

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Deep Learning σε περιβάλλοντα Edge Computing



Του φοιτητή
Κωνσταντινίδα Σπύρου
Αρ. Μητρώου: 513099

Επιβλέπων
Γιακουμής Άγγελος
Λέκτορας

Σεπτέμβριος 2022

Deep Learning σε περιβάλλοντα Edge Computing

21186

Κωνσταντινίδης Σπυρίδων

Γιακουμής Αγγελος

15/03/2021

15/09/2022

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Εφαρμοσμένα Ηλεκτρονικά Συστήματα» στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Κωνσταντινίδη Σπύρου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Αφιέρωση»

Πρόλογος

Ο τομέας ενδιαφέροντός μου είναι ό,τι σχετίζεται με τις πιο πρόσφατες και σύγχρονες μορφές τεχνολογίας, Είναι ένας από τους λόγους που, από μικρή ηλικία, παρακολουθώ αγώνες μηχανοκίνητου αθλητισμού και κατά κύριο λόγο Φόρμουλα 1. Θέλω να είμαι ενήμερος για τις εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας, και ειδικότερα της πληροφορικής, πέραν των ηλεκτρονικών που σπούδασα, ένας τομέας που εξελίσσεται ραγδαία.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι μια από τις τεχνολογίες, οι οποίες υπάρχουν κι επηρεάζουν τη ζωή μας σε καθημερινή βάση. Ήδη, συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων βρίσκονται και είναι σε λειτουργία, σε πολλά και διαφορετικά μέρη της Γης. Αυτές, μαζί με την ευρύτερη έννοια του Cloud και του Edge Computing, είναι από τις σημαντικότερες τεχνολογίες, οι οποίες θα μας απασχολήσουν τα επόμενα χρόνια.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετήθηκε η συνεισφορά της Βαθιάς Μάθησης (Deep Learning) σε εφαρμογές που λειτουργούν σε περιβάλλοντα Edge Computing. Αναλυτικότερα, στο εισαγωγικό κομμάτι περιγράφονται περιληπτικά οι βασικότερες έννοιες οι οποίες θα εμφανιστούν παρακάτω και παρουσιάζεται το πρόβλημα που ασχολείται η παρούσα εργασία. Στη συνέχεια εισάγονται οι έννοιες του Cloud Computing και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things), περιγράφεται η δομή και τα οφέλη του καθενός καθώς και η μεταξύ τους συσχέτιση. Έπειτα, περιγράφεται η έννοια του Edge Computing, η δομή και η λειτουργία του, η συσχέτιση και ορισμένες διαφορές που παρουσιάζει με το Cloud Computing και τελικά αναφέρονται οι εφαρμογές στις οποίες συναντάται πιο συχνά. Μετά, γίνεται εισαγωγή στη Βαθιά Μάθηση, όσον αφορά αρχικά στη δομή και στη συσχέτιση της με το Edge Computing. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι της Βαθιάς Μάθησης και αναπτύσσεται ένας αλγόριθμος που εστιάζει στη μείωση του κόστους και της καθυστέρησης προγραμματισμού των διαδικασιών. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στις εφαρμογές της Βαθιάς Μάθησης, βάση τον τομέα στον οποίο χρησιμοποιούνται. Τέλος, μέσα από την αναλυτική έρευνα και ευρυγώνια μελέτη του θέματος, παρουσιάζονται και αναλύονται προκλήσεις και μελλοντικές επεκτάσεις, για την περαιτέρω βελτίωση της Βαθιάς Μάθησης σε περιβάλλοντα Edge Computing.

Λέξεις Κλειδιά

Βαθιά Μάθηση, Cloud Computing, Edge Computing, Συσχέτιση Βαθιάς Μάθησης – Edge Computing, Εφαρμογές και οφέλη συσκευών IoT, Scheduling, Μηχανική Μάθηση, Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Deep Learning in Edge Computing environments

Konstantinidis Spyridon

Abstract

In this thesis, the contribution of Deep Learning to applications operating in Edge Computing environments was studied. In more detail, the introductory part briefly describes the most basic concepts that will appear below and presents the problem that this work deals with. Then the concepts of Cloud Computing and the Internet of Things are introduced, the structure and benefits of each are described as well as the relationship between them. Then, the concept of Edge Computing is described, its structure and operation, the relationship and some differences it presents with Cloud Computing, and finally the applications in which it is most often encountered are mentioned. Then, an introduction to Deep Learning is given, initially regarding its structure and its relation to Edge Computing. Deep Learning methods are then presented and an algorithm is developed that focuses on reducing the cost and delay of scheduling procedures. In addition, Deep Learning applications are mentioned, based on the domain in which they are used. Finally, through the analytical research and wide-angle study of the subject, challenges and future extensions are presented and analyzed, for the further improvement of Deep Learning in Edge Computing environments.

Keywords

Deep Learning, Cloud Computing, Edge Computing, Connection between Deep Learning – Edge Computing, Εφαρμογές και οφέλη συσκευών IoT, Scheduling, Machine Learning, Internet of Things

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που συνέβαλλαν ενεργά στη διεκπεραίωση αυτής της διπλωματικής. Τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Άγγελο Γιακουμή για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την στήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας, σε όλα τα στάδια της διπλωματικής.

Το θερμότερο Ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου Απόστολο και Δήμητρα, στα αδέρφια μου Δημήτρη και Μαρίνο και στον φίλο και συμφοιτητή Ευριπίδη Μπαλτζή, στους οποίους στηρίχθηκα τόσο στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, όσο και στις σπουδές μου συνολικά.

Τέλος, είμαι ευγνώμων σε φίλους και γνωστούς για την όποια συνεισφορά τους τόσο στην προσωπική όσο και στην επαγγελματική μου πορεία.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract.....	vii
Ευχαριστίες.....	viii
Περιεχόμενα.....	ix
Κατάλογος Σχημάτων.....	xii
Κατάλογος Πινάκων.....	xii
Συνομογραφίες.....	xiii
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Περιγραφή Προβλήματος.....	1
1.3 Σκοπός - Συνεισφορά της Διπλωματικής Εργασίας.....	2
1.4 Διάρθρωση της αναφοράς.....	2
1.5 Επίλογος.....	3
Κεφάλαιο 2ο: Cloud Computing.....	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Έννοια και δομή του Cloud Computing.....	4
2.2.1 Ιστορική αναδρομή του Cloud Computing.....	5
2.2.2 Έννοια και βάσεις του Cloud Computing.....	5
2.2.3 Δομή του Cloud Computing.....	7
2.3 Οφέλη χρήσης του Cloud Computing.....	9
2.4 Διάδοση χρήσης του Cloud Computing.....	11
2.5 Επίλογος.....	12
Κεφάλαιο 3ο: Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).....	13
3.1 Εισαγωγή.....	13
3.2 Η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων και η δομή του.....	13
3.3 Πλεονεκτήματα IoT.....	15
3.4 Οφέλη του IoT.....	16
3.5 Ενσωμάτωση IoT και Cloud Computing.....	19
3.5.1 Αλληλεπίδραση IoT και Cloud Computing.....	20
3.5.2 Προκλήσεις αλληλεπίδρασης IoT και Cloud Computing.....	20
3.6 Επίλογος.....	22

Κεφάλαιο 4ο: Edge Computing.....	23
4.1 Εισαγωγή.....	23
4.2 Η έννοια του Edge Computing.....	23
4.2.1 Η έννοια του Edge Computing.....	24
4.2.2 Συσχέτιση Cloud Computing κι Edge Computing.....	25
4.2.3 Συσχέτιση IoT και Edge Computing.....	27
4.3 Πλεονεκτήματα Edge Computing.....	28
4.4 Δομή και λειτουργία του Edge Computing.....	29
4.5 Εφαρμογές του Edge Computing.....	30
4.6 Προκλήσεις του Edge Computing.....	33
4.7 Επίλογος.....	34
Κεφάλαιο 5ο: Βαθιά Μάθηση - Deep Learning.....	35
5.1 Εισαγωγή.....	35
5.2 Η έννοια και η δομή της Βαθιάς Μάθησης.....	35
5.3 Συσχέτιση του Deep Learning με το Edge Computing.....	35
5.4 Μέθοδοι Βαθιάς Μάθησης.....	37
5.5 Scheduling [33][34][35].....	39
5.5.1 Εισαγωγή στο Scheduling.....	39
5.5.2 Μοντέλο συστήματος Scheduling.....	40
5.5.3 Σχεδιασμός αλγορίθμου DSRS (Dynamic Service Request Scheduling).....	41
5.5.4 Αξιολόγηση αλγορίθμου.....	42
5.6 Εφαρμογές της Βαθιάς Μάθησης.....	44
5.7 Επίλογος.....	46
Κεφάλαιο 6ο: Προκλήσεις – Ανάλυση.....	47
Κεφάλαιο 7ο: Μελλοντικές επεκτάσεις.....	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	49

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Διάφορα είδη και υπηρεσίες του Cloud Computing.....	18
Σχήμα 3.1: Διάφορες συσκευές IoT.....	27
Σχήμα 3.2: Διαμοιρασμός της αγοράς IoT.....	33
Σχήμα 3.3: Παραδείγματα αλληλεπίδρασης IoT και Cloud Computing.....	33
Σχήμα 4.1: Παράδειγμα λειτουργίας Edge Computing.....	37
Σχήμα 4.2 Η βασική διαφορά μεταξύ Cloud κι Edge Computing.....	39
Σχήμα 4.3: Το Edge Computing και οι εφαρμογές του.....	42
Σχήμα 4.4: Αρχιτεκτονική δομή VANET με τη χρήση του Edge Computing.....	44
Σχήμα 5.1: Το κενό μεταξύ δεδομένων που δημιουργούνται στις edge συσκευές και των δεδομένων που επεξεργάζεται το Cloud.....	47
Σχήμα 5.2: Restricted Boltzmann Machine.....	48
Σχήμα 5.3: Deep Neural Network.....	49
Σχήμα 5.4: Recurrent Neural Network.....	49
Σχήμα 5.5: Τυπικό δίκτυο λειτουργίας Scheduling.....	52
Σχήμα 5.6: Αλγόριθμος DSRS (Dynamic Service Request Scheduling).....	53
Σχήμα 5.7: Κόστος προγραμματισμού για διάφορες τιμές V.....	53
Σχήμα 5.8: Μήκος ουράς για τις διάφορες τιμές του V.....	54
Σχήμα 5.9: Μήκος ουράς που δημιουργούν δύο διαφορετικοί αλγόριθμοι.....	55
Σχήμα 5.10: Κόστος προγραμματισμού διαφορετικών αλγορίθμων.....	55

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Συνεισφορά του Cloud Computing στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων.....	34
Πίνακας 4.1: Οι βασικές διαφορές μεταξύ Cloud Computing κι Edge Computing.....	40

Συντομογραφίες

IoT	Internet of Things
DL	Deep Learning
SaaS	Software as a Service
PaaS	Platform as a Service
IaaS	Infrastructure as a Service
DaaS	Data as a Service
RFID	Radio Frequency Identification
WSN	Wireless Sensor Network
EPC	Electronic Product Code
M2M	Machine to machine
CDN	Content Delivery Network
POP	Point of Presence
MIT	Massachusetts Institute of Technology
VM	Virtual Machine
SDN	Software Defined Networking
NFV	Network Functions Virtualization
RRH	Remote Radio Head
BBU	Baseband Unit
IoV	Information of Vehicles
VANET	Vehicular Adhoc Network
RBM	Restricted Boltzmann Machine
DNN	Deep Neural Network
RNN	Recurrent Neural Network
DRL	Deep Reinforcement Learning
RL	Reinforcement Learning
LSTM	Long Short-Term Memory
DSRS	Dynamic Service Request Scheduling
WiFi	Wireless Fidelity
C-RAN	Cloud RAN

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα της εργασίας. Παρουσιάζονται οι τεχνολογίες με τις οποίες θα ασχοληθεί στα επόμενα κεφάλαια και εισάγεται το πρόβλημα που δημιουργούν ορισμένες ελλείψεις στις μέχρι τώρα τεχνολογίες. Γίνεται αναφορά στη συνεισφορά της παρούσας εργασίας σε αυτό και η διάρθρωση που αυτή ακολουθεί.

1.2 Περιγραφή Προβλήματος

Τα τελευταία χρόνια, το Cloud Computing, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT) και το Edge Computing βρίσκονται στο επίκεντρο της προσοχής τόσο του βιομηχανικού όσο και του ακαδημαϊκού κλάδου. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχουν σαφή παραδείγματα της μεταξύ τους σχέσης στη βιβλιογραφία, κι έτσι είναι δύσκολη η κατανόηση και η συνέχεια της έρευνας για τα νέα άτομα στο χώρο.

Το Cloud Computing είναι η διάθεση υπολογιστικών πόρων και υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου από κεντρικά συστήματα που βρίσκονται απομακρυσμένα από τον τελικό χρήστη. Από τη στιγμή που μια συσκευή έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο, αυτόματα έχει πρόσβαση και σε υπηρεσίες και πόρους που έχει αιτηθεί ο χρήστης.

Έτσι, την τελευταία δεκαετία, το Cloud Computing είναι το κυρίαρχο παράδειγμα υπολογιστικής υπηρεσίας. Από την άλλη πλευρά, το Internet of Things (IoT) έχει πλέον διαδοθεί. Το 2017, υπήρχαν περίπου 20 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές IoT και ο αριθμός αυτός έχει ήδη αυξηθεί στις περίπου 30 δισεκατομμύρια το 2020 και θα διπλασιαστεί έως το 2025. Η εμφάνιση των IoT συσκευών, φέρνει νέες προκλήσεις, που το Cloud Computing δυσκολεύεται να αντιμετωπίσει.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων εμφανίστηκε το Edge Computing. Το Edge Computing είναι μια αναδυόμενη υπολογιστική υπηρεσία, που δημιουργήθηκε, από την ανάγκη να μετακινηθεί ένα κομμάτι των υπολογισμών και των δεδομένων, από το Cloud, στο Edge, στην άκρη δηλαδή του δικτύου. Είναι, ουσιαστικά, μια τεχνολογία που επιτρέπει τη διεξαγωγή υπολογισμών, κοντά στο χρήστη, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για επεξεργασία δεδομένων σε απομακρυσμένα κέντρα δεδομένων.

Μια ακόμη σημαντική τεχνολογία των τελευταίων χρόνων είναι η Βαθιά Μάθηση (Deep Learning). Η Βαθιά Μάθηση αποτελεί μια σημαντική μεθοδολογία σε πολλούς τομείς της πληροφορικής, όπως η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και η βιοπληροφορική. Είναι επίσης, ένα ισχυρό εργαλείο ανάλυσης τεράστιων όγκων δεδομένων, το οποίο έχει κάνει την εμφάνιση του, βοηθώντας καταλυτικά στην αποτελεσματικότερη λειτουργία του Edge Computing.

Αφού έχει γίνει μια πρώτη περιγραφή των τεχνολογιών Cloud Computing, Edge Computing κι έχει γίνει αναφορά στις IoT συσκευές, εύλογα προκύπτει το ερώτημα: Ποιες είναι οι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, έτσι ώστε να αποκομιστεί το μέγιστο των δυνατοτήτων τους;

Αρχικά, υπάρχουν πολλές αναφορές από ανθρώπους που σχετίζονται με το Cloud Computing, όσον αφορά την ασφάλεια στο Cloud. Επίσης έχουν επισημανθεί και θέματα αξιοπιστίας των υπηρεσιών του, καθώς όταν σημαντικές λειτουργίες παρέχονται από περιορισμένο αριθμό πηγών, η παύση λειτουργίας, έστω και μιας από αυτές, θα αποβεί καταστροφική.

Έπειτα, το Edge Computing, χρειάζεται κατάλληλο σχεδιασμό, για την αποτελεσματικότερη διαχείριση του τεράστιου όγκου συσκευών που προβλέπεται να προσφέρει τις υπηρεσίες του. Η παραπάνω διαδικασία είναι πολλή σημαντική, καθώς ο περιορισμός απόδοσης θα καθιστά αναποτελεσματική την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων των συσκευών IoT.

Η ασφάλεια των συσκευών IoT είναι για πολλούς, ένα εξαιρετικά σημαντικό μειονέκτημα, αγγίζοντας θέματα τόσο φυσικής ασφάλειας όσο και ασφάλειας λογισμικού. Τα προσωπικά δεδομένα σχετίζονται ιδιαίτερα με την ασφάλεια των συσκευών IoT, με τις οποίες αλληλεπιδρά ο χρήστης. Αυτού του είδους οι συσκευές αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες προκλήσεις, καθώς συλλέγουν δεδομένα του χρήστη. Είναι μια ακόμα πρόκληση, λοιπόν, αφού πρέπει να γίνεται έρευνα και σωστός καθορισμός των συσκευών που θα έχουν πρόσβαση σε αυτά.

1.3 Σκοπός - Συνεισφορά της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική ασχολείται με τη μελέτη και την αποδοτική εισαγωγή της Βαθιάς Μάθησης σε περιβάλλοντα Edge Computing, καθώς και με την αποτελεσματική εξαγωγή δεδομένων από συσκευές IoT, με τη βοήθεια του Deep Learning.

Πρωταρχικός στόχος της παραπάνω εργασίας είναι να εισάγει το Deep Learning για IoT συσκευές, στο περιβάλλον του Edge Computing, για να βελτιωθούν οι επιδόσεις εκμάθησης και να μειωθεί η πλεονάζουσα, συγκριτικά με την απαιτούμενη, κίνηση στο δίκτυο. Το Deep Learning έχει εισαχθεί σε πολλές εργασίες που σχετίζονται με το IoT και τις εφαρμογές για κινητά, με ενθαρρυντικά πρώιμα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, η Βαθιά Μάθηση μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο σπίτι με τα δεδομένα που συλλέγονται από έξυπνους μετρητές, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο έξυπνο δίκτυο. Μέρος της μελέτης είναι η παρουσίαση παραδειγμάτων όπως το παραπάνω και η επισύμανση σημαντικών προκλήσεων και πως μπορούν να βελτιωθούν μελλοντικά.

Βασικό κομμάτι αποτελεί η σωστή περιγραφή και κατανόηση των τεχνολογιών και των υπολογιστικών υπηρεσιών που αναλύονται, δηλαδή του Cloud Computing, του Edge Computing, του Deep Learning κυρίως σε περιβάλλοντα Edge Computing καθώς και ο ρόλος των IoT συσκευών σε αυτές.

Τέλος, γίνεται λεπτομερής εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την αποδοτικότητα του Deep Learning, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις των ήδη υπάρχουσών υπολογιστικών υπηρεσιών.

1.4 Διάρθρωση της αναφοράς

Η διάρθρωση της παρούσας διπλωματικής είναι η εξής:

- **Κεφάλαιο 2** Περιγράφονται η έννοια και η δομή του Cloud Computing. Γίνεται αναφορά στα οφέλη του και στην όλο και πιο διαδεδομένη χρήση του σήμερα.
- **Κεφάλαιο 3** Περιγράφονται η έννοια του IoT και ο σκοπός που εξυπηρετούν οι IoT συσκευές, μέσα από τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται. Επίσης παρουσιάζονται τα οφέλη χρήσης αυτών και η συσχέτισή τους με το Cloud Computing.
- **Κεφάλαιο 4** Περιγράφεται η έννοια και η δομή του Edge Computing. Γίνεται αναφορά στις εφαρμογές όπου προτιμάται αυτή η υπηρεσία αλλά και η άμεση σύνδεση της με τις προηγούμενες τεχνολογίες.
- **Κεφάλαιο 5** Περιγράφονται η έννοια του Deep Learning και της Τεχνητής Νοημοσύνης καθώς και η συσχέτιση τους με το Edge Computing. Περιγράφονται οι μέθοδοι Deep Learning και τα οφέλη αυτών. Γίνεται αναφορά και ανάλυση του προγραμματισμού των εργασιών (scheduling) για την ιδανική λύση και παρατίθεται ο αλγόριθμος. Τέλος παρουσιάζονται οι σημαντικότερες εφαρμογές του.
- **Κεφάλαιο 6** Παρουσιάζονται οι σημαντικότερες προκλήσεις κατά τη χρήση των υπολογιστικών υπηρεσιών και γίνεται ανάλυση πάνω σε αυτές.
- **Κεφάλαιο 7** Περιγράφεται η δυνατότητα για μελλοντικές βελτιώσεις και επεκτάσεις των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται.

1.5 Επίλογος

Έγινε αναφορά στις τεχνολογίες που απασχολούν το θέμα, στο πρόβλημα και στη συνεισφορά της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

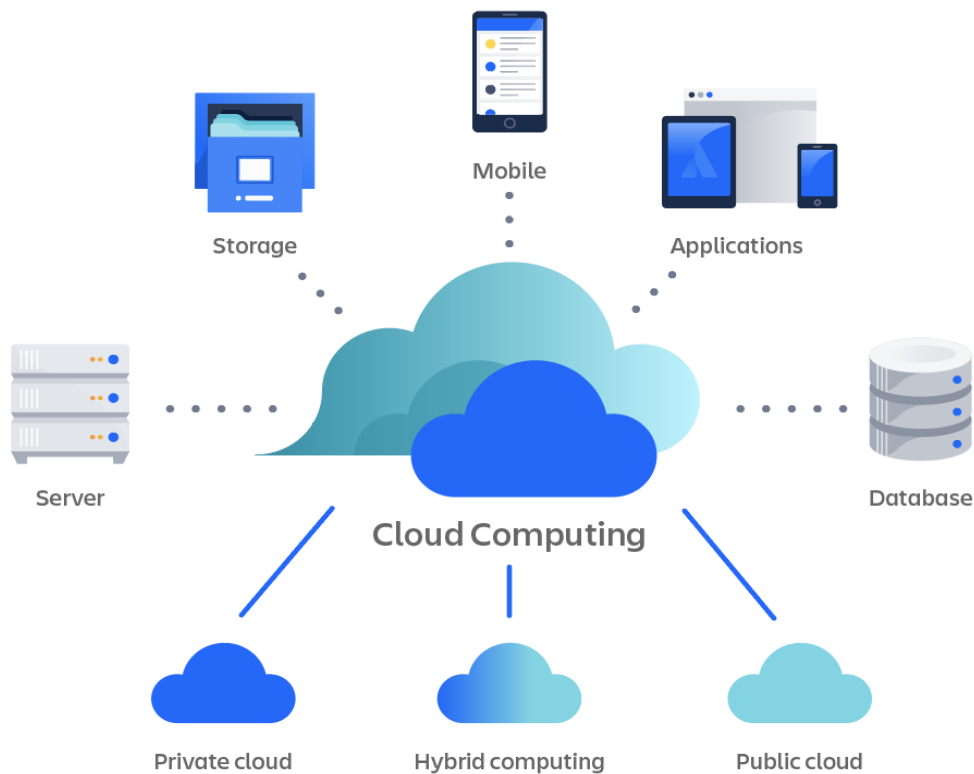
Κεφάλαιο 2ο: Cloud Computing

2.1 Εισαγωγή

Το Cloud Computing θεωρείται ως ένα από τα καλύτερα υπολογιστικά μοντέλα στον τομέα της τεχνολογίας πληροφοριών τα τελευταία χρόνια. Αυτό προκύπτει ως αποτέλεσμα της προόδου στα υπάρχοντα υπολογιστικά παραδείγματα που περιλαμβάνουν τα παράλληλα συστήματα υπολογιστών (parallel computing), τις πολυδύναμες τεχνολογίες πλέγματος (grid computing), τα κατακεμημένα υπολογιστικά συστήματα (distributed systems) κ.α. Στο παρόν κεφάλαιο, η εργασία θα ασχοληθεί με τη γενική δομή και λειτουργία του Cloud Computing καθώς και θα προσπαθήσει να δώσει έναν ορισμό σε αυτό. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά οφέλη που παρέχει στους χρήστες του το Cloud Computing και γίνεται κατανοητός, ο λόγος για τον οποίο έχει αποκτήσει τόσο δημοτικότητα.

2.2 Έννοια και δομή του Cloud Computing

Παρακάτω γίνεται αναφορά στο Σχήμα 2.1, όπου φαίνονται ορισμένες από τις σημαντικότερες υπηρεσίες καθώς και τα είδη του Cloud Computing. Βάσεις δεδομένων, επιπλέον χώρος αποθήκευσης και σημαντικές εφαρμογές κινητών είναι μόνο μερικές από τις υπηρεσίες του.



Σχήμα 2.1 Διάφορα είδη και υπηρεσίες του Cloud Computing

2.2.1 Ιστορική αναδρομή του Cloud Computing

Το 1963, η Υπηρεσία Έρευνας Προηγμένων Αμυντικών Συστημάτων των ΗΠΑ (DARPA) χορήγησε το Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης (MIT), ώστε να γίνει πραγματικότητα το MAC πρότζεκτ. Αυτό το πρότζεκτ είχε ως αντικείμενο την ανάπτυξη ενός υπολογιστή που θα χρησιμοποιείται από δύο ή και περισσότερα άτομα ταυτόχρονα. Έτσι το πρότζεκτ MAC αποτέλεσε τον πρόδρομο αυτού που ονομάζεται σήμερα Cloud Computing. Η λέξη "εικονικοποίηση" (virtualization) χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή της τότε κατάστασης. Πλέον, η λέξη αυτή έχει εξελιχθεί στο να περιγράφει μια εικονική μηχανή, η οποία λειτουργεί σαν πραγματικός ηλεκτρονικός υπολογιστής, με ένα πλήρες λειτουργικό σύστημα.

Όσο περισσότερο κατανοούσαν οι εταιρείες τη λειτουργία και τις υπηρεσίες που προσφέρει το Cloud Computing, τόσο περισσότερη δημοτικότητα αποκτούσε. Έτσι, το 1999, η Salesforce έγινε η πρώτη εταιρεία που χρησιμοποίησε επιτυχώς το Cloud Computing, για παράδοση προγραμμάτων λογισμικού στους τελικούς χρήστες. Οι επιχειρήσεις μπορούσαν να αγοράσουν τα προγράμματα κατά παραγγελία, χωρίς να είναι απαραίτητες επιπλέον μετακινήσεις.

Το 2002, η Amazon παρουσίασε τις εμπορικές της υπηρεσίες μέσω διαδικτύου και το 2006 έβγαλε στην αγορά το AWS (Amazon Web Services), το οποίο προσφέρει online υπηρεσίες σε άλλους ιστότοπους ή πελάτες. Ένα παράδειγμα αυτών των υπηρεσιών είναι το EC2 (Elastic Compute Cloud), όπου ο χρήστης μπορεί να νοικιάσει έναν εικονικό υπολογιστή και να κάνει χρήση των δικών του εφαρμογών και προγραμμάτων. Την ίδια χρονιά, η Google ξεκίνησε τις υπηρεσίες Εγγράφων Google (Google Docs). Τα Έγγραφα Google βασίστηκαν σε δυο προϊόντα. Το πρώτο είναι τα Υπολογιστικά Φύλλα (Google Spreadsheets) που δίνουν πολλές δυνατότητες στους χρήστες όπως είναι η ανάπτυξη, η επεξεργασία, η ενημέρωση καθώς και η αποστολή των Φύλλων στο διαδίκτυο. Το δεύτερο είναι το Writely που προσφέρει στους χρήστες αποθήκευση, επεξεργασία και μεταφορά των εγγράφων.

Ένα χρόνο μετά, το 2007, η IBM σε συνεργασία με τη Google και πολλά πανεπιστήμια συνέβαλαν στην ανάπτυξη μιας συλλογής διακομιστών (servers) για ερευνητικά έργα που χρειάζονται γρήγορους επεξεργαστές και τεράστιες ποσότητες δεδομένων. Μεγάλο μέρος της έρευνας επικεντρώθηκε σε θέματα όπου ενδιέφεραν περισσότερο τις IBM και Google. Παρόλα αυτά, τα πανεπιστήμια συνειδητοποίησαν τη διαφορά ταχύτητας στα πειράματα καθώς και τη μείωση του κόστους. Το 2007, ήταν επίσης η χρονιά όπου το Netflix ξεκίνησε να παρέχει τις υπηρεσίες του, χρησιμοποιώντας το Cloud.

Το 2008, η ομάδα του Eucalyptus, δημιούργησε την πρώτη συμβατή πλατφόρμα με το API των AWS, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη διανομή ιδιωτικού χώρου στο Cloud.

Το 2011, η IBM παρουσίασε το IBM Smart Cloud και η Apple το iCloud, τα οποία επικεντρώνονταν περισσότερο στην αποθήκευση προσωπικών πληροφοριών όπως φωτογραφίες, μουσική, βίντεο. Κατά τη διάρκεια του ίδιου έτους, η Microsoft αρχίζει να διαφημίζει το Cloud στην τηλεόραση, ενημερώνοντας το ευρύ κοινό για τις ικανότητές του να αποθηκεύει φωτογραφίες και βίντεο με εύκολη πρόσβαση.

2.2.2 Έννοια και βάσεις του Cloud Computing

Το Cloud Computing αποτελεί ένα σύνολο υπολογιστικών υπηρεσιών, οι οποίες παρέχονται μέσω του διαδικτύου. Αυτές οι υπηρεσίες απαρτίζονται από εφαρμογές κι εργαλεία

όπως είναι η αποθήκευση δεδομένων, οι βάσεις δεδομένων, οι servers και το λογισμικό. Το Cloud επιτυγχάνει την αποθήκευση δεδομένων σε απομακρυσμένες βάσεις δεδομένων, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης επιπλέον αποθηκευτικού χώρου, όπως είναι ο σκληρός δίσκος ή κάποιος άλλος τοπικός δίσκος. Έτσι, από τη στιγμή που η συσκευή έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο, έχει πρόσβαση και στη βάση δεδομένων καθώς και στις υπόλοιπες εφαρμογές και εργαλεία. Αυτό επιτρέπει στο χρήστη να έχει πρόσβαση από οπουδήποτε, και να είναι εφικτή η εργασία από απόσταση. Για το λόγο αυτό ονομάστηκε και Cloud Computing, αφού τα δεδομένα βρίσκονται αποθηκευμένα σε έναν εικονικό χώρο και υπάρχει πρόσβαση από απόσταση.

Η εικονικοποίηση (Virtualization) εγκαθιστά λογισμικό που δημιουργεί ένα στρώμα αφαίρεσης σε όλο το hardware του υπολογιστή, επιτρέποντας στα επιμέρους στοιχεία του hardware ενός συγκεκριμένου υπολογιστή, όπως επεξεργαστές, μνήμη, αποθηκευτικό χώρο κ.λπ., να καταταμηθούν σε πολλά εικονικά στοιχεία (γνωστά και ως εικονικές μηχανές).

Στη σημερινή εποχή, η εικονικοποίηση υιοθετείται παγκοσμίως στις αρχιτεκτονικές πληροφορικής σε εταιρικά περιβάλλοντα και αποτελεί οδηγό σε ό,τι αφορά τα οικονομικά μοντέλα του Cloud Computing. Το λογισμικό εικονικοποίησης δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να μειώσουν το κόστος που αφορά τα υπολογιστικά συστήματα, αυξάνοντας παράλληλα την αποτελεσματικότητα, τη χρήση και την ευελιξία του υπάρχοντος hardware τους.

Με απλά λόγια, πρόκειται για μια τεχνική, η οποία επιτρέπει την κοινή χρήση ενός πόρου ή μιας εφαρμογής μεταξύ πολλών πελατών και οργανισμών. Η εικονικοποίηση έχει πολλές πρακτικές εφαρμογές, με δύο κύριες:

- *Δοκιμή εφαρμογών:* Η εικονικοποίηση επιτρέπει στους προγραμματιστές λογισμικού να δοκιμάσουν τις εφαρμογές τους σε διάφορα περιβάλλοντα χωρίς να τις εγκαταστήσουν σε πολλούς διαφορετικούς υπολογιστές. Εάν η εκτέλεση της εφαρμογής διακοπεί στην εικονική μηχανή, δίνεται η δυνατότητα επαναφοράς της εικονικής μηχανής σε κάποια προηγούμενη της κατάσταση χωρίς να καταστραφεί το υποκείμενο hardware.
- *Ενοποίηση server:* Ένα από τα πιο σημαντικά οφέλη της εικονικοποίησης είναι η ενοποίηση πολλών server σε μια φυσική συσκευή. Αντί να διατηρείτε πολλούς διαφορετικούς servers με μεμονωμένες λειτουργίες, η εικονικοποίηση του server επιτρέπει το διαχωρισμό των πόρων του για πολλαπλούς σκοπούς. Συχνά, οι πόροι του server υποχρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα οι επιχειρήσεις να ξοδεύουν μεγάλα κεφάλαια για τη συντήρηση του server σε αναλογία με τη μικρή του απόδοση.

Η τυποποίηση (standardization) είναι η υλοποίηση διαφόρων υπηρεσιών χρησιμοποιώντας μια συνεπή προσέγγιση που υποστηρίζεται από ένα σύνολο συνεπών διεπαφών. Παρομοίως, το Cloud απαιτεί γενικά οι διάφορες ελεγκτικές διαδικασίες και οι διαδικασίες διαχείρισης να υλοποιούνται μέσω της χρήσης αυτοματισμών.

Ένας αυτοματισμός είναι μια διαδικασία που ενεργοποιείται με βάση κάποιους επιχειρηματικούς κανόνες, τη διαθεσιμότητα πόρων και τις απαιτήσεις ασφάλειας. Ο αυτοματισμός είναι απαραίτητος για την υποστήριξη ενός μοντέλου παροχής υπηρεσιών αυτοεξυπηρέτησης (self-service). Για την προώθηση της αποτελεσματικότητας, η αυτοματοποίηση μπορεί να διασφαλίσει ότι αφού μια παρεχόμενη υπηρεσία δεν χρειάζεται πλέον, παύεται και επιστρέφει στη «δεξαμενή» των αχρησιμοποίητων πόρων. Αυτός ο τύπος αυτοματισμού που βασίζεται σε κανόνες μπορεί να βοηθήσει στον προγραμματισμό της χωρητικότητας και τη συνολική διαχείριση του φόρτου εργασίας.

2.2.3 Δομή του Cloud Computing

Το Cloud Computing δεν είναι απλά ένα κομμάτι τεχνολογίας όπως είναι ένα τσιπάκι ή ένα κινητό τηλέφωνο, αλλά αποτελεί ένα σύνολο υπηρεσιών. Όπως παρουσίασε η Oracle το 2012, αυτό το σύνολο περιέχει τις τρεις παρακάτω βασικές υπηρεσίες, που αποτελούν και τη δομή του Cloud. Το SaaS (Software-as-a-Service), το PaaS (Platform-as-a-Service) και το IaaS (Infrastructure-as-a-Service).

Software as a Service (SaaS). Με την εξής υπηρεσία, ο πάροχος του Cloud προσφέρει τις εφαρμογές του σε ένα περιβάλλον προσβάσιμο μέσω δικτύου (προγράμματα περιήγησης), χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση λογισμικού ή η χρήση μιας ογκώδους εφαρμογής. Όλη η υποκείμενη υποδομή, το ενδιάμεσο λογισμικό, το λογισμικό και τα δεδομένα της εφαρμογής βρίσκονται στο κέντρο δεδομένων του παρόχου υπηρεσιών. Έτσι ελαχιστοποιείται το όποιο κόστος χρήσης του SaaS μέσω του Cloud, το οποίο θα επιβάρυνε τον τελικό χρήστη σε άλλη περίπτωση. Επίσης, η εκάστοτε εφαρμογή τρέχει για σύντομο χρονικό διάστημα και είναι διαθέσιμη για πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Παραδείγματα αυτής της υπηρεσίας αποτελούν το Google Mail (Gmail), Google Drive, Microsoft Office 365 και η Salesforce.

Platform as a Service (PaaS). Η υπηρεσία αυτή προσφέρει στο χρήστη ένα πλήρες περιβάλλον ανάπτυξης και εγκατάστασης στο cloud, με πόρους που επιτρέπουν την παράδοση όλων των ειδών εφαρμογών, από απλές εφαρμογές που βασίζονται στο Cloud έως εξελιγμένες εταιρικές εφαρμογές με δυνατότητα εγκατάστασης στο Cloud. Είναι συνήθως μια πλατφόρμα ανάπτυξης αποτελούμενη από μια βάση δεδομένων, ένα πρόγραμμα περιήγησης, ένα λειτουργικό σύστημα και ένα περιβάλλον εκτέλεσης κώδικα. Περιλαμβάνει όλο το πλαίσιο, στο οποίο ένας προγραμματιστής μπορεί να γράψει, να ελέγξει και να τρέξει προγράμματα χωρίς να υπάρχουν θέματα υποδομής από τη μεριά του Cloud. Το AWS Elastic Beanstalk, το Google App Engine και το Microsoft Azure App Service είναι μερικά από τα παραδείγματα αυτής της υπηρεσίας.

Infrastructure as a Service (IaaS). Αυτή η υπηρεσία προσφέρει στο χρήστη όλη την αρχιτεκτονική δομή καθώς και όποια υπολογιστική πηγή χρειάζεται και παρέχεται από την IaaS, όπως είναι ο επεξεργαστής, ο χώρος αποθήκευσης και άλλα σημαντικά κομμάτια hardware. Εδώ η εικονικοποίηση (virtualization) χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό, ώστε να υπάρχει πρόσβαση από πολλούς χρήστες. Βασικός στόχος του είναι η πρόσβαση σε υπολογιστική δύναμη, χωρίς τις απαιτήσεις της εγκατάστασης και της συντήρησής της. Ορισμένες φορές, λόγω των υπηρεσιών που προσφέρει, ονομάζεται και Hardware as a Service (HaaS)[12].

Data storage as a Service (DaaS). Η παραχώρηση εικονοποιημένου (virtualized) χώρου αποθήκευσης, αποτελεί μια ξεχωριστή υπηρεσία του Cloud πλέον. Πολλές φορές το DaaS θεωρείται υποκατηγορία του IaaS κι όχι ξεχωριστή κατηγορία [14]. Ο σκοπός του DaaS είναι να επιτρέπει στους καταναλωτές να πληρώνουν γι' αυτό που πραγματικά χρησιμοποιούν, κι όχι για την άδεια χρήσης ολόκληρης της βάσης δεδομένων. Παραδείγματα αυτών είναι το Amazon S3 και το Apache HBase.

Υπάρχουν πολλές άλλες υπηρεσίες Cloud, πέραν των παραπάνω, οι οποίες δε μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μια από αυτές τις υπηρεσίες. Τα online παιχνίδια στηρίζονται σε τεράστιους και ταχύρυθμος servers, ώστε να εξυπηρετήσουν εκατομμύρια χρήστες. Αυτοί οι χρήστες, δε χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του Cloud ή κι αν τις χρησιμοποιούν συμβαίνει ελάχιστα και δεν προσκολούνται σε αυτή την τεχνολογία [12]. Παρόλα αυτά, είναι εξίσου σημαντικές υπηρεσίες και είναι σωστό να αναφέρονται.

Ένας άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης της δομής του Cloud είναι βάση της ιδιωτικότητάς του. Υπάρχουν τέσσερα είδη, το Public Cloud, το Private Cloud, το Hybrid Cloud και το Community Cloud. Η διαχείριση, το κόστος, και η ασφάλεια του Cloud, εξαρτάται από το αν ο οργανισμός ή η επιχείριση επιλέξει να αγοράσει και να λειτουργεί τις δικές της υπηρεσίες Cloud ή προτιμά αυτό το κομμάτι να το αναλάβει κάποιος τρίτος εκτός αυτής [13].

Public Cloud. Είναι η κυρίαρχη μορφή Cloud σήμερα και ουσιαστικά μια εναλλακτική προσέγγιση ανάπτυξης εφαρμογών στις παραδοσιακές υπολογιστικές αρχιτεκτονικές σε εσωτερικές εγκαταστάσεις. Στο βασικό μοντέλο του Public Cloud, ένας τρίτος πάροχος φιλοξενεί κλιμακωτούς, και κατ' απαίτηση υπολογιστικούς πόρους και τους παραδίδει στους χρήστες μέσω σύνδεσης δικτύου, είτε μέσω του δημόσιου είτε μέσω αποκλειστικού δικτύου. Είναι ένα πλήρως εικονικοποιημένο περιβάλλον που βασίζεται σε συνδεσιμότητα δικτύου υψηλού εύρους ζώνης για τη μετάδοση δεδομένων. Οι πάροχοι ακολουθούν μια αρχιτεκτονική πολλών «ενοικιαστών» που επιτρέπει στους χρήστες -- ή στους «ενοικιαστές» -- να εκτελούν φόρτους εργασίας σε κοινόχρηστες υποδομές και να χρησιμοποιούν τους ίδιους υπολογιστικούς πόρους. Τα δεδομένα ενός «ενοικιαστή» στο δημόσιο σύννεφο διαχωρίζονται λογικά και παραμένουν απομονωμένα από τα δεδομένα άλλων «ενοικιαστών». Οι πάροχοι λειτουργούν τις υπηρεσίες Cloud, όπως είναι λογικό, σε απομονωμένες τοποθεσίες. Αυτές οι τοποθεσίες, που ονομάζονται ζώνες διαθεσιμότητας, αποτελούνται συνήθως από δύο ή περισσότερα συνδεδεμένα και άμεσα διαθέσιμα φυσικά κέντρα δεδομένων. Ουσιαστικά, πρόκειται για μια πλατφόρμα που χρησιμοποιεί το τυπικό μοντέλο του Cloud Computing για να καθιστά την υποδομή - όπως εικονικές μηχανές, εφαρμογές ή αποθηκευτικό χώρο - που απαιτείται για τη φιλοξενία και την ανάπτυξη φόρτων εργασίας, διαθέσιμη στους χρήστες εξ αποστάσεως. Πέραν των υποδομών, ο πάροχος συνήθως προσφέρει εργαλεία και υπηρεσίες που βοηθούν τους πελάτες να διαχειρίζονται τις Cloud εφαρμογές τους, όπως αποθήκευση δεδομένων, ασφάλεια και παρακολούθηση. Οι υπηρεσίες του Public Cloud μπορεί να είναι δωρεάν ή να προσφέρονται μέσω ποικίλων σχημάτων συνδρομής ή τιμολόγησης κατ' απαίτηση, συμπεριλαμβανομένου ενός μοντέλου πληρωμής ανά χρήση. Χρησιμοποιείται κυρίως για διαχείριση μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (email), εφαρμογές εκτός δικτύου (offline) και για αποθηκευτικό χώρο.

Private Cloud. Το Private Cloud είναι ένα περιβάλλον Cloud Computing, στο οποίο όλοι οι πόροι υλικού και λογισμικού είναι αφιερωμένοι αποκλειστικά σε έναν και μόνο πελάτη και είναι προσβάσιμοι μόνο από έναν πελάτη. Το Private Cloud συνδυάζει πολλά από τα πλεονεκτήματα του Cloud Computing γενικότερα - συμπεριλαμβανομένης της ελαστικότητας, της επεκτασιμότητας και της ευκολίας παροχής υπηρεσιών - με τον έλεγχο πρόσβασης, την ασφάλεια και την προσαρμογή πόρων της υποδομής εντός των εγκαταστάσεων (on-premises infrastructure). Μπορεί να τοποθετηθεί είτε στο χώρο της επιχείρησης, είτε να παρέχεται από κάποιο τρίτο πάροχο. Σε κάθε περίπτωση, οι υπηρεσίες και η υποδομή του Cloud, μένουν να διατηρούνται στο δίκτυο της επιχείρησης. Με τον τρόπο αυτό, διευκολύνεται η εκπλήρωση συγκεκριμένων απαιτήσεων, ως προς το κομμάτι του hardware και του λογισμικού. Το Private Cloud συχνά χρησιμοποιείται από μεγάλους οργανισμούς, κρατικές υπηρεσίες και οικονομικά ιδρύματα, καθώς οι πληροφορίες τους χρήζουν ειδικής μεταχείρισης και πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις συμμόρφωσης με τους κανονισμούς. Άλλοι επιλέγουν το ιδιωτικό Cloud επειδή ο φόρτος εργασίας τους αφορά εμπιστευτικά έγγραφα, πνευματική ιδιοκτησία, στοιχεία προσωπικής ταυτοποίησης, ιατρικά αρχεία, οικονομικά δεδομένα ή άλλα ευαίσθητα δεδομένα.

Hybrid Cloud. Είναι ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων Cloud, τα οποία παραμένουν μοναδικά σαν οντότητες, αλλά υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης μεταξύ τους, εναλλάσσοντας δεδομένα και εφαρμογές [14]. Η πρόσβαση σε δημόσιους πόρους Cloud σε συνεργασία με τους

πόρους εντός των εγκαταστάσεων που σχετίζονται με το Private Cloud συμβάλλει στη μεγαλύτερη ευελιξία, ευκολία επεκτασιμότητας, έλεγχο της ασφάλειας και συνολική αποτελεσματικότητα στην ανάπτυξη και εγκατάσταση υπηρεσιών και εργαλείων. Όλα αυτά μπορούν να επιτευχθούν ταυτόχρονα μόνο σε ένα υβριδικό περιβάλλον. Η διαλειτουργικότητα ενός υβριδικού Cloud σημαίνει ότι μέσω μη αυτόματων ή αυτόματων αιτημάτων, όταν οι απαιτήσεις του Private Cloud ενός οργανισμού αυξάνονται, το Public Cloud μπορεί να τεθεί σε λειτουργία για να αναλάβει το επιπλέον φορτίο που θα οδηγούσε στην επιβάρυνση του Private Cloud. Αυτό επιτρέπει στο Private Cloud να λειτουργεί εντός των ορίων του και στο Public Cloud να κάνει οποιαδήποτε επιπλέον εργασία απαιτείται. Οι οργανισμοί δεν χρειάζεται να διαθέσουν την υπάρχουσα υποδομή τους. Επειδή ένα υβριδικό Cloud συνδυάζει ιδιωτική και δημόσια χρήση Cloud, οποιαδήποτε προηγούμενη ή μελλοντική επένδυση στη δική του υποδομή δεν είναι χαμένη.

Community Cloud. Το υψηλό κόστος σημαίνει ότι ένα Private Cloud είναι, τις περισσότερες φορές, απρόσιτο για πολλούς μικρούς οργανισμούς, ενώ οι κανονισμοί πολλών επιχειρηματικών κλάδων καθιστούν το Public Cloud ανέφικτο για πολλούς άλλους. Εδώ είναι όπου το Community Cloud εμφανίζεται στην εξίσωση. Αυτό το σύστημα είναι μια τροποποιημένη μορφή Private Cloud, όπου οι ανάγκες διαφορετικών οργανισμών και κάθετων αγορών σταθμίζονται κατά τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής. Ένα Community Cloud ορίζεται ως μια υποδομή Cloud, στην οποία πολλοί οργανισμοί μοιράζονται πόρους και υπηρεσίες με βάση κοινές λειτουργικές και κανονιστικές απαιτήσεις. Ένα σύστημα Community Cloud ανήκει, διαχειρίζεται και λειτουργεί από μέλη της κοινότητας, τρίτους προμηθευτές ή και τα δύο. Στόχος του Community Cloud είναι να επιτρέπεται σε πολλούς χρήστες να εργάζονται σε κοινά projects, τα οποία ανήκουν στην κοινότητα και για τα οποία χρειάζεται ένα κεντρικό Cloud. Με άλλα λόγια, είναι μια μορφή Cloud, η οποία λύνει ζητήματα τομέων μιας επιχείρησης, ενσωματώνοντας τις υπηρεσίες από διάφορους τύπους Cloud.

2.3 Οφέλη χρήσης του Cloud Computing

Το Cloud Computing λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο, όπως τα μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου μέσω διαδικτύου, δηλαδή επιτρέπει την πρόσβαση στο χρήστη σε όλα τα αρχεία, χωρίς να χρειάζεται να υπάρχει αυτό το σύστημα στον προσωπικό του υπολογιστή. Αυτό αποτελεί ένα παράδειγμα ενός πλεονεκτήματος σε εφαρμογή, σημαντικό τόσο για προσωπική χρήση, όσο και για τον τομέα της επιχείρησης. Πιο αναλυτικά τα οφέλη του Cloud είναι τα παρακάτω:

Πληρωμή ανά υπηρεσία. Πρώτο και ίσως το σημαντικότερο πλεονέκτημα του Cloud Computing είναι η δραματική μείωση στο κόστος, λόγω της χρήσης του κυρίως από μικρότερες επιχειρήσεις και από start-up επιχειρήσεις, οι οποίες προσπαθούν να επωφεληθούν από αυτό χωρίς να δημιουργηθούν περιττά έξοδα [15]. Οι περισσότερες υπηρεσίες Cloud έχουν την πολιτική να χρεώνουν τον κάθε πελάτη, ανάλογα με τις λειτουργίες που χρησιμοποιεί, είτε αυτό αφορά υπολογιστικούς πόρους, είτε αποθηκευτικό χώρο. Για παράδειγμα, ένας πάροχος υπηρεσιών αποθήκευσης στο Cloud θα μπορούσε να χρεώσει με βάση την ποσότητα του αποθηκευτικού χώρου που χρησιμοποιείται (δυναμική χρέωση), ενώ πολλές εταιρείες κινητής τηλεφωνίας χρεώνουν με βάση τα λεπτά χρήσης (στατική χρέωση). Έτσι, η επιχείρηση ωφελείται από τα πλεονεκτήματα του Cloud, πληρώνοντας ακριβώς ό,τι χρησιμοποιεί.

Εξάληψη Κεφαλαιουχικών Δαπανών (CapEx). Οι επιχειρήσεις έχουν ποικίλα έξοδα, από το ενοίκιο που πληρώνουν για τα εργοστάσια ή τα γραφεία τους μέχρι το κόστος των πρώτων υλών για τα προϊόντα τους, από τους μισθούς που πληρώνουν στους εργαζομένους τους μέχρι το

συνολικό κόστος ανάπτυξης της επιχείρησής τους. Για να απλοποιήσουν όλα αυτά τα κόστη, οι επιχειρήσεις τα οργανώνουν σε διαφορετικές κατηγορίες. Δύο από τις πιο κοινές είναι οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CapEx – Capital Expenditures) και οι λειτουργικές δαπάνες (OpEx – Operational Expenditures) [15]. Σε συνέχεια της προηγούμενης συζήτησης αναφορικά με τη μείωση του κόστους σε μια επιχείρηση με τη χρήση Cloud τεχνολογιών, οφείλει να αναφερθεί το πλεονέκτημα της εξάλειψης των κεφαλαιουχικών δαπανών. Καθώς, με τη χρήση του Cloud, όλες οι υπηρεσίες τεχνολογίας μεταφέρονται στα data centers του παρόχου των Cloud υπηρεσιών, η επιχείρηση δε χρειάζεται πλέον να επενδύσει σε αγορά hardware για την κάλυψη των αναγκών της. Αντίθετα, οι λειτουργικές δαπάνες της επιχείρησης που αφορούν την προσφορά υπηρεσιών τεχνολογίας, όπως π.χ. ο μηνιαίος λογαριασμός ρεύματος κ.α., μειώνονται αρκετά, καθώς η επιχείρηση επωφελείται τόσο από το γεγονός ότι δε χρειάζεται να έχουν υπολογιστικές μονάδες στο χώρο της επιχείρησής τους, όσο και από τις προνομιακές τιμές που προσφέρουν οι πάροχοι Cloud για ιδίου είδους κόστη.

Ασφάλεια. Πολλοί οργανισμοί έχουν αμφιβολίες ως προς την ασφάλεια που παρέχει το Cloud στα αρχεία και τα δεδομένα τους. Δημιουργούνται ερωτήματα όπως το εξής: Εάν εγώ έχω πρόσβαση από οπουδήποτε στα αρχεία μου, τότε τι σταματάει έναν εγκληματία από το να πράξει ανάλογα; Αρχικά, κομμάτι της δουλειάς του παρόχου Cloud είναι η ασφαλής αποθήκευση και προσεκτική μεταχείριση των δεδομένων. Έπειτα, είναι πιο βολική η χρήση Cloud για την εκάστοτε επιχείρηση, από τη δημιουργία και φύλαξη ενός συστήματος τοπικά, όπου η ασφάλειά του, θα είναι μόνο ένα από τα προβλήματα που θα προκύψουν. Από στατιστικής άποψης, η εταιρεία παροχής Cloud Rapidscale, αναφέρει ότι το 94% των επιχειρήσεων που άρχισαν να χρησιμοποιούν το Cloud, παρατήρησαν βελτιώσεις στην ασφάλειά τους [1]. Ουσιαστικά, η κρυπτογράφηση των αρχείων και δεδομένων που αποθηκεύονται στις βάσεις δεδομένων, δημιουργούν αυτό το ασφαλές περιβάλλον. Έτσι τα αρχεία είναι σχεδόν μη προσβάσιμα σε μη εξουσιοδοτημένους χρήστες.

Παγκόσμια εμβέλεια. Έπειτα, η επιχείρηση μέσω του Cloud μπορεί να αυξήσει τη συνεργασία μεταξύ των εργαζομένων. Εξάλλου, δε νοείται ομάδα, αν δεν είναι ικανή να λειτουργεί συνεργατικά. [1] Το Cloud λοιπόν, κάνει τη συνεργασία μια απλή διαδικασία, δίνοντας τη δυνατότητα σε κάθε μέλος της να μοιράζεται και να βλέπει τις ίδιες πληροφορίες εύκολα και με ασφάλεια. Αυτός ο τρόπος, πέραν του γεγονότος ότι κάνει τη συνεργασία μια εύκολη και αποτελεσματική διαδικασία, δίνει ευελιξία στην επιχείρηση. Ανά πάσα στιγμή, υπάρχει πρόσβαση στα δεδομένα και μέσω κινητών συσκευών, ένας καλός τρόπος να είναι όλοι άμεσα ενήμεροι για τις εξελίξεις.

Υψηλή διαθεσιμότητα. Πέραν της συνεργασίας μεταξύ των εργαζομένων της, μια επιχείρηση καλείται να προσφέρει τις υπηρεσίες της στους πελάτες με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, ένα από τα βασικά κριτήρια των πελατών για την αξιολόγηση των προϊόντων τεχνολογίας μιας επιχείρησης είναι η αδιάκοπη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών. Η συνεχής διαθεσιμότητα προστατεύει τις εταιρείες από απώλεια εσόδων όταν διακόπτεται η πρόσβαση στους πόρους δεδομένων τους και στις κρίσιμες επιχειρηματικές εφαρμογές τους. Η υψηλή διαθεσιμότητα στο cloud επιτυγχάνεται με τη δημιουργία clusters. Ένα cluster υψηλής διαθεσιμότητας είναι μια ομάδα από servers που λειτουργούν ως ένας ενιαίος για να εξασφαλίσουν συνεχή χρόνο λειτουργίας. Ο πλεονασμός σε servers σημαίνει ότι υπάρχουν πολλά στοιχεία που μπορούν να εκτελέσουν την ίδια εργασία, αφαιρώντας τα μεμονωμένα σημεία αστοχίας. Πολλαπλά στοιχεία (για παράδειγμα, πολλοί servers) χειρίζονται την ίδια εργασία, γεγονός που δημιουργεί την ανάγκη για αναπαραγωγή για να διασφαλιστεί ότι όλα έχουν τα ίδια δεδομένα την ίδια στιγμή. Εκτός από την παροχή ανακατεύθυνσης, τα clusters υψηλής διαθεσιμότητας επιτρέπουν επίσης εξισορρόπηση του φόρτου εργασίας που ανατίθεται στα μέλη

του cluster, έτσι ώστε κανένας server εντός του cluster να μην υπερφορτώνεται. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται και μια πιο σταθερή απόδοση στην παροχή υπηρεσιών.

Ανοχή αστοχίας. Μια επιχείρηση που δεν έχει επενδύσει στο Cloud, σημαίνει ότι όλα της τα δεδομένα βρίσκονται στους υπολογιστές των γραφείων της. Αρχικά, αυτό μπορεί να μην αποτελεί πρόβλημα, αλλά στην πραγματικότητα είναι, αν οι τοπικές συσκευές δε λειτουργήσουν όπως προβλέπεται, καθώς αυτό συνεπάγεται μόνιμη απώλεια δεδομένων [1]. Με έναν server στο Cloud, όλες οι πληροφορίες και τα δεδομένα αποθηκεύονται με ασφάλεια και υπάρχει πρόσβαση σε αυτά, εφόσον υπάρχει υπολογιστής με σύνδεση στο ίντερνετ. Ακόμα κι αν αυτός στον οποίο αποθηκεύτηκαν δε λειτουργεί πια. Επίσης, είναι δυνατό με το ίδιο κόστος, να χρησιμοποιούνται παραπάνω από ένας server στο Cloud για επιπλέον ασφάλεια, στην ήδη υπάρχουσα. Μια τέτοια κίνηση εκμηδενίζει τις πιθανότητες καταστροφής ή απώλειας αρχείων, αφού είναι σχεδόν απίθανο να υπάρξει πρόβλημα σε πολλούς διαφορετικούς servers την ίδια χρονική στιγμή.

Αξιοπιστία. Ο έλεγχος και η πρόληψη, λοιπόν, είναι από τα συστατικά που χρειάζεται για να επιτύχει μια επιχείρηση. Υπάρχουν όμως καταστάσεις οι οποίες δε μπορούν να προβλεφθούν, όπως μια φυσική καταστροφή ή μια διακοπή ρεύματος. Παρ όλα αυτά, υπάρχει κάτι που μπορεί να βοηθήσει στην ανάκτηση δεδομένων και δεν είναι άλλο από το Cloud. Ενώ, 20% των χρηστών Cloud ισχυρίζονται επαναφορά των δεδομένων τους μέσα σε 4 ή λιγότερες ώρες, μόλις 9% από τους χρήστες εκτός Cloud ισχυρίζονται το ίδιο και το 43% όσων επιχειρήσεων αντιμετώπισαν μια τέτοια κατάσταση, ήταν καταστροφική, καθώς δεν κατάφεραν να ξαναοιζούν [1].

Ευελιξία. Στο πλαίσιο του Cloud Computing, η ευελιξία αναφέρεται συχνά στην ανάπτυξη, την ταχεία δοκιμή και την κυκλοφορία εφαρμογών που προωθούν την επιχειρηματική ανάπτυξη σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον στην τεχνολογία πληροφοριών. Η τεχνολογία του Cloud προσφέρει στις επιχειρήσεις ένα βασικό μέσο για την προώθηση της ευελιξίας και αποτελεί ένα ζωτικό εργαλείο στην προσπάθεια των επιχειρήσεων για καλύτερη προσαρμοστικότητα.

Ελαστικότητα. Η ελαστικότητα του Cloud αναφέρεται στην ικανότητά του να αυξάνει ή να μειώνει τη χωρητικότητα των υπολογιστικών πόρων (CPU), καθώς και των πόρων μνήμης και αποθήκευσης, ώστε να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ενός οργανισμού. Η ελαστικότητα του Cloud μπορεί να είναι αυτόματη, χωρίς να χρειάζεται να γίνει προγραμματισμός της χωρητικότητας εκ των προτέρων, ή μπορεί να είναι μια χειροκίνητη διαδικασία όπου ο οργανισμός ειδοποιείται ότι οι πόροι του εξαντλούνται και μπορεί στη συνέχεια να αποφασίσει να προσθέσει ή να μειώσει τη χωρητικότητα όταν χρειάζεται. Τα εργαλεία παρακολούθησης που προσφέρονται από τον εκάστοτε πάροχο Cloud προσαρμόζουν δυναμικά τους πόρους που διατίθενται σε έναν οργανισμό χωρίς να επηρεάζουν τις υφιστάμενες λειτουργίες που βασίζονται σε αυτό

2.4 Διάδοση χρήσης του Cloud Computing

Το Cloud Computing είναι μια δημοφιλής επιλογή στον τομέα των επιχειρήσεων, αλλά και στην καθημερινή χρήση, αφού στην πραγματικότητα οι περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούν μια ποικιλία υπηρεσιών Cloud Computing, χωρίς να το συνειδητοποιούν. Το Gmail, το Google Drive, ακόμα και το Instagram και το Facebook είναι εφαρμογές που βασίζονται στο Cloud. Για τη χρήση αυτών, οι χρήστες στέλνουν πληροφορίες σε ένα server στο Cloud, όπου τις αποθηκεύει για μελλοντική χρήση.

Πλεονεκτήματα όπως ο σχεδόν απεριόριστος χώρος αποθήκευσης, η δυνατότητα δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας και η αποκατάσταση δεδομένων, ευνοούν τη διάδοση του

Cloud. Εξίσου σημαντικά θεωρούνται η άμεση εφαρμογή των υπηρεσιών του Cloud, μόλις ο χρήστης αποφασίσει πως θέλει να αρχίσει να το χρησιμοποιεί, καθώς και η εύκολη πρόσβαση σε αυτό, χωρίς να απαιτείται επιπλέον ενέργεια ή γνώση από τον ίδιο.

Η πανδημία του COVID-19 έχει ανατρέψει τον τρόπο λειτουργίας των περισσότερων οργανισμών. Σχεδόν όλοι οι εργασιακοί κλάδοι, όπως οι μικρές και μεγάλες εταιρείες, η υγειονομική περίθαλψη και η εκπαίδευση, έχουν αναγκαστεί να επιβάλλουν τον ψηφιακό μετασχηματισμό τις υπηρεσίες τους. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο τμήμα της εργασίας, τα πλεονεκτήματα χρήσης του Cloud Computing οδήγησαν τις περισσότερες εταιρείες να στραφούν προς αυτή την κατεύθυνση για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού.

Καθώς τα στάδια της πανδημίας ήταν αρκετά και διαφοροποιούνταν από περίοδο σε περίοδο τα μέτρα αντιμετώπισης και προφύλαξης, η τηλεκπαίδευση και η τηλεργασία έγιναν αναπόσπαστο μέρος της καθημερινότητας του μεγαλύτερου μέρους του παγκόσμιου πληθυσμού. Ωστόσο, ακόμα και μετά το τέλος της πιο μεταδοτικής και επικίνδυνης φάσης της πανδημίας, όπου τα κυβερνητικά μέτρα των διαφόρων χωρών χαλάρωσαν ή/και εκμηδενίστηκαν, πολλές επιχειρήσεις συνεχίζουν να επιτρέπουν (ακόμα και να συνιστούν) την τηλεργασία.

Επιπλέον, η ραγδαία αύξηση της χρήσης των υπηρεσιών του Cloud από τις επιχειρήσεις όλων των κλάδων κατά τη διάρκεια της πανδημίας δεν προβλέπεται να μειωθεί, καθώς οι επιτυχημένα εγκατεστημένες λύσεις και οι διάφορες καλές πρακτικές που ακολουθούνται συνεχίζονται, ή ακόμα και επεκτείνονται. Η χρήση εφαρμογών Cloud Computing έχει αυξήσει τον όγκο, την ταχύτητα και την ποικιλία των δεδομένων που παράγονται κάθε λεπτό σε όλο τον κόσμο από διάφορες υπηρεσίες και εφαρμογές. Εφόσον ο όγκος της παραγόμενης πληροφορίας αυξάνεται με ρυθμούς αριθμητικής προόδου, η συνέχιση της χρήσης του Cloud μοιάζει αναπόφευκτη.

Όλα τα παραπάνω, καθιστούν το Cloud Computing την πιο αποδοτική μέθοδο για χρήση, διατήρηση και αναβάθμιση των πληροφοριών του χρήστη, με κλιμακούμενο κόστος, ανάλογα τη χρήση του. Και είναι ο λόγος που, στις μέρες μας, όλο και περισσότεροι χρήστες, ακόμα και στην προσωπική τους ζωή, έχουν στραφεί προς αυτό για την κάλυψη των υπολογιστικών τους αναγκών.

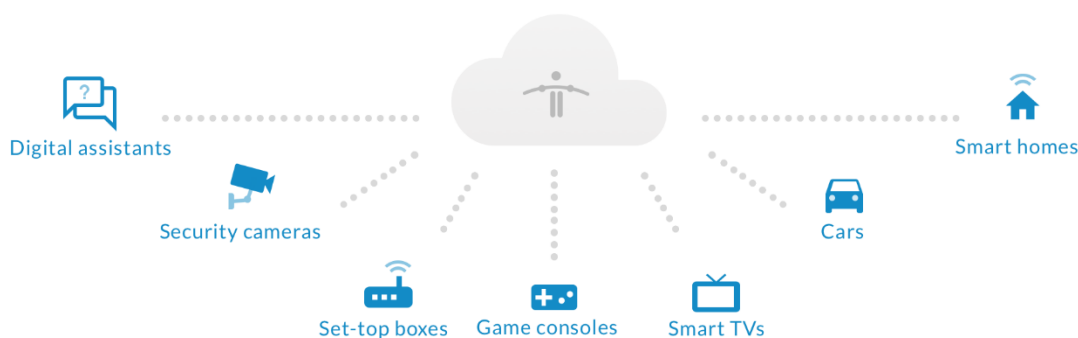
2.5 Επίλογος

Δόθηκε ο ορισμός του Cloud Computing κι έγινε αναφορά στη δομή, στα οφέλη και στους λόγους που έχει διαδοθεί η χρήση του.

Κεφάλαιο 3ο: Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

3.1 Εισαγωγή

Η ψηφιοποίηση επέτρεψε σε οτιδήποτε «έξυπνο» (smart) να γίνει το επίκεντρο των ήδη συνεχιζόμενων τεχνολογικών εξελίξεων. Στην πραγματικότητα, οι τεχνολογίες IoT θεωρούνται σήμερα ως ένας από τους βασικούς πυλώνες της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης λόγω των σημαντικών δυνατοτήτων σε καινοτομίες και των χρήσιμων οφελών για τον πληθυσμό. Σε αυτό το κεφάλαιο, περιγράφεται η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων και αναλύεται η βασική δομή του. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που έχει η χρήση του και τελικά, γίνεται αναφορά στην αλληλεπίδραση του με το Cloud Computing και στις νέες προκλήσεις που δημιουργεί αυτή στους χρήστες.



Σχήμα 3.1 Διάφορες συσκευές IoT

3.2 Η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων και η δομή του

Ο όρος ‘Διαδίκτυο των Πραγμάτων’ χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Kevin Ashton, διευθυντή του Auto-ID Center στο MIT (Massachusetts Institute of Technology) το 1999 και από τότε έχει γενικευτεί [10], καθώς έχει διευρυνθεί το εύρος των εφαρμογών του.

Ως Διαδίκτυο των Πραγμάτων, λοιπόν, θεωρείται ένα ανοιχτό και ολοκληρωμένο δίκτυο έξυπνων αντικειμένων που έχουν την ικανότητα αυτόματης οργάνωσης, κοινής χρήσης πληροφοριών, δεδομένων και πόρων, δράσης και αντίδρασης απέναντι σε καταστάσεις και αλλαγές στο περιβάλλον [4]. Αυτό το σύνολο, μπορεί να περιλαμβάνει οικιακές συσκευές, μικροσυσκευές (κάμερες, smartwatches), μέχρι και αυτοκίνητα. Όλες αυτές οι συσκευές, έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες για συλλογή δεδομένων και σύνδεση στο Διαδίκτυο, ώστε να είναι δυνατή η ανταλλαγή αυτών με άλλες.

Το IoT έχει αναγνωριστεί ως μια από τις πιο σημαντικές μορφές τεχνολογιών του μέλλοντος και συνεχίζει να βρίσκεται στο επίκεντρο. Το IoT περιγράφει έναν κόσμο όπου σχεδόν οτιδήποτε μπορεί να συνδεθεί και επικοινωνεί με έξυπνο τρόπο, καθώς μπορεί να θεωρηθεί ως ένα παγκόσμιο δίκτυο που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ ανθρώπου με άνθρωπο, ανθρώπου με συσκευή και συσκευής με συσκευή. Οι περισσότεροι από εμάς σκεφτόμαστε να «είμαστε συνδεδεμένοι» με όρους ηλεκτρονικών συσκευών όπως διακομιστές, υπολογιστές, tablet, τηλέφωνα και έξυπνα τηλέφωνα. Σε αυτό που ονομάζεται Διαδίκτυο των Πραγμάτων, οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές

που είναι ενσωματωμένοι σε φυσικά αντικείμενα - από δρόμους μέχρι βηματοδότες - συνδέονται μέσω ενσύρματων και ασύρματων δικτύων. Με περισσότερες από 20 δισεκατομμύρια τέτοιες συσκευές σε λειτουργία το 2020, υπολογίζεται πως μέχρι το 2025 ο αριθμός αυτός θα διπλασιαστεί.

Για την επιτυχή λειτουργία ενός IoT προϊόντος χρησιμοποιούνται 5 βασικές τεχνολογίες. Αυτές είναι οι εξής:

1. Ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνότητας (Radio Frequency Identification - RFID)
2. Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network - WSN)
3. Λογισμικό ενδιάμεσης εφαρμογής (Middleware)
4. Cloud Computing
5. Εφαρμογές IoT (IoT applications)

1. Ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνότητας (Radio Frequency Identification - RFID).

Η ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνότητας επιτρέπει την αυτόματη αναγνώριση και λήψη δεδομένων, χρησιμοποιώντας μια ετικέτα ραδιοκυμάτων (tag). Αυτή η ετικέτα μπορεί να αποθηκεύσει περισσότερα δεδομένα από ότι οι παραδοσιακοί γραμμωτοί κώδικες (barcodes). Περιέχει δεδομένα με τη μορφή Ηλεκτρονικού Κωδικού Προϊόντος (Electronic Product Code - EPC), ένα παγκόσμιο σύστημα αναγνώρισης αντικειμένων, το οποίο βασίζεται σε RFID, που αναπτύχθηκαν από το Auto-ID Center [19]. Η τεχνολογία RFID ταξινομείται σε τρεις κατηγορίες με βάση τη μέθοδο παροχής ρεύματος σε Ετικέτες: Ενεργό RFID, Παθητικό RFID και Ημι-παθητικό RFID. Τα κύρια στοιχεία του RFID είναι η ετικέτα, ο αναγνώστης, η κεραία, ο ελεγκτής πρόσβασης, το λογισμικό και ο διακομιστής. Σε γενικές γραμμές, η τεχνολογία θεωρείται πιο αξιόπιστη, αποτελεσματική, ασφαλής, φθηνή και ακριβής.

2. Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network - WSN).

Ένα ασύρματο δίκτυο αποτελείται από αυτόνομες συσκευές, εξοπλισμένες με αισθητήρες, οι οποίοι παρακολουθούν τις φυσικές ή περιβαλλοντικές συνθήκες και έχουν τη δυνατότητα να συνεργαστούν με συστήματα RFID [19] για την καλύτερη παρακολούθηση και καταγραφή αλλαγών κατάστασης σε μεταβλητές του περιβάλλοντος όπως η θέση, η θερμοκρασία κ.α. Στη συνέχεια, οι συσκευές που απαρτίζουν το δίκτυο συνεργάζονται για να μεταδώσουν τα δεδομένα που έχουν συλλέξει μέσω του διαδικτύου, όπου θα αποθηκευτούν και θα αναλυθούν. Η τεχνολογία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι ένα σημαντικό στοιχείο στο παραδείγματα χρήσης IoT. Τα WSN χρησιμοποιούνται κυρίως από τα τμήματα logistics των εταιρειών, που χρησιμοποιούν μεθόδους θερμικής ή ψυκτικής συντήρησης καθώς και για μεταφορά προϊόντων ευαίσθητων στις αλλαγές θερμοκρασίας.

3. Λογισμικό ενδιάμεσης εφαρμογής (Middleware).

Πρόκειται για ένα λογισμικό, το οποίο βρίσκεται μεταξύ ενός λειτουργικού συστήματος και των εφαρμογών που εκτελούνται σε αυτό. Λειτουργώντας ουσιαστικά ως κρυφό επίπεδο μετάφρασης, επιτρέπει την επικοινωνία και τη διαχείριση δεδομένων μεταξύ των εφαρμογών. Η χρήση λογισμικού ενδιάμεσης εφαρμογής επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν αιτήματα όπως είναι η υποβολή φορμών σε προγράμματα περιήγησης. Οι οργανισμοί στρέφονται στο ενδιάμεσο λογισμικό ως τρόπο διαχείρισης της πολυπλοκότητας στην εγκατάσταση εφαρμογών σε πλατφόρμες διαφορετικής αρχιτεκτονικής και για να διατηρήσουν την ανάπτυξη εφαρμογών γρήγορη και οικονομικά αποδοτική.

4. Cloud Computing.

Πολλές φορές οι IoT εφαρμογές απαιτούν τεράστιο χώρο για αποθήκευση δεδομένων και μεγάλες ταχύτητες επεξεργασίας αυτών για λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Το Cloud Computing αποτελεί μια ιδανική λύση όσον αφορά το back-end [19]. Δίνει τη δυνατότητα χειρισμού μεγάλων όγκων δεδομένων και ανάλυσης αυτών για πολύ μεγάλο αριθμό συσκευών IoT, και όλα αυτά σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Ενώ μια συστοιχία υπολογιστών εντός των εγκαταστάσεων μπορούσε να προσφέρει μια παρόμοια αποτελέσματα, η λύση του Cloud αποτελεί μια οικονομικά και χρονικά πιο συμφέρουσα πρόταση, καθώς οι οργανισμοί δε χρειάζεται να αγοράζουν εξοπλισμό, ενώ οι πάροχοι των υπηρεσιών Cloud είναι υπεύθυνοι για τη συντήρηση των υποδομών.

5. Εφαρμογές IoT (IoT applications).

Είναι προσχεδιασμένα λογισμικά, τα οποία μπορούν να αναλύσουν και να παρουσιάσουν τα δεδομένα που έχουν συλλέξει οι αισθητήρες. Διασφαλίζουν ότι τα δεδομένα/ μηνύματα έχουν ληφθεί κι εφαρμοστεί έγκαιρα και σωστά [19]. Καθώς οι σχεδιαστικές αρχιτεκτονικές των διαφόρων συσκευών IoT δεν είναι ενιαίες, η εστίαση στην ανάπτυξη εφαρμογών που μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα σε διαφορετικά συστήματα (cross-platform development) γίνεται επιτακτική ανάγκη. Έχει πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως η υγεία, οι μεταφορές, το περιβάλλον καθώς και πολλά είδη φορητών συσκευών (wearables), αισθητήρες κ.α.

3.3 Πλεονεκτήματα IoT

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων περιγράφεται ως μια κατάσταση κατά την οποία, οι περισσότερες συσκευές γύρω από τον άνθρωπο είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς την απαραίτητη μεσολάβηση ανθρώπου. Πέρα από το γεγονός πως είναι μια καινοτόμα ανακάλυψη, αποδεικνύεται πολύ αποδοτική στην καθημερινότητα όλων.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα χρήσης IoT εφαρμογών.

Επικοινωνία. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ενισχύει την επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των συσκευών του, η λεγόμενη M2M [5]. Τα βασικά κριτήρια που καθορίζουν την απόδοση της επικοινωνίας μεταξύ συσκευών είναι η σταθερότητα και η ταχύτητα. Θεωρώντας δεδομένη τη δραματική αύξηση στον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών και οδηγούμενοι σε μια πραγματικότητα όπου η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο για την εκπόνηση έργων υψηλής ευαισθησίας και ακρίβειας έρχεται στο προσκήνιο, η βελτιστοποίησή της αποτελεί μείζον ζήτημα της επιστημονικής κοινότητας.

Αυτοματισμός και έλεγχος. Μέχρι πρόσφατα, κύριος σκοπός του αυτοματισμού ήταν η αύξηση της παραγωγικότητας και η μείωση του κόστους. Τώρα, ο αυτοματισμός αλλάζει εστίαση και αναπτύσσεται για να κάνει τις διαδικασίες παραγωγής ορθολογικές και ασφαλέστερες για το ανθρώπινο προσωπικό και για να αυξάνει την ποιότητα και την ευελιξία των προϊόντων. Χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση, οι διάφορες μηχανές μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, οδηγώντας σε εξαγωγή ταχύτερων αποτελεσμάτων [5].

Χρόνος. Όπως ίσως είναι προφανές από τα προηγούμενα παραδείγματα, η εξοικονόμηση χρόνου είναι πολύ σημαντικό πλεονέκτημα σε εργασίες που βασίζονται στη μείωση της καθυστέρησης απόκρισης. Με αυτό τον τρόπο παρέχονται ακριβή αποτελέσματα. Οι δυνατότητες

που θα προσφέρει ο αυτοματισμός μέσω της χρήσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων θα εξοικονομήσει στο χρήστη ελεύθερο χρόνο.

Μείωση κόστους. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των IoT εφαρμογών είναι η εξοικονόμηση χρημάτων. Οι εφαρμογές IoT αποδεικνύονται πολύ βοηθητικές στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Με την μεταξύ τους αποδοτική επικοινωνία, διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα τα έξοδα καθώς και το κόστος ενέργειας. Λόγω των μειωμένων περιόδων διακοπής λειτουργίας, που διασφαλίζονται από την προγραμματισμένη και ελεγχόμενη συντήρηση, την έγκαιρη προμήθεια πρώτων υλών και άλλες κατασκευαστικές απαιτήσεις, ο εξοπλισμός μπορεί να έχει υψηλότερο ρυθμό παραγωγής με αποτέλεσμα μεγαλύτερα κέρδη [5]. Και πάλι, οι συσκευές IoT διευκολύνουν σημαντικά τη διαχείριση τόσο εντός μεμονωμένων τμημάτων, όσο και σε ολόκληρη τη δομή της επιχείρησης.

Ασφάλεια. Εκτός από το προαναφερθέν όφελος, η προγραμματισμένη συντήρηση είναι επίσης εξαιρετικά συμφέρουσα για τη διασφάλιση της λειτουργικής ασφάλειας και της συμμόρφωσης με τους απαιτούμενους κανονισμούς. Οι έξυπνες συσκευές μειώνουν επίσης την πιθανότητα ανθρώπινου λάθους σε διάφορα στάδια λειτουργίας της επιχείρησης, γεγονός που συμβάλλει επίσης σε υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας. Επιπλέον, ένα δίκτυο συσκευών IoT όπως κάμερες παρακολούθησης, αισθητήρες κίνησης και άλλες συσκευές παρακολούθησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διασφάλιση της ασφάλειας μιας επιχείρησης

Επίπεδο ζωής. Όλες οι εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας, επικεντρώνονται στην ευκολία, στην άνεση, καλύτερη διαχείριση, άρα και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής [5]. Δεδομένου ενός κόσμου που διαθέτει τώρα 37 «μεγαπόλεις» - η καθεμία με πληθυσμό άνω των 10 εκατομμυρίων - και τη συνέχιση της μετανάστευσης στις πόλεις, καθώς οι άνθρωποι αναζητούν ευκαιρίες και υψηλότερη ποιότητα ζωής, οι πόλεις πρέπει να γίνουν «εξυπνότερες» προκειμένου να διαχειριστούν αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πόρους, να μειώσουν τον συνωστισμό και την κυκλοφορία και παρέχουν ένα υγιές, βιώσιμο περιβάλλον. Καθώς οι πόλεις συλλέγουν περισσότερα δεδομένα κάθε είδους και τα καθιστούν διαθέσιμα σε προγραμματιστές εφαρμογών και τους κατοίκους, θα προκύψουν νέες εφαρμογές και οφέλη που δεν έχουμε φανταστεί ακόμη.

3.4 Οφέλη του IoT

Οι οργανισμοί που ταιριάζουν καλύτερα στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, είναι εκείνοι που θα επωφεληθούν από τη χρήση αισθητήρων στις επιχειρηματικές τους διαδικασίες.

Βιομηχανία. Η εφαρμογή τεχνολογιών IoT σε βιομηχανικές εφαρμογές θα επέτρεπε την αύξηση της αποτελεσματικότητας όσον αφορά τη διαδικασία παραγωγής και θα εξασφάλιζε αποτελεσματικότερη επικοινωνία και δικτύωση μεταξύ χειριστών και μηχανών. Αρχικά, οι κατασκευαστές μπορούν να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα εφαρμόζοντας την παρακολούθηση της γραμμής παραγωγής για την προληπτική συντήρηση του εξοπλισμού, όταν οι αισθητήρες ανιχνεύσουν κάποια βλάβη. Με τη βοήθεια τους, οι κατασκευαστές μπορούν να ελέγξουν γρήγορα τον εξοπλισμό ως προς την ακρίβειά του, και να τον αφαιρέσουν από την παραγωγή μέχρι να επισκευαστεί. Έτσι επιτυγχάνεται μείωση του λειτουργικού κόστους της επιχείρησης. Ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό θα ήταν η ανάπτυξη, ο σχεδιασμός και η ενσωμάτωση διαφόρων χρήσιμων αισθητήρων στις βιομηχανικές εφαρμογές, για τη διαμόρφωση ολοκληρωμένων και αποτελεσματικών συστημάτων γενικής διαχείρισης.

Αυτοκινητοβιομηχανία. Η αυτοκινητοβιομηχανία πρόκειται να αποκτήσει βασικά πλεονεκτήματα από τη χρήση εφαρμογών IoT. Πολύπλοκες συσκευές, όπως ηλεκτρονικά,

ενεργοποιητές και αισθητήρες αποκτούν πλέον την ευχέρεια να μοιράζονται πληροφορίες μεταξύ τους και με άλλα αυτοκίνητα που είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο. Τα αυτοκίνητα που συνδέονται μέσω ενός δικτύου IoT μπορούν να διευκολύνουν τη γρήγορη μεταφορά δεδομένων ζωτικής σημασίας που βελτιώνουν την οδική ασφάλεια. Όταν τα έξυπνα οχήματα συνδέονται μεταξύ τους, μοιράζονται πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία, την ταχύτητα και τη δυναμική που μπορούν να προβλέψουν, να αποτρέψουν ατυχήματα και να ειδοποιήσουν τους οδηγούς για τα εισερχόμενα οχήματα έκτακτης ανάγκης. Επιπρόσθετα, όταν τα αυτοκίνητα κατασκευάζονται με δυνατότητες IoT, οι ενσωματωμένοι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα απόδοσης σε συγκεκριμένα μέρη και μεταφέρουν αυτές τις πληροφορίες στο Cloud. Εκεί, η προγνωστική ανάλυση επεξεργάζεται αυτά τα δεδομένα, αξιολογεί την κατάσταση μεμονωμένων εξαρτημάτων και αξιολογεί τους κινδύνους δυσλειτουργίας. Καθώς η τεχνητή νοημοσύνη και η τεχνολογία αυτοματισμού προχωρούν, τα αυτόνομα οχήματα κερδίζουν έδαφος στην αυτοκινητοβιομηχανία. Η ενσωμάτωση τέτοιων λύσεων IoT σε νέα μοντέλα αυτοκινήτων θα μειώσει το ανθρώπινο λάθος, οδηγώντας σε ασφαλέστερες οδικές συνθήκες για όλους.

Τομέας μεταφορών. Στις μέρες μας, το IoT αναδύθηκε στην έννοια του «διαδικτύου των οχημάτων», κάτι που απλώς αποδεικνύει τις δυνατότητές του σε αυτόν τον σημαντικό τομέα. Η ιδέα του έξυπνου αυτοκινήτου εξετάζει τη χρήση και βελτιστοποίηση των διαφορετικών εσωτερικών λειτουργιών στο αυτοκίνητο που υποστηρίζονται από τεχνολογίες IoT. Ταυτόχρονα, η ανάπτυξη των υποδομών μεταφορών, καθώς και η εξέλιξη των υπάρχουσών τεχνολογιών των οχημάτων είναι απαραίτητες για μια ομαλή μετάβαση στον κόσμο της αυτόνομης αυτοκίνησης. Η τοποθεσία, η κατεύθυνση, καθώς και μια προγραμματισμένη διαδρομή του αυτόνομου οχήματος θα μπορούσαν να προβλεφθούν υποστηριχθούν αποτελεσματικά με το IoT, καθώς και με την παρακολούθηση νέων, εγκατεστημένων συστημάτων ασφαλείας για αυτόνομα οχήματα. Με βάση τα παραπάνω, ένας ακόμα τομέας που επωφελείται είναι αυτός των μεταφορών και logistics. Οι στόλοι φορτηγών, πλοίων και τρένων που μπορούν να μεταφέρουν αποθέματα μπορούν να δρομολογηθούν με βάση τις καιρικές συνθήκες, τη διαθεσιμότητα οχημάτων ή τη διαθεσιμότητα οδηγού, χάρη στη συλλογή δεδομένων που έχει προηγηθεί. Σε ένα άλλο επίπεδο, ακόμα και το ίδιο το φορτίο προϊόντων θα μπορούσε να είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες για την παρακολούθηση της τοποθεσίας του, αλλά και της θερμοκρασίας, αφού συχνά τα φορτία περιέχουν τρόφιμα, ποτά, φάρμακα, προϊόντα δηλαδή ευαίσθητα στις αλλαγές θερμοκρασίας.

Δημόσιος τομέας. Τα οφέλη στο δημόσιο τομέα και σε αντίστοιχα περιβάλλοντα υπηρεσιών, είναι εξίσου ευρύ. Η ενεργειακή μετάβαση έχει καταστεί αναγκαιότητα λόγω των πιθανών ελλείψεων σε πόρους ορυκτών καυσίμων στο μέλλον και με απώτερο σκοπό τη μείωση των διαφορετικών επιπτώσεων της ρύπανσης που συνδέονται με τη χρήση διαφόρων τεχνολογιών που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα. Ο πιο σημαντικός ρόλος των τεχνολογιών IoT στα έξυπνα δίκτυα είναι η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας [17], με κύριο άξονα την αποτελεσματικότερη διανομή της. Η συλλογή συγκεκριμένων δεδομένων του ενεργειακού δικτύου μέσω συσκευών IoT και αργότερα η ανάλυσή τους με το κατάλληλο λογισμικό, θα μπορούσε να συμβάλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας και της αποτελεσματικότητας του δικτύου. Για παράδειγμα, οι κρατικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν πλέον να χρησιμοποιούν εφαρμογές IoT για να ειδοποιούν έγκαιρα και με ακρίβεια τους χρήστες για διακοπές παροχής ρεύματος, νερού.

Τομέας διαχείρισης λυμάτων. Επί του παρόντος, αναπτύσσονται διάφορες τεχνολογικές λύσεις για την υποστήριξη της ιδέας της έξυπνης διαχείρισης απορριμμάτων. Ορισμένες από αυτές είναι ήδη διαθέσιμες στην αγορά για ευρεία εφαρμογή. Οι λύσεις που έχουν αναπτυχθεί στοχεύουν κυρίως στην έξυπνη παρακολούθηση των κάδων απορριμμάτων, δηλαδή ανίχνευση στάθμης

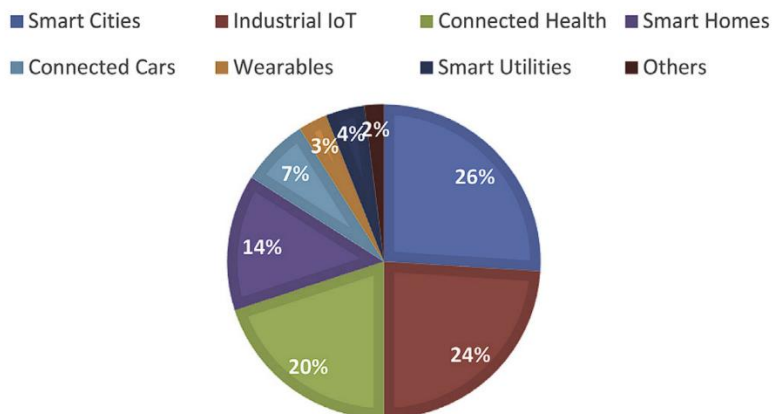
πλήρωσης κάδων, ανίχνευση θερμοκρασίας απορριμμάτων και πυρκαγιάς, εμφάνιση κραδασμών και κλίση κάδων, υγρασία απορριμμάτων, θέση GPS κάδων κ.λπ.

Υγειονομικός τομέας. Η αύξηση της ποιότητας των υπηρεσιών των συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης θα μπορούσε να αξιοποιηθεί μέσω της υποστήριξης του IoT (κυρίως συλλογή δεδομένων υγείας ασθενών) και με τη βελτίωση της ασφάλειας και της φροντίδας των ασθενών, καθώς θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση του προσδόκιμου ζωής των ασθενών. Υπάρχουν εξαιρετικές προοπτικές στις έξυπνες ιατρικές συσκευές για διαφορετικούς σκοπούς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση διαφόρων ζωτικών και πολύτιμων ανθρώπινων λειτουργιών όπως ο καρδιακός ρυθμός, η θερμοκρασία του δέρματος, η παρακολούθηση της κίνησης κ.λπ. Η βοήθεια στους ηλικιωμένους θα μπορούσε επίσης να εξασφαλιστεί με την παρακολούθηση της γενικής κατάστασης της υγείας του ασθενούς, καθώς και της διατροφικής του κατάστασης. Σε πιο πρακτικό επίπεδο, οι γιατροί, οι νοσηλευτές και οι τραυματιοφορείς χρειάζεται συχνά να γνωρίζουν την ακριβή τοποθεσία των αντικειμένων που παρέχουν βοήθεια στους ασθενείς, όπως είναι τα αναπηρικά καροτσάκια. Όταν αυτά είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες IoT, μπορούν να παρακολουθούνται, ώστε να βρίσκονται άμεσα όταν χρειάζεται. Αντίστοιχα, πολλά άλλα τέτοια στοιχεία μπορούν να παρακολουθούνται με τον ίδιο τρόπο. Έτσι διασφαλίζεται η σωστή διαχείριση, κάτι που επιφέρει τελικά οικονομία στην εκάστοτε ιατρική και νοσοκομειακή μονάδα.

Εργασιακός τομέας. Εκτός από την παρακολούθηση φυσικών περιουσιακών στοιχείων, το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων. Οι εργαζόμενοι σε επικίνδυνα περιβάλλοντα όπως ορυχεία, κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, χημικά και εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, πρέπει να ειδοποιούνται άμεσα σε περίπτωση επικίνδυνης δραστηριότητας, διαρροής αερίου για παράδειγμα και να μπορέσουν να διασωθούν από αυτή.

Αγροτικός τομέας. Η αποτελεσματική παραγωγή στον τομέα της γεωργίας αποτελεί μια αναγκαιότητα για να αποτρέψει την πιθανή έλλειψη πόρων τροφίμων του γενικού πληθυσμού στο μέλλον. Η εφαρμογή τεχνολογιών IoT στη γεωργία μπορεί ασφαλώς να συμβάλει στην κάλυψη των αυξανόμενων απαιτήσεων σε τρόφιμα και γενικότερα, στην αύξηση της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών γεωργικής παραγωγής. Διάφορα χρήσιμα δεδομένα σχετικά με τις καλλιέργειες θα μπορούσαν να συλλεχθούν και να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της απόδοσης και τον εντοπισμό πιθανών ασθενειών εκ των προτέρων, οι οποίες θα μπορούσαν να μειώσουν σημαντικά τις αποδόσεις συγκεκριμένων καλλιεργειών. Η παρακολούθηση του εδάφους και των θρεπτικών συστατικών θα εξορθολογίσει τις διαδικασίες γεωργικής παραγωγής και θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση νερού που είναι πολύτιμη σε ορισμένες συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω έξυπνων συστημάτων άρδευσης

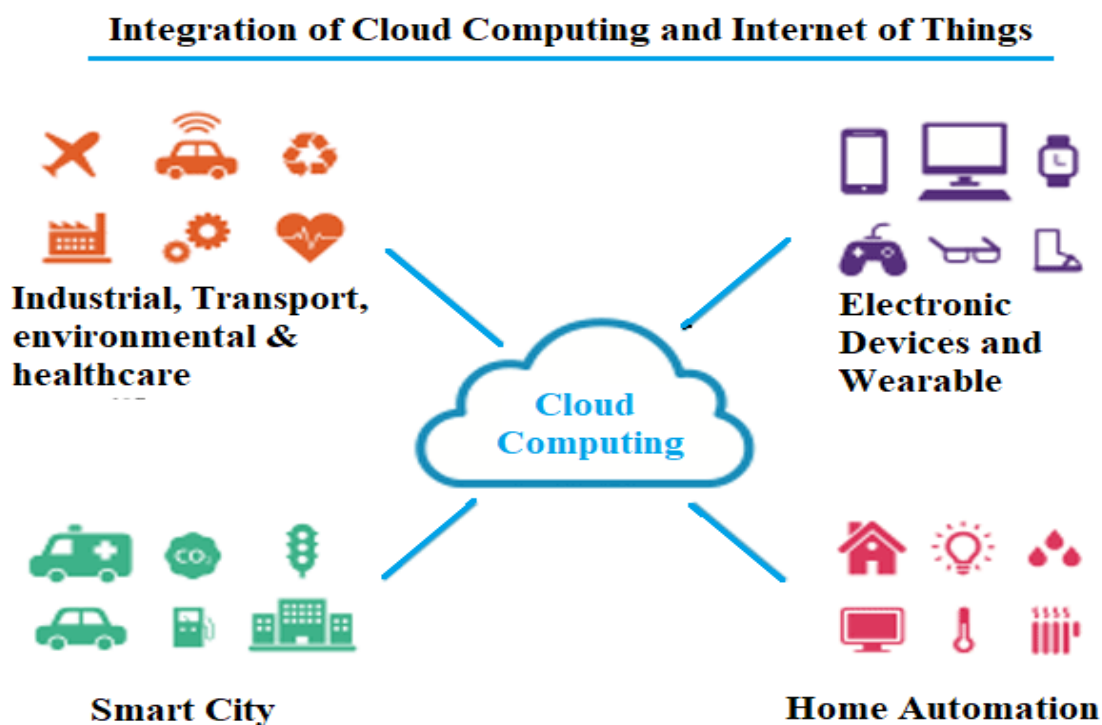
Έξυπνες πόλεις. Ο ρόλος των τεχνολογιών IoT στην έννοια της έξυπνης πόλης είναι κρίσιμος για τη γεφύρωση των παγκόσμιων προκλήσεων υποδομών στις πόλεις, οι οποίες συνδέονται με την συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού σε αυτές. Οι τεχνολογίες IoT θα επέτρεπαν τη χρήση διαφορετικών συσκευών, οι οποίες θα αύξαναν την ποιότητα ζωής των πολιτών, καθώς και την αποτελεσματικότητα διαφορετικών καθημερινών υπηρεσιών όπως οι μεταφορές, η ασφάλεια (μέσω της επιτήρησης και παρακολούθησης), τα έξυπνα ενεργειακά συστήματα, η έξυπνη διαχείριση νερού, κ.λπ. Η θεμελιώδης ιδέα των έξυπνων πόλεων βασίζεται στην παραδοχή ότι πολλοί αισθητήρες είναι εγκατεστημένοι και συνδέονται με πολλές άλλες συσκευές μέσω του διαδικτύου, οι οποίες παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στους χρήστες, όπως για παράδειγμα χώρο στάθμευσης, τυχόν δυσλειτουργίες, όπως κάποια ηλεκτρική βλάβη και πολλά άλλα.



Σχήμα 3.2 Διαμοιρασμός της αγοράς τεχνολογιών IoT

3.5 Ενσωμάτωση IoT και Cloud Computing

Το Cloud Computing είναι μια εύκολη μέθοδος να διοχετεύονται τα μεγάλα πακέτα δεδομένων που παράγονται από το IoT και να γίνονται προσβάσιμα μέσω του Διαδικτύου. Ο συνδυασμός IoT και Cloud Computing επιτρέπουν στα συστήματα να αυτοματοποιούνται με οικονομικά αποδοτικό τρόπο που υποστηρίζει τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο και την παρακολούθηση δεδομένων. Παρακάτω γίνεται αναφορά στο Σχήμα 3.3, όπου γίνεται εύκολα εμφανής η σημαντικότητα, αλλά και η άμεση σχέση μεταξύ Cloud Computing και IoT, με ορισμένα παραδείγματα.



Σχήμα 3.3 Παραδείγματα αλληλεπίδρασης IoT και Cloud Computing

3.5.1 Αλληλεπίδραση IoT και Cloud Computing

Λόγω της ταχείας ανάπτυξης της τεχνολογίας, έχει προκύψει το πρόβλημα της αποθήκευσης, επεξεργασίας και πρόσβασης μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων. Μια νέα γενιά υπηρεσιών έχει κάνει την εμφάνιση της τα τελευταία χρόνια, με σκοπό την παροχή πρόσβασης σε πληροφορίες και δεδομένα, ανά πάσα στιγμή περιορίζοντας έτσι την ανάγκη εξοπλισμού υλικών. Σήμερα, οι υπηρεσίες Cloud Computing αποτελούν έναν από τους μεγαλύτερους τομείς ανταγωνισμού στον κόσμο μεταξύ εταιρειών στον τομέα της πληροφορικής και λογισμικού [18]. Το Cloud Computing είναι μια τεχνολογία που θεωρείται η σημαντικότερη για τη χρήση εφαρμογών IoT. Σε συνδυασμό, θα είναι δυνατή η χρήση ισχυρής επεξεργαστικής δύναμης για τη συλλογή, ανάλυση και αποθήκευση δεδομένων αισθητήρων και για την εγκατάσταση νέων υπηρεσιών παρακολούθησης.

Πίνακας 3.1 Συνεισφορά του Cloud Computing στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων.

Internet of Things Characteristics	Storage over Internet	Service over Internet	Applications over Internet	Energy efficiency	Computationally capable
<i>Smart solution in transport</i>	X	X	X		X
<i>Smart power grids incorporating more</i>	X	X		X	X
<i>Remote monitoring of patients</i>		X	X		X
<i>Sensors in homes and airplanes</i>	X	X	X	X	X
<i>Engine monitoring sensors that detect & predict maintenance issues</i>		X	X	X	X

Ο Πίνακας 3.1 παραπάνω, παραθέτει τα χαρακτηριστικά του Cloud Computing και του IoT, με σκοπό την ανάδειξη αυτών που βελτιώνουν περισσότερο τη χρήση εφαρμογών IoT. Όπως παρατηρείται, το χαρακτηριστικό του IoT που επηρεάζεται περισσότερο είναι οι αισθητήρες σε σπίτια και αεροδρόμια. Αντίστοιχα, το χαρακτηριστικό του Cloud Computing που επηρεάζεται περισσότερο είναι οι υπηρεσίες μέσω διαδικτύου. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι αυτές οι δύο τεχνολογίες βοηθούν η μια την άλλη και μέσω της ενοποίησης τους, δίνεται η ευκαιρία επέκτασης της διαθέσιμης τεχνολογίας σε περιβάλλοντα Cloud.

3.5.2 Προκλήσεις αλληλεπίδρασης IoT και Cloud Computing

Τόσο το IoT όσο και το Cloud Computing, είναι δυο ταχύτατα αναπτυσσόμενες τεχνολογίες. Οι πρακτικά απεριόριστες δυνατότητες του Cloud Computing, όπως η αποθήκευση, η επεξεργασία και η επικοινωνία, θα μπορούσαν να ωφελήσουν το IoT, αφού μπορεί να παρέχει το ενδιαμέσο επίπεδο μεταξύ των πραγμάτων και των εφαρμογών, αποκρύπτοντας την πολυπλοκότητα του. Επίσης, το IoT, επεκτείνει τον τομέα εφαρμογής του, ώστε να αντιμετωπίζει τα πράγματα με πιο σωστά καταναμημένο και αποτελεσματικό τρόπο, και με την παροχή υπηρεσιών σε μεγάλο αριθμό συσκευών μπορεί να είναι επωφελής για το Cloud Computing.

Τα περισσότερα δεδομένα IoT επεξεργάζονται αυτή τη στιγμή στο Cloud, αλλά η στενή αλληλεπίδραση μεταξύ Cloud και IoT, εισάγει αρκετές νέες προκλήσεις που δε μπορούν να αντιμετωπιστούν πλήρως από το Cloud Computing. Επιπλέον, υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός και ποικιλία έξυπνων συσκευών, όπως είναι τα smartphones, τα tablets, τα βιομηχανικά ρομπότ, τα έξυπνα οχήματα κ.α. Οι βασικότερες προκλήσεις αναλύονται παρακάτω.

Αρχικά, Το IoT είναι μια πολύ περίπλοκη και ετερογενής πλατφόρμα σε θέματα δικτύου. Οι υφιστάμενες λύσεις σε περιβάλλοντα Cloud δεν είναι ακόμη σε θέση να αλληλεπιδράσουν με ετερογενείς μονάδες ή τεχνολογίες επικοινωνίας. Αυτό, με τη σειρά του, ενισχύει την πολυπλοκότητα μεταξύ των διαφόρων τύπων συσκευών μέσω διαφόρων τεχνολογιών επικοινωνίας που δείχνουν ότι η συμπεριφορά του δικτύου εισάγει μια ανεπιθύμητη καθυστέρηση. Τόσο τα συστήματα βιομηχανικού ελέγχου, όσο και οι εφαρμογές IoT, απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση (λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου) για τη λειτουργία τους. Αυτή η απαίτηση δεν μπορεί να καλυφθεί ακόμα από το Cloud Computing. Ιδίως στο επίπεδο των φορητών συσκευών IoT, η χρήση των υφιστάμενων λύσεων για αμεσότερη πρόσβαση στα περιβάλλοντα Cloud (π.χ. Express Routes) δεν είναι υλοποιήσιμη.

Η μετάβαση σε περιβάλλοντα Cloud συνήθως προϋποθέτουν τη μεταφορά τεράστιου όγκου δεδομένων, η οποία συνήθως είναι χρονοβόρα και επιρρεπής σε ανθρώπινο λάθος. Έπειτα, ο αυξανόμενος αριθμός συσκευών που συνδέονται με το IoT, παράγει όλο και μεγαλύτερο όγκο δεδομένων. Πάνω από 50 δισεκατομμύρια IoT συσκευές θα είναι σε λειτουργία μέχρι το 2025. Αυτή η αύξηση θα είναι μεγάλο πρόβλημα για τους παρόχους Cloud, καθώς δε θα είναι εφικτή η γρήγορη κι ασφαλής πρόσβαση στα δεδομένα από τους χρήστες.

Όταν δισεκατομμύρια συσκευές με ενσωματωμένους αισθητήρες συνδέονται στο Διαδίκτυο, μπορεί να μην είναι εφικτό για την ομάδα χρηστών να χειριστεί όλα τα δεδομένα που συλλέγονται. Οι τεχνικές υπολογιστικής επίγνωσης (context awareness) περιβάλλοντος πρέπει να χρησιμοποιούνται με καλύτερο τρόπο για να αποφασιστεί ποια δεδομένα πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία. Οι λύσεις Cloud που συζητήθηκαν έχουν περιορισμένη ικανότητα όσον αφορά την επίγνωση της ποιότητας και της ανάγκης ανάλυσης μεγάλων όγκων δεδομένων.

Αρκετές συσκευές IoT (αισθητήρες, drones) έχουν πολύ περιορισμένους πόρους. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι σε θέση να αλληλεπιδράσουν απευθείας με το Cloud, καθώς αυτές οι αλληλεπιδράσεις απαιτούν είτε πολύπλοκα πρωτόκολλα είτε πολλούς υπολογισμούς. Αποτέλεσμα, οι συσκευές αυτές, πρέπει να βασίζονται σε ένα ενδιαμέσο στρώμα συσκευών για σύνδεση στο Cloud. Το ίδιο ισχύει και για συσκευές με διακοπτόμενη συνδεσιμότητα (π.χ. οχήματα).

Ακόμα, πολλές εφαρμογές IoT, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα, απαιτούν πρόσβαση κι επεξεργασία σε πληροφορίες τοπικού περιβάλλοντος (π.χ. τοποθεσία χάρτη). Αυτή η απαίτηση δεν είναι δυνατή λόγω της φυσικής απόστασης μεταξύ συσκευών IoT και κεντρικού υπολογιστή.

Τέλος, δημιουργούνται πρωτόγνωρες προκλήσεις ασφάλειας. Μέχρι σήμερα οι λύσεις ασφάλειας επικεντρώνονταν στους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις, μέσω συστημάτων πρόληψης εισβολής και συστημάτων ανίχνευσης εισβολής. Δυστυχώς, πλέον δεν επαρκούν για την

αντιμετώπιση των νέων προκλήσεων ασφαλείας που φέρνει το IoT. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί ριζικές αλλαγές.

Σε αυτό το πλαίσιο, το Edge Computing γίνεται εξαιρετικά εφικτό κι ενδιαφέρον.

3.6 Επίλογος

Έγινε αναφορά στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Παρουσιάστηκαν τα πιο αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα και οφέλη του Διαδικτύου των Πραγμάτων και τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης του με το Cloud Computing.

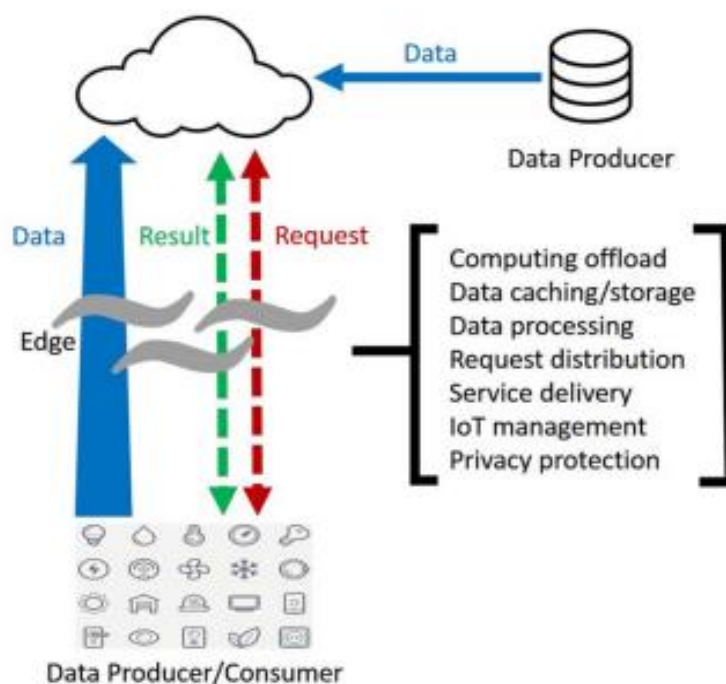
Κεφάλαιο 4ο: Edge Computing

4.1 Εισαγωγή

Ο αριθμός των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο και ο όγκος των δεδομένων που παράγονται από αυτές τις συσκευές και χρησιμοποιούνται από τις επιχειρήσεις, αυξάνεται πολύ γρήγορα για να μπορούν να χωρέσουν στις παραδοσιακές υποδομές των τοπικών κέντρων δεδομένων. Η προοπτική μετακίνησης τόσων δεδομένων, που συχνά εξαρτώνται από το χρόνο μετάδοσης και τη απρόσκοπτη επικοινωνία, μπορεί επιβαρύνει απίστευτα το παγκόσμιο διαδίκτυο, το οποίο συχνά υπόκειται σε μεγάλη συμφόρηση και διακοπές λειτουργίας. Έτσι, οι οργανισμοί έχουν μετατοπίσει την εστίαση από τα κέντρα δεδομένων στο άκρο της υποδομής – παίρνοντας τους πόρους αποθήκευσης και υπολογισμών από τα κέντρα δεδομένων και μετακινώντας τους στο σημείο όπου παράγονται τα δεδομένα, το λεγόμενο Edge. Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην έννοια και τη λειτουργία του Edge Computing, μέσω μιας μικρής ιστορικής αναδρομής. Έπειτα, γίνεται λόγος στη συσχέτιση του με το Cloud Computing, κάνοντας πλέον ξεκάθαρη τη διαφορά των δυο τεχνολογιών. Το κεφάλαιο κλείνει με παραδείγματα εφαρμογών του Edge Computing.

4.2 Η έννοια του Edge Computing

Παρακάτω γίνεται αναφορά στο Σχήμα 4.1, όπου δίνεται σχηματικά η λειτουργία ενός συστήματος με τη χρήση της τεχνολογίας Edge Computing. Πιο αναλυτικά, απεικονίζονται οι αμφίδρομες ροές υπολογισμών και μεταφοράς δεδομένων στο Edge Computing. Σε αυτό, οι IoT συσκευές δεν επεξεργάζονται δεδομένα μόνο, αλλά συχνά αναπαράγουν δεδομένα.



Σχήμα 4.1 Παράδειγμα λειτουργίας Edge Computing

Το Edge Computing μπορεί να εκτελέσει αποθήκευση δεδομένων, προσωρινή αποθήκευση και επεξεργασία, επεξεργασία αιτήματος και παροχή υπηρεσίας από το Cloud, καθώς και ανάθεση εργασιών υψηλού υπολογιστικού φόρτου. Με αυτές τις εργασίες στο δίκτυο, το Edge Computing θα πρέπει να είναι καλά σχεδιασμένο για να ανταποκρίνεται αποτελεσματικά στις απαιτήσεις των πελατών.

4.2.1 Η έννοια του Edge Computing

Το Edge Computing είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία που γεννιέται από την ανάγκη πραγματοποίησης των υπολογισμών στην «άκρη» του δικτύου. Αν και η πρώτη του εμφάνιση στη βιβλιογραφία προηγείται του Cloud, το ενδιαφέρον για το Edge Computing ξεκινά με την εμφάνιση του IoT και των σχετικών προκλήσεών του.

Ως Edge Computing νοείται η τεχνολογία, η οποία επιτρέπει την εκτέλεση υπολογισμών στην άκρη του δικτύου, σε αποθηκευμένα δεδομένα από το Cloud. Εδώ ως άκρη του δικτύου ορίζεται οποιοσδήποτε πόρος μεταξύ της πηγής δεδομένων και του Cloud. Ένα smartphone για παράδειγμα, είναι η άκρη μεταξύ του χρήστη και του Cloud [21]. Μια πόρτα σε ένα έξυπνο σπίτι είναι η άκρη μεταξύ οικιακών αντικειμένων και του Cloud. Το σκεπτικό του Edge Computing είναι οι υπολογισμοί να γίνονται κοντά στις πηγές δεδομένων.

Οι ρίζες του Edge Computing φτάνουν στα τέλη της δεκαετίας του 1990, όταν η Akamai εισήγαγε τα δίκτυα παροχής περιεχομένου (Content Delivery Network - CDN), για να επιταχύνει την απόδοση του Διαδικτύου [39]. Με την υπηρεσία αυτή, το στατικό περιεχόμενο μιας ιστοσελίδας αποθηκεύεται από το server της σελίδας στο CDN δίκτυο, το οποίο αποτελείται από Edge Servers σε όλο τον κόσμο. Τα σημεία που βρίσκονται οι Servers αυτοί ονομάζονται PoPs (points of presence). Όταν κάποιος χρήστης επισκεφθεί μια ιστοσελίδα με ενεργοποιημένη τη CDN υπηρεσία, φορτώνει το στατικό περιεχόμενο της σελίδας από το PoP που βρίσκεται πιο κοντά σε αυτόν. Ο τρόπος που επιλέγεται το σχετικό PoP, βασίζεται στα ping times ανάμεσα στους διαθέσιμους CDN Edge Servers και την IP διεύθυνση του τελικού χρήστη. Με αυτό τον τρόπο, η ταχύτητα φόρτωσης της ιστοσελίδας αυξάνεται κατακόρυφα, και αυτό είναι το βασικό πλεονέκτημα της CDN υπηρεσίας. Το Edge Computing παίρνει αυτή την ιδέα και την πηγαίνει ένα βήμα πιο μακριά, επιτρέποντας τη διεξαγωγή βασικών εργασιών. Το 1997, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο, η τεχνολογία κινητών τηλεφώνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συσκευή αναγνώρισης ομιλίας, μέσω του Edge Computing. Δύο χρόνια αργότερα, αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται για την παράταση διάρκειας ζωής της μπαταρίας στα κινητά τηλέφωνα. Το 2006, το Cloud Computing εμφανίζεται με την κυκλοφορία της υπηρεσίας EC2 της Amazon. Από τότε πολλές εταιρείες το αποδέχονται και το υποστηρίζουν. Το 2009, δημοσιεύεται ένα άρθρο, το οποίο περιγράφει λεπτομερώς τη γενική σχέση μεταξύ του λανθάνοντος χρόνου και του Cloud Computing. Γίνεται αναφορά σε μια αρχιτεκτονική δύο επιπέδων: το πρώτο επίπεδο είναι η επί του παρόντος υποδομή Cloud και η δεύτερη αποτελείται από διασκορπισμένα στοιχεία με κατάσταση προσωρινής αποθήκευσης. Αυτό αποτελεί τη θεωρητική βάση για πολλές πτυχές του Edge Computing. Το 2012, η Cisco εισήγαγε τον όρο fuzzy Computing για να αναφερθεί σε αυτή τη διάσπαρτη υποδομή Cloud. Το κίνητρό τους για την απομάκρυνση από την κλασική αρχιτεκτονική των τοπικών κέντρων δεδομένων είναι η επεκτασιμότητα της υποδομής των συσκευών IoT [39]. Οι ερευνητές οραματίζονται μια πολυεπίπεδη ιεραρχία κόμβων «ομίχλης» που εκτείνονται από το Cloud έως τις συσκευές IoT edge. Στις αρχές του 2013, η Nokia και η IBM παρουσίασαν από κοινού το Radio Applications Cloud Server (RACS), μια πλατφόρμα υπολογιστών αιχμής για δίκτυα 4G/LTE. Το επόμενο έτος, ξεκίνησε μια προσπάθεια τυποποίησης

φορητών υπολογιστών αιχμής υπό την αιγίδα του European Telecommunications Standards Institute (ETSI).

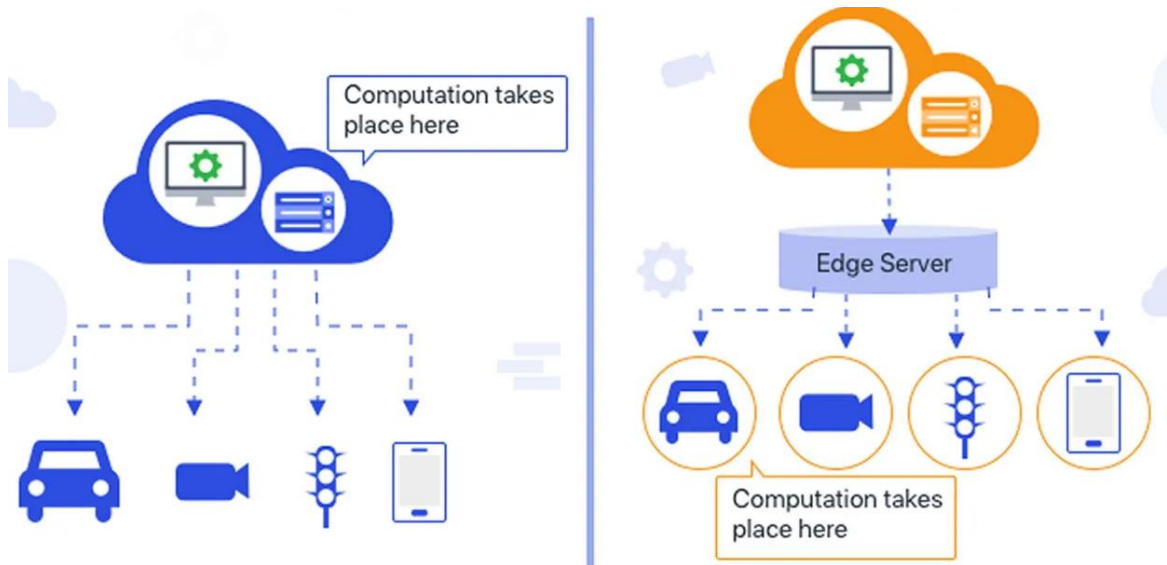
Η πρωτοβουλία Open Edge Computing (OEC) ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2015 από τη Vodafone, την Intel και τη Huawei σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon (CMU). Αυτό αποτελεί τη θεωρητική βάση για πολλές πτυχές του Edge Computing. Έτσι, φτάνουμε στις σημερινές υπηρεσίες Edge Computing, οι οποίες αποτελούν σημαντικό παράγοντα για τεχνολογίες όπως το IoT.

4.2.2 Συσχέτιση Cloud Computing κι Edge Computing

Πριν από την εμφάνιση του Edge Computing, το Cloud Computing μεταφέρει όλα τα δεδομένα στη βάση δεδομένων του, μέσω του Διαδικτύου, και λύνει το πρόβλημα της αποθήκευσης δεδομένων. Τον Αύγουστο του 2006, η Google παρουσιάζει για πρώτη φορά, επίσημα, την ιδέα του Cloud Computing. Με την ανάπτυξη των μηχανών αναζήτησης της Google, το Cloud Computing αρχίζει να αποκτά μια νέα δυναμική. Πλέον, σήμερα, το Cloud Computing έχει αναπτυχθεί πλήρως. Είναι μια πολύ ισχυρή πλατφόρμα υπηρεσιών μέσω Διαδικτύου, μερικές από τις οποίες είναι η επεξεργασία δεδομένων, οι παράλληλοι υπολογισμοί, η αποθήκευση δεδομένων, η εικονική πραγματικότητα κ.α. [23] Παρ' όλα αυτά, η ανάπτυξη και η φήμη που έχει αποκτήσει το Διαδίκτυο των πραγμάτων στις ζωές των ανθρώπων, ο μεγάλος αριθμός συσκευών συνδεδεμένων με το IoT, που συνεχώς αυξάνεται και ο μεγάλος όγκος δεδομένων που αναπαράγεται, περιορίζουν τις δυνατότητες του Cloud Computing, ως προς το να ανταπεξέλθει σε πραγματικού χρόνου καταστάσεις. Οπότε υπάρχουν μειονεκτήματα στο χρόνο φόρτωσης, σε απαιτήσεις πραγματικού χρόνου, στο εύρος κάλυψης, στην κατανάλωση ενέργειας και στην ασφάλεια δεδομένων.

Η ανάγκη ύπαρξης του Edge Computing, δε θα αντικαταστήσει το Cloud Computing. Από άποψη εφαρμογών, νοημοσύνης και Διαδικτύου, οι δυο αυτές υπηρεσίες πρέπει να συνυπάρχουν, συμπληρώνοντας η μια την άλλη και να αναπτυχθούν σε ένα κλίμα συνεργασίας, το οποίο θα βοηθήσει κάθε τομέα της κοινωνίας. Όλα τα δεδομένα που υπάρχουν στο Edge, ακόμα χρειάζεται να υπάρχουν και στο Cloud, ώστε να επιτυγχάνεται σε βάθος ανάλυση των αποτελεσμάτων. Άρα το Cloud Computing παίζει ακόμα σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των IoT συσκευών. Όσο για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, αν όλες οι IoT συσκευές, που δημιουργούν μεγάλα ποσά δεδομένων, μεταφέρονταν στο Cloud, τότε θα δημιουργούνταν τεράστιοι χρόνοι αναμονής από το Cloud Computing. Εδώ λοιπόν απαιτείται από το Edge Computing να διαμοιράσει το φόρτο αυτό, μεταφέροντας ορισμένους υπολογισμούς στο edge. Όταν δημιουργείται ένα πρόβλημα στο Edge Computing, τα δεδομένα στο Cloud δε χάνονται. Σε ορισμένες υπηρεσίες, τα δεδομένα χρειάζεται να επιστρέψουν στο Cloud για επεξεργασία, αφού έχουν γίνει οι απαραίτητοι υπολογισμοί από μεριάς Edge Computing, όπως γίνεται σε περιπτώσεις σε βάθους ανάλυσης μεγάλων βάσεων δεδομένων με σκοπό τη δημιουργία νέων δεδομένων, όπου είναι σημαντική η συνεργασία Cloud Computing και Edge Computing [23]. Ουσιαστικά το Cloud Computing είναι υπεύθυνο για την ανάλυση των περισσότερων δεδομένων και την εξαγωγή αποτελεσμάτων προς το Edge Computing στο οποίο επεξεργάζονται τα δεδομένα κι εκτελούνται οι ζητούμενες εντολές.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στο Σχήμα 4.2, όπου φαίνεται η βασικότερη διαφορά μεταξύ των δυο τεχνολογιών. Αυτή είναι ο τρόπος με τον οποίο αποθηκεύονται κι επεξεργάζονται τα δεδομένα. Η επεξεργασία και οι υπολογισμοί του Cloud Computing, γίνονται στο Cloud, ενώ στο Edge Computing οι υπολογισμοί γίνονται στην άκρη του δικτύου και πιο κοντά στους χρήστες.



Σχήμα 4.2 Η βασική διαφορά μεταξύ Cloud και Edge Computing

Το Edge Computing είναι μια επέκταση του Cloud Computing. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά του Cloud Computing είναι η πληρότητα που , η δυνατότητα ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων, η πραγματοποίηση ανάλυσης σε βάθος και το γεγονός ότι παίζει κεντρικό ρόλο στην επεξεργασία δεδομένων μη πραγματικού χρόνου, για παράδειγμα στη λήψη αποφάσεων μέσα σε μια επιχείρηση. Το Edge Computing επικεντρώνεται σε ένα τοπικό επίπεδο, στην επεξεργασία δεδομένων κοντά στο χρήστη και έχει πολλές δυνατότητες μικρού εύρους, πραγματικού χρόνου αναλύσεις, όπως για παράδειγμα η άμεση κάλυψη των αναγκών μιας τοπικής επιχείρησης. Σε θέματα Διαδικτύου, το Edge Computing είναι υπεύθυνο για δεδομένα κοντά στην πηγή δεδομένων, δηλαδή στο χρήστη. Έτσι μπορεί να γίνεται αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων τοπικά, χωρίς την ανάγκη μεταφοράς τους στο Cloud.

Πίνακας 4.1 Οι βασικές διαφορές μεταξύ Cloud Computing και Edge Computing

	Applicable situation	Network bandwidth pressure	Real - time	Calculation mode
Cloud Computing	Global	More	Low	Large scale centralized processing
Edge Computing	Local	Less	High	Small scale intelligent analysis

Παραπάνω γίνεται αναφορά στον Πίνακα 4.1, όπου αναφέρονται χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας και πως αυτές εφαρμόζονται.

4.2.3 Συσχέτιση IoT και Edge Computing

Το Edge Computing είναι μια σημαντική τεχνολογία για το IoT και τις συσκευές του [36]. Λόγω της μεταφοράς δεδομένων με περιορισμένη απόδοση δικτύου, η κεντρική δομή του Cloud Computing καθίσταται αναποτελεσματική για την επεξεργασία και την ανάλυση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων που συλλέγονται από συσκευές IoT. Καθώς, το Edge Computing αποθηκεύει τα δεδομένα από το Cloud και εκτελεί τους υπολογισμούς στην άκρη κοντά σε συσκευές IoT, τα μεταφερόμενα δεδομένα μειώνονται σε τεράστιο βαθμό από τις διαδικασίες προεπεξεργασίας. Το Edge Computing μπορεί να αποδώσει καλά όταν το ενδιάμεσο μέγεθος δεδομένων είναι μικρότερο από το μέγεθος των δεδομένων εισόδου.

Για να μπορούμε πραγματικά να μιλήσουμε για ένα πραγματικό Edge Cloud ως ενοποιημένη πλατφόρμα παράδοσης εφαρμογών IoT για το μέλλον, πρώτα, η εντοπισμένη και οι μηχανισμοί παράδοσης εφαρμογών και διαδικασιών για το σύννεφο αιχμής θα μπορούσαν να διαφέρουν σημαντικά από αυτές στις παραδοσιακά κεντρικές αρχιτεκτονικές Cloud. Οι βασικές τεχνολογίες ενεργοποίησης, όπως η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV) και η δικτύωση καθοριζόμενη από λογισμικό (SDN), για το μελλοντικό Cloud Edge βρίσκονται ακόμη σε αρχικό στάδιο και η έρευνα και η εφαρμογή τους διεξάγονται από διαφορετικούς οργανισμούς.

Σε σύγκριση με τους διακομιστές (servers) στα κέντρα δεδομένων, οι περισσότερες συσκευές ή αισθητήρες IoT στο επίπεδο Edge είναι κάπως περιορισμένοι τόσο στην υπολογιστική ισχύ, όσο και στη χωρητικότητα της μπαταρίας. Λόγω του περιορισμού σε hardware, οι πολύπλοκοι και εντατικοί υπολογισμοί δεν είναι κατάλληλοι για αυτές τις συσκευές. Αντίθετα, οι περισσότερες από αυτές τις εργασίες υπολογισμού και επεξεργασίας δεδομένων μπορούν να μεταφορτωθούν στο Edge Cloud, κάτι που θα μπορούσε να εξοικονομήσει ενέργεια σε συσκευές IoT και να οδηγήσει σε χαμηλότερους χρόνους εκτέλεσης. Παραδείγματα εφαρμογών IoT περιλαμβάνουν την παρακολούθηση ενός γεωργικού αγρού και τη βιομηχανική παρακολούθηση, η οποία συνήθως περιλαμβάνει πολλούς μικρού μεγέθους και κατάλληλα κατανομημένους αισθητήρες και συσκευές. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι αισθητήρες και οι συσκευές IoT παράγουν και στέλνουν ως επί το πλείστον δεδομένα αλλά με περιορισμένη ικανότητα επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων.

Σημαντικό είναι και το ζήτημα που αφορά το συντονισμό μεταξύ των συσκευών IoT και του Edge. Το βασικό κίνητρο χρήσης του Edge Computing είναι να επιτρέπει στους διακομιστές Edge να εμπλακούν για να βοηθήσουν τις συσκευές IoT στους υπολογισμούς, την αποθήκευση και τη δικτύωση. Το πώς οι συσκευές IoT και το Edge θα συντονίζονται μεταξύ τους για τη διεκπεραίωση του φόρτου εργασίας θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα τέτοιων μεθόδων. Στον παραδοσιακό κυβερνοχώρο, οι τεχνολογίες διαμερισμού προγραμμάτων και διαδικασιών είχαν μελετηθεί πολύ ευρέως. Ωστόσο, γενικά προσθέτουν πολυπλοκότητα στον προγραμματισμό και επιβαρύνουν επιπλέον τους προγραμματιστές εφαρμογών. Μια τυπική εναλλακτική που υποστηρίζεται επίσης από το έργο του Cloudlet είναι ότι αντί να προγραμματίζονται οι εφαρμογές διαφορετικά ώστε να είναι προσαρμοστικές, μια ολόκληρη εικονική μηχανή (VM) μπορεί να εκκινηθεί δυναμικά στο Cloud Edge και οι εργασίες υπολογισμού μπορούν να εκτελεστούν στο VM μέχρι τα αποτελέσματα να σταλούν πίσω στα συσκευές IoT. Τα VM μπορούν να εκκινηθούν και να διαγραφούν δυναμικά κατά παραγγελία. Μια τέτοια μέθοδος θα μπορούσε να απλοποιήσει το έργο των προγραμματιστών και να μειώσει περαιτέρω την πολυπλοκότητα. Όπως είναι λογικό, μια τέτοια υλοποίηση μπορεί να συνεπάγεται επιπλέον καθυστέρηση λόγω της συνεχόμενης δημιουργίας και αποδόμησης εικονικών δικτύων. Ωστόσο, τα καλά νέα, είναι ότι για τις περισσότερες υπολογιστικά έντονες εργασίες που απαιτούν εκφόρτωση (offloading), τα οφέλη συνήθως υπερτερούν του κόστους.

4.3 Πλεονεκτήματα Edge Computing

Το Edge Computing συλλέγει κι επεξεργάζεται δεδομένα στις edge συσκευές χωρίς την απαίτηση μεταφοράς τους στο Cloud. Καθώς εξερευνούνται νέες εφαρμογές και περιπτώσεις χρήσης τόσο για φορητές όσο και για IoT συσκευές, τα πλεονεκτήματα του Edge Computing γίνονται όλο και πιο εμφανή. Η λογική της εγγύτητας για το δίκτυο χαρακτηρίζεται εξ ολοκλήρου από χαμηλή καθυστέρηση, χαμηλό jitter και υψηλό εύρος ζώνης. Επίσης εξαρτάται από παράγοντες όπως οι τεχνολογίες δικτύωσης που χρησιμοποιούνται ήδη, οι συνδέσεις δικτύου και οι αντιθέσεις αυτών, τα χαρακτηριστικά εφαρμογής και η ανοχή χρήστη σε περίπτωση κακής διαδραστικής απόκρισης. Λόγω των παραπάνω, το Edge Computing έχει προφανή πλεονεκτήματα στους εξής τομείς.

Γρήγορη ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Συγκριτικά με τις παραδοσιακές λύσεις του Cloud Computing, το Edge Computing έχει γρήγορη και σε πραγματικό χρόνο απόκριση. Βρίσκεται πιο κοντά στην πηγή δεδομένων, διαθέτει χώρο αποθήκευσης δεδομένων και οι εργασίες μπορούν να υλοποιηθούν μέσω αυτού, γεγονός που μειώνει τους χρόνους απόκρισης, καθώς και άσκοπες μεταφορές δεδομένων. Επικεντρώνεται στην εμπειρία των χρηστών παρέχοντάς τους προοδευτικές αλλαγές στις ευφυείς υπηρεσίες του, βελτιώνοντας έτσι την εκτέλεση εντολών και διαδικασιών των δεδομένων, επιβεβαιώνοντας τις αποκρίσεις σε πραγματικό χρόνο, αλλά και τη μείωση των χρόνων καθυστέρησης. Το Edge Computing προσφέρει στους χρήστες μια πληθώρα από γρήγορης απόκρισης υπηρεσίες, ειδικότερα στη βιομηχανία των αυτόματα οδηγούμενων οχημάτων, στην παρακολούθηση βίντεο και στην παρακολούθηση κι ενημέρωση για άλλες περιοχές, όπου οι γρήγορες απαντήσεις είναι εξαιρετικά σημαντικές.

Ασφάλεια. Το Cloud Computing ζητά την επεξεργασία όλων των δεδομένων που έχουν ανέβει σε αυτό, μια κεντρική μέθοδο επεξεργασίας δηλαδή. Με τον τρόπο αυτό, είναι πιθανό να χαθούν δεδομένα ή να υπάρξει απώλεια αυτών. Για παράδειγμα, κωδικοί λογαριασμών, ιστορικό ακόμα και συναλλαγές μπορεί να αποκαλυφθούν σε τρίτους. Εφόσον, το Edge Computing, είναι υπεύθυνο για τις εργασίες που γίνονται σε τοπικό επίπεδο, δεν υπάρχει λόγος να μεταφερθούν όλα αυτά στο Cloud, αποτρέποντας τα ρίσκα μιας μεταφοράς μέσω Διαδικτύου. Οπότε τα δεδομένα παραμένουν ασφαλή. Εάν ο λογαριασμός του χρήστη δεχθεί επίθεση, τότε επηρεάζονται μόνο τα τοπικά δεδομένα, αυτά στο Edge δηλαδή, κι όχι όλα. Επίσης τα Cloudlets, σε συνεργασία με το Edge Computing, θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση ενός συνεχούς προβλήματος, αυτό των αυξανόμενων ανησυχιών σχετικά με το απόρρητο των δεδομένων που προκύπτουν σε καθημερινή βάση [31]. Τα Cloudlets είναι το πρώτο σημείο σύνδεσης με τους χρήστες, όπου μπορεί να αναπτυχθεί μια πολιτική ασφαλείας των αναγκών τους πριν από τη μεταφορά δεδομένων στο Cloud. Αυτή η διαδικασία μπορεί να αντιμετωπίσει ζητήματα ασφαλείας, κατά τα οποία οι χρήστες δεν έχουν κανέναν έλεγχο στη μετακίνηση δεδομένων, ούτε μπορούν να εφαρμόσουν κάποια πολιτική ασφαλείας της επιλογής τους, με αποτέλεσμα να μην έχουν ιδέα ποιος τους προστατεύει και με ποιόν τρόπο. Μέσω των Cloudlets, οι χρήστες μπορούν να αποτρέψουν την αποστολή ορισμένων τύπων δεδομένων. Για παράδειγμα, σημαντικά δεδομένα όπως προσωπικές πληροφορίες και κατεστραμμένα δεδομένα μπορούν να φιλτραριστούν και να υποβληθούν σε επεξεργασία, τοπικά μέσω των Cloudlets, τα οποία θα προωθήσουν μόνο τα απαραίτητα δεδομένα στο Cloud.

Εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους. Αφού λοιπόν τα δεδομένα που είναι για επεξεργασία, δε χρειάζεται να μεταφερθούν στο Cloud, δεν απαιτείται μεγάλο εύρος δικτύου, άρα και η κατανάλωση ενέργειας από τις ευφυείς συσκευές του δικτύου μειώνεται αισθητά. Ακόμα, το Edge

Computing λειτουργεί σε μικρή κλίμακα, τοπικά, και αποτελεί μια οικονομική λύση για επιχειρήσεις που σκέφτονται να επενδύσουν σε τοπικό εξοπλισμό. Ως εκ τούτου, εξετάζουμε επίσης τους μηχανισμούς βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης που υιοθετούνται από τα υπερ σύγχρονα υπολογιστικά συστήματα Edge. Πλέον, συχνά χρησιμοποιούνται εναλλακτικές πηγές ενέργειας για την υποστήριξη της λειτουργίας ενός συστήματος που βασίζεται σε υπολογιστές fog, όπου η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται ως η κύρια παροχή ενέργειας των κόμβων fog. Στις σύγχρονες μελέτες, παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο και αναλυτικό πλαίσιο για την ελαχιστοποίηση του μακροπρόθεσμου κόστους στην κατανάλωση ενέργειας. Εν τω μεταξύ, το πλαίσιο αυτό επιτρέπει έναν ενεργειακά αποδοτικό μηχανισμό εκφόρτωσης δεδομένων (από τους κόμβους fog στο Cloud) που βοηθά στην παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών.

Τελικά, το Edge Computing, μειώνει την ποσότητα δεδομένων που μεταφέρονται μέσω Διαδικτύου, εξοικονομεί κόστος από τα έξοδα μεταφοράς καθώς και ενέργεια λόγω μείωσης του εύρους δικτύου, μειώνει την κατανάλωση ενέργειας των τοπικών συσκευών και εξοπλισμού και βελτιώνει την υπολογιστική ακρίβεια αυτών.

4.4 Δομή και λειτουργία του Edge Computing

Στην εποχή του Διαδικτύου των πάντων και την ανάπτυξη του 5G, το Edge Computing θεωρείται μια από τις σημαντικότερες τεχνολογίες μαζί με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και την τεχνητή νοημοσύνη. Η δομή του Edge Computing απασχολεί ήδη πολλούς οργανισμούς.

Η αρχιτεκτονική του Edge Computing αποτελείται από μια δομή δικτύου, η οποία επεκτείνει τις υπηρεσίες του Cloud Computing, στην άκρη του δικτύου, όπου βρίσκεται ο χρήστης μέσω συσκευών edge. Η δομή στην οποία στηρίζεται η συνεργασία μεταξύ Cloud κι Edge, χωρίζεται σε τρία επίπεδα. Αυτά είναι το επίπεδο των τερματικών (Terminal Layer), το επίπεδο του Edge και το επίπεδο του Cloud.

Επίπεδο Τερματικού. Το τερματικό επίπεδο αποτελείται από όλων των ειδών τις συσκευές συνδεδεμένες στο δίκτυο edge, κινητές συσκευές και πολλές IoT συσκευές (αισθητήρες, έξυπνα κινητά, κάμερες). [23] Εδώ, η συσκευές δεν είναι μόνο καταναλωτές αλλά και συνεισφέρουν δεδομένα. Για να μειωθεί η καθυστέρηση της υπηρεσίας, λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα των τερματικών συσκευών κι όχι ολόκληρη η υπολογιστική δύναμη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χιλιάδες συσκευές να συλλέγουν όλων των ειδών τα δεδομένα και να τα ανεβάζουν για αποθήκευση ή μελλοντική επεξεργασία.

Edge στρώση. Αποτελεί τον πυρήνα της δομής αυτής. Τοποθετημένη στο άκρο (edge) του δικτύου, σχηματίζεται από κόμβους μεταξύ των τερματικών συσκευών και του Cloud [23]. Συχνά εμπεριέχει στη δομή του σημεία πρόσβασης, routers, διακόπτες, πύλες κ.α. . Ως μέλη του δικτύου αυτού, οι κόμβοι edge παρέχουν υπηρεσίες υπολογισμού, αποθήκευσης και δικτύωσης για τις τερματικές συσκευές και χρησιμεύουν ως εγγύηση για την ασφάλεια των δεδομένων και του απορρήτου. Το επίπεδο Edge αναλαμβάνει τη διασύνδεση με τους κόμβους που βρίσκονται στο επίπεδο της συσκευής, δηλαδή με το τερματικό επίπεδο, για την εφαρμογή του Edge Computing. Όντας συνδεδεμένο με το Cloud, αποστέλλει τα επεξεργασμένα δεδομένα στο Cloud. Εφόσον αυτή η στρώση είναι κοντά στο χρήστη, η μεταβίβαση δεδομένων είναι η πιο σωστή επιλογή για πραγματικού χρόνου ανάλυση δεδομένων και ευφυούς επεξεργασίας, κάτι που είναι πιο αποδοτικό κι ασφαλές από το Cloud Computing.

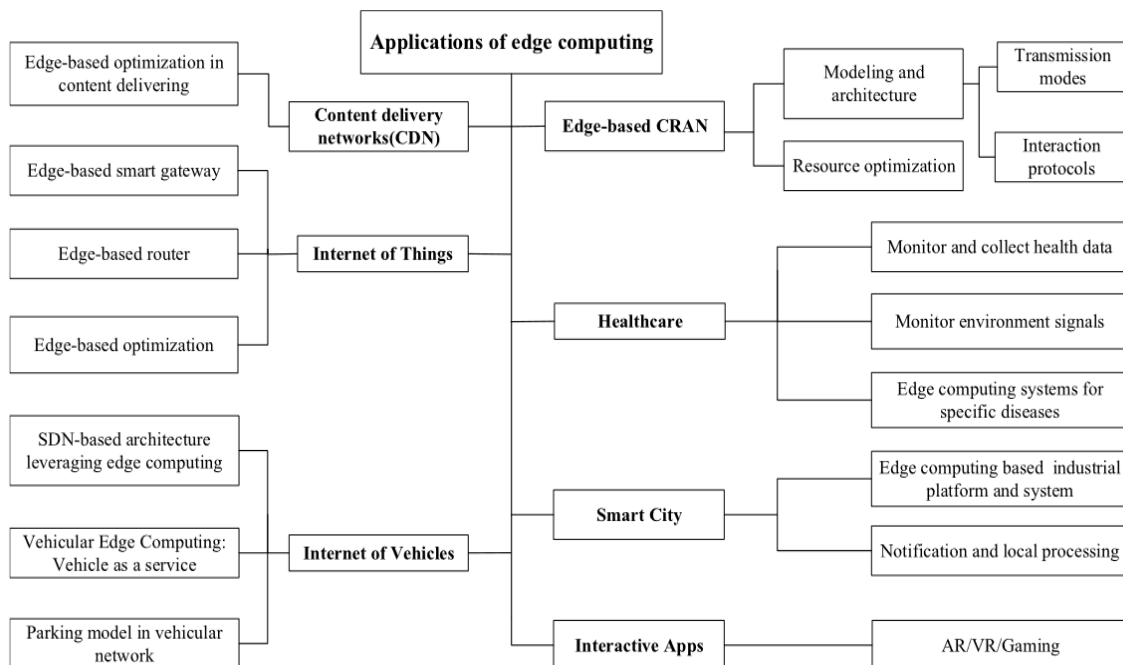
Cloud στρώση. Μεταξύ των συνδεδεμένων υπηρεσιών του Cloud – Edge Computing, το Cloud Computing παραμένει το πιο ισχυρό κέντρο επεξεργασίας δεδομένων [23]. Αυτή η στρώση

αποτελείται από υψηλής απόδοσης servers και συσκευές αποθήκευσης με εξαιρετική υπολογιστική δύναμη και δυνατότητες αποθήκευσης και μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο σε τομείς που απαιτούν μεγάλες ποσότητες ανάλυσης δεδομένων. Έχει τη δυνατότητα της μόνιμης αποθήκευσης δεδομένων του Edge Computing και της ανάλυσης εργασιών, τις οποίες το Edge Computing αδυνατεί.

4.5 Εφαρμογές του Edge Computing

Το Edge Computing μπορεί να ελαττώσει τους χρόνους καθυστέρησης κάθε υπηρεσίας και να ελαχιστοποιήσει το εύρος ζώνης, ακόμα και σε κεντρικά δίκτυα. Με αυτά τα πλεονεκτήματα, το Edge Computing μπορεί να εξυπηρετήσει πολλές εφαρμογές ευαίσθητες στις απαιτήσεις χρόνου και εύρους ζώνης, με παραδείγματα όπως το C-RAN [6], το CDN, IoT/IoV, ο τομέας της υγείας, οι έξυπνες πόλεις καθώς και οι διαδραστικές εφαρμογές.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στο Σχήμα 4.3, όπου παρουσιάζονται οι κατηγορίες εφαρμογών του Edge Computing και οι τελικές εφαρμογές αυτών.



Σχήμα 4.3 Το Edge Computing και οι εφαρμογές του

C - RAN. Το Cloud RAN ή C-RAN [6] σπρωτάθηκε από την κινεζική China Mobile το 2010 και από τότε συμμετέχει ενεργά στις κινητές 5G τηλεπικοινωνίες. Πρόκειται για μια κεντρική δομή βασισμένη στο Cloud Computing, η οποία υποστηρίζει 2G, 3G, 4G και 5G στάνταρ ασύρματων τηλεπικοινωνιών. Το C-RAN έχει κεντρική ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας, επιτρέπει δηλαδή σε πολλές RRH (remote radio head) ραδιοσυχνότητες να συνδεθούν σε μια κεντρική μονάδα BBU (baseband unit). Η μέγιστη απόσταση σε σύνδεση οπτικών ινών είναι τα 20 χιλιόμετρα για συστήματα 4G, κι ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις, 40 -80 χιλιόμετρα, για συστήματα 3G και 2G.

Το Cloud Ran προσφέρει τα πλεονεκτήματα της υψηλής φασματικής απόδοσης και της ενεργειακής απόδοσης, ενώ ταυτόχρονα μειώνει το κόστος ανάπτυξης και λειτουργίας του δικτύου [24]. Επίσης, έχει τη δυνατότητα εικονικοποίησης σε πραγματικό χρόνο. Διαφέρει αρκετά από τους παραδοσιακούς σταθμούς που είναι κατασκευασμένοι σε ιδιωτικό χώρο και όπου το λογισμικό και η συσκευή βρίσκονται σε κοντινή πηγή κι έχουν μεμονωμένους προμηθευτές. Αντίθετα, είναι δομημένη όπως και οι διακομιστές που βασίζονται σε μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας και σε κάρτες διασύνδεσης. Η εικονικοποίηση σε πραγματικό χρόνο προϋποθέτει ότι οι πόροι μπορούν να κατανεμηθούν δυναμικά, ανάλογα το φόρτο δικτύου. Ωστόσο, για την ικανοποίηση των αυστηρών απαιτήσεων χρονισμού, η απόδοση σε πραγματικό χρόνο πρέπει να είναι στο επίπεδο των 10 δευτερολέπτων του μικροδευτερολέπτων (10s of ms), η οποία βελτιώνει δύο τάξεις μεγέθους την ήδη υπάρχουσα απόδοση του Cloud Computing αυτή των μικροδευτερολέπτων (ms).

CDN Content Delivery Network. Είναι ένα δίκτυο παγκόσμιας κατανομής [20] που καλύπτει το ήδη υπάρχον δίκτυο, έχοντας πολλά κέντρα δεδομένων που παρέχουν στους χρήστες υψηλής ποιότητας υπηρεσίες. Μπορεί να εξυπηρετήσει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών που δημιουργούν περιεχόμενο, όπως είναι οι ζωντανές συνδέσεις και τα κοινωνικά δίκτυα.

IoT. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων ακολουθείται από ένα μεγάλο εύρος συσκευών στο edge δίκτυο, και οι περισσότερες συσκευές του είναι αισθητήρες που δεν απαιτούν περίπλοκες επεξεργασίες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι IoT συσκευές χρειάζεται να αποθηκεύσουν τα δεδομένα που έχουν συλλέξει [20]. Το Edge Computing χρησιμοποιείται ευρέως γι' αυτό το σκοπό, έχοντας ως βασική λειτουργία την αποθήκευση δεδομένων. Ακόμη, το Edge Computing μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση πυλών IoT και δρομολογητών άκρης. Γενικά μια πύλη IoT καταγράφει την κίνηση δεδομένων στις συσκευές και είναι δυνατό να κατασκευαστεί με Edge Computing μικροεπεξεργαστές, ώστε να γίνεται προεπεξεργασία και περικοπή των δεδομένων, πριν αποσταλούν στο Cloud. Μια ακόμη εφαρμογή του Edge Computing μπορεί να βοηθήσει το IoT, είναι στη δημιουργία δρομολογητή προσαρμοστικής αιχμής. Αυτός ο δρομολογητής, μπορεί να παρακολουθεί και να αντιδρά στις αλλαγές δικτύου και να βελτιστοποιεί την απόδοση του.

IoV. Το Internet of Vehicles είναι μια έννοια στενά συνδεδεμένη με αυτή του IoT, με τη διαφορά πως επικεντρώνεται στην κινητικότητα και στη μηδενική καθυστέρηση. Υπάρχουν επί του παρόντος δύο παράλληλες διαδρομές στην αυτοκινητοβιομηχανία που οι τεχνολογίες Edge θα επιδιώξουν να χαρτογραφήσουν στο μέλλον, τα συνδεδεμένα και τα αυτόνομα οχήματα. Τα συνδεδεμένα οχήματα επιτρέπουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών για ασφάλεια, αποτελεσματικότητα κυκλοφορίας και ψυχαγωγία, και στο μέλλον θα διευκολύνουν τα αυτόνομα οχήματα. Η επικοινωνία Vehicle-to-everything (V2X) είναι ο βασικός παράγοντας που δίνει στα συνδεδεμένα οχήματα τη δυνατότητα πρόληψης θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων, επιτρέποντας στα οχήματα να «ακούσουν» τα μεταδιδόμενα από το περιβάλλον μηνύματα. Υπάρχουν κυρίως τέσσερις τρόποι λειτουργίας της επικοινωνίας του οχήματος με το περιβάλλον που αναπτύσσονται αυτήν τη στιγμή. Πρόκειται για επικοινωνία όχημα-προς-όχημα (V2V), όχημα-προς-υποδομή (V2I), όχημα-προς-πεζό (V2P) και όχημα-προς-δίκτυο (V2N).

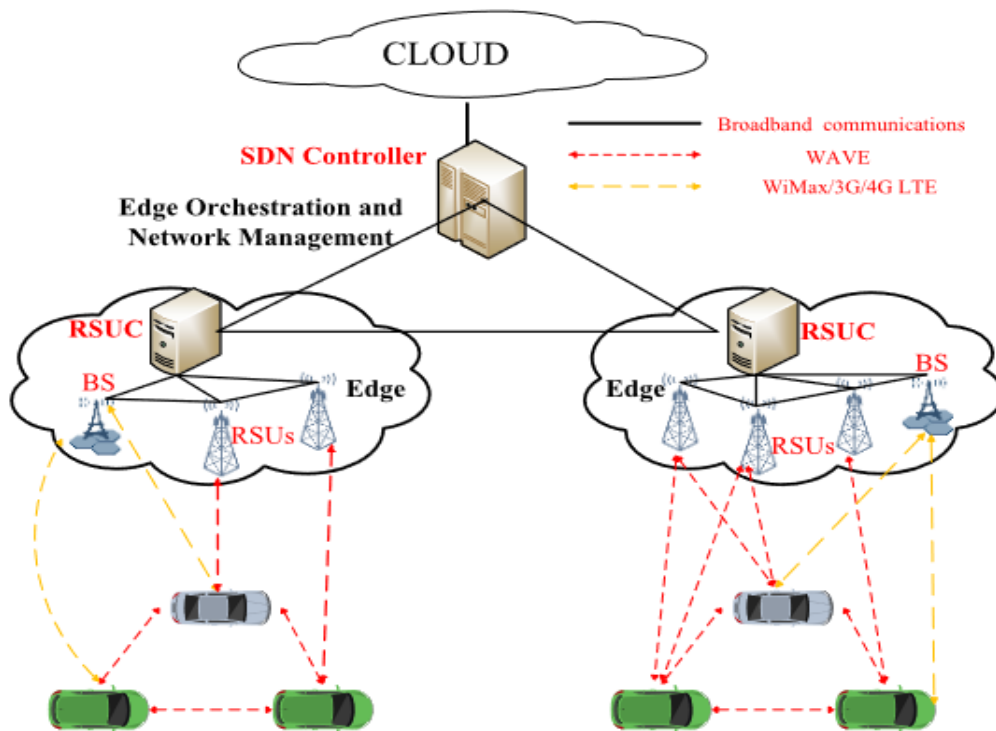
- Το V2V επιτρέπει στα οχήματα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση να σχηματίσουν δίκτυο πλέγματος και να ανταλλάξουν δεδομένα, κάτι που βοηθά στη λήψη καλύτερων αποφάσεων μέσω ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των υπαρχόντων κόμβων.
- Το V2I μπορεί να μας παρέχει πληροφορίες, όπως διαθέσιμο χώρο στάθμευσης, κυκλοφοριακή συμφόρηση, οδική κατάσταση κ.λπ.
- Η μετάδοση V2P πραγματοποιείται μεταξύ οχήματος και ευάλωτων χρηστών του δρόμου (VRUs) όπως πεζών, ποδηλατών κ.λπ. Τα οχήματα μπορούν να επικοινωνούν με VRU

ακόμη και όταν βρίσκονται σε γραμμή χωρίς οπτική επαφή (NLOS) και σε περιπτώσεις χαμηλής ορατότητας, όπως σκοτεινή νύχτα, έντονη βροχή, ομίχλωσης καιρός κ.λπ.

- Η μετάδοση V2N πραγματοποιείται μεταξύ οχήματος και διακομιστή εφαρμογών V2X. Μια συσκευή που υποστηρίζει εφαρμογές V2N μπορεί να επικοινωνήσει με το διακομιστή εφαρμογών που υποστηρίζει εφαρμογές V2N, ενώ τα μέρη επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το Evolved Packet Switching (EPS).

Από αρχιτεκτονικής άποψης, υπάρχει μια δομή για το IoV που ονομάζεται Vehicular Adhoc Networks (VANETs) [20] και είναι δομημένη με τη βοήθεια του Edge Computing.

Παρακάτω στο Σχήμα 4.4, γίνεται αναφορά στην δομή της εφαρμογής IoV. Αυτή η δομή αποτελείται από δύο κομμάτια. i) μια βάση ελέγχου που παρέχει ευελιξία και προγραμματιστική ισχύ ii) οδικές μονάδες που λειτουργούν προβλέποντας την κίνηση στους δρόμους.



Σχήμα 4.4 Αρχιτεκτονική δομή VANET με τη χρήση του Edge Computing

Ακόμη, το Edge Computing παρέχει υπηρεσίες στο IoV, που απαιτούν άμεση απόκριση και την ακριβή τοποθεσία του χρήστη. Για παράδειγμα, η εύρεση θέσης στάθμευσης είναι εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή, όταν υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση. Σε αυτή την περίπτωση, το Edge Computing χρησιμοποιεί τη θεωρία της αντιστοίχισης, μέσα σε ένα κοινό μοντέλο στάθμευσης, διευκολύνοντας το χρήστη.

Υγεία. Έχοντας ως πλεονέκτημα την υπερβολικά χαμηλή καθυστέρηση απόκρισης, το Edge Computing μπορεί να εφαρμόζεται στον τομέα της υγείας, υποστηρίζοντας εγχειρίσεις και επεμβάσεις σε πραγματικό χρόνο. Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν αρκετές εφαρμογές Edge Computing στον τομέα της υγείας που έχουν σχεδιαστεί για την παρακολούθηση ασθενών. Και αυτό γιατί το Edge Computing μπορεί να αυξήσει σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων. Επιπλέον, το Edge Computing παρέχει ενσωματωμένη εξόρυξη δεδομένων, καταναμημένη

αποθήκευση και υπηρεσία ειδοποιήσεων. Παραδείγματος χάρη, μια διεπαφή υπολογιστή εγκεφάλου, που βασίζεται στο Edge Computing αναφέρθηκε πως ήταν ικανή να ανιχνεύσει τις καταστάσεις του εγκεφάλου του χρήστη μέσω ασύρματων ακουστικών και έξυπνων κινητών τηλεφώνων [20].

Έξυπνες πόλεις. Σύμφωνα με έκθεση των Ηνωμένων Εθνών, σχεδόν το 70% του πληθυσμού της Γης θα κατοικεί σε πόλεις μέχρι το 2050 [40]. Το Edge Computing καθιστά δυνατή την εκτέλεση των υπολογισμών και την ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, αλλά και κοντά στους χρήστες, κάτι που είναι απαραίτητο σε μια έξυπνη πόλη. Για παράδειγμα η έγκαιρη ειδοποίηση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε κάποια επείγουσα ανάγκη. Για να δημιουργηθεί ένα κανάλι άμεσων ειδοποιήσεων που θα ενημερώνει το εκάστοτε τμήμα ενός οργανισμού, μια υπηρεσία είναι δομημένη σε μια έξυπνη συσκευή βασισμένη στο Edge Computing. Σε αυτή την περίπτωση, οι βάσεις δεδομένων του Edge εντοπίζουν την τοποθεσία του συμβάντος και αυτόματα επικοινωνούν με το πλησιέστερο τμήμα. Αντίστοιχα, το Edge Computing χρησιμοποιείται για να ενημερώσει τους χρήστες που βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις από το συμβάν.

Διαδραστικές εφαρμογές. Μέχρι στιγμής υπάρχουν τρία δημοφιλή είδη τέτοιων εφαρμογών i) επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality) ii) εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality) iii) online gaming. Σε σχέση με τις απλές, οι διαδραστικές εφαρμογές τυπικά έχουν πιο αυστηρούς περιορισμούς σχετικά με τις καθυστερήσεις [20]. Στα AR, οι βάσεις δεδομένων του Edge Computing λαμβάνουν την υπολογιστική κίνηση των χρηστών, για να επιταχύνουν τις οπτικές εργασίες και να παρέχουν την επιθυμητή καθυστέρηση. Στο VR-based gaming, οι χρήστες συνδέονται σε πολλούς Edge servers μέσα στο Edge δίκτυο. Βάση των κινήσεων και δράσεων των παικτών, δημιουργούνται εναλλαγές εικόνων στο Edge server οι οποίες εμφανίζονται με μηδενική καθυστέρηση.

4.6 Προκλήσεις του Edge Computing

Μέσα από έρευνα αρκετών σχετικών εργασιών, συμπεραίνεται ότι δημιουργούνται βασικά ζητήματα που αξίζουν περαιτέρω ανάλυση. Το Edge Computing προσφέρει σαφώς πολλά οφέλη. Ταυτόχρονα όμως, αντιμετωπίζει και πολλές τεχνικές και μη, προκλήσεις.

Δικτύωση. Το Edge Cloud θεωρείται η αρχιτεκτονική που μεταφέρει την υπολογιστική ισχύ στα άκρα του δικτύου. Η σύμπραξη τεχνολογιών όπως το NFV και SDN για εφαρμογές στο πλαίσιο του Edge Cloud ενέχει τεράστιες δυνατότητες. Δεδομένου ότι οι τεχνολογίες NFV και SDN μεμονωμένα δεν είναι ακόμη αρκετά θεμελιωμένες και η έρευνα για την αποτελεσματική συνέργεια μεταξύ τους βρίσκεται σε πολύ αρχικό στάδιο, μερικά από τα ερευνητικά ερωτήματα, που πρέπει να απαντηθούν, περιλαμβάνουν την αναγνώριση των απαραίτητων λειτουργικών διεπαφών που θα πρέπει να αναπτυχθούν για μια συνεκτική αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο τεχνολογιών, την επίτευξη αποτελεσματικού συντονισμού μεταξύ των διαφόρων λειτουργιών των εικονικών δικτύων και μεταξύ κινητών συσκευών IoT και των Edge Clouds, καθώς και την αλληλεπίδραση των Edge Clouds με μονάδες NFV και SDN για τη δημιουργία πολλαπλών εφαρμογών μέσω και των διεπαφών και μηχανισμών που επιτρέπουν την επικοινωνία τόσο με τα ανώτερα, όσο και με τα κατώτερα στρώματα συσκευών.

Ασφάλεια. Η ασφάλεια παραμένει μια από τις πιο σημαντικές προκλήσεις για τη μελλοντική υποδομή και τις εφαρμογές του Edge Cloud. Λόγω του γεγονότος ότι το μελλοντικό Edge Cloud θα μπορούσε να περιλαμβάνει πολλές τεχνολογίες, όπως το NFV, το SDN και IoT, οι ανησυχίες

για την ασφάλεια θα είναι πολλαπλές. Εφόσον θα γίνει υιοθέτηση των ήδη υπαρχόντων τεχνολογιών, όπως είναι οι εικονικές μηχανές (VMs), θα υπάρχουν ανησυχίες όσον αφορά την ασφάλεια τους. Μια πρόκληση ακόμα έγκειται στο ότι, επειδή οι Edge Cloud servers βρίσκονται κοντά στις εγκαταστάσεις των χρηστών, μπορεί να είναι πιο ευαίσθητοι σε φυσικές επιθέσεις. Έπειτα, δεδομένου ότι τα μελλοντικά Edge Clouds θα επιτρέψουν μεγαλύτερη δυνατότητα προγραμματισμού και η ανοιχτή πλατφόρμα θα επιτρέψει σε περισσότερους τρίτους προμηθευτές λογισμικού και hardware να συνεισφέρουν, είναι σημαντικό να ελέγχονται και να διαχειρίζονται κατάλληλα οι πιθανοί κίνδυνοι μεταξύ των διαφορετικών ενδιαφερομένων. Επίσης, ενδέχεται να απαιτούνται κατάλληλοι μηχανισμοί ελέγχου ταυτότητας, εξουσιοδότησης και εντοπισμού των αξιόπιστων χρηστών για προστασία και άμυνα από πιθανές κακόβουλες επιθέσεις και καταχρήσεις.

Κατανάλωση ενέργειας. Η κατανάλωση ενέργειας στο cloudlet έχει αξιολογηθεί κάτω από διαφορετικούς μηχανισμούς παροχής, κυρίως όσον αφορά τη σύνθεση νέων εικονικών μηχανών. Τα αποτελέσματα [37] δείχνουν ότι η μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας καταναλώνεται κατά τη σύνθεση VM, λόγω του μεγάλου φόρτου εργασίας, και κατά την παροχή VM κατ' απαίτηση, λόγω του μεγάλου χρόνου παραμονής σε κατάσταση ετοιμότητας κάθε εφαρμογής. Τέτοια αποτελέσματα οδηγούν σε υψηλή ενεργειακή κατανάλωση: συνδυασμός προσωρινά αποθηκευμένων VM με τακτικές πρόβλεψης και παροχής προ-προγραμματισμένων VMs που προβλέπονται μόνο για συγκεκριμένες εργασίες. Καταστάσεις, κατά τις οποίες καταναλώνεται παραπάνω από την απαιτούμενη ενέργεια, αποτελούν σημαντικές προκλήσεις και χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης, καθώς το πρόβλημα της ενεργειακής κρίσης διογκώνεται μέρα με τη μέρα.

4.7 Επίλογος

Έγινε αναφορά στη συσχέτιση του Edge Computing με το IoT και το Cloud Computing. Αναφέρθηκε η δομή του Edge Computing, αρκετές εφαρμογές του, αλλά και οι προκλήσεις που δημιουργούνται από αυτή την τεχνολογία.

Κεφάλαιο 5ο: Βαθιά Μάθηση - Deep Learning

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται η έννοια της Βαθιάς Μάθησης και μερικές μέθοδοι, οι οποίες συμβάλουν στη βελτίωση λειτουργίας του Edge Computing. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το Scheduling, εισάγοντας και αξιολογώντας έναν αλγόριθμο DSRS. Το κεφάλαιο κλείνει με την έκθεση εφαρμογών Edge Computing, στις οποίες μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία η Βαθιά Μάθηση.

5.2 Η έννοια και η δομή της Βαθιάς Μάθησης

Σήμερα, τα ευφυή συστήματα που προσφέρουν υπηρεσίες Τεχνητής Νοημοσύνης, συχνά βασίζονται στη Μηχανική Μάθηση (Machine Learning). Η Μηχανική Μάθηση περιγράφει την ικανότητα των συστημάτων να μαθαίνουν, αφού εκπαιδευτούν μέσα από συγκεκριμένες επανλήψεις δεδομένων, με σκοπό την αυτοματοποίηση των εργασιών. Ακόμη, περιγράφει την κατάσταση όπου οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται, λειτουργούν αναγνωρίζοντας ένα πρότυπο επανάληψης στα δεδομένα και κάνει προβλέψεις στα εισερχόμενα δεδομένα. Η Βαθιά Μάθηση είναι ένα κομμάτι της Μηχανικής Μάθησης. [8] Χρησιμοποιεί αλγόριθμους που είναι δομημένοι, βάση της ανθρώπινης λογικής και ονομάζονται τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.

Ο σχεδιασμός αυτών, οδηγεί σε μια μορφή εκμάθησης που είναι πολύ πιο ικανή από τα βασικά μοντέλα της Μηχανικής Μάθησης. Ένα νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από συνδεδεμένες μονάδες που ονομάζονται τεχνητοί νευρώνες. Κάθε σύνδεση μεταξύ των νευρώνων μεταφέρει ένα σήμα σε έναν άλλο νευρώνα. Αυτός ο νευρώνας επεξεργάζεται το σήμα και το στέλνει σε επόμενο. Οι νευρώνες μπορούν να έχουν κατάσταση (0 ή 1) και βαρύτητα η οποία μεταβάλλεται όσο διαρκεί η διαδικασία εκμάθησης. Είναι οργανωμένοι σε επίπεδα ή στρώσεις. Αυτές οι στρώσεις προκαλούν διαφορετικά είδη επεξεργασίας στο εισαγόμενο σήμα, το οποίο ταξιδεύει από την πρώτη στρώση, την εισαγωγή (input) μέχρι την τελευταία, την εξαγωγή (output), αφού περάσει όσες φορές χρειάζεται από πολλές άλλες στρώσεις. Εκεί αναφέρεται και η λέξη ‘βαθιά’ στη φράση Βαθιά Μάθηση, στον αριθμό στρώσεων μέσω των οποίων ένα δεδομένο μετασχηματίζεται [7].

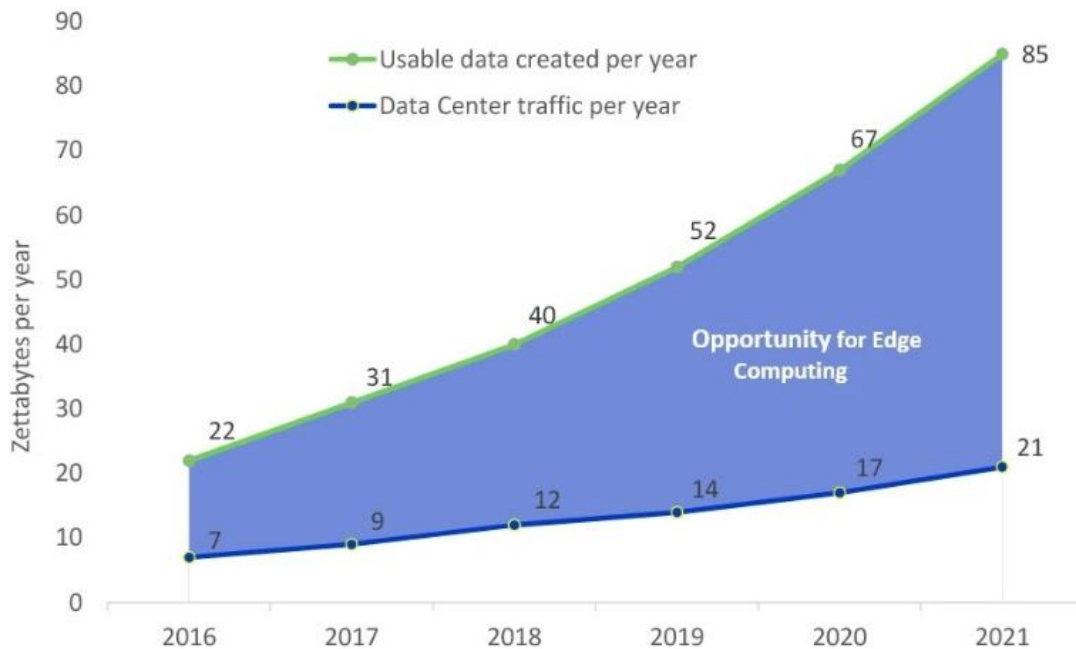
5.3 Συσχέτιση του Deep Learning με το Edge Computing

Οι ταχύτατα αυξανόμενοι αριθμοί κινητών και IoT συσκευών, οδηγούν στη δημιουργία τεράστιων ποσών από δεδομένα (εικόνες, βίντεο) που συλλέγουν οι συσκευές από το περιβάλλον τους.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη είναι λειτουργικά απαραίτητη, λόγω της ικανότητας της να αναλύει τεράστια ποσά δεδομένων, βγάζοντας συμπεράσματα για πολύ σημαντικές αποφάσεις. Η Gartner, μια αμερικανική εταιρεία που ασχολείται με την τεχνολογική έρευνα και τη συμβουλευτική, προβλέπει πως το 2022 περισσότερο από το 80% των επιχειρηματικών προγραμμάτων που αφορούν το IoT θα εμπεριέχουν στοιχεία Τεχνητής Νοημοσύνης. Μια από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές της Τεχνητής Νοημοσύνης, η Βαθιά Μάθηση έχει το πλεονέκτημα του να αναγνωρίζει

πιθανές ανωμαλίες στους αισθητήρες των edge συσκευών, όπως για παράδειγμα την κίνηση στους δρόμους, την υγρασία, τη θερμοκρασία και την ποιότητα αέρα.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στο Σχήμα 5.1, όπου γίνεται κατανοητό το κενό που δημιουργείται μεταξύ των δεδομένων που παράγονται στις συσκευές edge και των δεδομένων που έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται το Cloud, κάθε χρόνο. Η Βαθιά Μάθηση χρίζεται απαραίτητη, λόγω της ικανότητάς της να αναλύει πολύ γρήγορα αυτές τις τεράστιες ποσότητες δεδομένων και να βγάλει ακριβή συμπεράσματα μέσω αυτών [9].



Σχήμα 5.1 Το κενό μεταξύ δεδομένων που δημιουργούνται στις edge συσκευές και των δεδομένων που επεξεργάζεται το Cloud.

Εφόσον το Edge Computing βρίσκεται πιο κοντά στους χρήστες από ότι το Cloud, αναμένεται να επιλύσει πολλά προβλήματα. Αυτός ο συνδυασμός του Edge Computing με την Τεχνητή Νοημοσύνη ωφελούν το ένα το άλλο, γεννώντας δύο νέους τομείς έρευνας που ονομάζονται Edge Intelligence και Intelligent Edge [29][38]. Οι παραπάνω έννοιες δεν είναι ανεξάρτητες η μια της άλλης. Το Intelligent Edge είναι μια διαδικασία, κατά την οποία αναλύονται δεδομένα κοντά στο σημείο καταγραφής τους. Στόχος του είναι να ενσωματώσει τη Βαθιά Μάθηση στο Edge Computing για καλύτερη συντήρηση και διαχείριση των δεδομένων. Ουσιαστικά, το Intelligent Edge αποτελεί κομμάτι του Edge Intelligence, προσφέροντας υψηλής ποιότητας υπηρεσίες. Από την άλλη, το Edge Intelligence προωθεί τη μεταφορά των υπολογισμών Βαθιάς Μάθησης από το Cloud στο Edge, επιτρέποντας την πραγματοποίηση έμπιστων και γρήγορων υπηρεσιών.

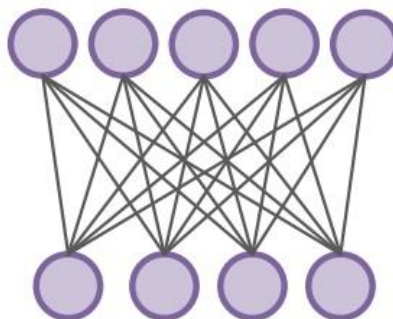
Όπως είναι λογικό λοιπόν, δημιουργούνται ορισμένα πλεονεκτήματα στο Edge Computing από τη χρήση της Βαθιάς Μάθησης. Αυτά είναι αρχικά η ελάχιστη καθυστέρηση. Οι υπηρεσίες που βασίζονται στη Βαθιά Μάθηση λαμβάνουν χώρα κοντά στους τελικούς χρήστες και αυτό μειώνει αισθητά την καθυστέρηση και το κόστος αποστολής δεδομένων στο Cloud για επεξεργασία. Στη συνέχεια είναι η διαφύλαξη της ιδιωτικότητας, αφού τα ακατέργαστα δεδομένα που απαιτούνται από τις υπηρεσίες σχετικές με τη Βαθιά Μάθηση, είναι αποθηκευμένα τοπικά, στις edge συσκευές

ή στις συσκευές των χρηστών και δε χρειάζεται η αποστολή αυτών μέσω του Διαδικτύου. Για τον ίδιο λόγο, αυξάνεται η εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα. Η αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική υπολογιστικών συστημάτων παρέχει πιο αξιόπιστους υπολογισμούς Βαθιάς Μάθησης. Με ευρεία εφαρμογή σε όλους τους κλάδους του Edge Computing, η Βαθιά Μάθηση δημιουργεί βαθμωτά σενάρια στα οποία μπορεί να εφαρμοστεί, ανάλογα τη ζήτηση των χρηστών. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της Βαθιάς Μάθησης στο Edge Computing είναι η εμπορευματοποίησή του. Όλη η ποικιλία από διαφορετικές και πολύτιμες υπηρεσίες Βαθιάς Μάθησης διευρύνουν την εμπορική αξία του Edge Computing και ταυτόχρονα επιταχύνουν την ανάπτυξή του.

5.4 Μέθοδοι Βαθιάς Μάθησης

Η Βαθιά Μάθηση έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά σε πολλούς τομείς με μεγάλη επιτυχία. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τακτικές της Μηχανικής Μάθησης, η Βαθιά Μάθηση έχει επιδείξει πολλές δυνατότητες στην επεξεργασία πληροφοριών, αλλά έχει και την ανάγκη τεράστιων ποσοτήτων από υπολογιστικούς πόρους για την πραγματοποίηση αυτών. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σημαντικότερες μέθοδοι Βαθιάς Μάθησης, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως στις Edge Computing εφαρμογές.

Restricted Boltzmann Machine (RBM). Είναι ένα γραφικό πιθανολογικό μοντέλο που μπορεί να ερμηνευτεί ως ένα στοχαστικό νευρωνικό δίκτυο. Μια τυπική RBM αποτελείται από δύο στρώσεις, την εμφανή στρώση που περιέχει τα δεδομένα που δίνονται ως είσοδος και την κρυφή στρώση, που έχει τις κρυφές μεταβλητές [26], όπως είναι εμφανές και από το Σχήμα 5.2. Είναι οργανωμένη ως διμερές γράφημα, όπου κάθε εμφανής νευρώνας συνδέεται με όλους τους κρυφούς και το ανάποδο. Δύο νευρώνες την ίδια στρώσης δε συνδέονται ποτέ. Πολλές RBM στρώσεις συνθέτουν ένα Deep Belief Network (DBN) ή ένα δίκτυο βαθιάς αξιοπιστίας. Η εκπαίδευση ενός DBN αποτελεί μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία μιας RBM στρώσης η οποία εκπαιδεύεται πάνω από την τελευταία εκπαιδευμένη RBM στρώση. Πολλές εφαρμογές μπορούν να επωφεληθούν από ένα DBN, όπως η αναγνώριση απειλών από συστήματα ασφάλειας και η εξαγωγή συναισθημάτων από εικόνες.

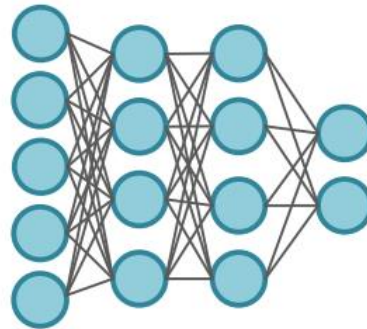


Σχήμα 5.2 Restricted Boltzmann Machine

Autoencoder. [26] Περιλαμβάνει μια στρώση σαν είσοδο και μια στρώση σαν έξοδο, οι οποίες συνδέονται από πολλές κρυφές ενδιάμεσες στρώσεις. Χωρίζεται σε δύο κομμάτια τον κωδικοποιητή και τον αποκωδικοποιητή. Ο κωδικοποιητής συλλέγει τα βασικά χαρακτηριστικά της

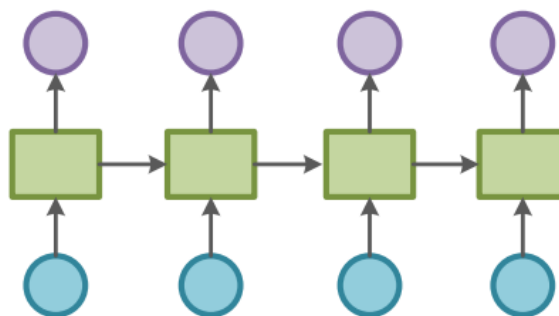
εισόδου και τα μετατρέπει σε λανθάνοντα χαρακτηριστικά, συνήθως με τρόπο συμπίεσης. Ο αποκωδικοποιητής λαμβάνει αυτά τα χαρακτηριστικά του κωδικοποιητή, και στοχεύει στην ανακατασκευή της αρχικής μορφής των δεδομένων, μειώνοντας στο ελάχιστο το ποσοστό σφάλματος.

Deep Neural Networks (DNN). Η δομή των DNNs αποτελείται από περισσότερες στρώσεις για πιο περίπλοκες εργασίες εκμάθησης. Αυτές είναι η στρώση εισόδου, οι ενδιάμεσες κρυφές στρώσεις και η στρώση εξόδου, η οποία θέτει σε λειτουργία ενεργοποίησης τις επόμενες στρώσεις [26]. Στην τελευταία στρώση γίνεται η παραγωγή του τελικού μοντέλου πρόβλεψης. Τα DNNs χρησιμοποιούνται κυρίως για κατηγοριοποίηση χαρακτηριστικών. Παρακάτω γίνεται αναφορά στο Σχήμα 5.3, όπου εμφανίζονται σχηματικά οι πολλαπλές στρώσεις εκμάθησης ενός DNN.



Σχήμα 5.3 Deep Neural Network

Recurrent Neural Network (RNN). Είναι σχεδιασμένο να επεξεργάζεται χρονικές σειρές. Η είσοδος ενός RNN περιέχει το παρόν δείγμα και τα πιο πρόσφατα προηγούμενα δείγματα. Πιο συγκεκριμένα, κάθε νευρώνας μιας RNN στρώσης λαμβάνει όχι μόνο την προηγούμενη έξοδο αλλά και τις αποθηκευμένες καταστάσεις από τα προηγούμενα βήματα. Με αυτή την ειδική αρχιτεκτονική, ένα RNN είναι ικανό να θυμάται προηγούμενες πληροφορίες, στοχεύοντας στην ολοκληρωμένη επεξεργασία μεταξύ αυτών και των επί του παρόντος πληροφοριών [26]. Παρ' όλα αυτά, τα RNNs μπορούν να κρατήσουν στη μνήμη μόνο λίγα από τα τελευταία βήματα. Η Long Short-Term Memory (LSTM) επιλύει αυτό το πρόβλημα, ελέγχοντας τη ροή πληροφοριών και ποιες είναι χρήσιμες για αποθήκευση. Οι αποθηκευμένες πληροφορίες δεν παραμορφώνονται με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση σε δεδομένα μεγάλης εξάρτησης. Παρακάτω, στο Σχήμα 5.4, παρουσιάζεται σχηματικά ένα τέτοιο δίκτυο.

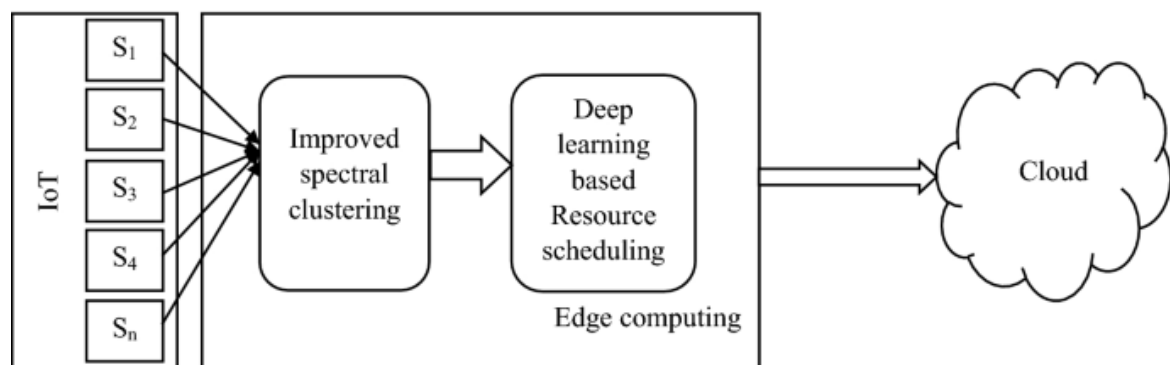


Σχήμα 5.4 Recurrent Neural Network

Deep Reinforcement Learning (DRL). Είναι ο συνδυασμός της Βαθιάς Μάθησης (Deep Learning) και της Ενισχυμένης Μάθησης (Reinforcement Learning) [26]. Στόχος του είναι η δημιουργία ενός μοντέλου, που είναι σε θέση να μελετήσει όλες τις πιθανές επιλογές δράσης μέσω αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον, επιλέγοντας την ιδανικότερη. Αυτό το είδος μεθόδου, έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορους τομείς όπως τα παιχνίδια σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και το σκάκι.

5.5 Scheduling [33][34][35]

Παρακάτω γίνεται αναφορά στο Σχήμα 5.5, όπου παρουσιάζεται ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας του Scheduling σε ένα τυπικό παράδειγμα δικτύου που αποτελείται από συσκευές IoT, Edge και Cloud



Σχήμα 5.5 Τυπικό δίκτυο λειτουργίας Scheduling

5.5.1 Εισαγωγή στο Scheduling

Σήμερα, οι εφαρμογές κινητών συσκευών γίνονται όλο και πιο απαιτητικές όσον αφορά τον αριθμό των υπολογιστικών πράξεων. Η μεταφόρτωση των αιτημάτων των υπηρεσιών, από τις τερματικές συσκευές στο Cloud Computing, είναι μια καλή λύση αλλά επιβαρύνει το δίκτυο. Το Edge Computing δίνει λύση σε αυτό το πρόβλημα, τοποθετώντας servers στην άκρη του δικτύου.

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα σχετικά με το Edge Computing είναι ο προγραμματισμός των αιτημάτων διαφόρων υπηρεσιών. Πώς, δηλαδή, να προγραμματιστούν τα αιτήματα υπηρεσιών μεταξύ πολλαπλών συστημάτων Edge Computing, προκειμένου να μειωθεί το κόστος προγραμματισμού και να δοθεί εγγύηση εκτέλεσης τους, όταν εκφορτώνεται μεγάλος αριθμός αιτημάτων. Σε αυτό το πρόβλημα έρχονται να προστεθούν προκλήσεις, όπως το γεγονός ότι οι τερματικές συσκευές κινούνται στην πραγματικότητα, κι έτσι μεταβάλλεται ο χώρος εξυπηρέτησής τους, και δεύτερον, με την αυξανόμενη προώθηση τεχνολογιών σαν το Edge Computing, αυξάνεται ο αριθμός τόσο των συσκευών όσο και των υπηρεσιών δραματικά, περιπλέκοντας παραπάνω το πρόβλημα του προγραμματισμού. Ακόμη, μια έρευνα του Chaffey College έδειξε ότι οι χρήστες ξοδεύουν 15% του χρόνου τους καθημερινά στο να παίξουν ηλεκτρονικά παιχνίδια, [30] σε κινητές συσκευές, κάτι που απαιτεί τρομερή υπολογιστική ισχύ και ταχύτητα ανάλυσης δεδομένων και προγραμματισμού εργασιών.

5.5.2 Μοντέλο συστήματος Scheduling

Έστω n συστήματα Edge Computing. Κάθε ένα από αυτά, έχει ένα διακομιστή αιχμής (edge server) που χρησιμοποιείται για να επεξεργάζεται αιτήματα εκφόρτωσης m τύπων υπηρεσιών από τις τερματικές συσκευές, μέσω m εικονικών μηχανών. Πιο συγκεκριμένα η i -στή εικονική μηχανή κάθε διακομιστή (server), εξυπηρετεί τα αιτήματα του i -στού τύπου υπηρεσίας. Έστω I το σύνολο των εφαρμογών και J το σύνολο των διακομιστών αιχμής (edge servers).

Σε κάθε χρονική στιγμή $t \in \{0, 1, \dots, T - 1\}$, ο αριθμός αιτημάτων υπηρεσίας για τους m τύπους υπηρεσιών που προσφέρεται. Έστω $A_i(t)$ ο αριθμός των αιτημάτων που προστέθηκαν στα Edge Computing συστήματα τη χρονική στιγμή t . Το $a_{ij}(t)$ αντιπροσωπεύει τον αριθμό των αιτημάτων για μια υπηρεσία i που έχει προγραμματιστεί στο διακομιστή αιχμής (edge server), του j -στού συστήματος τη χρονική στιγμή t . Το $a_{ij}(t)$ είναι η μεταβλητή ελέγχου προγραμματισμού αιτημάτων εξυπηρέτησης. Πρέπει να ικανοποιείται η παρακάτω συνθήκη:

$$\sum_{j \in J} a_{ij}(t) = A_i(t) \quad , \quad \forall i \in I. \quad (5.1)$$

Η εξής μέθοδος προγραμματισμού αιτημάτων χρησιμοποιεί μια ποικιλία συστημάτων Edge Computing για παροχή υπηρεσιών, για μείωση του κόστους προγραμματισμού. Έστω $\gamma_{ij}(t)$ το κόστος προγραμματισμού των αιτημάτων για i υπηρεσίες του j -στού συστήματος. Το $\gamma_{ij}(t)$ μπορεί να ποικίλει για διαφορετικές υπηρεσίες i και διαφορετικά συστήματα j . Ακόμα μπορεί να ποικίλει ανάλογα τη χρονική στιγμή, λόγω έλλειψης διαθέσιμων πόρων και κυκλοφοριακής συμφόρησης. Το κόστος προγραμματισμού αιτημάτων υπηρεσιών i σε χρόνο t μπορεί να υπολογιστεί ως εξής

$$\sum_{j \in J} \gamma_{ij}(t) * a_{ij}(t). \quad (5.2)$$

Το συνολικό κόστος προγραμματισμού αιτημάτων εκφράζεται ως

$$g(t) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \gamma_{ij}(t) * a_{ij}(t). \quad (5.3)$$

Αντί να μελετηθεί το άμεσο κόστος προγραμματισμού, η μελέτη της παρούσας εργασίας επικεντρώνεται στο μέσο όρο του μακροπρόθεσμου κόστους. Ο μέσος χρόνος προγραμματισμού για $t \in \{0, 1, \dots, T - 1\}$ είναι

$$g = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} E\{g(t)\} \quad (5.4)$$

, όπου g είναι το στοιχείο που ελαχιστοποιεί το πρόβλημα του προγραμματισμού.

Η καθυστέρηση ουράς είναι μια από τις σημαντικότερες μετρήσεις απόδοσης. Σύμφωνα με το Little's Law, ένα θεώρημα του John Little, η καθυστέρηση στην ουρά είναι ανάλογη του αριθμού αιτημάτων που περιμένουν στην ουρά. Έτσι επιδιώκεται μείωση του μήκους της ουράς. Έστω $Q_{ij}(t)$ το μήκος της ουράς αιτημάτων i υπηρεσιών του j -στού συστήματος σε χρόνο t . $b_{ij}(t)$ δηλώνει τον αριθμό των αιτημάτων i υπηρεσιών που μπορεί να εξυπηρετήσει το j σύστημα. Το μήκος της ουράς είναι

$$Q_{ij}(t+1) = [Q_{ij}(t) - b_{ij}(t), 0] + a_{ij}(t) \quad (5.5)$$

Για να μειωθεί η καθυστέρηση στην ουρά και να διατηρηθεί η σταθερότητα του συστήματος, επιδιώκεται η δέσμευση του μέσου μήκους ουράς. q_{ij} είναι το μέσο μήκος ουράς για χρόνο $t \in \{0, 1, \dots, T-1\}$. Το μέσο μήκος ουράς ορίζεται ως

$$q_{ij} = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} E\{Q_{ij}(t)\} < \zeta, \quad \exists \zeta \in R \quad (5.6)$$

5.5.3 Σχεδιασμός αλγορίθμου DSRS (Dynamic Service Request Scheduling)

Η επίλυση των παραπάνω εξισώσεων εκτός δικτύου, προϋποθέτει την εκ των προτέρων γνώση των μελλοντικών αιτημάτων, κάτι το οποίο είναι αρκετά δύσκολο να προβλεφθεί. Για το λόγο αυτό προτείνεται ένας αλγόριθμος DSRS.

Ακολουθώντας τα σχεδιαστικά πρότυπα τεχνικών βελτιστοποίησης Lyapunov, σχεδιάζεται ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος δυναμικού προγραμματισμού αιτημάτων (DSRS), για να ελαχιστοποιηθεί το ανώτερο όριο κόστους για κάθε χρονική στιγμή. Αποσυνθέτοντας το πρόβλημα σε μια σειρά ανεξάρτητων υποπροβλημάτων, ο αλγόριθμος DSRS βελτιστοποιεί το μέσο κόστος προγραμματισμού. Για κάθε χρονική στιγμή t , βάση του μήκους $Q_{ij}(t)$ του συστήματος, ο αλγόριθμος DSRS παίρνει αποφάσεις προγραμματισμού αιτημάτων $a_{ij}(t)$ για να ελαχιστοποιήσει το ανώτερο όριο. Η ελαχιστοποίηση του ανώτερου ορίου μπορεί να γραφεί ως

$$\min_{a_{ij}(t)} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij}(t) * (Q_{ij}(t) + V * \gamma_{ij}(t)) \quad (5.7)$$

όπου V η παράμετρος ανταλλαγής μεταξύ κόστους προγραμματισμού και μήκους ουράς και καθορίζεται από τους παρόχους υπηρεσιών ή τους χρήστες και $\gamma_{ij}(t)$ το κόστος προγραμματισμού.

Ο προγραμματισμός όλων των αιτημάτων μέσω Edge Computing συστημάτων θα μειώσει το ολικό κόστος προγραμματισμού. Παρ' όλα αυτά, το μήκος της ουράς καθυστέρησης θα είναι πολύ μεγάλο. Ο αλγόριθμος DSRS συνδυάζει τη μείωση κόστους και μήκους ουράς, και αυτό λόγω του παράγοντα V στη $Q_{ij}(t) + V * \gamma_{ij}(t)$. Ακόμη αλλάζοντας την τιμή του V , ο αλγόριθμος μπορεί να επιτύχει καλύτερη αντιστάθμιση μεταξύ κόστους προγραμματισμού και μήκους ουράς.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στο Σχήμα 5.6, όπου παρουσιάζεται αναλυτικά ο αλγόριθμος DSRS.

```

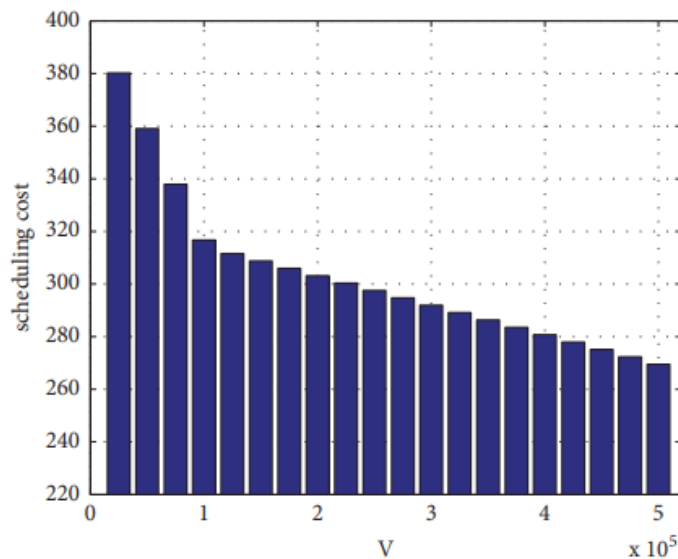
1: In the beginning of each time slot  $t$ , observe the current queue length  $Q_{ij}(t)$ .
2: for all  $i \in I$  do
3:   Set auxiliary variable  $MinWeight = -\infty$ ;
4:   Set  $j^* = 1$ ;
5:   for all  $j \in J$  do
6:     Calculate the penalty factor  $pf_j = Q_{ij}(t) + V\gamma_{ij}(t)$ ;
7:     if  $pf_j < MinWeight$  then
8:        $j^* = j$ ;
9:     end if
10:  end for
11:  for all  $j \in J$  do
12:    if  $j == j^*$  then
13:      Set  $a_{ij}(t) = A_i(t)$ ;
14:    else
15:      Set  $a_{ij}(t) = 0$ ;
16:    end if
17:  end for
18: end for

```

Σχήμα 5.6 Αλγόριθμος DSRS (Dynamic Service Request Scheduling)

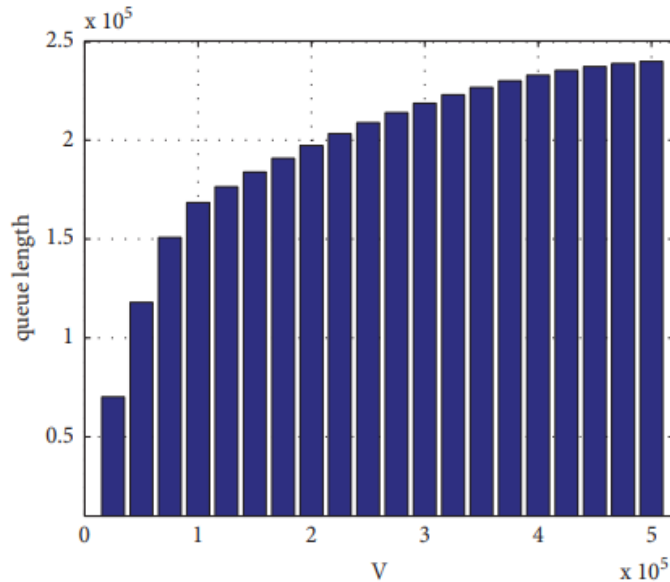
5.5.4 Αξιολόγηση αλγορίθμου

Παρακάτω στα Σχήματα 5.7 και 5.8 φαίνεται το μέσο κόστος προγραμματισμού και το μήκος ουράς των αιτημάτων των συστημάτων, για τις διάφορες τιμές του V . Στο 5.7 είναι εμφανές ότι το κόστος προγραμματισμού μειώνεται, όσο αυξάνεται η τιμή του V . Αυτό συμβαίνει λόγω το ότι καθώς το V αυξάνεται, το βάρος πέφτει στο κόστος προγραμματισμού. Έτσι ο DSRS αλγόριθμος προγραμματίζει περισσότερα αιτήματα υπηρεσιών από το Edge Computing σύστημα με μικρότερο κόστος το καθένα, με σκοπό να μειώσει το συνολικό κόστος προγραμματισμού.



Σχήμα 5.7 Κόστος προγραμματισμού για διάφορες τιμές V .

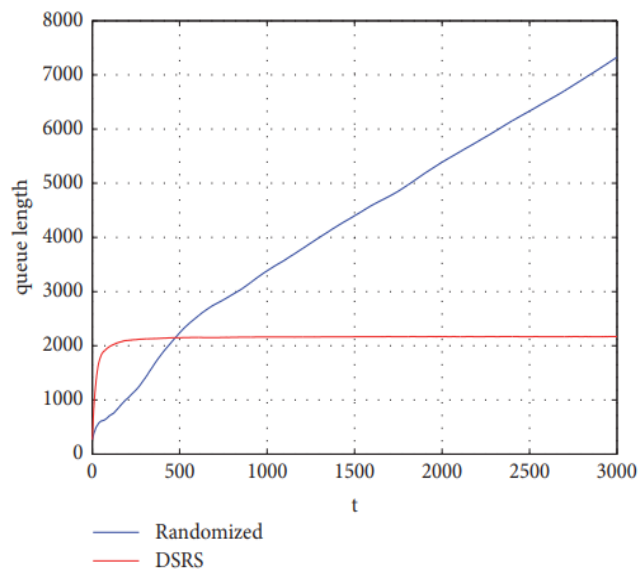
Το 5.8 δείχνει ότι η ουρά αυξάνεται με την αύξηση του V . Παρ' όλα αυτά, δείχνει πως σταθεροποιείται σταδιακά με την περαιτέρω αύξηση του V . Τα δύο σχήματα δείχνουν πως μπορεί να υπάρξει εναλλαγή μεταξύ κόστους προγραμματισμού και μήκους ουράς, μεταβάλλοντας την τιμή του V .



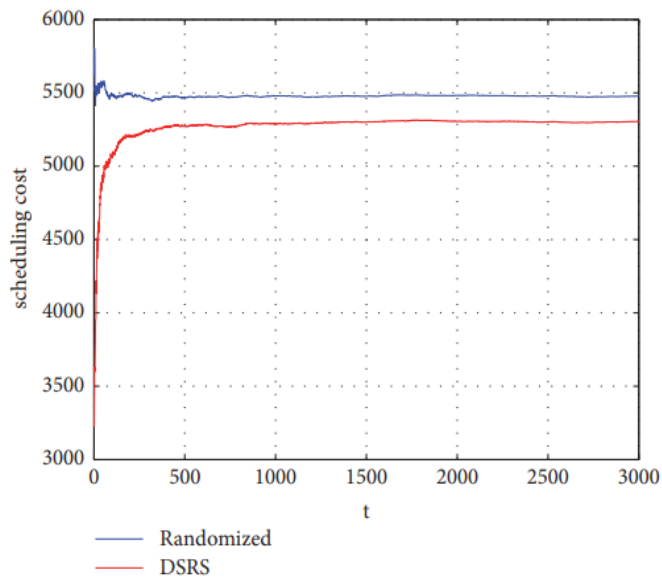
Σχήμα 5.8 Μήκος ουράς για τις διάφορες τιμές του V .

Με πραγματοποίηση σύγκρισης μεταξύ του DSRS αλγορίθμου και ενός τυχαίου αλγορίθμου παρατηρείται η αποτελεσματικότητα του DSRS.

Ο τυχαίος αλγόριθμος, όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 5.9, προγραμματίζει όλα τα αιτήματα υπηρεσιών του κάθε συστήματος, με τυχαία σειρά. Είναι εμφανές πως ο τυχαίος αλγόριθμος είναι πιο αποδοτικός στην αρχή, αφού δημιουργεί μικρότερη ουρά σε πρώτο χρόνο. Όσο περνάει ο χρόνος, όμως, το μήκος της ουράς αυτής αυξάνεται γραμμικά. Το μήκος ουράς του DSRS αλγορίθμου σταθεροποιείται γρήγορα και παραμένει σε χαμηλό επίπεδο. Ο λόγος είναι πως ο DSRS αλγόριθμος μπορεί να προσαρμόσει τον προγραμματισμό αιτημάτων, ανάλογα τα ανεκτέλεστα αιτήματα στην ουρά και τη διατήρηση χαμηλής συμφόρησης στα Edge Computing συστήματα. Όσον αφορά το κόστος προγραμματισμού, κι όπως φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 5.10, ο τυχαίος αλγόριθμος, από την πρώτη χρονική στιγμή αυξάνεται κατακόρυφα, και στη συνέχεια σταθεροποιείται σε τιμές σταθερά μεγαλύτερες του αλγορίθμου DSRS, ο οποίος αυξάνεται πιο ομαλά και σταθεροποιείται σε χαμηλότερες τιμές, μειώνοντας έτσι το κόστος προγραμματισμού.



Σχήμα 5.9 Μήκος ουράς που δημιουργούν δύο διαφορετικοί αλγόριθμοι



Σχήμα 5.10 Κόστος προγραμματισμού διαφορετικών αλγορίθμων

5.6 Εφαρμογές της Βαθιάς Μάθησης

Η πρόσφατη εισαγωγή της Βαθιάς Μάθησης σε διάφορες εφαρμογές του Edge Computing, προσφέρει μεγάλες δυνατότητες στην κατανόηση κι επεξεργασία πληροφοριών, στη διαχείριση δεδομένων και στη λήψη αποφάσεων. Η σύνδεση αυτών των δύο τεχνολογιών, μπορεί να δημιουργήσει περαιτέρω ευκαιρίες, ενισχύοντας την ανάπτυξη νέων εφαρμογών.

Έξυπνα πολυμέσα. Το περιεχόμενο αποτελούμενο από βίντεο στο Διαδίκτυο τα τελευταία χρόνια συνεχίζει να αυξάνεται. Όπως αναφέρει η Cisco, το 75% του περιεχομένου στο Διαδίκτυο το 2017 αποτελούταν από βίντεο από χρήστες σε όλο τον κόσμο και υπολογίζεται ότι μέχρι το 2022 θα έχει τετραπλασιαστεί. Την ίδια στιγμή, οι χρήστες έχουν απαίτηση από νέο περιεχόμενο καθημερινά. Τα αναλυτικά στοιχεία στα βίντεο χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε τομείς όπως η κάμερες παρακολούθησης και η επαυξημένη πραγματικότητα. Έχει προταθεί λοιπόν, μια υποδομή για τη σύνδεση αδύναμων συσκευών front-end (όπως ένα smartphone) με ισχυρές πο ισχυρές συσκευές υποστήριξης (όπως οι edge servers), που επιτρέπουν τη Βαθιά Μάθηση να επιλέγει τον τρόπο εκτέλεσης. Αυτό βοηθάει τις μεθόδους Βαθιάς Μάθησης να επιτύχουν υψηλότερο ρυθμό καρτέ και ακρίβεια. Μια ακόμα εφαρμογή έξυπνων πολυμέσων είναι η προσαρμοστική ροή βίντεο [27]. Η βασική ιδέα είναι να επιλέγεται ο κατάλληλος ρυθμός μετάδοσης bit βίντεο, λαμβάνοντας υπόψιν τις καταστάσεις του δικτύου, τη σταθερότητα και την προτίμηση ποιότητας βίντεο του χρήστη. Με τη βοήθεια της Βαθιάς Μάθησης, αναπτύχθηκε ένα σύστημα πολλαπλών σταδίων για τη διαχείριση της ταυτόχρονης μετάδοσης βίντεο, που εγγυάται ένα ελάχιστο επίπεδο ποιότητας για κάθε χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε μια με εμποτεύομενη μηχανή Boltzmann (RBM) για την καταγραφή των λανθασμένων χαρακτηριστικών των δεδομένων εισόδου. Η προσωρινή αποθήκευση περιεχομένου βίντεο, είναι άλλη μια σημαντική εφαρμογή που προσελκύει ερευνητικές προσπάθειες. Η Βαθιά Μάθηση φέρνει νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ευφυής τεχνικές καταγραφής των χαρακτηριστικών. Οι ερευνητές προτείνουν ένα έξυπνο πλαίσιο προσωρινής αποθήκευσης με τη μέθοδο LSTM, για την καλύτερη εκμάθηση μοτίβων δημοτικότητας, σε μια σύντομη, χρονικά, κλίμακα. Επίσης, προτείνουν την αξιοποίηση της μεθόδου DLR [27], για αυτόματη εκμάθηση προσωρινής εκμάθησης στα άκρα του δικτύου.

Έξυπνες Μετακινήσεις. Μετά τα έξυπνα κινητά, τα οχήματα είναι ο επόμενος φορέας έξυπνων πληροφοριών. Η ευφυής αίσθηση και η ακρίβεια είναι τα σημαντικότερα θέματα στην αυτόματη οδήγηση. Πολλές προσπάθειες γίνονται σχετικά με τη βελτιστοποίηση της αυτόματης οδήγησης, όπως η πρόταση ενός προσεκτικά σχεδιασμένου πλάνου εκμάθησης βασιζόμενου σε μεθόδους της Βαθιάς Μάθησης, που επιτυγχάνει υψηλή ακρίβεια ανίχνευσης αντικειμένων και παράλληλα μειώνει το μέγεθος του μοντέλου για ενεργειακή απόδοση. Πέραν αυτού, οι ερευνητές δοκιμάζουν μια ακόμα τεχνική με βάση τις πληροφορίες ανίχνευσης. Προτείνεται λοιπόν, μια αρχιτεκτονική εκμάθησης από άκρο σε άκρο χωρίς την ανίχνευση χαρακτηριστικών του δρόμου. Απλά τα ακατέργαστα pixel από τη μπροστινή κάμερα αντιστοιχίζονται απευθείας στις εντολές του τιμονιού. Η κατανόηση των προτύπων κίνησης των οχημάτων και των ανθρώπων είναι ένα κρίσιμο πρόβλημα για τη διαχείριση της αστικής κυκλοφορίας και την παροχή υπηρεσιών. Ως ένα πολύ δυνατό εργαλείο, η Βαθιά Μάθηση ξεχωρίζει από άλλες μεθόδους σε αυτό τον τομέα. Ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει ένα βαθύ νευρωνικό δίκτυο για την εξόρυξη βραχυπρόθεσμων χαρακτηριστικών της κατάστασης κυκλοφορίας ενός οδικού τμήματος για να προβλέπει την κυκλοφορία στο άμεσο μέλλον. Ακόμη, έλαβαν υπόψιν την επιρροή των καιρικών συνθηκών στην κυκλοφορία, οπότε ενσωμάτωσαν τις πληροφορίες για τον καιρό σε ένα δίκτυο DBN. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο LSTM, προβλέπεται η κατάσταση της κίνησης σε ολόκληρη την πόλη [27]. Βάση αυτών αποδεικνύεται ότι η Βαθιά Μάθηση μαζί με το Edge Computing μπορούν να δημιουργήσουν περισσότερα για τη διαχείριση της κυκλοφορίας. Ένα από αυτά είναι ο έλεγχος των σηματοδοτών κυκλοφορίας, ο οποίος με σωστό προγραμματισμό μπορεί να μειώσει το μέσο χρόνο αναμονής και την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Γι' αυτό η ενισχυτική μάθηση (RL) αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη λύση, αφού κάθε παράγοντας θα ελέγχει ένα φανάρι βάση όχι μόνο την κυκλοφορία άλλων φαναριών αλλά και τις καταστάσεις κυκλοφορίας άλλων παραγόντων.

Έξυπνες Πόλεις. Ο συνδυασμός Edge Computing και Βαθιάς Μάθησης προσφέρει σε βάθος υπολογισμούς σε κάθε μεριά της πόλης, δημιουργώντας μια έξυπνη πόλη που προσφέρει πιο οικονομικές, ακριβείς και ευέλικτες υπηρεσίες. Οι έξυπνες IoT συσκευές έχουν μελετηθεί αρκετά σε αυτό το σενάριο. Ωστόσο, αξιοποιώντας τις τελευταίες εξελίξεις της Βαθιάς Μάθησης μπορεί να υπάρξει έξυπνη αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου και συσκευών. Ερευνητές ανέλυσαν τα μοτίβα ανίχνευσης κινούμενων ανθρώπων στα σήματα WiFi, και με συνδυασμό μεθόδων Βαθιάς Μάθησης, δημιουργούν ένα πρότυπο αναγνώρισης διαφόρων χειρονομιών και δραστηριοτήτων. [27] Μια τέτοια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απομακρυσμένο έλεγχο οικιακών συσκευών. Επίσης, διερευνώντας περισσότερες δυνατότητες προσέγγισης Βαθιάς Μάθησης, προτείνουν μέσω της μεθόδου DRL, ένα πρότυπο για τον εντοπισμό εσωτερικών χώρων. Αυτή η λύση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ένα έξυπνο σπίτι για ανίχνευση εισβολής, ανίχνευση πτώσης αντικειμένων και αλληλεπίδραση με βάση τις κινήσεις και χειρονομίες. Το έξυπνο δίκτυο είναι ένα δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με έξυπνους μετρητές σε διαφορετικές τοποθεσίες, για μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Η Βαθιά Μάθηση μαζί με το Edge Computing ενισχύουν το δίκτυο αυτό με ευφυείς τρόπους προστασίας, ελέγχου και διαχείρισης. Ο συνδυασμός των μεθόδων DBN και RBM βοηθάει στον εντοπισμό επιθέσεων με εισαγωγή ψευδών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Λαμβάνοντας υπόψη τη συμπεριφορά των επιθέσεων, προτάθηκε μια ενισχυμένη προσέγγιση εκμάθησης για τον εντοπισμό επιθέσεων, με βάση τη φυσική συμπεριφορά του συστήματος. Η κοστολόγηση είναι άλλο ένα σημαντικό ζήτημα, που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τους πελάτες. [27] Για παράδειγμα η φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος, το οποίο εξετάζοντας την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και την ενέργεια της μπαταρίας των ηλεκτρικών οχημάτων, καθορίζεται αυτόματα, βάση ενός μοντέλου DRL.

Έξυπνη Βιομηχανία. Στην επερχόμενη εποχή της βιομηχανίας, παρατηρείται η επανάσταση της έξυπνης βιομηχανίας. Το Edge Computing με τη μεταφορά της υπολογιστικής επεξεργασίας τοπικά, προσφέρει ελάχιστη καθυστέρηση. Η Βαθιά Μάθηση ενισχύει την τοπική ανάλυση και πρόβλεψη γεγονότων, με χρήση των μεθόδων της. Ο συνδυασμός αυτών των δύο τεχνολογιών έχει εφαρμοστεί σε πολλές πτυχές της βιομηχανικής παραγωγής. Μια εφαρμογή είναι για γρήγορη και αξιόπιστη βιομηχανική επιθεώρηση. Ουσιαστικά δημιουργεί αυτόματα κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά για μια συγκεκριμένη εργασία επιθεώρησης, από έναν τεράστιο όγκο δεδομένων με την ελάχιστη ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Εκτός από την επιθεώρηση εργασιών, το Edge Computing και η Βαθιά Μάθηση επιτρέπουν την έξυπνη βιομηχανική ανάλυση. Οι έρευνες επικεντρώνονται στην εκτίμηση της υπολειπομένης ωφέλιμης ζωής των μηχανημάτων, με βάση την LSTM μέθοδο, για καλύτερη πρόβλεψη της. Επίσης, προτείνεται η χρήση της DNN μεθόδου [27] για ακριβή πρόβλεψη της υπολειπομένης διάρκειας ζωής των μπαταριών στους ασύρματους σταθμούς.

5.7 Επίλογος

Έγινε αναφορά στη Βαθιά Μάθηση και στις μεθόδους που ακολουθεί. Έγινε εισαγωγή του Scheduling και μελετήθηκε η αποτελεσματικότητα ενός αλγορίθμου DSRS. Τέλος, αναφέρθηκαν εφαρμογές που συμμετέχει η Βαθιά Μάθηση.

Κεφάλαιο 6ο: Προκλήσεις – Ανάλυση

Πολλές προκλήσεις παραμένουν στη χρήση της Βαθιάς Μάθησης στο Edge Computing, όχι μόνο στις τερματικές συσκευές αλλά σε ένα συνδυασμό συσκευών, server και Cloud.

Καθυστέρηση. [28] Ενώ έχει ήδη ειπωθεί πως γίνονται πολλές προσπάθειες που επικεντρώνονται στην ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης, η παρούσα κατάσταση χρήζει βελτιώσεων και πιο συγκεκριμένα σε εφαρμογές που λειτουργούν με υψηλών απαιτήσεων δεδομένα. Για παράδειγμα, ακόμα κι ένα DNN μοντέλο, σχεδιασμένο για κινητές συσκευές, εκτελεί λίγα frames/second στα σύγχρονα έξυπνα κινητά. Υπάρχει ακόμη δουλειά να γίνει στο DNN μοντέλο για να επιτραπεί η τεχνολογία της Βαθιάς Μάθησης, ιδιαίτερα σε IoT συσκευές που έχουν πιο σοβαρούς περιορισμούς.

Εξοικονόμηση ενέργειας. [28] Η ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας της Βαθιάς Μάθησης είναι πολλή σημαντική για συσκευές IoT τροφοδοτούμενες από μπαταρίες, όπως είναι τα έξυπνα κινητά. Ενώ η μείωση του όγκου των υπολογισμών μειώνει την κατανάλωση ενέργειας, η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των υπολογισμών Βαθιάς Μάθησης και μηχανημάτων όπως είναι η CPU, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της συχνότητας εκτέλεσης εντολών και υπολογισμών Βαθιάς Μάθησης, μειώνοντας έτσι τη συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Διαχείριση των πηγών Edge Computing. Η Βαθιά Μάθηση αντιμετωπίζεται συχνά ως το μαύρο κουτί από τους προγραμματιστές εφαρμογών και τους διαχειριστές δικτύου. Ωστόσο, τα μοντέλα Βαθιάς Μάθησης μπορούν να συνεισφέρουν στην καθυστέρηση, στην ακρίβεια και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Έχουν περιγραφεί ήδη τρόποι συντονισμού αυτών των κουμπιών ελέγχου, και η εκμάθηση αυτών στους προγραμματιστές της εφαρμογής και στο διαχειριστή του server, θα μπορούσε να είναι πολύτιμη. Ουσιαστικά, θα επέτρεπε σε προγραμματιστές και διαχειριστές διακομιστών, χωρίς εις βάθος γνώσεις Μηχανικής Μάθησης, να κατανοήσουν τα κουμπιά και να τα συντονίσουν, ώστε να επιτύχουν καλή απόδοση συστήματος, ειδικά σε κόμβους Edge υπολογιστών με περιορισμένους πόρους.

Απόρρητο. Ενώ το απόρρητο έχει μελετηθεί αρκετά, στα πλαίσια της Βαθιάς Μάθησης, υπάρχουν ακόμα ανησυχίες, οι οποίες αξίζουν περαιτέρω διερεύνηση. Μια από αυτές είναι οι επιθέσεις μελών. Μια επίθεση μέλους επιδιώκει να προσδιορίσει αν ένα αντικείμενο ήταν μέρος του συνόλου εκπαίδευσης που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του μοντέλου Βαθιάς Μάθησης. Αυτή η επίθεση, μπορεί να εντοπιστεί με κατάλληλη εκμάθηση του συστήματος και με τη βοήθεια του Edge Computing, παραθέτοντας το υποσύνολο χρηστών που είχαν πρόσβαση σε αυτόν τον server. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται το αν υπάρχει ή όχι διαρροή πληροφοριών μέσω του μοντέλου που χρησιμοποιείται. Μια άλλη ανησυχία είναι η συσκότιση δεδομένων. Οι τεχνικές συσκότισης δεδομένων έχουν μελετηθεί σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός χρηστών, όπως στο Cloud. Όμως, μπορεί να είναι επιτυχής σε κάποιο σενάριο Edge Computing, όπου μικρότερα σετ εκπαίδευσης είναι διαθέσιμα, επειδή υπάρχουν λιγότερες τελικές συσκευές συνδεδεμένες στο διακομιστή.

Κεφάλαιο 7ο: Μελλοντικές επεκτάσεις

Σε έναν συνεχώς εξελισσόμενο κλάδο, τέτοιου είδους καινοτόμες τεχνολογίες, όπως το Edge Computing και η Βαθιά Μάθηση, οφείλει συνεχώς να προσαρμόζεται στα νέα δεδομένα και να προσφέρει στους χρήστες του καινούρια εργαλεία και λειτουργίες που θα οδηγούν σε μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος.

Από όλες τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται τον τελευταίο καιρό, το Edge Computing είναι από τις πιο σημαντικές. Είναι αυτή που υπόσχεται τις περισσότερες ευκαιρίες ανάπτυξης για την επόμενη δεκαετία. Παρόλο που βασίζεται εξ' ολοκλήρου στο Διαδίκτυο, η πραγματική αξία του Edge Computing βρίσκεται στη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες. Η Βαθιά Μάθηση έχει κυριαρχήσει στον τομέα της ανάλυσης δεδομένων, λόγω της μεγάλης ακρίβειας σε μια ποικιλία από σημαντικές υπολογιστικές εργασίες, όπως είναι η αναγνώριση φωνής, η μετάφραση της νοηματικής γλώσσας, η αναγνώριση χαρακτηριστικών προσώπου και η αναγνώριση αντικειμένων. Όλες αυτές οι εργασίες γίνονται πραγματικότητα, μέσω σημαντικών μεθόδων και αναλυτικών αλγορίθμων. Αλγόριθμοι καινοτόμοι, που αποδικνύονται πιο αποδοτικοί, μετά από μια σύντομη περίοδο εκμάθησης, σε σχέση με παλιότερες μορφές, [32] βάση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων. Λόγω, λοιπόν, των δυνατοτήτων της Βαθιάς Μάθησης, πολλές μεγάλες εταιρείες, όπως η Google και η Microsoft για παράδειγμα χρησιμοποιούν αυτή την τεχνική για την τροφοδότηση πολλών υπηρεσιών τους.

Ωστόσο, πολλές προκλήσεις παραμένουν ανοιχτές τόσο όσον αφορά τις βελτιώσεις απόδοσης, όσο το απόρρητο και τη διαχείριση πόρων.

Αυτές οι προκλήσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω τεχνολογικών καινοτομιών σε αλγόριθμους, σχεδιασμό συστημάτων και αναβαθμίσεις σε υπολογιστές και περιφερειακά μηχανήματα. Η Βαθιά Μάθηση, ως βασική τεχνική της Μηχανικής Μάθησης και το Edge Computing αναμένεται να ωφελήσουν το ένα το άλλο. Καθώς ο ρυθμός καινοτομίας της Βαθιάς Μάθησης παραμένει υψηλός, νέες τεχνικές προκλήσεις ενδέχεται αν εμφανιστούν στο μέλλον για το Edge Computing, παράλληλα με τις ήδη υπάρχουσες ευκαιρίες για καινοτομία.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Internet Site

- [1] '12 benefits of Cloud Computing' Salesforce 2022 <https://www.salesforce.com/products/platform/best-practices/benefits-of-cloud-computing/>
- [2] Jake Frankenfield 'Cloud Computing' Investopedia June 2022 <https://www.investopedia.com/terms/c/cloud-computing.asp>
- [3] 'What is IoT' ORACLE 2018 <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>
- [4] Wikipedia 'Διαδίκτυο των Πραγμάτων' Μάιος 2022 https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF%CF%84%CF%89%CE%BD_%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD
- [5] Tommy Quek 'The advantages and disadvantages of Internet of Things (IoT)' February 2017 <https://www.linkedin.com/pulse/advantages-disadvantages-internet-things-iot-tommy-quek>
- [6] Wikipedia 'C-RAN' June 2022 <https://en.wikipedia.org/wiki/C-RAN#C-RAN/Cloud-RAN>
- [7] Wikipedia 'Deep Learning' August 2022 https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning#Overview
- [8] Arne Wolfewicz 'Deep Learning vs Machine Learning – What's the difference?' Leivity July 2022 <https://leivity.ai/blog/difference-machine-learning-deep-learning>
- [9] Gaudenz Boesch 'Edge Intelligence in 2022 – Deep and Edge Computing' Viso Suite 2022 <https://viso.ai/edge-ai/edge-intelligence-deep-learning-with-edge-computing/>

Paper in Conference Proceedings

- [10] Michele De Donno 'Foundatins and Evolution of Modern Computing Paradigms: Cloud, IoT, Edge and Fog' IEEE October 2019 https://www.researchgate.net/publication/336575191_Foundations_and_Evolution_of_Modern_Computing_Paradigms_Cloud_IoT_Edge_and_Fog
- [11] Lizhe Wang, Gregor von Laszewski, Andrew Younge, Xi He Service Oriented Cyberinfrastructure Lab, Rochester Inst. of Tech. Lomb Memorial Drive, Rochester, NY 14623, U.S. Marcel Kunze, Jie Tao Steinbuch Centre for Computing, Karlsruhe Institute of Technology Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, Eggenstein-Leopoldshafen, Germany Cheng FU Nanyang Technological University, 50 Nanyang Drive, 'Cloud Computing: a Perspective Study' Singapore 2010 https://scholar.google.gr/scholar?q=Wang+2010+Article+Cloud+Computing+A+Perspective+Study&hl=el&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart
- [12] Chunye Gong, Jie Liu, Qiang Zhang, Haitao Chen and Zhenggu Gong 'The Characteristics of Cloud Computing' Department of Computer Sciences National University of Defense Technology Changsha, China 2010 <https://ieeexplore.ieee.org/document/5599083>
- [13] Robert L. Grossman 'The case of Cloud Computing' University of Illinois at Chicago and Open Data Group IT March 2009 <https://ieeexplore.ieee.org/document/4804045>

-
- [14] Tharam Dillon, Digital Ecosystems and Business Intelligence Institute Curtin University of Technology Perth, Australia, Chen Wu and Elizabeth Chang Digital Ecosystems and Business Intelligence Institute Curtin University of Technology Perth, Australia. 'Cloud Computing: Issues and Challenges' IEEE July 2021 <https://ieeexplore.ieee.org/document/5474674>
- [15] Zhi Li, Subhajyoti Bandyopadhyay, Juheng Zhang, Anand Ghalsasi. 'Cloud Computing - The business perspective' Sean Marston' University of Florida, FL, United States, Persistent Systems, Inc., CA, United States ELSEVIER December 2010 https://www.academia.edu/5974297/Cloud_computing_The_business_perspective
- [16] Partha Pratim Ray 'A survey of IoT cloud platforms' Department of Computer Applications, Sikkim University, 6th Mile, PO Tadong, Gangtok, Sikkim 737102, India. ScienceDirect February 2017 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2314728816300149>
- [17] Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, Marimuthu Palaniswami 'Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions' Department of Electrical and Electronic Engineering, The University of Melbourne, Vic - 3010, Australia, Department of Computing and Information Systems, The University of Melbourne, Vic - 3010, Australia. ELSEVIER February 2013 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X13000241>
- [18] Christos Stergiou, Kostas E. Psannis, Byung-Gyu Kim, Brij Gupta. 'Secure integration of IoT and Cloud Computing' Department of Applied Informatics, School of Information Sciences, University of Macedonia, Thessaloniki, Greece, Department of Information Technology (IT) Engineering at Sookmyung Women's University, Republic of Korea, National Institute of Technology Kurukshetra, India ELSEVIER December 2016 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X1630694X>
- [19] In Lee, Kyoochun Lee. 'The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises' School of Computer Sciences, Western Illinois University, Stipes Hall 442F, Macomb, IL 61455-1390, U.S.A. Olin Corporation, Clayton, MO, U.S.A. 2015 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007681315000373>
- [20] Yongli Zhao, (Senior Member, IEEE), Wei Wang, Yajie Li, Carlos Colman Meixner, Massimo Tornatore and Jie Zhang. 'Edge Computing and Networking: A Survey on Infrastructures and Applications' Institute of Information Photonics and Optical Communications, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China, Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Bristol, Bristol BS8 1TH, U.K. , Department of Electronics and Information, Politecnico di Milano, 20133 Milan, Italy , Department of Computer Science, University of California at Davis, Davis, CA 95616, USA IEEE August 2019 <https://ieeexplore.ieee.org/document/8758431>
- [21] Weisong Shi, Fellow, IEEE, Jie Cao, Student Member, IEEE, Quan Zhang, Student Member, IEEE, Youhui Li, and Lanyu Xu 'Edge Computing: Vision and Challenges' IEEE October 2016 <https://ieeexplore.ieee.org/document/7488250>
- [22] Jianli Pan, Member, IEEE, James McElhannon, Member, IEEE 'Future Edge Cloud and Edge Computing for Internet of Things Applications' School of Electronics, IEEE Internet of Things Journal February 2018 <https://ieeexplore.ieee.org/document/8089336>
- [23] Keyan Cao, Yefan Liu, Gongjie Meng, Qimeng Sun. 'An Overview on Edge Computing Research' College of Information and Control Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China 2Liaoning Province Big data Management and Analysis Laboratory of

-
- Urban Construction, Shenyang 110168, China May 2019
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9083958>
- [24] Yuan Ai, Mugen Peng, Kecheng Zhang ‘Edge computing technologies for Internet of Things: a primer’ ey Laboratory of Universal Wireless Communications for Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, China 2018
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864817301335>
- [25] Christian Janiesch & Patrick Zschech & Kai Heinrich ‘Machine Learning and Deep Learning’ March 2021 <https://link.springer.com/article/10.1007/s12525-021-00475-2>
- [26] Fangxin Wang (Student Member, IEEE), Miao Zhang, Xiangxiang Wang, Xiaoqlang Ma, Jiangchuan Liu, (Fellow, IEEE). ‘Deep Learning for Edge Computing Applications: A State-of-the-Art Survey’ School of Computing Science, Simon Fraser University, Burnaby, BC V5A 1S6, Canada. School of Electronic Information and Communications, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China April 2020 IEEE
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9044329>
- [27] Xiaofei Wang, Senior Member, IEEE, Yiwun Han, Student Member, IEEE, Victor C. M. Leung, Fellow, IEEE, Dusit Niyato, Fellow, IEEE, Xueqiang Yan, and Xu Chen, Member, IEEE ‘Convergence of Edge Computing and Deep Learning: A Comprehensive Survey’ 2020 IEEE
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8976180>
- [28] Jiasi Chen Xukan Ran ‘Deep Learning with Edge Computing: A Review’ August 2019 IEEE <https://ieeexplore.ieee.org/document/8763885>
- [29] Dianlei Xu, Tong Li, Yong Li, Senior Member, IEEE, Xiang Su, Member, IEEE, Sasu Tarkoma, Senior Member, IEEE, Tao Jiang, Fellow, IEEE, Jon Crowcroft, Fellow, IEEE, and Pan Hui, Fellow, IEEE ‘Edge Intelligence: Architectures, Challenges, and Applications’ June 2020
<https://arxiv.org/abs/2003.12172>
- [30] Amit Samanta, Zheng Chang, and Zhu Han ‘Latency-Oblivious Distributed Task Scheduling for Mobile Edge Computing’ Department of Computer Science and Engineering, Indian Institute of Technology Kharagpur, India Faculty of Information Technology, University of Jyväskylä, Finland, University of Houston, Houston, TX Kyung Hee University, Seoul, South Korea 2018 IEEE <https://ieeexplore.ieee.org/document/8647673>
- [31] Li Lin, Peng Li, Jinbo Xiong, Mingwei Lin ‘Distributed and Application-aware Task Scheduling in Edge-clouds’ College of Mathematics and Informatics, Fujian Normal University, China. School of Computer Science and Engineering, University of Aizu, Japan 12 February 2019
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8692012>
- [32] Hao Meng, Daichong Chao, Qianying Guo and Xiaowei Li ‘Delay-sensitive Task Scheduling with Deep Reinforcement Learning in Mobile-edge Computing Systems’ Beijing Advanced Innovation Center for Future Internet Technology, Beijing University of Technology, China. IOP Science October 2019 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1229/1/012059/meta>
- [33] Ying Chen, Yongchao Zhang, and Xin Chen ‘Dynamic Service Request Scheduling for Mobile Edge Computing Systems’ Computer School, Beijing Information Science and Technology University (BISTU), Beijing 100101, China. Hindawi 2018
<https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2018/1324897/>
- [34] Juan Liu, Yuyi Mao, Jun Zhang, and Khaled B. Letaief ‘Delay-Optimal Computation Task Scheduling for Mobile-Edge Computing Systems’ College of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo, China, Dept. of ECE, The Hong Kong University of Science and

Technology, Clear Water Bay, Hong Kong Hamad bin Khalifa University, Doha, Qatar. 2016 IEEE <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7541539>

[35] Mohammad I. Daoud, Nawwaf Kharma ‘A high performance algorithm for static task scheduling in heterogeneous distributed computing systems’ July 2007 Science Direct <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0743731507000834>

[36] He Li, Kaoru Ota, and Mianxiong Dong ‘Learning IoT in Edge: Deep Learning for the Internet of Things with Edge Computing’ Jan 2018 IEEE <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8270639>

[37] Fang Liu, Guoming Tang, Youhui Li, Zhiping Cai, Xingzhou Zhang, Tongqing Zhou ‘A Survey on Edge Computing Systems and Tools’ IEEE November 2019 https://scholar.google.gr/scholar?q=A+Survey+on+Edge+Computing+Systems+and+Tools&hl=en&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

Journal Articles

[38] Christophe Brown ‘A brief introduction to Edge Computing and Deep Learning’ November 2020 <https://medium.com/swlh/a-brief-introduction-to-edge-computing-and-deep-learning-5af8c50e2f5c>

[39] ‘What is the Edge Computing? History and applications of Edge Computing’ Tech Track IT February 2022 <https://techtrackit.com/what-is-edge-computing-history-and-applications-of-edge-computing/>

[40] Martin Percival ‘Smart cities need edge computing’ techradar.pro April 2022 <https://www.techradar.com/features/smart-cities-need-edge-computing>