



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Edge Computing: Τεχνολογίες, Υποδομή, Εφαρμογές

Απόστολος Μαμουλέλλης
icsd17108@aegean.gr
321/2017108

Παναγιώτης Παπαδόπουλος
icsd18161@aegean.gr
321/2018161

Ιωάννης Κυριαζής
icsd18107@aegean.gr
321/2018107

Διοίκηση Πληροφοριακών Συστημάτων
Μάρτιος, 2021

Κατάλογος Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	3
1.1	Τι είναι το Edge Computing	3
Κεφάλαιο 2	Τεχνολογίες του Edge Computing	4
2.1	Internet of Things (IoT).....	4
2.2	Mobile Edge Computing (MEC).....	5
Κεφάλαιο 3	Υποδομή του Edge Computing	7
3.1	Υποδομή.....	7
Κεφάλαιο 4	Εφαρμογές του Edge Computing	8
4.1	Αυτόνομα Οχήματα.....	8
4.2	Cloud Gaming.....	9
4.3	Smart Home.....	10
	Βιβλιογραφία / Πηγές Πληροφόρησης.....	11

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1: Τι είναι το Edge Computing;

Το Cloud Computing έχει αλλάξει πάρα πολύ τον τρόπο που ζούμε, εργαζόμαστε και μελετούμε από την ίδρυσή του γύρω στο 2005 [1]. Για παράδειγμα, το Software as a Service (SaaS), όπως τα Google Apps, το Twitter, το Facebook και το Flickr, έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην καθημερινή μας ζωή. Επιπλέον, οι επεκτάσιμες υποδομές καθώς και οι μηχανές επεξεργασίας που αναπτύχθηκαν για την υποστήριξη της υπηρεσίας cloud επηρεάζουν επίσης σημαντικά τον τρόπο λειτουργίας της επιχείρησης, για παράδειγμα, το Google File System [2], MapReduce [3], Apache Hadoop [4], Apache Spark [5], και ούτω καθεξής. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στην κοινότητα το 1999 για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας [6], και στη συνέχεια η ιδέα της «πληροφορίας του υπολογιστή χωρίς τη βοήθεια της ανθρώπινης παρέμβασης» προσαρμόστηκε ευρέως σε άλλους τομείς όπως η υγειονομική περίθαλψη, σπίτι, περιβάλλον και μεταφορές [7], [8]. Τώρα με το IoT, θα φτάσουμε στην εποχή μετά το cloud, όπου θα υπάρχει μεγάλη ποιότητα δεδομένων που δημιουργούνται από πράγματα που είναι βυθισμένα στην καθημερινή μας ζωή και πολλές εφαρμογές θα αναπτυχθούν επίσης στο edge (άκρη) για την κατανάλωση αυτών των δεδομένων.

Ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός των συνδεδεμένων έξυπνων συσκευών (smart devices) και η εξέλιξη του Ίντερνετ των Πραγμάτων (IoT) οδηγεί σε μια νέα πρόκληση, του χειρισμού ενός τεράστιου όγκου ακατέργαστων δεδομένων. Καθημερινά σε όλο τον κόσμο δημιουργούνται όλο και περισσότερα δεδομένα (data) από βιομηχανίες, επιχειρήσεις, αυτοκίνητα, κινητά τηλέφωνα, αισθητήρες κ.α.. Τα ψηφιακά δεδομένα, που παράγονται και διανέμονται από τα συστήματα IoT, παρέχουν ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο στις τελικούς χρήστες. Αδιαμφισβήτητα, η τεχνολογία του σύννεφου (cloud) είναι ασυναγώνιστη στην ικανότητά της να υπολογίζει και να αποθηκεύει δεδομένα, ωστόσο η ανταλλαγή αυτών των δεδομένων από τα φυσικά μέσα περιορίζεται από την ταχύτητα του φωτός και το μέγεθος των διασυνδέσεων («σωληνώσεων») του διαδικτύου. Την λύση στο πρόβλημα έρχεται να δώσει η τεχνολογία του edge-computing, έτσι ώστε να βελτιωθεί σημαντικά το νέφος (cloud) και ιδιαίτερα η υπολογιστική του δύναμη.

Το Edge-computing είναι η «υπολογιστική άκρη» που υπάρχει μέσα σε ένα δίκτυο, με την «άκρη» να ορίζεται ως το μέρος όπου οι τελικές έξυπνες συσκευές έχουν πρόσβαση στο υπόλοιπο δίκτυο, όπως τα κινητά τηλέφωνα, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οι αισθητήρες και τα βιομηχανικά ρομπότ. Η «άκρη» είναι ένα μέρος όπου αυτές οι συσκευές συνδέονται, ώστε να μπορούν να παραδίδουν δεδομένα, να λαμβάνουν οδηγίες και ενημερώσεις λογισμικού από ένα κεντρικό διακομιστή δεδομένων (server) που βρίσκεται σε άλλη κεντρική τοποθεσία ή από το σύννεφο (cloud).

Κεφάλαιο 2. Τεχνολογίες του Edge Computing

2.1: Internet of Things (IoT).

Με την τεχνολογία του IoT, το edge-computing έχει τεράστιες δυνατότητες και προοπτικές. Οι συσκευές IoT συγκεντρώνουν τόσα πολλά δεδομένα που ο όγκος τους απαιτεί μεγαλύτερες και ακριβότερες συνδέσεις με τους κεντρικούς διακομιστές και το νέφος. Επίσης, δημιουργείται η ανάγκη για ταχύτερες συνδέσεις σε πραγματικό χρόνο των κεντρικών διακομιστών ή του σύννεφου με τις τελικές συσκευές για την αποφυγή προβλημάτων και καταστροφών. Ωστόσο, ακόμα και με την χρήση συσκευών αιχμής (edge devices) που παρέχουν τοπικά υπολογιστική δύναμη και αποθηκευτικό χώρο, θα εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη ώστε αυτές να συνδεθούν σε κεντρικούς διακομιστές, είτε βρίσκονται σε εγκαταστάσεις είτε στο σύννεφο.

Επομένως, με την τεχνολογία edge-computing τα δεδομένα δεν αποστέλλονται απευθείας στο cloud, αλλά πρωτίστως επεξεργάζονται και ενεργούν στην άκρη, δηλαδή στην πηγή που δημιουργήθηκαν σε πραγματικό χρόνο. Τοποθετώντας για παράδειγμα edge συσκευές, είτε στις βιομηχανίες είτε μέσα σε αυτόνομα αμάξια, είναι πλέον εφικτό να γίνουν πράγματα που προηγουμένως ήταν αδύνατα, διότι το κόστος των δεδομένων ήταν πολύ μεγάλο και η επεξεργασία καθυστέρουσε χρονικά (latency).

Ο τεράστιος όγκος δεδομένων που προέρχεται από κατανεμημένες συσκευές IoT μπορεί να αντιμετωπιστεί μερικώς από την υπάρχουσα πλατφόρμα του σύννεφου (cloud) ανεξαιρέτως της τεράστιας χωρητικότητας και αποθήκευσης που διαθέτει. Επομένως, λόγω του κεντρικού και συγκεντρωτικού τρόπου λειτουργίας του και της σχετικής καθυστέρησης (latency), χρειάζεται βελτίωση για τη λειτουργία του σε πραγματικό χρόνο.

Γενικότερα, η «άκρη» βοηθά στη μείωση του λανθάνοντος χρόνου από άκρο σε άκρο, στην εξοικονόμηση πόρων εύρους ζώνης και στην μείωση των υπολογιστικών επιβαρύνσεων στους διακομιστές cloud μέσω κάποιων ειδικών τεχνολογιών.

Σε αυτήν την κατεύθυνση, το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI) έχει ήδη τυποποιήσει και ορίσει το Mobile Edge Computing (MEC) ως παροχή υπηρεσιών πληροφορικής στο Radio Access Network (RAN) σε κοντινή απόσταση από τις φορητές συνδεδεμένες συσκευές [9].

2.2: Mobile Edge Computing (MEC).

Το Mobile Edge Computing (MEC) αναγνωρίζεται ως βασικός παράγοντας για το IoT για κρίσιμες αποστολές, άμεσες λύσεις και αναγνωρίζεται ως μία από τις βασικές αρχιτεκτονικές αντιλήψεις και τεχνολογίες. Το MEC είναι πλέον η νέα τεχνολογία που παρέχει ένα περιβάλλον υπηρεσιών πληροφορικής και δυνατότητες υπολογιστικού νέφους στην άκρη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, εντός του RAN και σε κοντινή απόσταση από τους συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας.

Οι βασικές τεχνολογίες του MEC, συμπεριλαμβάνουν την εκφόρτωση υπολογισμού από το νέφος και την διαχείριση κινητικότητας των δεδομένων. Η εκφόρτωση υπολογισμού είναι μια διαδικασία που μεταφέρει υπολογισμούς υψηλού όγκου πόρων από ένα κινητό τηλέφωνο στη γειτονική υποδομή, συνήθως ένα διακομιστή δεδομένων που είναι πλούσιος σε πόρους. Παρόλο που οι κινητές συσκευές περιορίζονται από τις δυνατότητες των υπολογιστών ή των επεξεργαστών τους, τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και την απαγωγή θερμότητας, το MEC επιτρέπει την εκτέλεση των νέων εξελιγμένων εφαρμογών στους εξοπλισμούς των χρηστών (User Equipment ή UE), εκφορτώνοντας υπολογισμούς που καταναλώνουν την ενέργεια των εφαρμογών στον διακομιστή MEC. Ένα σημαντικό μέρος αυτής της εκφόρτωσης υπολογισμού είναι να αποφασίσει η εφαρμογή είτε να εκφορτώσει στο νέφος είτε όχι. Η απόφαση εκφόρτωσης εξαρτάται από το μοντέλο εφαρμογής, το οποίο μπορεί να ταξινομηθεί σύμφωνα με τρία κριτήρια [10]. Το πρώτο κριτήριο είναι εάν η εφαρμογή περιέχει μη-εκφορτώσιμα μέρη που δεν μπορούν να εκφορτωθούν (όπως για παράδειγμα η είσοδος χρήστη, η κάμερα ή η αποκτηθείσα θέση) και πρέπει να εκτελεστούν στο UE. Δεύτερον, δεν υπάρχει τρόπος να εκτιμηθεί η ποσότητα των δεδομένων που θα υποβληθούν σε επεξεργασία για εφαρμογές με συνεχή εκτέλεση. Το τρίτο κριτήριο είναι η αμοιβαία ανεξαρτησία μεμονωμένων τμημάτων προς επεξεργασία. Σε γενικές γραμμές, το UE πρέπει να αποτελείται από έναν προγραμματιστικό κώδικα, ένα προφίλ συστήματος και μια μηχανή λήψης αποφάσεων για τη διαδικασία εκφόρτωσης [11]. Ο κωδικοποιητής κώδικα είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της εκφόρτωσης, ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής και τον διαχωρισμό προγραμματιστικού κώδικα και δεδομένων. Το προφίλ συστήματος είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση πολλαπλών παραμέτρων, όπως το διαθέσιμο εύρος ζώνης, τη μεταβίβαση δεδομένων και την απαιτούμενη ενέργεια για την εκτέλεση του κώδικα. Αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν τότε πρέπει να ξεφορτωθούν. Η πλειονότητα των αλγορίθμων στοχεύει να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας στην κινητή συσκευή, με την επιφύλαξη της καθυστέρησης εκτέλεσης που είναι αποδεκτή από την εκφορτωμένη εφαρμογή ή για να βρει μια βέλτιστη μεταφορά μεταξύ αυτών των δύο μετρήσεων. Τα αριθμητικά αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι το MEC μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση με τον υπολογισμό της εκφόρτωσης σε ετερογενή δίκτυα [12].

Αυτές οι νεοεμφανιζόμενες τεχνολογίες και εφαρμογές οδηγούν σε μια νέα τάση στο τοπίο της πληροφορικής και επικοινωνίας που μετατοπίζει τη λειτουργία του συγκεντρωτικού υπολογιστικού νέφους στις ακραίες συσκευές των δικτύων [13]. Το καθορισμένο δίκτυο λογισμικού (Software Defined Networking ή SDN) και η σχετική ιδέα του εικονικού δικτύου λειτουργιών δικτύου (Network Function Virtualization ή NFV) προτείνονται ως αναδυόμενες

λύσεις για μελλοντικά δίκτυα [14]. Συγκεκριμένα, το NFV επιτρέπει σε συσκευές αιχμής να παρέχουν υπηρεσίες πληροφορικής και να πραγματοποιούν λειτουργίες δικτύου δημιουργώντας πολλαπλές εικονικές μηχανές (VMs). Επιπλέον, ο εξαιρετικά χαμηλός λανθάνων χρόνος αναγνωρίζεται ως μία από τις κύριες απαιτήσεις των RAN 5ης γενιάς (5G) [15]. Για τη μείωση του λανθάνοντος χρόνου, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας είναι επιρρεπείς στην ανάπτυξη εφαρμογών και περιεχομένου στην άκρη των δικτύων. Αν και οι υπολογιστικές δυνατότητες των φορητών ρολογιών, των έξυπνων τηλεφώνων και άλλων συσκευών IoT έχουν βελτιωθεί σημαντικά, εξακολουθούν να περιορίζονται από τις θεμελιώδεις προκλήσεις, όπως το μέγεθος της μνήμης, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας και η απαγωγή θερμότητας. Οι φορητές συσκευές πρέπει να επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, με τον υπολογισμό των εφαρμογών που καταναλώνουν ενέργεια από την εκφόρτωση μέχρι την άκρη των δικτύων.

Μία από τις κρίσιμες προκλήσεις στο cloud computing είναι η απόκριση από άκρο σε άκρο μεταξύ μιας κινητής συσκευής και ενός σχετικού cloud. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, δημιουργήθηκε το cloudlet, το οποίο είναι ένας διακομιστής δεδομένων cloud μικρής κλίμακας (Data Center ή DC) που τοποθετείται στην άκρη του Διαδικτύου, όπως προτείνεται. Το cloudlet είναι ένας αξιόπιστος υπολογιστής ή ένα σύστημα καταναλωμένων υπολογιστών πλούσιο σε πόρους, που είναι καλά συνδεδεμένο στο Διαδίκτυο και είναι διαθέσιμο για άμεση χρήση από τις κοντινές συσκευές [16]. Ο κύριος σκοπός του cloudlet είναι η υποστήριξη εφαρμογών για κινητές συσκευές υψηλής αλληλεπίδρασης και διαχείρισης πόρων, παρέχοντας ισχυρή υπολογιστική ισχύ με μικρότερο λανθάνοντα χρόνο. Οι Εξοπλισμοί χρηστών (User Equipment ή UE) μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στους υπολογιστικούς πόρους ενός κοντινού cloudlet μέσω ενός ασύρματου τοπικού δικτύου με υψηλή ταχύτητα. Τα Cloudlets αντιπροσωπεύουν το μεσαίο επίπεδο της αρχιτεκτονικής ιεραρχίας 3 βαθμίδων (επίπεδο κινητής συσκευής, στρώμα cloudlet και στρώμα cloud) για την επίτευξη ευκρινούς χρόνου απόκρισης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στην άκρη του διαδικτύου μέσω των cloudlets μπορεί να μειώσει σε μεγάλο βαθμό το εύρος ζώνης εισόδου στο νέφος [17].

Κεφάλαιο 3. Υποδομή του Edge Computing

3.1: Υποδομή.

Το Edge computing είναι μια νέα τάση που καθιερώθηκε από τους φορείς εκμετάλλευσης κυψελοειδών δικτύων για τη βελτίωση ολόκληρης της αποδοτικότητας του δικτύου, εκφορτώνοντας τις λειτουργίες του σε κοντινά σύννεφα. Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI) είναι ένας από τους κύριους οργανισμούς που ασχολούνται με τον υπολογισμό αιχμής [18]. Το ETSI ανακοίνωσε μια Ομάδα Προδιαγραφών Βιομηχανίας (ISG) γνωστή ως άκρη υπολογιστών για έρευνα και τυποποίηση της νέας τεχνολογίας. Απλά το MEC μπορεί να οριστεί ως ο τρόπος μετακίνησης των δυνατοτήτων υπολογιστικού νέφους στην άκρη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Η μετακίνηση του cloud computing στην άκρη του κινητού δημιουργεί πολλά οφέλη που μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα σημεία [19]:

- μειώνει την καθυστέρηση μετ' επιστροφής των κοινοποιημένων δεδομένων,
- παρέχει έναν αποτελεσματικό τρόπο για την εκφόρτωση δεδομένων που παραδίδονται στο κεντρικό δίκτυο,
- παρέχει υψηλό εύρος ζώνης,
- εισάγει νέες υπηρεσίες και εφαρμογές με πρόσβαση στις πληροφορίες περιβάλλοντος δικτύου.

Η μετάβαση από τα μεγάλα, τεράστια και ακριβά κέντρα δεδομένων σε μικρές κατανεμημένες μονάδες cloud που βασίζονται σε μια μικρή πλατφόρμα υλικού θα ανοίξει το δρόμο για την επίτευξη του απαιτούμενου περιορισμού καθυστέρησης για την απτική πραγματοποίηση. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του συστήματος 5G βασίζεται στη μείωση της καθυστέρησης μετ' επιστροφής μετακινώντας το σύννεφο στην άκρη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Μόνο ένας ή δύο λυκίσκοι επικοινωνίας (communication hops) μακριά από το κινητό θα είναι αποτελεσματικοί για την επίτευξη του λανθάνοντος χρόνου 1 ms. Γενικά, το κυψελοειδές σύστημα 5G μπορεί να θεωρηθεί ως χρήστης κινητού, μονάδα cloud, βασικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, τρέχον Internet και απομακρυσμένο cloud. Αναζητώντας το καλύτερο μέρος για την εισαγόμενη μονάδα cloud, οι ερευνητές ακολουθούν διαφορετικούς τρόπους. Με βάση την έκθεση ETSI για υπολογιστές αιχμής, υπάρχουν πολλά σενάρια για τον τόπο υπηρεσίας των μονάδων υπολογιστικού νέφους. Υπάρχουν πολλές τοποθεσίες για τους διακομιστές υπολογιστών αιχμής, όπως [18]:

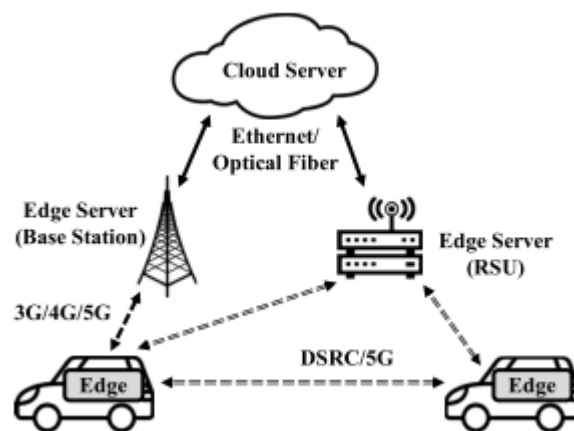
- Οι διακομιστές Cloud είναι συνδεδεμένοι στο σταθμό βάσης μακροεντολών LTE (eNB).
- Η μονάδα cloud μπορεί να τοποθετηθεί στον ελεγκτή ραδιοφωνικού δικτύου 3G / 4G (RNC).
- Η μονάδα Cloud μπορεί να συνδεθεί σε πολλαπλούς ιστότοπους (πολλαπλά eNB).
- Η μονάδα Cloud ενδέχεται να βρίσκεται στην άκρη του κεντρικού δικτύου.

Κεφάλαιο 4. Εφαρμογές Edge Computing

4.1: Αυτόνομα Οχήματα [20].

Ο σχεδιαστικός στόχος των αυτόνομων υπολογιστικών συστημάτων αιχμής είναι να εγγυηθεί την ασφάλεια των αυτόνομων οχημάτων. Αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο, καθώς τα αυτόνομα οχήματα πρέπει να επεξεργάζονται τεράστια ποσότητα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (έως 2 GB / s) με εξαιρετικά στενούς περιορισμούς καθυστέρησης [1]. Για παράδειγμα, εάν ένα αυτόνομο όχημα ταξιδεύει με ταχύτητα 60 μιλίων ανά ώρα (mph), και συνεπώς περίπου 30 μέτρα απόστασης πέδησης, αυτό απαιτεί το αυτόνομο σύστημα οδήγησης να προβλέπει πιθανούς κινδύνους έως και λίγα δευτερόλεπτα πριν εμφανιστούν. Επομένως, όσο πιο γρήγορα το αυτόνομο driving edge computing system εκτελεί αυτούς τους πολύπλοκους υπολογισμούς, τόσο ασφαλέστερο είναι το αυτόνομο όχημα. Συγκεκριμένα, τα αυτόνομα συστήματα οδήγησης είναι εξαιρετικά περίπλοκα. Ενσωματώνουν πολλές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης, της τεχνολογίας εντοπισμού, της αντίληψης, της λήψης αποφάσεων, καθώς και της ομαλής αλληλεπίδρασης με πλατφόρμες cloud για δημιουργία χάρτη υψηλής ευκρίνειας (HD) και αποθήκευση δεδομένων [2].

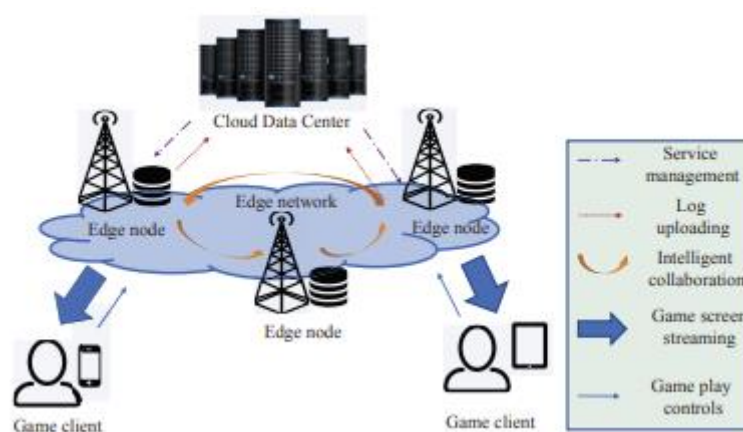
Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 1, κάθε αυτόνομο όχημα είναι εξοπλισμένο με ένα edge computing system, το οποίο ενσωματώνει όλες τις λειτουργικές μονάδες σε πραγματικό χρόνο, όπως εντοπισμό, αντίληψη, σχεδιασμό και έλεγχο, και ούτω καθεξής. Στη συνέχεια, κάθε όχημα επικοινωνεί με διακομιστές αιχμής, και τελικά με το κεντρικό cloud, μέσω των υφιστάμενων δικτύων επικοινωνίας 3G / 4G / 5G. Επιπλέον, τα οχήματα μπορούν να επικοινωνούν με τις πλευρικές μονάδες του δρόμου (Road Side Units - RSU) είτε μέσω των δικτύων 5G είτε με τα ειδικά δίκτυα επικοινωνίας μικρής εμβέλειας (Dedicated Short-Range Communications - DSRC). Αυτό είναι ένα τυπικό σενάριο Vehicle-to-Infrastructure (V2I). Επιπλέον, τα οχήματα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των δικτύων DSRC, και αυτό είναι ένα τυπικό σενάριο Vehicle-to-Vehicle (V2V).



Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική του Edge Computing στην αυτόνομη οδήγηση.

4.2: Cloud Gaming [21].

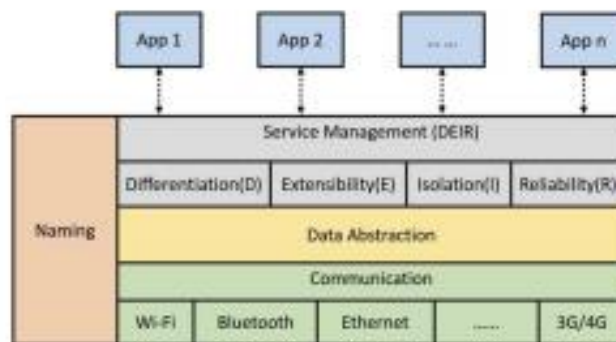
Το Cloud Gaming καταναλώνει μεγάλο αριθμό πόρων υπολογισμού και επικοινωνίας ταυτόχρονα, γεγονός που περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την επικράτησή του. Αυτό συμβαίνει επειδή το σύννεφο πρέπει να ενημερώσει τη λογική του παιχνιδιού και να αποδώσει τη σκηνή του παιχνιδιού σύμφωνα με τις εντολές του παίκτη σε πραγματικό χρόνο, κάτι που απαιτεί πολύ υπολογισμό. Επιπλέον, η σκηνή του παιχνιδιού αποστέλλεται στη συσκευή αναπαραγωγής ως αλληλουχία βίντεο για αλληλεπίδραση με απαιτήσεις χαμηλής καθυστέρησης, καταναλώνοντας μεγάλες ποσότητες εύρους ζώνης σε ολόκληρο το δίκτυο από το cloud έως τους τελικούς χρήστες. Για το σκοπό αυτό, το EdgeGame εκμεταλλεύεται τους πόρους υπολογισμού και προσωρινής αποθήκευσης στην άκρη για να μειώσει τις απαιτήσεις των πόρων επικοινωνίας. Προσαρμόζοντας την κατανομή των κόμβων ακμής, το EdgeGame μπορεί να επιτύχει μια ευέλικτη αντιστάθμιση μεταξύ των πόρων υπολογισμού, προσωρινής αποθήκευσης και επικοινωνίας. Επιπλέον, η EdgeGame υιοθετεί προσεγγίσεις τεχνητής νοημοσύνης (AI) στην άκρη για να εγγυηθεί το Quality of Experience (QoE) των χρηστών εντός του δυναμικού δικτύου edge. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2, η απόδοση GPU υψηλής έντασης υπολογισμού τοποθετείται στον κόμβο άκρου, ο οποίος μεταδίδει τις σκηνές ως ακολουθία βίντεο στον πελάτη παιχνιδιού, ενώ ο πελάτης παιχνιδιού είναι υπεύθυνος για την προβολή του βίντεο καθώς και για τη συλλογή των εντολών του παίκτη και στέλνοντας τις αλληλεπιδράσεις πίσω στους edge nodes. Για παιχνίδια πολλαπλών παικτών, η λογική του παιχνιδιού πρέπει να συγχρονίζεται μεταξύ των εμπλεκόμενων edge nodes (Κόμβος Άκρου). Σε αυτήν την περίπτωση, οι edge nodes θα συνεργαστούν μεταξύ τους για να βελτιώσουν το QoE των παικτών. Για παράδειγμα, τα μηνύματα σχετικά με την logic updating του παιχνιδιού μπορούν να δρομολογηθούν από άλλους ενδιαμέσους κόμβους ακρών προκειμένου να επιτευχθεί χαμηλότερη καθυστέρηση δικτύου. Εν τω μεταξύ, οι κόμβοι άκρου ανεβάζουν το αρχείο καταγραφής παιχνιδιών στο κέντρο δεδομένων cloud σε περίπτωση που το παιχνίδι πρέπει να συνεχιστεί ή να αναπαραχθεί.



Εικόνα 2: Το πλαίσιο (framework) του EdgeGame.

4.3: Smart Home [22].

Το IoT θα ωφελούσε πολύ το περιβάλλον του σπιτιού. Ορισμένα προϊόντα έχουν αναπτυχθεί και διατίθενται στην αγορά, όπως έξυπνο φως, έξυπνη τηλεόραση και ρομποτική σκούπα. Ωστόσο, η απλή προσθήκη μιας μονάδας Wi-Fi στην τρέχουσα ηλεκτρική συσκευή και η σύνδεσή της στο σύννεφο δεν αρκεί για ένα έξυπνο σπίτι. Σε ένα έξυπνο οικιακό περιβάλλον, εκτός από τη συνδεδεμένη συσκευή, φθηνοί ασύρματοι αισθητήρες και ελεγκτές θα πρέπει να αναπτυχθούν σε δωμάτιο, σωλήνα, ακόμη και σε δάπεδο και τοίχο. Αυτά τα πράγματα θα αναφέρουν μια εντυπωσιακή ποσότητα δεδομένων και για την εξέταση της πίεσης μεταφοράς δεδομένων και της προστασίας της ιδιωτικής ζωής, αυτά τα δεδομένα θα πρέπει να καταναλώνονται κυρίως στο σπίτι. Αυτή η δυνατότητα καθιστά το πρότυπο υπολογιστικού νέφους ακατάλληλο για ένα έξυπνο σπίτι. Παρ' όλα αυτά, ο υπολογιστής άκρων θεωρείται ιδανικός για την κατασκευή ενός έξυπνου σπιτιού: με μια πύλη άκρης που διαθέτει εξειδικευμένο λειτουργικό σύστημα άκρης (edgeOS) στο σπίτι, τα πράγματα μπορούν να συνδεθούν και να διαχειριστούν εύκολα στο σπίτι, τα δεδομένα μπορούν να επεξεργαστούν τοπικά για την απελευθέρωση του βάρους για το εύρος ζώνης του Διαδικτύου και η υπηρεσία μπορεί επίσης να αναπτυχθεί στο edgeOS για καλύτερη διαχείριση και παράδοση. Η Εικόνα 3 δείχνει τη δομή μιας παραλλαγής του edgeOS στο έξυπνο οικιακό περιβάλλον. Το EdgeOS πρέπει να συλλέγει δεδομένα από κινητές συσκευές και όλα τα είδη πραγμάτων μέσω πολλαπλών μεθόδων επικοινωνίας, όπως Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee ή ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Τα δεδομένα από διαφορετικές πηγές πρέπει να συντηγθούν και να μαζευτούν στο επίπεδο αφαίρεσης δεδομένων. Πάνω από το επίπεδο αφαίρεσης δεδομένων βρίσκεται το επίπεδο διαχείρισης υπηρεσιών. Απαιτήσεις που περιλαμβάνουν διαφοροποίηση, επεκτασιμότητα, απομόνωση και αξιοπιστία θα υποστηρίζονται σε αυτό το επίπεδο. Ο μηχανισμός ονομασίας απαιτείται για όλα τα επίπεδα με διαφορετικές απαιτήσεις. Έτσι, αφήνουμε τη μονάδα ονομάτων με διασταυρούμενο τρόπο.



Εικόνα 3: Η δομή του edgeOS σε ένα περιβάλλον έξυπνου σπιτιού.

Βιβλιογραφία / Πηγές Πληροφόρησης

- [1] M. Armbrust et al., “A view of cloud computing,” *Commun. ACM*, vol. 53, no. 4, pp. 50–58, 2010.
- [2] S. Ghemawat, H. Gobioff, and S.-T. Leung, “The Google file system,” *ACM SIGOPS Oper. Syst. Rev.*, vol. 37, no. 5, pp. 29–43, 2003.
- [3] J. Dean and S. Ghemawat, “MapReduce: Simplified data processing on large clusters,” *Commun. ACM*, vol. 51, no. 1, pp. 107–113, 2008.
- [4] K. Shvachko, H. Kuang, S. Radia, and R. Chansler, “The hadoop distributed file system,” in *Proc. IEEE 26th Symp. Mass Storage Syst. Technol. (MSST)*, Incline Village, NV, USA, 2010, pp. 1–10.
- [5] M. Zaharia, M. Chowdhury, M. J. Franklin, S. Shenker, and I. Stoica, “Spark: Cluster computing with working sets,” in *Proc. 2nd USENIX Conf. Hot Topics Cloud Comput.*, vol. 10. Boston, MA, USA, 2010, p. 10.
- [6] K. Ashton, “That Internet of Things thing,” *RFiD J.*, vol. 22, no. 7, pp. 97–114, 2009.
- [7] H. Sundmaeker, P. Guillemin, P. Friess, and S. Woelfflé, “Vision and challenges for realising the Internet of things,” vol. 20, no. 10, 2010.
- [8] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [9] N. Abbas, Y. Zhang, A. Taherkordi and T. Skeie, "Mobile Edge Computing: A Survey," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 450-465, Feb. 2018, doi: 10.1109/JIOT.2017.2750180.
- [10] P. Mach and Z. Becvar, "Mobile Edge Computing: A Survey on Architecture and Computation Offloading," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 3, pp. 1628-1656, thirdquarter 2017, doi: 10.1109/COMST.2017.2682318.
- [11] H. Flores, P. Hui, S. Tarkoma, Y. Li, S. Srirama and R. Buyya, "Mobile code offloading: from concept to practice and beyond," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 3, pp. 80-88, March 2015, doi: 10.1109/MCOM.2015.7060486.
- [12] K. Zhang et al., "Energy-Efficient Offloading for Mobile Edge Computing in 5G Heterogeneous Networks," in *IEEE Access*, vol. 4, pp. 5896-5907, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2597169.
- [13] M. Satyanarayanan, "The Emergence of Edge Computing," in *Computer*, vol. 50, no. 1, pp. 30-39, Jan. 2017, doi: 10.1109/MC.2017.9.
- [14] N. Bizanis and F. A. Kuipers, "SDN and Virtualization Solutions for the Internet of Things: A Survey," in *IEEE Access*, vol. 4, pp. 5591-5606, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2607786.
- [15] J. Li, M. Peng, A. Cheng, Y. Yu and C. Wang, "Resource Allocation Optimization for Delay-Sensitive Traffic in Fronthaul Constrained Cloud Radio Access Networks," in *IEEE Systems Journal*, vol. 11, no. 4, pp. 2267-2278, Dec. 2017, doi: 10.1109/JSYST.2014.2364252.
- [16] M. Satyanarayanan, P. Bahl, R. Caceres and N. Davies, "The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing," in *IEEE Pervasive Computing*, vol. 8, no. 4, pp. 14-23, Oct.-Dec. 2009, doi: 10.1109/MPRV.2009.82.
- [17] M. Satyanarayanan et al., "Edge Analytics in the Internet of Things," in *IEEE Pervasive Computing*, vol. 14, no. 2, pp. 24-31, Apr.-June 2015, doi: 10.1109/MPRV.2015.32.
- [18] Mobile Edge Computing A key technology towards 5G,” ETSI White Paper, No. 11, September 2015.
- [19] B.P. Rimal, D.P. Van, and M. Maier, “Mobile edge computing empowered fiber-wireless access networks in the 5G era”, *IEEE Communications Magazine*, 55(2), pp.192-200, Feb. 2017.

- [20] SHAOSHAN LIU, LIANGKAI LIU, JIE TANG, BO YU, YIFAN WANG, AND WEISONG SHI, “Edge Computing for Autonomous Driving: Opportunities and Challenges”, PROCEEDINGS OF THE IEEE | Vol. 107, No. 8, pp.1697-1698, August 2019.
- [21] Xu Zhang, Hao Chen, Yangchao Zhao, Zhan Ma, Yiling Xu, Haojun Huang, Hao Yin, and Dapeng Oliver Wu, “Improving Cloud Gaming Experience through Mobile Edge Computing”, IEEE Wireless Communications, pp.179, August 2019.
- [22] Weisong Shi, Jie Cao, Quan Zhang, Youhuizi Li, and Lanyu Xu, “Edge Computing: Vision and Challenges”, IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, VOL. 3, NO. 5, pp.639-640, OCTOBER 2016.

ΠΕΡΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

UNIVERSITY OF THE AEGEAN
DEPARTMENT OF INFORMATION AND
COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING

Mamoulellis Apostolos | Papadopoulos Panagiotis | Kyriazis Ioannis

Copyright © 2021 – All Rights Reserved