu, Patrice Hédé, Jerome Joubert, Chris Thornton, Brian Naughton, Julian Roldan Ramos, Caroline Chan, Valerie Young, Soo Jin Tan, Daniel Lynch, Nurit Sprecher, Torsten Musiol, Carlos Manzanares, Uwe Rauschenbach, Sadayuki Abeta, Lan Chen, Kenji Shimizu, Adrian Neal, Peter Cosimini, Adam Pollard, Guenter Klas, *Mobile-Edge Computing*, 2014
- [12] ETSI GS MEC 003 V2.1.1, *Multi-access Edge Computing (MEC) Framework and Reference Architecture*, 2019
- [13] Λυδία Κωστικίδου, Αβραμόπουλος Ηρακλής, *Τεχνολογίες Radio-Over-Fiber για συστήματα 5G*, 2016

- [14] Δημόπουλος Δημήτριος, Φαμέλης Παναγιώτης, Βενιέρης Ιάκωβος, *Μελέτη της Ομιχλώδους Επεξεργασίας (Fog Computing) - Σχεδίαση και Ανάπτυξη Εφαρμογής*, 2018
- [15] *Κόμβου Ομιχλώδους Επεξεργασίας*
- [16] <http://www.telecomabc.com/d/dns.html>
- [17] <https://www.lanner-america.com/blog/multi-access-edge-computing-future/>
- [18] <https://www.fiercevideo.com/video/video-will-account-for-82-all-internet-traffic-by-2022-cisco-says>
- [19] <https://www.networkworld.com/article/3409027/how-edge-computing-is-driving-a-new-era-of-cdn.html>
- [20] <http://www.telecomhall.net/t/explain-latency-in-4g-and-its-impact-on-users/5127/2>
- [21] <http://know-lte.blogspot.com/2016/06/lte-rrc-states.html>
- [22] <https://www.ciena.com/insights/what-is/What-Is-SDN.html>
- [23] <https://www.sdxcentral.com/edge/definitions/mobile-edge-computing-vs-multi-access-edge-computing/>
- [24] <http://www.simpletechpost.com/2013/03/gprs-tunneling-protocol-gtp-in-lte.html>
- [25] <https://www.rcrwireless.com/20180525/fundamentals/what-is-mcptt-over-lte-tag6-tag99>
- [26] <https://el.wikipedia.org>
- [27] <https://searchunifiedcommunications.techtarget.com/definition/IP-PBX>
<https://viavisolutions.com>
Cloud-RAN Deployment with CPRI Fronthaul Technology, 2015
- [28] <https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing>
- [29] <https://venturebeat.com/2019/12/20/get-2020-vision-about-edge-computing-and-5g/>
- [30] <https://dzone.com/articles/is-edge-computing-the-death-of-the-cloud>
- [31] <https://www.vxchnge.com/blog/edge-computing-vs-cloud-computing>
- [32] <https://www.zdnet.com/article/predictions-2020-edge-computing-makes-the-leap/>
- [33] <https://blog.allstream.com/edge-computing-to-gain-traction-in-2020-forrester/>
- [34] <https://techutpah.com/edge-computing-is-the-future-of-data-management-and-intelligence/>
- [35] <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/11/08/1943897/0/en/Edge-Computing-Markets-World-Outlook-to-2024-IIoT-Applications-to-Grow-at-the-Highest-CAGR.html>