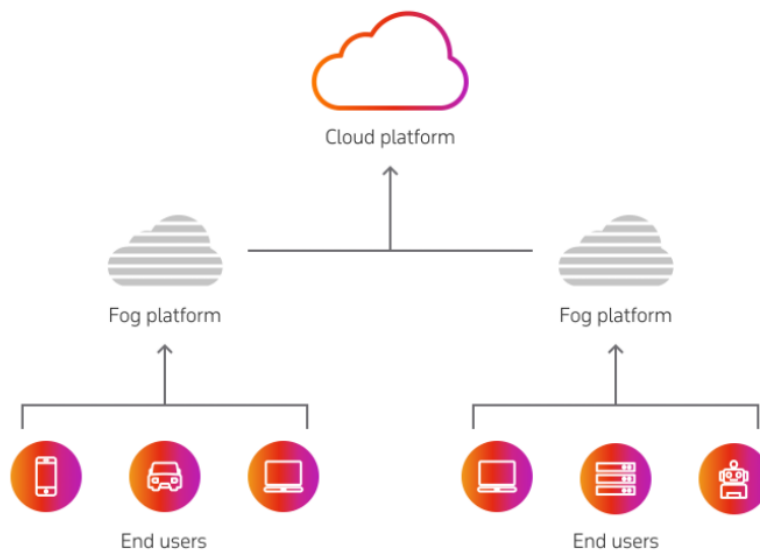


ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ FOG COMPUTING : ΜΙΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ



Όνοματεπώνυμο : Οικονόμου Αναστασία

Επιβλέπουσα: Σπυριδούλα Μαργαρίτη

Άρτα, Φεβρουάριος, 2021

FOG COMPUTING ARCHITECTURE: A COMPARATIVE STUDY

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια μελέτη σχετικά με την αρχιτεκτονική του Fog Computing, η οποία επεκτείνει το μοντέλο του Cloud στα άκρα του δικτύου και αναμένεται να αποτελέσει ιδανική πλατφόρμα για το Internet of Things (Διαδίκτυο των Πραγμάτων) και τις υπηρεσίες όπως είναι παραδείγματος χάριν το διασυνδεδεμένο όχημα, οι έξυπνες πόλεις και τα δίκτυα που χρησιμοποιούν αισθητήρες. Ο στόχος μας είναι η ανάδειξη της χρησιμότητας του Fog Computing στην καθημερινότητα μας λόγω των πλεονεκτημάτων που το χαρακτηρίζουν, διότι έχει τη δυνατότητα να ανταπεξέρχεται στις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες όσον αφορά τη διακίνηση δεδομένων. Αρχικά, παρουσιάζεται η θεωρία για τις έννοιες του Cloud του Fog καθώς και του IoT (χαρακτηριστικά, μοντέλα υπηρεσιών κ.λπ.) . Έπειτα, πραγματοποιείται μια εκτενής βιβλιογραφική έρευνα γύρω από το θέμα της αρχιτεκτονικής του Fog Computing και των επίπεδων αυτής. Στη συνέχεια, μελετάμε τις εφαρμογές του. Τέλος, συνδυάζοντας τις παραπάνω γνώσεις, παρουσιάζεται ο προσομοιωτής iFogSim ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μελέτη και την ανάλυση Fog Computing υλοποιήσεων.

Λέξεις κλειδιά: Fog Computing, Αρχιτεκτονική ,Εφαρμογές, Cloud, IoT.

ABSTRACT

In the present work, a study is conducted on the architecture of Fog Computing which extends the Cloud model to the ends of the network and is expected to be an ideal platform for the Internet of Things and services such as the interconnected vehicle, smart cities and networks that use sensors. Our goal is to highlight the usefulness of Fog Computing in our daily lives due to the advantages that characterize it, because it has the ability to cope with the ever-increasing needs in terms of data traffic. First, the theory for the concepts of Fog Cloud as well as IoT (features, service models, etc.) is presented. Then, an extensive bibliographic research is conducted on the subject of Fog Computing architecture and its levels. Next, we study its applications. Finally, combining the above knowledge, the iFogSim simulator is presented, which is used for the study and analysis of Fog Computing implementations.

Keywords: Fog Computing, Architecture, Applications, Cloud, IoT.

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Τόπος, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Όνομα Επίθετο,

2. Μέλος επιτροπής

Όνομα Επίθετο,

3. Μέλος επιτροπής

Όνομα Επίθετο,

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Οικονόμου, Αναστασία

Υπογραφή

© Οικονόμου, Αναστασία, 2021. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Την πτυχιακή αυτή εργασία, εκπόνησα για το τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστήμιου Ιωαννίνων. Με αυτόν τον τρόπο, μου δόθηκε η ευκαιρία να εμπλουτίσω τις γνώσεις μου και να διευρύνω τους πνευματικούς μου ορίζοντες, πάνω σε ένα αντικείμενο που είναι πραγματικά πολύ ενδιαφέρον. Είναι πολλοί εκείνοι στους οποίους χρωστώ τις ευχαριστίες μου για την ολοκλήρωση της εργασίας. Στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου, στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μου για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε και τέλος, στον φίλο μου Γιάννη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή	
1.1	Η έννοια του Fog Computing	σελ.11
1.2	Ορισμός του Fog Computing	σελ.12
1.3	Αντικείμενο εργασίας	σελ.13
1.4	Δομή εργασίας	σελ.13
2	Κεφάλαιο 2ο : Υπόβαθρο	
2.1	Cloud Computing	
2.1.1	Ορισμός Cloud	σελ.14
2.1.2	Αρχιτεκτονική	σελ.14
2.1.3	Χαρακτηριστικά	σελ.16
2.1.4	Είδη Υπηρεσιών	σελ.17
2.1.5	Μοντέλο Υπηρεσιών	σελ.18
2.2	Fog Computing	
2.2.1	Χαρακτηριστικά του Fog Computing	σελ.19
2.2.2	Μοντέλα Υπηρεσιών	σελ.23
2.2.3	Μοντέλα ανάπτυξης	σελ.24
2.2.4	Οφέλη του Fog Computing	σελ.25
2.2.5	Πλεονεκτήματα του Fog Computing	σελ.25
2.2.6	Μειονεκτήματα και περιορισμοί	σελ.27
2.3	IoT	
2.3.1	Ορισμός IoT	σελ.28
2.3.2	Χαρακτηριστικά	σελ.28
3	Κεφάλαιο 3ο : Αρχιτεκτονική Fog Computing	
3.1	Η ιεραρχική αρχιτεκτονική του δικτύου Fog τριών στρώσεων	σελ.30
3.2	Αρχιτεκτονική Fog τεσσάρων στρώσεων	σελ.34
3.3	OpenFog	σελ.35

3.4	Αρχιτεκτονική Fog Computing	βασισμένη	στο	νευρικό σύστημα.....σελ.35
3.5	Επίπεδα της αρχιτεκτονικής Fog Computing.....σελ.36		του	

4 Κεφάλαιο 4ο : Εφαρμογές του Fog Computing

4.1	Fog Computing	στο	Έξυπνο	Δίκτυοσελ.40
4.2	Fog Computing	σε	έξυπνα	φανάρια.....σελ.40	
4.3	Συνδεδεμένα οχήματα.....σελ.40				
4.4	Ασύρματος Αισθητήρας και Δίκτυα Ενεργοποίησης.....σελ.41				
4.5	Αποκεντρωμένος Έλεγχος Έξυπνου Κτιρίου.....σελ.41				
4.6	Έξυπνο Σπίτι.....σελ.42				
4.7	Έξυπνες Πόλεις.....σελ.43				
4.8	Έξυπνο Περιβάλλον.....σελ.44				
4.9	Παρακολούθηση υγειονομικής δραστηριότητας.....σελ.45		περίθαλψης	και	
4.10	IoT και Κυβερνο-φυσικά (CPS).....σελ.46			συστήματα	
4.11	Software Defined Networks (SDN).....σελ.46				
4.12	Επαυξημένη Πραγματικότητα.....σελ.46				

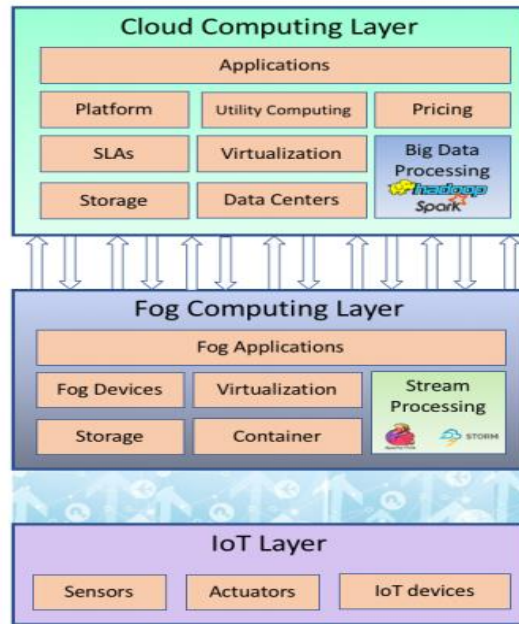
5 Κεφάλαιο 5ο : Περίπτωση μελέτης Fog Computing με τη χρήση του iFogSim

5.1	iFogSim.....σελ.48
5.1.1	Κλάσεις του IFogSim.....σελ.49
5.2	Βήματα για την εγκατάσταση του iFogSim.....σελ.52
5.3	Γραφικό περιβάλλον εργασίας χρήστη.....σελ.52

5.4 Περίπτωση μελέτης : Έξυπνη παρακολούθηση μέσω κατανεμημένων δικτύων κάμερας.....σελ.55	
5.5 Αποτελέσματα.....σελ.58	
5.6σελ.60	Αξιολόγηση
5.7 Αποσπάσματα κώδικα.....σελ.63	
6 Σύνοψη.....σελ.68	
Βιβλιογραφία.....σελ.69	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1⁰ : Εισαγωγή

Η ταχεία εξέλιξη του Internet of Things (IoT) έχει επιφέρει σημαντική αύξηση των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο. Ο αριθμός αυτός συνεχίζει να αυξάνεται όλο ένα και περισσότερο. Συνέπεια αυτού είναι η παραγωγή τεράστιου όγκου πληροφοριών, όπου η μεταφορά και η επεξεργασία τους συνέβαινε παραδοσιακά στο Cloud. Ωστόσο, οι υποδομές του Cloud είναι γεωγραφικά κεντροποιημένες και απομακρυσμένες από τους χρήστες. Έτσι λοιπόν, εφαρμογές που απαιτούν επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, με χαμηλό latency αδυνατούν να εκτελεστούν επιτυχώς, εξαιτίας του μεγάλου χρόνου μεταφοράς των δεδομένων, της συμφόρησης του δικτύου καθώς και της υποβάθμισης της ποιότητας. Επιπλέον, σε εφαρμογές που απαιτείται ιδιωτικότητα των δεδομένων, αυτή δεν είναι δυνατόν να διασφαλιστεί απόλυτα σε απομακρυσμένες υποδομές. Όλοι αυτοί οι λόγοι οδήγησαν στη δημιουργία του Fog Computing (FC), όπου οι απαιτούμενοι υπολογισμοί γίνονται κοντά στις IoT συσκευές. Με αυτό το τρόπο οι χρήστες ανεξαρτητοποιούνται από τις υποδομές του Cloud και, ταυτόχρονα, ενισχύεται η προστασία των προσωπικών τους δεδομένων [1]. Επιπρόσθετα, το FC, το οποίο ενσωματώνει απρόσκοπτα συσκευές αιχμής δικτύου, παρουσιάζεται ως μια πιο αποτελεσματική λύση για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών. Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του Fog Computing είναι η επέκταση της υπηρεσίας cloud στην άκρη του δικτύου. Κάνοντας τον υπολογισμό, την επικοινωνία, τον έλεγχο και την αποθήκευση πιο κοντά στους τελικούς χρήστες με τη συγκέντρωση των τοπικών πόρων. Τα δεδομένα καταναλώνονται από τις γεωγραφικά καταναμημένες συσκευές. Ως εκ τούτου, ο χρόνος μεταφοράς δεδομένων και η ποσότητα της μετάδοσης (του δικτύου) μειώνονται σημαντικά. Το παράδειγμα ομίχλης μπορεί να ικανοποιήσει αποτελεσματικά τις απαιτήσεις των εφαρμογών που είναι ευαίσθητες σε πραγματικό χρόνο ή λανθάνουσα κατάσταση, και κυρίως να διευκολύνει τα σημεία συμφόρησης εύρους ζώνης δικτύου [2]. Οποιαδήποτε συσκευή που έχει συγκλίνουσα υποδομή μπορεί να λειτουργήσει ως κόμβος ομίχλης και να παρέχει υπηρεσίες υπολογισμού, αποθήκευσης και δικτύου στους χρήστες. Οι συσκευές ομίχλης συνδέονται επίσης με το cloud για να χειρίζονται πολύπλοκη επεξεργασία και μακροπρόθεσμη αποθήκευση, και αυτό το πρότυπο υπολογιστών αναφέρεται επίσης ως IoT-fog-cloud πλαίσιο. Η εικόνα 1 δείχνει τη ροή και την επεξεργασία των Big Data στο περιβάλλον IoT. Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικά ορισμένα είδη αρχιτεκτονικής ομίχλης καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής.



Εικόνα 1. Ροή & επεξεργασία των Big data στο περιβάλλον IoT (Πηγή (Naha 2018))

1.1 Η έννοια του Fog Computing

Το Fog Computing, το οποίο εισήχθη για πρώτη φορά από τη Cisco, επεκτείνει το Cloud Computing με την ανάπτυξη τοπικά υπολογιστών και εγκαταστάσεων επεξεργασίας έως την άκρη του δικτύου. Αυτό αποφέρει πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της επίγνωσης τοποθεσίας, της χαμηλής καθυστέρησης και της ανάλυσης χρόνου για κρίσιμες εφαρμογές. Οι κόμβοι Fog, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τους πόρους και την υποδομή του Fog Computing, βρίσκονται μεταξύ των φυσικών συσκευών στην άκρη του δικτύου και του Cloud. Η κύρια ιδέα είναι ότι επιτρέπει στις συσκευές να μιλούν απευθείας μεταξύ τους χωρίς την ανάγκη να στέλνουν δεδομένα σε όλη τη διαδρομή προς το Cloud, επιτρέποντας έτσι τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και προστατεύοντας ταυτόχρονα την εφαρμογή IoT από τη μετάδοση τεράστιας ποσότητας δεδομένων στο Cloud. Στόχος λοιπόν του Fog Computing είναι η σύνδεση όλων των συσκευών στο Cloud με ανοικτά πρότυπα επικοινωνίας. Τέλος, οι περισσότερες υπηρεσίες IoT και οι εφαρμογές είναι σε πραγματικό χρόνο και, συνεπώς, απαιτούν την έγκαιρη επεξεργασία δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων.

1.2 Ορισμός του Fog Computing

Ο όρος Fog Computing (FC) [5] επινοήθηκε από τη Cisco. Είναι μια νέα τεχνολογία που παρέχει πολλά οφέλη σε διάφορους τομείς, ειδικά στο IoT. Παρόμοια με το Cloud, το Fog Computing παρέχει υπηρεσίες σε χρήστες IoT, όπως επεξεργασία δεδομένων και αποθήκευση. Επιπλέον, βασίζεται στην παροχή δυνατοτήτων επεξεργασίας δεδομένων και αποθήκευσης τοπικά σε συσκευές Fog αντί να τις στέλνει στο Cloud. Τόσο το νέφος όσο και η ομίχλη παρέχουν πόρους αποθήκευσης, πληροφορικής και δικτύωσης.

Σκοπός του Fog Computing στο IoT είναι η βελτίωση της αποδοτικότητας, και η μείωση της ποσότητας των δεδομένων που μεταφέρονται στο Cloud για επεξεργασία, ανάλυση και αποθήκευση. Ως εκ τούτου, τα δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες θα αποστέλλονται σε συσκευές αιχμής δικτύου για επεξεργασία και προσωρινή αποθήκευση, αντί να αποστέλλονται στο Cloud, μειώνοντας έτσι την κυκλοφορία και τον λανθάνοντα χρόνο δικτύου.

Η ενσωμάτωση του Fog Computing με το IoT δημιουργεί μια νέα ευκαιρία για υπηρεσίες, η οποία ονομάζεται ομίχλη ως υπηρεσία (Fog as a Service - Faas), όπου ένας πάροχος υπηρεσιών χτίζει μια σειρά Fog κόμβων σε όλο το γεωγραφικό του αποτύπωμα και ενεργεί ως ιδιοκτήτης σε πολλούς ενοικιαστές από πολλές κάθετες αγορές. Κάθε κόμβος φιλοξενεί τοπικές δυνατότητες υπολογισμού, δικτύωσης και αποθήκευσης. Η Faas θα επιτρέψει σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα να παρέχουν υπηρεσίες στους πελάτες. Σε αντίθεση με το Cloud, το οποίο λειτουργεί κυρίως από μεγάλες εταιρείες που μπορούν να αντέξουν οικονομικά να κατασκευάσουν και να λειτουργήσουν τεράστια κέντρα δεδομένων, η Faas θα επιτρέψει σε μεγάλες και μικρές εταιρείες να αναπτύξουν και να λειτουργήσουν ιδιωτικές ή δημόσιες υπηρεσίες πληροφορικής, αποθήκευσης και ελέγχου σε διαφορετικές κλίμακες για να καλύψουν τις ανάγκες μιας ευρείας ποικιλίας πελατών.

1.3 Αντικείμενο της εργασίας

Το αντικείμενο της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι η συγκριτική μελέτη της αρχιτεκτονικής Fog Computing, η κατανόηση των χαρακτηριστικών της, των πλεονεκτημάτων-μειονεκτημάτων αυτής καθώς και τις εφαρμογές τις οποίες έχει την δυνατότητα να επωφεληθεί.

Για να γίνει όμως αυτό, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η μελέτη του υπόβαθρου τόσο του Fog όσο του Cloud και του IoT. Τέλος, με την προσομοίωση συγκεκριμένων τοπολογιών σε ειδικό περιβάλλον ο αναγνώστης είναι σε θέση να κατανοήσει ακόμα καλύτερα την δομή της.

1.4 Δομή της εργασίας

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται ορισμένες εισαγωγικές έννοιες σχετικά με το τι ονομάζουμε Fog Computing ή αλλιώς υπολογιστική ομίχλη αλλά και τον λόγο για τον οποίο δημιουργήθηκε αυτή η νέα πλατφόρμα. Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται το Cloud Computing, το Fog Computing καθώς και το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), και μελετούνται τα χαρακτηριστικά, τους οι τύποι μοντέλων, οι εφαρμογές τους κλπ. Το τρίτο κεφάλαιο σχετίζεται με την διεξοδική μελέτη της αρχιτεκτονικής του Fog Computing. Έπειτα, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εφαρμογές της υπολογιστικής ομίχλης σε διάφορους τομείς. Ακόμη, στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζεται μια περίπτωση μελέτης του FC σε προγραμματιστικό περιβάλλον (eclipse/ifogsim). Τέλος, η πτυχιακή ολοκληρώνεται με το έκτο κεφάλαιο στο οποίο καταγράφονται μερικά συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από το σύνολο της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Υπόβαθρο

2.1 Cloud Computing

2.1.1 Ορισμός

Το Cloud computing, που αναφέρεται συχνά ως το "σύννεφο", είναι σε θέση να παρέχει υπολογιστικούς πόρους μέσω διαδικτύου (π.χ. servers, apps κλπ), από κεντρικά συστήματα που βρίσκονται απομακρυσμένα από τον τελικό χρήστη. Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να τον εξυπηρετούν αυτοματοποιώντας διαδικασίες, παρέχοντας ευκολίες και υψηλή ευελιξία σύνδεσης. Διάφορες υπηρεσίες όπως για παράδειγμα τα κοινωνικά δίκτυα βασίζονται στη συγκεκριμένη τεχνολογία.



Εικόνα 2.1. Απεικόνιση Υπολογιστικού Νέφους

2.1.2 Αρχιτεκτονική Cloud

Η αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος του Cloud Computing μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερα επίπεδα, ανάλογα με τους πόρους που διαχειρίζονται σε κάθε επίπεδο:

1) επίπεδο υλικού-hardware : Στο συγκεκριμένο επίπεδο γίνεται η διαχείριση των φυσικών πόρων του συστήματος cloud, όπως για παράδειγμα οι εξυπηρετητές (servers), τα αποθηκευτικά μέσα (storage devices) και οι συσκευές δικτύου (routers, switches κλπ.).

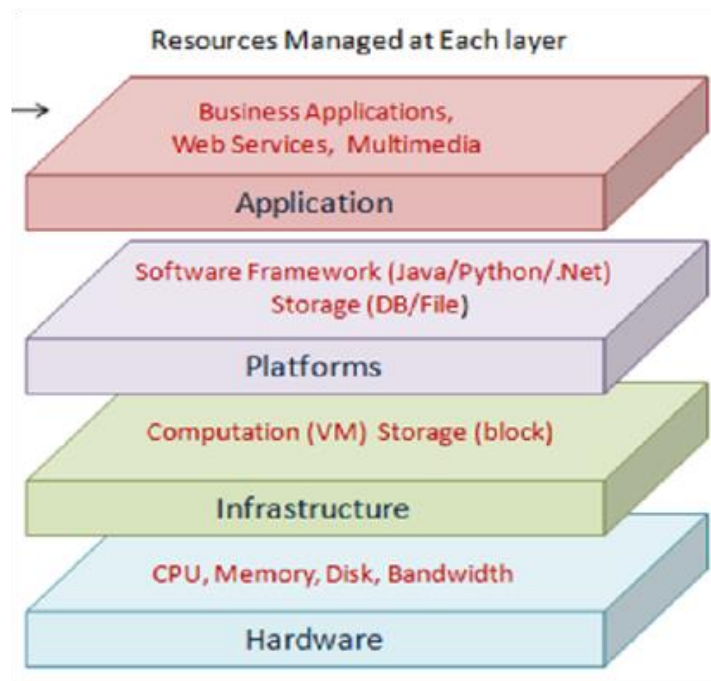
2) επίπεδο υποδομής-infrastructure : Το επίπεδο υποδομής αποτελείται από μια «δεξαμενή» υπολογιστικών και αποθηκευτικών πόρων (computing και storage resources), η οποία ομαδοποιεί τους φυσικούς πόρους του επιπέδου υλικού (hardware layer) με χρήση τεχνολογιών εικονικοποίησης (virtualization-virtual machines).

3) επίπεδο πλατφόρμας-platform : Το επίπεδο πλατφόρμας περιλαμβάνει τα λειτουργικά συστήματα (operating systems), καθώς και τα περιβάλλοντα ανάπτυξης εφαρμογών (application frameworks) και ανάπτυξης-διαχείρισης βάσεων δεδομένων (databases). Ο σκοπός αυτού του επιπέδου είναι η αποφυγή ανάπτυξης εφαρμογών απευθείας πάνω στους πόρους του

προηγούμενου επιπέδου (infrastructure level) με απώτερο σκοπό τη μεγαλύτερη ευελιξία και βέλτιστη χρήση των πόρων των κατώτερων επιπέδων.

4) επίπεδο εφαρμογών-applications : Το επίπεδο εφαρμογών βρίσκεται στο ανώτερο επίπεδο της ιεραρχίας και αποτελείται από τις εφαρμογές (applications) του Cloud που χρησιμοποιούν οι πελάτες-χρήστες για την επίτευξη αποδοτικότητας, διαθεσιμότητας αλλά και χαμηλότερου κόστους λειτουργίας.

Ουσιαστικά τα τρία πρώτα επίπεδα (υλικού, υποδομής και πλατφόρμας) αφορούν το λεγόμενο **back-end**, δηλαδή αυτό που σχετίζεται με την υποδομή και τις προσφερόμενες υπηρεσίες του παρόχου, ενώ το επίπεδο εφαρμογών αφορά το **front-end**, δηλαδή αυτό που βλέπει και χρησιμοποιεί ο πελάτης-χρήστης, μέσα από τις διάφορες συσκευές που μπορεί να χρησιμοποιεί (διακομιστές, σταθεροί και φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, tablets, smartphones κλπ.).



Εικόνα 2.2 Επίπεδα Cloud Computing και αντίστοιχοι πόροι [12]

2.1.3 Χαρακτηριστικά

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του Cloud Computing είναι πέντε, τα οποία εξηγούνται παρακάτω :

1. Αυτοεξυπηρέτηση

Ένας καταναλωτής έχει τη δυνατότητα να κάνει χρήση των υπολογιστικών πόρων που χρειάζεται, όπως ο χρόνος που θα χρησιμοποιήσει στον server ή το μέγεθος του αποθηκευτικού χώρου που θα χρειαστεί μέσω δικτύου, αυτόματα χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη αλληλεπίδραση με κάθε πάροχο υπηρεσιών.

2. Ευρεία πρόσβαση στο δίκτυο

Οι δυνατότητες αυτές είναι διαθέσιμες μέσω δικτύου και υπάρχει προσπέλαση μέσω τυποποιημένων μηχανισμών οι οποίοι προωθούν τη χρήση από πλατφόρμες πελατών. Παραδείγματος χάριν, κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, PDA, και άλλα.

3. Συγκέντρωση πόρων

Οι υπολογιστικοί πόροι του παρόχου συγκεντρώνονται για να εξυπηρετούν πολλούς καταναλωτές χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο πολλαπλών μισθωτών, με διαφορετικούς φυσικούς και εικονικούς πόρους δυναμικώς εκχωρημένους.

4. Ταχεία ελαστικότητα

Οι συγκεκριμένοι πόροι μπορούν να δεσμευτούν άμεσα, ελαστικά και πολλές φορές αυτόματα, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν άμεσα την ένδειξη ως μη διαθέσιμοι και γρήγορα να αποδεσμευτούν και να εμφανιστούν και πάλι ως διαθέσιμοι. Στον καταναλωτή, οι διαθέσιμες δυνατότητες παροχής υπηρεσιών συχνά εμφανίζονται απεριόριστες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε ποσότητα ανά πάσα στιγμή.

5. Μετρούμενη υπηρεσία

Τα συστήματα Cloud ελέγχουν και βελτιστοποιούν αυτόματα τη χρήση των υπολογιστικών πόρων, αξιοποιώντας τη χρήση συστημάτων μέτρησης σε κάποιο από τα επίπεδα αφαίρεσης που εισάγουν, το οποίο και είναι κατάλληλο για την συγκεκριμένη παρεχόμενη υπηρεσία (αποθηκευτικού χώρου, υπολογιστικής ισχύος, εύρους ζώνης, ενεργού αριθμού χρηστών κλπ.). Η χρήση των πόρων μπορεί να παρακολουθείται, να ελέγχεται και να αναφέρεται, παρέχοντας διαφάνεια τόσο για τον πάροχο όσο και για τον καταναλωτή της χρησιμοποιούμενης υπηρεσίας [7].

2.1.4 Είδη υπηρεσιών

Οι πάροχοι Cloud προσφέρουν τις "υπηρεσίες" τους σύμφωνα με διαφορετικά μοντέλα, εκ των οποίων τα τρία πρότυπα μοντέλα περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

1. Λογισμικό ως υπηρεσία Software as a Service (SaaS)

Η δυνατότητα που παρέχεται στους χρήστες είναι να χρησιμοποιούν τις εφαρμογές που διατίθενται στο Cloud. Οι εφαρμογές αυτές είναι προσβάσιμες από διάφορες συσκευές είτε μέσω διεπαφής, όπως ενός προγράμματος περιήγησης ιστού (π.χ. ηλεκτρονικού ταχυδρομείου μέσω διαδικτύου), είτε μέσω διεπαφής προγράμματος.

2. Πλατφόρμα ως υπηρεσία Platform as a Service (PaaS)

Κάνοντας χρήση αυτού του είδους των υπηρεσιών ο χρήστης μπορεί να λειτουργήσει εφαρμογές τις οποίες έχει αναπτύξει ο ίδιος, χρησιμοποιώντας γλώσσα προγραμματισμού ή εργαλεία που παρέχονται από τον πάροχο της υπηρεσίας στη δομή του Cloud. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης δεν διαχειρίζεται ή ελέγχει την υποκείμενη υποδομή του Cloud, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων, των διακομιστών, των λειτουργικών συστημάτων ή του χώρου αποθήκευσης, αλλά έχει τον έλεγχο των αναπτυγμένων εφαρμογών και ενδεχομένως των ρυθμίσεων διαμόρφωσης για το περιβάλλον φιλοξενίας εφαρμογών.»

3. Υποδομή ως υπηρεσία (Infrastructure as a Service - IaaS)

Η "Υποδομή ως υπηρεσία" (IaaS) αναφέρεται σε ηλεκτρονικές υπηρεσίες που παρέχουν API υψηλού επιπέδου που χρησιμοποιούνται για διαφορές λεπτομερειών χαμηλού επιπέδου της υποκείμενης υποδομής δικτύου όπως φυσικοί υπολογιστικοί πόροι, τοποθεσία, κλιμάκωση, ασφάλεια, , όπως το Xen, το Oracle VirtualBox, που εκτελούν τις εικονικές μηχανές ως φιλοξενούμενοι.

2.1.5 Μοντέλα Υπηρεσιών Cloud

- **Private Cloud:**

Το ιδιωτικό νέφος ή αλλιώς Private Cloud είναι υποδομή Cloud που λειτουργεί αποκλειστικά για έναν μόνο οργανισμό, είτε διαχειρίζεται εσωτερικά, είτε από τρίτο μέρος και φιλοξενείται, είτε εξωτερικά. Με λίγα λόγια, πρόκειται για ένα σύνολο υπολογιστικών πόρων που προσφέρονται με τέτοιο τρόπο ώστε να σχεδιάζονται, να καθορίζονται και να ελέγχονται από έναν συγκεκριμένο οργανισμό. Επιπρόσθετα, τα Private Clouds συμβάλλουν στην σταθεροποίηση και στην βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός ήδη υπάρχοντος hardware σε ένα συγκεκριμένο data center μέσω των τεχνολογιών Virtualization που χρησιμοποιούν, μειώνοντας με αυτό το τρόπο τα λειτουργικά κόστη και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα του data center.

- **Public Cloud:**

Ένα Cloud ονομάζεται "δημόσιο νέφος" ή Public Cloud όταν οι υπηρεσίες εκχωρούνται μέσω δικτύου το οποίο είναι ανοιχτό για δημόσια χρήση. Οι δημόσιες υπηρεσίες Cloud ενδέχεται να είναι δωρεάν. Από τεχνικής απόψεως μπορεί να υπάρχει ελάχιστη ή καμία διαφορά μεταξύ δημόσιας και ιδιωτικής αρχιτεκτονικής, ωστόσο η ασφάλεια μπορεί να διαφέρει αισθητά όσον αφορά τις υπηρεσίες (εφαρμογές, αποθήκευση και άλλους πόρους) που παρέχονται από πάροχο υπηρεσιών για ένα κοινό και όταν η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω ενός μη αξιόπιστου δικτύου. Παρ' όλα αυτά, σαν μοντέλο χαρακτηρίζεται από πολλά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα, οι υπηρεσίες προσφέρονται στους χρήστες με ασφάλεια, ελαστικότητα και συνεχή διαθεσιμότητα. Επιπλέον, χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευελιξία λόγω της άμεσης διάθεσης υπηρεσιών και τέλος, η χρέωση αφορά μόνο τις υπηρεσίες που θα χρησιμοποιηθούν.

- **Community Cloud:**

Το συγκεκριμένο μοντέλο διαθέτει υποδομή η οποία είναι διαμοιρασμένη από πολλούς οργανισμούς και εξυπηρετεί συγκεκριμένη κοινότητα. Η κοινότητα αυτή έχει ως κοινό τόπο κάποιο συγκεκριμένο στόχο ή ενδιαφέρον. Αυτό το μοντέλο έχει ως κύριο χαρακτηριστικό να μπορεί γίνει διαχειρίσιμο από έναν οργανισμό ή την εποπτεία του να την έχει ένας τρίτος οργανισμός ή επιχείρηση.

- **Hybrid Cloud:**

Το μοντέλο αυτό αποτελεί μια σύνθεση δύο ή περισσότερων Clouds (ιδιωτικών, κοινοτικών ή δημόσιων) που παραμένουν ξεχωριστές οντότητες αλλά συνδέονται μεταξύ τους, προσφέροντας τα οφέλη από τα μοντέλα πολλαπλής ανάπτυξης.

2.2 Fog Computing

2.2.1 Τα χαρακτηριστικά του Fog Computing

Το Fog Computing εκτελεί τα καθήκοντα υπολογισμού, επικοινωνίας και αποθήκευσης σε συσκευές αιχμής του χρήστη. Οι δυνατότητες εξυπηρέτησης είναι η εγγύτητα με τους τελικούς χρήστες. Αυτό είναι το πιο βασικό χαρακτηριστικό και το πιο σημαντικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με άλλα παραδοσιακά μοντέλα πληροφορικής. Επιπλέον, υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

1) Χαμηλός λανθάνων χρόνος και αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο

Οι κόμβοι Fog στην άκρη του δικτύου τοπικά αποκτούν τα δεδομένα που παράγονται από αισθητήρες και συσκευές, επεξεργάζονται και αποθηκεύουν δεδομένα από συσκευές άκρης δικτύου (network edge devices) στο τοπικό δίκτυο. Αυτό μειώνει σημαντικά την κίνηση των δεδομένων μέσω του Internet και παρέχει γρήγορες τοπικές υπηρεσίες υψηλής ποιότητας που υποστηρίζονται από τελικά σημεία. Ως εκ τούτου, επιτρέπει χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και ικανοποιεί τη ζήτηση των αλληλεπιδράσεων σε πραγματικό χρόνο, ειδικά για λανθάνουσα

κατάσταση ή χρονικά ευαίσθητες εφαρμογές. Ακόμη, σύμφωνα με την έρευνα των Sarkar και Misra (2016) [2] αποδείχθηκε ότι ο λανθάνων χρόνος υπηρεσίας για ένα σύστημα που σχετίζεται με το Fog Computing ήταν σημαντικά χαμηλότερος από αυτόν με το Cloud Computing με τη θεωρητική μοντελοποίηση της αρχιτεκτονικής Fog.

2) Εξοικονόμηση εύρους ζώνης

Εκτός από το εύρος ζώνης το Fog Computing επεκτείνει τις δυνατότητες υπολογισμού και αποθήκευσης στην άκρη του δικτύου για να εκτελέσει την επεξεργασία στοιχείων και την αποθήκευση μεταξύ των τελικών κόμβων και του παραδοσιακού Cloud. Ορισμένες εργασίες υπολογισμού, για παράδειγμα, η προεπεξεργασία δεδομένων, η κατάργηση πλεονασμού, ο καθαρισμός και το φιλτράρισμα δεδομένων, η εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών εκτελούνται τοπικά. Μόνο ένα μέρος των χρήσιμων δεδομένων μεταδίδεται στο Cloud και τα περισσότερα από τα δεδομένα δεν χρειάζεται να μεταδίδονται μέσω του Internet. Για παράδειγμα, ο Hu et al. (2017a) πρότεινε ένα σύστημα αναγνώρισης και επίλυσης προσώπου βάσει υπολογιστικού νέφους, όπου οι κόμβοι ομίχλης μετέδωσαν μόνο τα αναγνωριστικά προσώπου στο cloud. Σε σύγκριση με το παραδοσιακό σύστημα που βασίζεται στο υπολογιστικό νέφος, το οποίο πρέπει να μεταδώσει τις πρώτες εικόνες προσώπου στο Cloud, το Fog Computing θα μπορούσε να μειώσει αποτελεσματικά την ποσότητα μετάδοσης του δικτύου και να εξοικονομήσει εύρος ζώνης. Επιπλέον, σε ορισμένα σενάρια εφαρμογής, η λήψη αποφάσεων πραγματοποιείται τοπικά στους Fog κόμβους και δεν ολοκληρώνεται από το Cloud. Με αυτόν τον τρόπο, το μοντέλο υπολογιστών ομίχλης εξοικονομεί το εύρος ζώνης αποτελεσματικά. Αυτό το πλεονέκτημα θα γίνει όλο και πιο σημαντικό μαζί με την αύξηση του όγκου των δεδομένων στην τρέχουσα εποχή των μαζικών δεδομένων.

3) Υποστήριξη για κινητικότητα

Σε σενάρια FC, υπάρχουν διάφορες κινητές συσκευές (π.χ. έξυπνα τηλέφωνα, οχήματα και έξυπνα ρολόγια), έτσι ώστε η χωρική κινητικότητα στο τερματικό στρώμα να είναι συχνή, ενώ υπάρχουν και ορισμένες τελικές συσκευές που παρέμειναν στατικές, όπως κάμερες κυκλοφορίας. Ομοίως, ο Fog κόμβος στο στρώμα ομίχλης μπορεί επίσης να είναι μια κινητή ή στατική πλατφόρμα υπολογιστικών πόρων. Μπορεί να αναπτυχθεί στο αεροδρόμιο και την καφετέρια, ή στα κινητά οχήματα και τρένα.

Είναι σημαντικό ο υπολογιστής Fog να επικοινωνεί απευθείας με κινητές συσκευές. Επιπλέον, διάφορες κινητές συσκευές μπορούν επίσης να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους. Τα δεδομένα δεν χρειάζεται να διαβιβάζονται στο Cloud ή ακόμα και στο σταθμό βάσης. Τελικές ή ενδιάμεσες συσκευές επεξεργάζονται τον τεράστιο όγκο δεδομένων που δημιουργείται από το IoT καθώς επίσης πραγματοποιούν ανάλυση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Έτσι μπορεί να παρέχει υπηρεσίες για πιο εκτεταμένους κόμβους.

Χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο δρομολόγησης, επικοινωνίας ή διεύθυνσης, οι εφαρμογές Fog μπορούν να αλληλεπιδρούν και να επικοινωνούν απευθείας με τους χρήστες και τις κινητές συσκευές. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο διαχωρισμού εντοπισμού/αναγνωριστικού του κόμβου κινητής τηλεφωνίας (LISP-MN) αποσυνδέει την ταυτότητα κεντρικού υπολογιστή από την ταυτότητα τοποθεσίας και απαιτεί ένα καταναμημένο σύστημα καταλόγου για την υποστήριξη τεχνικών κινητικότητας. Επιπλέον, η πρόσβαση των κινητών συσκευών βασίζεται στη φυσική εγγύτητα από ορισμένες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως Bluetooth, επικοινωνία κοντινού πεδίου (NFC) ή επικοινωνία χιλιοστών κύματος. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να αποφευχθεί η διαλείπουσα σύνδεση δικτύου που προκαλείται από την κινητικότητα. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας την ιδέα του "Data Sherpa", τα δεδομένα από έναν στατικό αισθητήρα (άκρη) μπορούν να μεταφερθούν σε ένα κινητό έξυπνο τηλέφωνο (άκρη) με τεχνολογία Bluetooth όταν είναι κοντά, και στη συνέχεια το έξυπνο τηλέφωνο μεταδίδει τα δεδομένα στην ομίχλη ή το σύννεφο.

Η αρχιτεκτονική FC υποστηρίζει απαιτήσεις κινητικότητας βάσει τοποθεσίας και επιτρέπει στους διαχειριστές να ελέγχουν πού εισέρχονται οι χρήστες και οι κινητές συσκευές και πώς έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες. Αυτό βελτιώνει την απόδοση του συστήματος και την ποιότητα των υπηρεσιών.

4) Η γεωγραφική κατανομή και η αποκεντρωμένη ανάλυση δεδομένων

Σε σύγκριση με το πιο συγκεντρωτικό Cloud Computing, οι υπηρεσίες και η εφαρμογή του Fog Computing υποστηρίζουν τη γεωγραφική καταναμημένη ανάπτυξη. Αυτή αποτελείται από μεγάλο αριθμό ευρέως καταναμημένων κόμβων, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να αντλούν τις θέσεις των τελικών συσκευών, προκειμένου να υποστηρίξουν την κινητικότητα. Αντί της επεξεργασίας και της αποθήκευσης πληροφοριών στο κεντρικό κέντρο δεδομένων μακριά από τον τελικό χρήστη, η αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική του Fog Computing εξασφαλίζει την εγγύτητα της ανάλυσης δεδομένων στον πελάτη. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να υποστηρίξει ταχύτερη ανάλυση των μεγάλων δεδομένων, καλύτερες υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας και πιο ισχυρές δυνατότητες λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.

Στο IoT και το πανταχού παρόν περιβάλλον υπολογιστών, ο στόχος είναι να επιτευχθεί η διασύνδεση μεταξύ των πανταχού παρόντων πραγμάτων. Αυτά τα πράγματα δεν είναι μόνο τεράστια σε αριθμό, αλλά και ευρέως καταναμημένα. Το χαρακτηριστικό της γεωγραφικής κατανομής και της αποκεντρωμένης ανάλυσης δεδομένων μπορεί να ανταποκριθεί αποτελεσματικά στις παραπάνω απαιτήσεις. Για παράδειγμα, κατά την εφαρμογή του Διαδικτύου των οχημάτων (IoV), το Fog Computing μπορεί να παρέχει πληθώρα υπηρεσιών IoV (συμπεριλαμβανομένης της ασφάλειας της κυκλοφορίας και της ανάλυσης δεδομένων, των αστικών και οδικών συνθηκών, των πληροφοριών ψυχαγωγίας κ.λπ.) με βάση τη σύνδεση και την αλληλεπίδραση οχήματος με όχημα, σημεία πρόσβασης οχημάτων.

5) Ετερογένεια

Γενικά, οι κόμβοι Fog έρχονται σε διαφορετικούς παράγοντες μορφής και αναπτύσσονται σε μια ευρεία ποικιλία του περιβάλλοντος με τη μορφή φυσικού κόμβου ή εικονικού κόμβου. Συνήθως κυμαίνονται από διακομιστές υψηλής απόδοσης, δρομολογητές άκρης(edge routers), πύλες, σημεία πρόσβασης, σταθμούς βάσης, κλπ. Αυτές οι πλατφόρμες υλικού έχουν διαφορετικά επίπεδα δυνατοτήτων υπολογισμού και αποθήκευσης, εκτελούν διάφορα είδη λειτουργικού συστήματος (OS) και φορτώνουν διαφορετικές εφαρμογές λογισμικού. Το Fog Computing είναι μια εξαιρετικά εικονική πλατφόρμα, έτσι ώστε ορισμένοι εικονικοί κόμβοι, για παράδειγμα, εικονικοί κόμβοι υπολογιστών και εικονικοί κόμβοι δικτύου, έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως Fog κόμβοι. Επομένως, οι συγκεκριμένοι κόμβοι είναι ετερογενείς.

Επιπλέον, η υποδομή αυτού δικτύου είναι επίσης ετερογενής, η οποία περιλαμβάνει όχι μόνο συνδέσεις υψηλής ταχύτητας που συνδέονται με το κέντρο δεδομένων, αλλά και τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (για παράδειγμα, WLAN, WiFi, 3G, 4G, ZigBee, κ.λπ.) που συνδέονται με τις συσκευές άκρης (edge devices).

Η πλατφόρμα Fog Computing οργανώνεται από μια πολυεπίπεδη ιεραρχική αρχιτεκτονική από την άκρη στον πυρήνα. Σε διάφορες εφαρμογές IoT (συμπεριλαμβανομένων των ευφώνων μεταφορών, έξυπνο σπίτι, Διαδίκτυο των οχημάτων, κ.λπ.), οι πόροι και οι διεπαφές υπηρεσιών των κόμβων Fog είναι ιδιαίτερα δυναμικές και ετερογενείς σε διαφορετικά επίπεδα ιεραρχίας αρχιτεκτονικής για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων των ευρέως καταναμημένων εφαρμογών που χρειάζονται χαμηλό λανθάνοντα χρόνο.

6) Διαλειτουργικότητα

Λόγω της ετερογενούς φύσης τους, οι κόμβοι Fog και οι τελικές συσκευές προέρχονται από διαφορετικούς παρόχους και συνήθως αναπτύσσονται στα διάφορα περιβάλλοντα. Το Fog Computing πρέπει να είναι σε θέση να συνεργάζεται με διάφορους παρόχους για την αντιμετώπιση ευρέος φάσματος υπηρεσιών και για την απρόσκοπτη υποστήριξη τους. Για παράδειγμα, η υπηρεσία ροής που υποστηρίζεται από την πληροφορική Fog απαιτεί τη συνεργασία διαφορετικών παρόχων, στους οποίους οι υπηρεσίες είναι ομόσπονδες μεταξύ τομέων.

Λαμβάνοντας ως παράδειγμα το έξυπνο σύστημα μεταφοράς που βασίζεται στο FC, απαιτείται ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μαζί με τη δυναμική μετάδοση πληροφοριών μεταξύ των έξυπνων οχημάτων, των φωτεινών σηματοδοτών, των κόμβων Fog και των εφαρμογών ομίχλης. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η πολύπλοκη συνεργασία και η ανταλλαγή δεδομένων, προτείνεται ένα σύστημα διαχείρισης πόρων που βασίζεται σε πολιτικές για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας και την εξασφάλιση της συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων πόρων που ζητούνται από τους χρήστες. Οι προδιαγραφές πολιτικής καθορίζονται για την υποστήριξη των απαιτήσεων πολιτικής (συμπεριλαμβανομένων των επιχειρησιακών απαιτήσεων, των απαιτήσεων δικτύου και των απαιτήσεων ασφαλείας) και για τη διασφάλιση της διατήρησης μιας ομοιόμορφης αλλά ασφαλούς συνεργασίας όταν η επικοινωνία γίνεται σε ένα δυναμικό και καταναμημένο περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό, το Fog Computing πραγματοποιεί τη διασύνδεση, και τη διαλειτουργικότητα των ετερογενών συσκευών και πόρων.

7) Ασφάλεια δεδομένων και προστασία της ιδιωτικής ζωής

Το Fog Computing, φιλοξενεί υπηρεσίες κλειστές για τους τελικούς χρήστες. Επομένως, έχει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα όσον αφορά την ασφάλεια των δεδομένων και την προστασία της ιδιωτικής ζωής. Πρώτον, μπορεί να προστατεύσει τα δεδομένα μέσω κρυπτογράφησης και απομόνωσης. Οι κόμβοι Fog παρέχουν πολιτική ελέγχου πρόσβασης, συστήματα κρυπτογράφησης, έλεγχο ακεραιότητας και μέτρα απομόνωσης για την προστασία της ασφάλειας ευαίσθητων δεδομένων προστασίας προσωπικών δεδομένων. Δεύτερον, μπορεί να αποφύγει τους κινδύνους που προκαλούνται από την αναβάθμιση του συστήματος. Η απομακρυσμένη αναβάθμιση των παραδοσιακών συσκευών είναι χαμηλής απόδοσης και υπάρχουν μειονεκτήματα, όπως η αναβάθμιση υλικολογισμικού που έχει χαθεί. Το Fog Computing δεν χρειάζεται Over-the-Air Technology (OTA) firmware αναβάθμιση του συστήματος, μόνο ενημέρωση των αλγορίθμων και μικρό εφαρμογές στο τέλος.

8) Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

Στην αρχιτεκτονική Fog Computing οι κόμβοι Fog διασκορπίζονται γεωγραφικά. Έτσι, δεν θα παραχθεί πολλή θερμότητα λόγω της συγκέντρωσης, και δεν χρειάζεται το πρόσθετο σύστημα ψύξης. Επιπλέον, η λειτουργία επικοινωνίας μικρής εμβέλειας και ορισμένες βέλτιστες πολιτικές διαχείρισης ενέργειας των κινητών κόμβων προφανώς μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας επικοινωνίας. Αυτό θα οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, εξοικονόμηση αυτής και μείωση του κόστους. Το Fog Computing παρέχει ένα πιο πράσινο πρότυπο υπολογιστών. Οι ερευνητές Sarkar και Misra [2] το 2016 απέδειξαν ότι η ομίχλη υπολογιστών χρησίμευσε ως μια πιο πράσινη πλατφόρμα υπολογιστών από θεωρητική μοντελοποίηση της αρχιτεκτονικής Fog. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση κατανάλωση ενέργειας για τη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική είναι 40,48% μικρότερη από το συμβατικό μοντέλο του Cloud. Ο Jalali et al. (2016) πρότεινε και υιοθέτησε μοντέλα κατανάλωσης ενέργειας βασισμένα στη ροή και στο χρόνο για να συγκρίνει την κατανάλωση ενέργειας μιας υπηρεσίας που παρέχεται με τη χρήση νανοδευμάτων (nDCs-nano Data Centers) που χρησιμοποιούνται στον Fog Computing με τη χρήση κεντρικών κέντρων δεδομένων (DC) στο Cloud. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι οι εφαρμογές που εκφόρτωσαν πηγή δεδομένων από κεντρικούς DCs σε nDCs θα μπορούσαν να εξοικονομήσουν αποτελεσματικά ενέργεια .

2.2.2 Μοντέλα Υπηρεσιών

Το Fog Computing είναι μια επέκταση του παραδοσιακού μοντέλου του Cloud, όπου υλοποιήσεις της αρχιτεκτονικής μπορούν να βρίσκονται σε πολλαπλά επίπεδα μιας τοπολογίας

δικτύου. Όπως και με το Cloud, οι ακόλουθοι τύποι μοντέλων υπηρεσιών μπορούν να αναπτυχθούν ως εξής:

✓ **Λογισμικό ως υπηρεσία (Software as a Service - SaaS):**

Η δυνατότητα που παρέχεται στον πελάτη της υπηρεσίας Fog είναι να χρησιμοποιεί τις εφαρμογές του παρόχου υπηρεσιών Fog, οι οποίες τρέχουν σε ένα cluster από ομοσπονδιοποιημένους Fog κόμβους που διαχειρίζεται ο πάροχος. Αυτού του είδους η υπηρεσία είναι παρόμοια με το μοντέλο Software as a Service του Cloud και συνεπάγεται ότι η τελική συσκευή αποκτά πρόσβαση στις εφαρμογές του fog κόμβου μέσω μιας ελαφριάς διεπαφής πελάτη ή μιας διεπαφής προγράμματος. Ο τελικός χρήστης δεν διαχειρίζεται ή ελέγχει την υποκείμενη υποδομή του Fog κόμβου η οποία περιλαμβάνει το δίκτυο, τους servers, τα λειτουργικά συστήματα, τον αποθηκευτικό χώρο ή ακόμα και ξεχωριστές δυνατότητες εφαρμογής, με την πιθανή εξαίρεση κάποιων περιορισμένων ρυθμίσεων παραμετροποίησης της εφαρμογής που είναι συγκεκριμένα για τον εκάστοτε χρήστη.

✓ **Πλατφόρμα ως υπηρεσία (Platform as a Service - Paas):**

Η δυνατότητα που παρέχεται στον πελάτη της Fog υπηρεσίας διαφέρει ελάχιστα σε σχέση με το μοντέλο Platform as a Service του Cloud computing και επιτρέπει την ανάπτυξη πάνω σε πλατφόρμες των ομοσπονδιοποιημένων Fog κόμβων. Με αυτό το τρόπο, δημιουργείται ένα cluster από εφαρμογές που κατασκευάζει ο πελάτης ή από εφαρμογές που αποκτά ο πελάτης και έχουν δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας γλώσσες προγραμματισμού, βιβλιοθήκες, υπηρεσίες και εργαλεία που υποστηρίζει ο πάροχος υπηρεσιών Fog. Επιπρόσθετα ο πελάτης δεν διαχειρίζεται ή ελέγχει την υποκείμενη πλατφόρμα και υποδομή η οποία περιλαμβάνει το δίκτυο, τους servers, τα λειτουργικά συστήματα και τον αποθηκευτικό χώρο. Αντίθετα, έχει τον έλεγχο των εφαρμογών που αναπτύσσονται και πιθανώς προβαίνει σε ρυθμίσεις παραμετροποίησης για το περιβάλλον το οποίο φιλοξενεί αυτές τις εφαρμογές.

✓ **Υποδομή ως υπηρεσία (Infrastructure as a Service - IaaS):**

Η δυνατότητα που παρέχεται στον πελάτη με τη βοήθεια της Fog υπηρεσίας είναι να παρέχει επεξεργαστικούς, αποθηκευτικούς, δικτυακούς και άλλους θεμελιώσεις υπολογιστικούς πόρους αξιοποιώντας την υποδομή των fog κόμβων οι οποίοι δημιουργούν ένα ομοσπονδιοποιημένο cluster. Όπως και στο μοντέλο Infrastructure as a Service του Cloud Computing, ο πελάτης μπορεί να αναπτύσσει και να τρέχει λογισμικό, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει λειτουργικά συστήματα και εφαρμογές. Ο πελάτης δεν διαχειρίζεται ή ελέγχει την υποκείμενη υποδομή του cluster των Fog κόμβων, αλλά έχει τον έλεγχο πάνω στα λειτουργικά συστήματα, στον αποθηκευτικό χώρο και τις εφαρμογές που αναπτύσσονται πάνω στην υποδομή. Επίσης, έχει πιθανώς περιορισμένο έλεγχο στο να επιλέγει συστατικά στοιχεία του δικτύου (πχ τείχη προστασίας - firewalls).

2.2.3 Μοντέλα ανάπτυξης

Αφού το Fog Computing αναγνωρίζεται και ορίζεται ως μια επέκταση του παραδοσιακού μοντέλου του Cloud, υποστηρίζονται επίσης τα ακόλουθα μοντέλα ανάπτυξης:

- **Ιδιωτικός Fog κόμβος (Private Fog node):** Πρόκειται για έναν κόμβο ο οποίος παρέχεται για αποκλειστική χρήση από έναν μοναδικό οργανισμό που αποτελείται από πολλαπλούς πελάτες (πχ επιχειρησιακές μονάδες). Μπορεί να τον κατέχει, να τον διαχειρίζεται και να τον λειτουργεί ο οργανισμός ή κάποιος τρίτος ή συνδυασμός αυτών και έχει επίσης τη δυνατότητα να βρίσκεται εντός ή εκτός των χώρων του οργανισμού.
- **Fog κόμβος κοινότητας (Community Fog node):** Είναι ένας κόμβος που παρέχεται για αποκλειστική χρήση από μια συγκεκριμένη κοινότητα πελατών από οργανισμούς που μοιράζονται κοινά ενδιαφέροντα (πχ αποστολής, απαιτήσεις ασφάλειας, πολιτικές και σκέψεις συμμόρφωσης). Μπορούν να τον κατέχουν, να τον διαχειρίζονται και να τον λειτουργούν ένας ή περισσότεροι οργανισμοί μέσα στην κοινότητα, κάποιος τρίτος ή συνδυασμός αυτών και μπορεί να βρίσκεται εντός ή εκτός των χώρων της κοινότητας.
- **Δημόσιος Fog κόμβος (Public fog node):** Είναι ένας Fog κόμβος ο οποίος παρέχεται για ανοιχτή χρήση από το γενικό κοινό. Μπορεί να τον κατέχει, να τον διαχειρίζεται και να τον λειτουργεί μια επιχείρηση, ένας ακαδημαϊκός ή κυβερνητικός οργανισμός ή κάποιος συνδυασμός αυτών. Βρίσκεται στους χώρους του παρόχου Fog υπηρεσιών.
- **Υβριδικός Fog κόμβος (Hybrid fog node):** Πρόκειται για έναν σύνθετο Fog κόμβο ο οποίος αποτελεί συνδυασμό δύο ή περισσότερων fog κόμβων (ιδιωτικών, κοινότητας ή δημόσιων) που παραμένουν μοναδικές οντότητες αλλά είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με προτυποποιημένη ή ιδιόκτητη τεχνολογία, η οποία επιτρέπει την φορητότητα δεδομένων και εφαρμογών.

2.2.4 Οφέλη του Fog Computing

Το FC επεκτείνει το μοντέλο Cloud όπως αναφέρθηκε προηγουμένως έως την άκρη του δικτύου. Αν και τα δύο χρησιμοποιούν σχεδόν τους ίδιους πόρους (δικτύωση, πληροφορική και αποθήκευση) και έχουν αρκετά παρόμοιους μηχανισμούς και χαρακτηριστικά (εικονική διαμόρφωση, πολλαπλή μίσθωση), το FC προσφέρει πολλά οφέλη για τις συσκευές IoT. Τα οφέλη αυτά μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- i. **Μεγαλύτερη ευελιξία των επιχειρήσεων:** Με τη χρήση των σωστών εργαλείων, οι εφαρμογές FC μπορούν να αναπτυχθούν γρήγορα αλλά και να επεξεργαστούν. Επιπλέον, αυτές οι εφαρμογές μπορούν να προγραμματίσουν τη μηχανή για να εργαστούν σύμφωνα με τις ανάγκες πελατών.
- ii. **Χαμηλός λανθάνων χρόνος:** Το FC υποστηρίζει υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο (π.χ. παιχνίδια, ροή βίντεο) .
- iii. **Γεωγραφική και μεγάλης κλίμακας κατανομή:** Το FC παρέχει καταναμημένους πόρους πληροφορικής και αποθήκευσης σε μεγάλες και ευρέως καταναμημένες εφαρμογές.
- iv. **Χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα:** Με την επεξεργασία επιλεγμένων δεδομένων τοπικά αντί αυτά να σταλούν στο Cloud για ανάλυση, γίνεται εξοικονόμηση του εύρους ζώνης δικτύου.

v.Ευελιξία και ετερογένεια: Το FC επιτρέπει τη συνεργασία διαφορετικών φυσικών περιβαλλόντων και υποδομών μεταξύ πολλαπλών υπηρεσιών .

vi.Δυνατότητα κλιμάκωσης: Η εγγύτητα του FC με τις τελικές συσκευές επιτρέπει την κλιμάκωση του αριθμού των συνδεδεμένων συσκευών και υπηρεσιών (Atlam,2018).

2.2.5 Πλεονεκτήματα

Ενώ οι κόμβοι Fog παρέχουν εντοπισμό τοποθεσίας, επιτρέποντας έτσι την χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση και την ευρύτερη ευαισθητοποίηση του περιβάλλοντος, το Cloud από την άλλη πλευρά, παρέχει παγκόσμια κεντροποίηση. Πολλές εφαρμογές χρειάζονται τόσο τον εντοπισμό του Fog όσο και της παγκοσμιοποίησης του Cloud, ιδιαίτερα για τα analytics και τα μεγάλα δεδομένα.

Items	Cloud Computing	Fog Computing
Latency	High	Low
Hardware	Scalable storage and computing power	Limited storage and computing power
Location of server nodes	Within the Internet	At the edge of the local network
Distance between client and server	Multiple hops	One hop
Working environment	Warehouse-size building with air conditioning systems	Outdoor (e.g., Streets, gardens) or indoor (e.g., Restaurants)
Security measures	Defined	Hard to define
Attack on data	Less probability	High probability
Deployment	Centralized	Distributed
Location awareness	No	Yes

Πίνακας 1. Σύγκριση fog & cloud computing (Πηγή (Τσιόλας,2020))

Όπως υποδεικνύεται σε αυτό το παράδειγμα, το FC χαρακτηρίζεται από ορισμένα άμεσα πλεονεκτήματα:

- I. Βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες κινητών:** Σε σύγκριση με το Cloud, το FC προσφέρει βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών με πολύ αυξημένο ρυθμό δεδομένων και μειωμένη λανθάνουσα εξυπηρέτηση και ανταπόκριση χρόνου. Επιπλέον, οι χρήστες μπορούν να επωφεληθούν από το μειωμένο κόστος εύρους ζώνης με τη λήψη μέσω των τοπικών συνδέσεων.
- II. Βελτιωμένη απόδοση στο δίκτυο:** Το Fog Computing αποφεύγει την οπισθοδρομική κίνηση μεταξύ Cloud και χρηστών κινητών τηλεφώνων. Συνεπώς, όχι μόνο εξοικονομεί το εύρος ζώνης της ραχοκοκαλιάς, αλλά μειώνει επίσης σημαντικά την ενέργεια κατανάλωσης και του αποτυπώματος άνθρακα των βασικών δικτύων και ως εκ τούτου αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση προς την αειφόρο ανάπτυξη της δικτύωσης.
- III. Μείωση της κυκλοφορίας δικτύου:** Η Cisco εκτιμά ότι υπάρχουν σήμερα 25 δις. συνδεδεμένες συσκευές παγκοσμίως, αριθμός που θα μπορούσε να ανέλθει στα 50 δις. μέχρι το 2020. Τα δισεκατομμύρια κινητών συσκευών όπως τα έξυπνα τηλέφωνα και τα tablet που χρησιμοποιούνται ήδη για τη δημιουργία, λήψη και αποστολή δεδομένων κάνουν λόγο για την τοποθέτηση των υπολογιστικών δυνατοτήτων πιο κοντά στο σημείο όπου βρίσκονται οι συσκευές, αντί να έχουν όλα τα δεδομένα να αποστέλλονται μέσω δικτύων στα κέντρα δεδομένων. Ανάλογα με τη διαμορφωμένη συχνότητα, οι αισθητήρες μπορούν να συλλέγουν δεδομένα κάθε λίγα δευτερόλεπτα. Επομένως, δεν

είναι ούτε αποτελεσματικό ούτε λογικό να στέλνουμε όλα αυτά τα πρωτογενή δεδομένα στο Cloud. Ως εκ τούτου, το Fog επωφελείται παρέχοντας μια πλατφόρμα για φιλτράρισμα και ανάλυση των δεδομένων που παράγονται από αυτές τις συσκευές κοντά στην άκρη και για την παραγωγή τοπικών προβολών των δεδομένων. Αυτό μειώνει δραστηρικά την κυκλοφορία που αποστέλλεται στο Cloud, ο όγκος των δεδομένων προς επεξεργασία μειώνεται, υπάρχει λιγότερη συμφόρηση δεδομένων, περισσότεροι διαθέσιμοι πόροι και συνεπώς δεν δημιουργείται καθυστέρηση.

- IV. **Ιδανική λύση για το IoT:** Με τον αυξανόμενο αριθμό έξυπνων συσκευών, τα περισσότερα αιτήματα αφορούν το περιβάλλον της συσκευής. Ως εκ τούτου, τέτοιες αιτήσεις μπορούν να εξυπηρετηθούν χωρίς τη βοήθεια των παγκόσμιων πληροφοριών που υπάρχουν στο Fog. Για παράδειγμα, η εφαρμογή παρακολούθησης αθλημάτων Edomondo επιτρέπει σε έναν χρήστη να εντοπίσει άτομα που παίζουν παρόμοιο άθλημα σε κοντινή απόσταση. Λόγω της τοπικής φύσης των τυπικών αιτημάτων που υποβάλλονται από την εφαρμογή, είναι λογικό οι αιτήσεις να υποβάλλονται σε επεξεργασία Fog παρά σε υποδομή Cloud. Ένα άλλο παράδειγμα μπορεί να είναι ένα έξυπνα συνδεδεμένο όχημα το οποίο πρέπει να αποτυπώνει γεγονότα αποκλειστικά σε ακτίνα εκατό μέτρων από αυτό. Το Fog κάνει την απόσταση επικοινωνίας πιο κοντά στη φυσική απόσταση μεταφέροντας την επεξεργασία πιο κοντά στην άκρη του δικτύου.
- V. **Χαμηλή απαίτηση καθυστέρησης (Low latency requirement):** Οι εφαρμογές κρίσιμης σημασίας απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ένα από τα καλύτερα παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι το ρομποτικό Cloud, ο έλεγχος των αεροσκαφών "flyby-wire" ή τα αντιμπλοκαρίσματα σε ένα όχημα. Για ένα ρομπότ, ο έλεγχος κίνησης εξαρτάται από τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες και από την ανατροφοδότηση του συστήματος ελέγχου. Έχοντας το σύστημα ελέγχου που εκτελείται στο Cloud μπορεί να καθυστερήσει ή να κάνει μη διαθέσιμο το βρόγχο ενεργοποίησης, ως αποτέλεσμα των βλαβών επικοινωνίας. Σε αυτό το σημείο το Fog βοηθά στην εκτέλεση της επεξεργασίας που απαιτείται για το σύστημα ελέγχου πολύ κοντά στα ρομπότ, καθιστώντας έτσι δυνατή την απόκριση σε πραγματικό χρόνο.
- VI. **Επεκτασιμότητα:** Ακόμα και με σχεδόν απεριόριστους πόρους, το Cloud υπάρχει περίπτωση να αποτελέσει εμπόδιο αν όλα τα ακατέργαστα δεδομένα που παράγονται από τις τελικές συσκευές συνεχίζουν να αποστέλλονται σε αυτό. Δεδομένου ότι το Fog στοχεύει στην επεξεργασία των εισερχόμενων δεδομένων πιο κοντά στην ίδια την πηγή δεδομένων, μειώνει το βάρος αυτής της επεξεργασίας στο Cloud, αντιμετωπίζοντας έτσι τα ζητήματα επεκτασιμότητας που προκύπτουν από τον αυξανόμενο αριθμό τελικών σημείων.

2.2.6 Μειονεκτήματα και περιορισμοί Fog

Το μεγαλύτερο και σημαντικότερο μειονέκτημα του Fog είναι ότι αυξάνει δραματικά την πολυπλοκότητα του δικτύου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητη η χρήση του Fog ώστε η εφαρμογή του να δημιουργήσει προβλήματα. Επιπρόσθετα, η εφαρμογή του Fog συνοδεύεται με ένα μεγάλο αριθμό αποτυχημένων προσπαθειών έως την ομαλή λειτουργία του. Επιπλέον, ενώ το κομμάτι της ασφαλείας επωφελείται από το Fog, στους τομείς της διατήρησης

και της προβλεψιμότητας (predictability) δεν ισχύει το ίδιο, καθώς σε περίπτωση αποτυχίας ο εντοπισμός, η επιδιόρθωση και η διατήρηση τυχόν θεμάτων αφορούν όλη τη διαδικασία. Τέλος, υπάρχει κίνδυνος απώλειας της ιδιωτικότητας. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αντιμετώπισης όμως παραμένει ένα πρόβλημα το οποίο θα μας απασχολήσει [6].

2.3 IoT (Internet of Things – IoT)

2.3.1 Ορισμός

Ο όρος Internet of Things ιστορικά, επινοήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και πιο συγκεκριμένα το έτος 1999 από τον επιχειρηματία Kevin Ashton. Παρά το μεγάλο διεθνές ενδιαφέρον γύρω από το Διαδίκτυο των πραγμάτων, δεν υπάρχει ένας παγκοσμίως κοινά αποδεκτός ορισμός. Ένας από τους πιο διαδεδομένους ορισμούς είναι ο εξής :

Το “Διαδίκτυο των Πραγμάτων” (“Internet of Things” – IoT) είναι μια συλλογή από “πράγματα” ενσωματωμένα με ηλεκτρονικά, λογισμικά, αισθητήρες, ενεργοποιητές τα οποία είναι συνδεδεμένα με τη χρήση του διαδικτύου για τη συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τους. Οι συσκευές IoT είναι εφοδιασμένες με αισθητήρες και ισχύ επεξεργασίας που τις επιτρέπουν να αναπτυχθούν σε πολλά περιβάλλοντα. Απλούστερα, η φιλοσοφία του IoT είναι η σύνδεση όλων των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους (τοπικό δίκτυο) ή με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο (παγκόσμιο ιστό).

2.3.2 Χαρακτηριστικά IoT

Το IoT είναι ένα περίπλοκο σύστημα που διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό χαρακτηριστικών, τα οποία διαφέρουν από τον έναν τομέα του διαδικτύου στον άλλο. Μερικά από τα γενικά και βασικά χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

1. Νοημοσύνη:

Το IoT έρχεται με μία πληθώρα από αλγορίθμους στο λογισμικό που το κάνει έξυπνο. Η έξυπνη νοημοσύνη στο IoT ενισχύει τις δυνατότητες που διευκολύνουν τα πράγματα να ανταποκριθούν με ένα έξυπνο τρόπο σε μία ιδιαίτερη κατάσταση και τα υποστηρίζει στην πραγματοποίηση συγκεκριμένων στόχων. Παρά την όλη δημοτικότητα των έξυπνων τεχνολογιών, η νοημοσύνη στο IoT είναι μόνο ένα μέσο για την αλληλεπίδραση μεταξύ των συσκευών, ενώ ο χρήστης με τις μηχανές αλληλοεπιδράνε μέσω των κανονικών μεθόδων εισαγωγής δεδομένων και το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη.

2. Συνδεσιμότητα:

Η συνδεσιμότητα αντικειμένων καθημερινής χρήσης είναι ζωτικής σημασίας, καθώς συμβάλλει στη συλλογική νοημοσύνη του IoT δικτύου. Η ενεργοποίηση της προσβασιμότητας και τη συμβατότητας των δικτύων στις IoT συσκευές, φέρνει νέες

ευκαιρίες αγοράς που μπορούν να δημιουργηθούν με τη δικτύωση έξυπνων πραγμάτων και εφαρμογών.

3. Δυναμική Φύση:

Η κύρια δραστηριότητα του IoT είναι η συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον του, και αυτό επιτυγχάνεται με τις δυναμικές αλλαγές που πραγματοποιούνται γύρω από τις συσκευές. Μέσω της συλλογής διαθέσιμων πληροφοριών θερμοκρασίας, θέσης και ταχύτητας, μια συσκευή μπορεί να αλλάζει δυναμικά την κατάστασή της ώστε να κοιμάται, να ξυπνά, να συνδέεται και να αποσυνδέεται.

4. Τεράστια κλίμακα:

Ο αριθμός των συσκευών που πρέπει να διαχειρίζονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους θα είναι πολύ μεγαλύτερος συγκριτικά με τον αριθμό αυτών που συνδέονται στο τρέχον Internet. Η διαχείριση και ερμηνεία των δεδομένων που παράγονται από αυτές τις συσκευές, αποτελούν σημαντικό κριτήριο για τη χρησιμοποίησή τους σε διάφορες εφαρμογές.

5. Αίσθηση:

Η ύπαρξη του IoT δεν θα ήταν εφικτή χωρίς τη χρήση αισθητήρων που θα ανιχνεύουν ή θα μετρούν τυχόν αλλαγές στο περιβάλλον, προκειμένου να παράγουν δεδομένα που μπορούν να αναφέρουν την κατάστασή τους, ή ακόμα και να αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον. Όμως, οι τεχνολογίες ανίχνευσης δίνουν τη δυνατότητα στις συσκευές να γνωρίζουν πραγματικά το φυσικό κόσμο και τους ανθρώπους του.

6. Ετερογένεια:

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του IoT είναι η ετερογένεια. Οι συσκευές στο IoT στηρίζονται σε διαφορετικές πλατφόρμες υλικού και δίκτυα, ενώ μπορούν να αλληλοεπιδρούν με άλλες συσκευές ή πλατφόρμες υπηρεσιών μέσω διαφορετικών δικτύων. Δηλαδή, μια IoT συσκευή είναι διαχειριζόμενη τόσο μέσω ενός iPhone, όσο και μέσω ενός Android smartphone. Η αρχιτεκτονική του IoT πρέπει να υποστηρίζει την απευθείας σύνδεση μεταξύ ετερογενών δικτύων, ενώ βασικές απαιτήσεις σχεδίασης για το περιβάλλον του IoT αποτελούν οι δυνατότητες κλιμάκωσης, διάρθρωσης, επέκτασης και διαλειτουργικότητας.

7. Ασφάλεια:

Οι IoT συσκευές είναι εκφύσεως ευπαθείς στις απειλές ασφάλειας. Έτσι, για να απολαύσουμε την αποδοτικότητα, τις νέες εμπειρίες και όλα τα οφέλη του IoT, θα πρέπει οι συσκευές να διασφαλίζουν στο μέγιστο βαθμό την προστασία των δεδομένων που διακινούνται μέσω των εφαρμογών, αλλά και την αδιάβλητη αλληλεπίδραση μεταξύ εφαρμογών και συσκευών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^Ο : Αρχιτεκτονική Fog Computing

Αρχιτεκτονική

Fog Computing ή αλλιώς υπολογιστική ομίχλη είναι ένα νέο υπολογιστικό πρότυπο, το οποίο επεκτείνει το παραδοσιακό υπολογιστικό νέφος και τις υπηρεσίες του ως την άκρη του δικτύου. Επίσης, παρέχει τις δυνατότητες υπολογισμού, επικοινωνίας, ελέγχου, αποθήκευσης και υπηρεσιών. Η αποκεντρωμένη πλατφόρμα είναι διαφορετική από άλλα συμβατικά υπολογιστικά μοντέλα αρχιτεκτονικής.

Κάθε τερματικός κόμβος γνωρίζει την ακριβή γεωγραφική τοποθεσία του και είναι έτοιμος να μοιραστεί τις πληροφορίες του μέσω GPS, GIS ή GNSS ούτως ώστε οι υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας να παρέχονται στους τερματικούς κόμβους σε πραγματικό χρόνο με βάση την ανάλυση των δεδομένων της περιοχής.

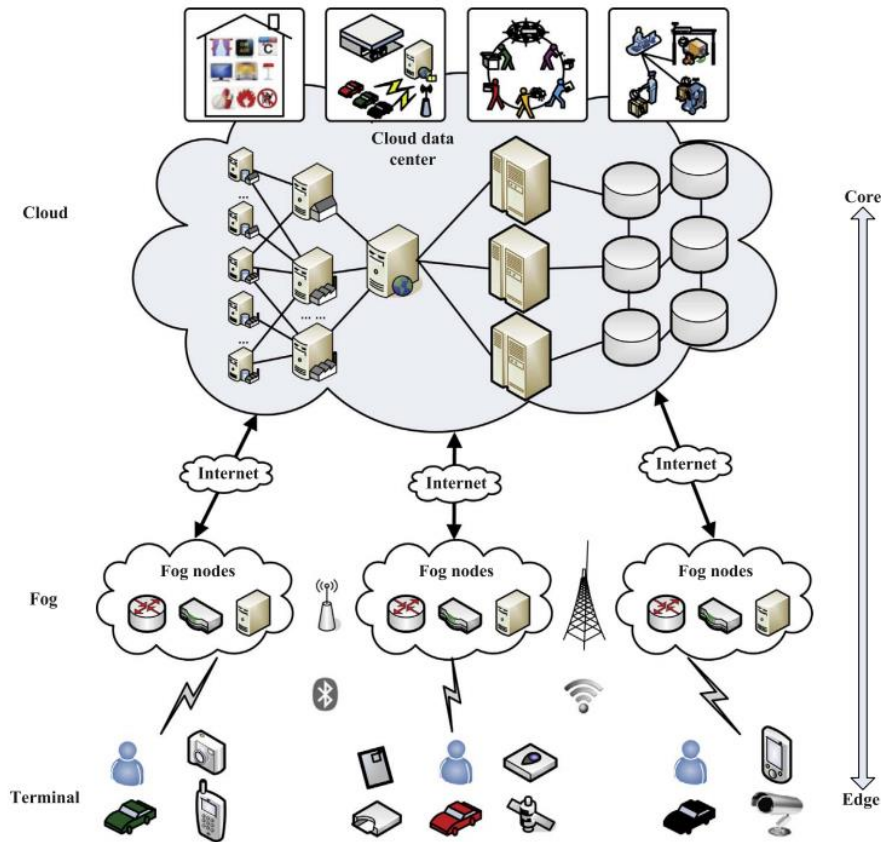
Οι συσκευές του Fog Computing είναι «έξυπνες» από την άποψη της υπολογιστικής και αποθηκευτικής τους ικανότητας. Εκτός από τις τυπικές τους λειτουργίες οι οποίες είναι η δρομολόγηση ή προώθηση πακέτων, αυτές οι συσκευές έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν δυναμικές αποφάσεις σχετικά με το αν μια αίτηση μπορεί να εξυπηρετηθεί εντός του Fog ή πρέπει να προωθηθεί στο Cloud.

Οι συσκευές του Fog προσαρμόζονται αυτομάτως στην δυναμική κατανομή φορτίου από την άποψη του δικτύου, του υπολογιστικού φορτίου και του φορτίου αποθήκευσης μεταξύ τους.

Κάθε συσκευή Fog, υποστηρίζει την κινητικότητα των τερματικών κόμβων, καθώς οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο ίντερνετ είναι εξαιρετικά κινητές. Τέλος, η επικοινωνία εντός του Fog και η μεταφορά πληροφοριών είναι απαραίτητες για την παροχή συνεχούς υπηρεσίας σε πραγματικό χρόνο (Hu,2017) (Τσιόλας,2020).

3.1 Η ιεραρχική αρχιτεκτονική του Fog Computing

Το μοντέλο αναφοράς της αρχιτεκτονικής Fog Computing είναι ένα σημαντικό ερευνητικό θέμα. Τα τελευταία χρόνια, έχουν προταθεί διάφορες αρχιτεκτονικές. Σε συγκεκριμένο έγγραφο (Hu,2017) , αναφέρεται ότι προέρχονται κυρίως από τη θεμελιώδη δομή τριών επιπέδων. Το Cloud Computing επεκτείνει την υπηρεσία Cloud στην άκρη του δικτύου εισάγοντας ένα επίπεδο Fog μεταξύ των τελικών συσκευών και του Cloud.



Εικόνα 3.1 Η ιεραρχική αρχιτεκτονική του δικτύου ομίχλης (Πηγή((Hu,2017))

Η ιεραρχική αρχιτεκτονική αποτελείται από τα ακόλουθα τρία επίπεδα:

- **Επίπεδο τερματικού:** Αυτό είναι το στρώμα που βρίσκεται πλησιέστερα στον τελικό χρήστη και το φυσικό περιβάλλον. Αποτελείται από διάφορες συσκευές IoT, για παράδειγμα, αισθητήρες, κινητά τηλέφωνα, έξυπνα οχήματα, έξυπνες κάρτες, αναγνώστες, και ούτω καθεξής. Ειδικά, αν και τα κινητά τηλέφωνα και τα έξυπνα οχήματα έχουν την υπολογιστική ισχύ, τα χρησιμοποιούμε μόνο ως έξυπνες συσκευές ανίχνευσης. Οι συσκευές αυτές κατανέμονται ευρέως γεωγραφικά γενικά. Είναι υπεύθυνες για την ανίχνευση των δεδομένων χαρακτηριστικών των φυσικών αντικειμένων ή συμβάντων και τη μετάδοση αυτών των δεδομένων στο ανώτερο επίπεδο για επεξεργασία και αποθήκευση.

- **Στρώμα Fog:** Αυτό το στρώμα βρίσκεται στην άκρη του δικτύου. Αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό Fog κόμβων, συμπεριλαμβανομένων των δρομολογητών, των πυλών, των

διακοπών, των σημείων πρόσβασης, των σταθμών βάσης, των συγκεκριμένων κεντρικών Fog υπολογιστών, κ.λπ. Αυτοί οι Fog κόμβοι κατανέμονται ευρέως μεταξύ των τελικών συσκευών και των σύννεφων, για παράδειγμα, καφετέριες, εμπορικά κέντρα, τερματικά λεωφορείων, δρόμους, πάρκα, κ.λπ. Μπορούν να είναι στατικά σε σταθερή θέση ή κινητά σε έναν κινούμενο φορέα. Οι τελικές συσκευές μπορούν εύκολα να συνδεθούν με κόμβους ομίχλης για να λάβουν υπηρεσίες. Έχουν τις δυνατότητες να υπολογίζουν, να μεταδίδουν και να αποθηκεύουν προσωρινά τα ληφθέντα δεδομένα αισθήσεων. Η ανάλυση σε πραγματικό χρόνο και οι ευαίσθητες στην καθυστέρηση εφαρμογές (latency sensitive applications) μπορούν να πραγματοποιηθούν στο στρώμα Fog. Επιπλέον, οι Fog κόμβοι συνδέονται επίσης με το κέντρο δεδομένων Cloud από το κεντρικό δίκτυο IP, και είναι υπεύθυνοι για την αλληλεπίδραση και τη συνεργασία με το Cloud για την απόκτηση πιο ισχυρών δυνατοτήτων υπολογισμού και αποθήκευσης.

• **Στρώμα Cloud** Το στρώμα Cloud αποτελείται από τους πολλαπλούς κεντρικούς υπολογιστές υψηλής απόδοσης και τις συσκευές αποθήκευσης, και παρέχει τις διάφορες υπηρεσίες εφαρμογής, όπως το έξυπνο σπίτι, την έξυπνη μεταφορά, το έξυπνο εργοστάσιο, κ.λπ. Διαθέτει ισχυρές δυνατότητες υπολογισμού και αποθήκευσης για την υποστήριξη εκτεταμένης ανάλυσης και μόνιμης αποθήκευσης τεράστιου όγκου δεδομένων. Ωστόσο, λόγω της διαφορετικής από την παραδοσιακή αρχιτεκτονική Cloud, δεν περνούν όλες οι εργασίες υπολογισμού και αποθήκευσης μέσω του Cloud. Σύμφωνα με το φορτίο ζήτησης, η διαχείριση και ο προγραμματισμός των βασικών μονάδων γίνεται αποτελεσματικά και προγραμματίζεται από ορισμένες στρατηγικές ελέγχου για τη βελτίωση της χρήσης των πόρων Cloud.

Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, κάθε τελική συσκευή ή έξυπνο αντικείμενο συνδέεται με έναν από τους Fog κόμβους με τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (κυρίως συμπεριλαμβανομένου του Ασύρματου Τοπικού Δικτύου (WLAN), wifi, 3G, 4G, ZigBee, Bluetooth, κ.λπ.) ή ενσύρματη σύνδεση. Επιπροσθέτως, Οι Fog κόμβοι μπορούν να διασυνδεθούν και να συνεπικοινωνίσουν με ενσύρματες ή ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας. Και κάθε ένας από τους Fog κόμβους συνδέεται με το σύννεφο από το δίκτυο πυρήνα IP.

Αυτή η αρχιτεκτονική μπορεί να παρέχει την τεχνική υποστήριξη για το IoT, CPS και Mobile Internet για την παροχή αποτελεσματικών υπηρεσιών επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων. Ειδικά για την CPS, η οποία συνδυάζει τις δυνατότητες της πληροφορικής, των επικοινωνιών και της αποθήκευσης, προκειμένου να παρακολουθεί ή να ελέγχει τις οντότητες και τα αντικείμενα που υπάρχουν στον φυσικό κόσμο. Το FC μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) στην περίπτωση έκρηξης δεδομένων σήμερα. Παρ 'όλα αυτά, οι τρέχουσες ερευνητικές εργασίες για το FC δεν έχουν παρουσιάσει μια ενοποιημένη αρχιτεκτονική που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά σενάρια εφαρμογών.

Η επεξεργασία του Cloud μπορεί να διαρκέσει πολύ, ανάλογα με την ταχύτητα δικτύου και τα φορτία του διακομιστή. Ειδικά για τις κινητές συσκευές, οι καθυστερήσεις μπορεί να είναι ακόμη μεγαλύτερες, επειδή το εύρος ζώνης του ασύρματου δικτύου είναι σχετικά χαμηλό. Προκειμένου να υποστηριχθούν οι πανταχού παρούσες κινητές συσκευές, μερικοί ερευνητές έχουν προτείνει την κινητή αρχιτεκτονική Fog Computing (mobile fog computing architecture).

Αυτό το μοντέλο υπολογιστών βελτιώνει την απόδοση και μειώνει την κατανάλωση ενέργειας σε κινητό περιβάλλον. Ο κινητός Fog Computing είναι ο συμπληρωματικός υπολογιστής ομίχλης για την παροχή κινητών υπηρεσιών χαμηλού λανθάνοντος χρόνου.

Πιο συγκεκριμένα ο ερευνητής Alam (2016) εισήγαγε μια κινητή αρχιτεκτονική παροχής υπηρεσιών Cloud Computing με βάση το Fog Computing. Οι μονάδες σημείου πρόσβασης (AP- Access Point) και ελεγκτή σημείου πρόσβασης (APC- Access Point Controller) χρησιμοποιήθηκαν ως κινητοί κόμβοι Fog. Η εξελιγμένη πύλη δεδομένων πακέτων (ePDG- evolved Packet Data Gateway) είναι υπεύθυνη για την επικοινωνία μεταξύ Fog. Οι μονάδες σημείου πρόσβασης δεν είναι μόνο υπεύθυνες για τις συνδέσεις μεταξύ κινητών συσκευών και δικτύων IP, αλλά παρέχουν επίσης επαρκείς δυνατότητες υπολογισμού, δικτύωσης και αποθήκευσης για την υποστήριξη εφαρμογών κινητής τηλεφωνίας. Ο κινητός υπολογισμός Fog όχι μόνο παρείχε ένα πρότυπο προγραμματισμού υψηλού επιπέδου για να απλοποιήσει την ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού καταναμημένων ετερογενών συσκευών, αλλά επέτρεψε επίσης στις εφαρμογές για να χρησιμοποιήσει δυναμικά τον πόρο στην Fog και το Cloud βασιζόμενος στο φόρτο εργασίας και τις απαιτήσεις τους [2].

Σε άλλη μια μελέτη παρουσιάστηκε (Naha, 2018) μια ιεραρχική αρχιτεκτονική Fog με την ταξινόμηση των συσκευών σε τρεις διαφορετικούς τύπους με βάση :

- a. την άκρη των πόρων επεξεργασίας τους,
- b. την πληροφορική και,
- c. τους κόμβους εισόδου/εξόδου.

Οι κόμβοι άκρων εκτελούν μηνύματα ενεργοποίησης και δημιουργούν δεδομένα ανίχνευσης. Οι κόμβοι εισόδου-εξόδου (IO) έχουν περιορισμένους πόρους υπολογιστών και διατηρούν επικοινωνίες διαμεσολάβησης με κόμβους Edge. Οι κόμβοι υπολογισμού έχουν κάποιους πόρους υπολογιστών να προσφέρουν και αυτός ο κόμβος είναι δυναμικός με προγραμματιζόμενο χρόνο εκτέλεσης. Αυτοί οι τρεις κόμβοι μπορούν να υλοποιηθούν ξεχωριστά ή με ένα συνδυασμό που βασίζεται στην προτίμηση του σχεδιαστή συστήματος. Μια εννοιολογική ιεραρχική αρχιτεκτονική του Fog Computing όπου το στρώμα Fog υπολογιστών διαιρείται σε τρία βασικά επίπεδα και μπορεί να επεκταθεί στους αριθμούς N των επιπέδων. Ο υπολογισμός και η αποθήκευση πραγματοποιούνται σε όλα τα επίπεδα εκτός από το χαμηλότερο επίπεδο.

- Το **επίπεδο 0** αποτελείται από αισθητήρες και ενεργοποιητές,

- το **επίπεδο 1** ονομάζεται ως κόμβος ομίχλης πύλης και
- το **επίπεδο 2** αντιπροσωπεύει τους κόμβους ομίχλης πυρήνα.

3.2 Αρχιτεκτονική Fog τεσσάρων στρώσεων:

Σε άλλα σχετικά έγγραφα έχει παρουσιαστεί μια αρχιτεκτονική Fog τεσσάρων στρώσεων:

- i) Στρώμα γεννητριών στοιχείων,
- ii) Στρώμα Cloud Computing,
- iii) Στρώμα Fog Computing και
- iv) Στρώμα καταναλωτών στοιχείων.

Ένα ευρύ φάσμα καταναλωτών εξετάζεται από ιδιώτες έως επιχειρήσεις στο επίπεδο των δεδομένων για τους καταναλωτές. Οι καταναλωτές μπορούν να υποβάλουν τα αιτήματά τους σε τρία άλλα επίπεδα και να λάβουν απαντήσεις για τις απαιτούμενες υπηρεσίες. Το στρώμα γεννήτρια δεδομένων είναι όπου οι συσκευές IoT κατοικούν και επικοινωνούν με το στρώμα Cloud Computing μέσω του στρώματος Fog Computing. Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, η προεπεξεργασία δεδομένων θα γίνει στο επίπεδο υπολογιστών Fog. Αυτό το επίπεδο επιτρέπει επίσης την αναγνωρισιμότητα περιβάλλοντος και τον χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Το στρώμα Cloud παρέχει κεντρικό έλεγχο και ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών παρακολούθησης. Σε αυτό το επίπεδο θα πραγματοποιηθεί μακροπρόθεσμη και σύνθετη ανάλυση συμπεριφοράς για την υποστήριξη της δυναμικής λήψης αποφάσεων, όπως η μοντελοποίηση σχέσεων, η μακροπρόθεσμη αναγνώριση προτύπων και η ανίχνευση συμβάντων μεγάλης κλίμακας. Η βασική διαφορά μεταξύ αυτής της αρχιτεκτονικής με άλλους παραπάνω είναι η άμεση επικοινωνία μεταξύ των καταναλωτών και των τριών στρωμάτων. Το στρώμα Fog παρουσιάζεται ως ενδιάμεσο στρώμα μεταξύ των κινητών συσκευών και του Cloud στην αρχιτεκτονική του συστήματος ομίχλης. Σύμφωνα με αυτήν την αρχιτεκτονική, το κύριο συστατικό του στρώματος Fog είναι ο κεντρικός υπολογιστής Fog, ο οποίος πρέπει να αναπτυχθεί σε μια σταθερή θέση στις τοπικές εγκαταστάσεις των κινητών χρηστών. Ένας διακομιστής Fog μπορεί να είναι ένα υπάρχον στοιχείο δικτύου, όπως ένας σταθμός βάσης ή ένα σημείο πρόσβασης WiFi. Αυτοί οι διακομιστές επικοινωνούν με κινητές συσκευές μέσω ασύρματων συνδέσεων μίας μεταπήδησης και τους παρέχουν προκαθορισμένες υπηρεσίες εφαρμογών στην ασύρματη κάλυψη χωρίς να ζητούν βοήθεια από το Cloud ή άλλους διακομιστές Fog. Αυτή η αρχιτεκτονική συστήματος δεν λαμβάνει υπόψη πολλές άλλες πτυχές, αλλά ασχολείται με την ιδέα ενός διακομιστή ομίχλης.

3.3 Αρχιτεκτονική OpenFog

Η εξήγηση αρχιτεκτονικής OpenFog [4] είναι η περιεκτικότερη, στην οποία τα περισσότερα χαρακτηριστικά του Fog Computing εξετάστηκαν. Ωστόσο, η αρχιτεκτονική OpenFog δεν εξέτασε τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης χαμηλότερης λανθάνουσας κατάστασης κοντά στην ανάπτυξη της επιχείρησης και τους τελικούς χρήστες. Αυτή η αρχιτεκτονική σκοπεύει να κάνει υπολογισμούς κοντά στον τελικό χρήστη για να ελαχιστοποιήσει τον λανθάνοντα χρόνο, το κόστος μετεγκατάστασης και άλλα έξοδα που σχετίζονται με το δίκτυο μαζί με το κόστος εύρους ζώνης. Χωρίς συγχρονισμό και δρομολόγηση όλης της επικοινωνίας με το κεντρικό δίκτυο, μπορεί να πραγματοποιηθεί επικοινωνία χαμηλού λανθάνοντος χρόνου και οι αιτήσεις χρήστη δρομολογούνται στη θέση που βρίσκεται πλησιέστερα στους τελικούς χρήστες, όπου υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία υπολογισμού. Η υλοποίηση των στοιχείων διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης παραμέτρων και ελέγχου, και οι μετρήσεις δικτύου αναπτύσσονται κοντά στο τελικό σημείο αντί να ελέγχονται από την πύλη. Επιπλέον, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική επιτρέπει τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων χρησιμοποιώντας τοπικά αναλυτικά στοιχεία και τα αποτελέσματα αντιγράφονται στο Cloud με ασφαλή τρόπο για περαιτέρω επεξεργασία και μελλοντική χρήση. Αν και κάλυψαν το μέγιστο αριθμό πτυχών σχετικά με το περιβάλλον Fog στην εξήγηση αρχιτεκτονικής Fog Computing τους, υπάρχει έλλειψη κατάλληλης επικύρωσης της περιγραφόμενης αρχιτεκτονικής τους μέσω της πειραματικής ανάπτυξης. Ωστόσο, σκοπεύουν να συνεργαστούν με διάφορες σχετικές ομάδες, συμπεριλαμβανομένης, ενδεικτικά, της Κοινοπραξίας Βιομηχανικού Διαδικτύου (IIC), του ETSI-MEC (Mobile Edge Computing), του Open Connectivity Foundation (OCF) και της εικονικής διαμόρφωσης λειτουργίας Ανοικτού Δικτύου (OpenNFV).

3.4 Αρχιτεκτονική Fog Computing βασισμένη στο νευρικό σύστημα

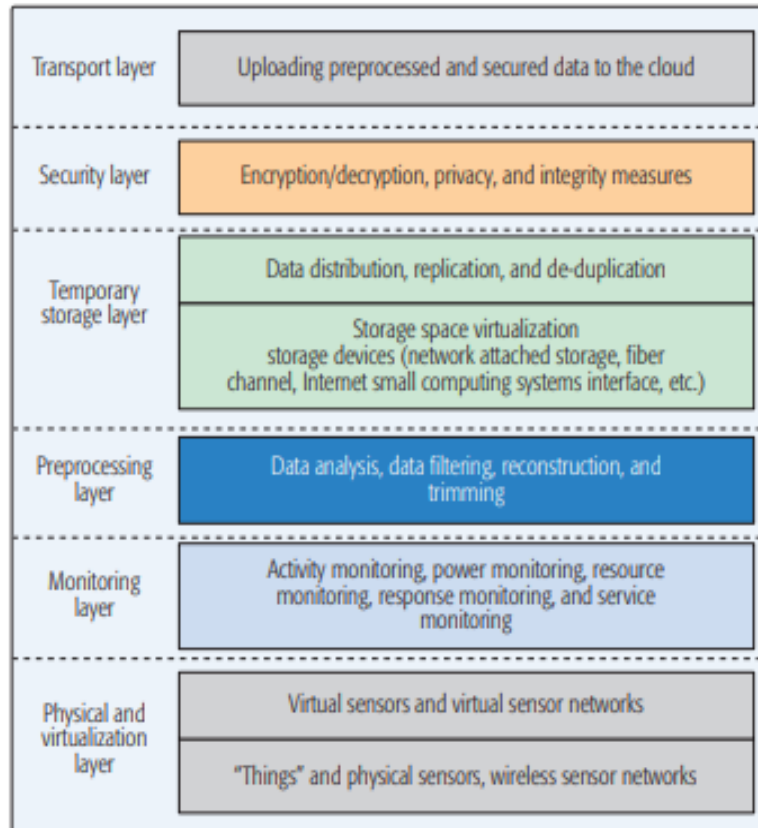
Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική, το κέντρο δεδομένων Cloud θεωρείται ως το κέντρο των νευρικών νεύρων του εγκεφάλου, το κέντρο δεδομένων του Fog Computing θεωρείται ως το κέντρο του νωτιαίου νεύρου και οι έξυπνες συσκευές θεωρούνται περιφερειακά νευρικά κέντρα. Αυτά τα τρία νευρικά κέντρα διαδίδουν τις συνδέσεις τους εκτενώς σε όλο το σώμα του συστήματος. Περιφερικά νεύρα διάσπαρτα στο σώμα και ο εγκέφαλος θα ελέγχουν όλες τις δραστηριότητες του νωτιαίου μυελού. Η δομή του συστήματος έχει σχεδιαστεί με βάση τη νευρική δομή του ανθρώπινου σώματος, όπου ο εγκέφαλος είναι υπεύθυνος για την αντιμετώπιση όλων των καθηκόντων. Όλες οι έξυπνες συσκευές που συνδέονται με αυτό το σύστημα αναφέρονται ως τα περιφερειακά νεύρα που είναι γεωγραφικά κατανομημένα. Αυτές οι συσκευές περιλαμβάνουν tablet, τηλέφωνα, αισθητήρες ή έξυπνα ρολόγια. Το κέντρο υπολογιστών Fog θα αντιμετωπίσει ορισμένα απλά και χρονικά ευαίσθητα αιτήματα, για παράδειγμα, το αντανακλαστικό σπασμοδικών γονάτων του νωτιαίου μυελού μπορεί να μοιραστεί την πίεση των πόρων του κέντρου δεδομένων του Cloud. Ο νωτιαίος μυελός είναι η συνδετική οδός μεταξύ του εγκεφάλου και των περιφερικών νεύρων. Αυτό είναι παρόμοιο με τη θέση του κέντρου δεδομένων Fog που ενώνει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων με κέντρα δεδομένων υψηλού επιπέδου (Cloud).

3.5 Επίπεδα της αρχιτεκτονικής του Fog Computing

Η τυπική αρχιτεκτονική ενός δικτύου Fog αποτελείται από τα εξής βασικά επίπεδα:

1. Το **επίπεδο φυσικής και εικονικής διαμόρφωσης** είναι το χαμηλότερο στρώμα, το οποίο ασχολείται με κάθε "πράγμα" που είναι σε θέση να συνδεθεί με το διαδίκτυο / δίκτυο και τη δημιουργία δεδομένων. Περιλαμβάνει κόμβους, συσκευές, φυσικούς και εικονικούς αισθητήρες, φυσικά και εικονικά δίκτυα αισθητήρων, οχήματα και ούτω καθεξής. Η διαχείριση όλων αυτών των κόμβων γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της υπηρεσίας και τα χαρακτηριστικά του κόμβου.
2. Το **επίπεδο παρακολούθησης**, στο οποίο οι δραστηριότητες των κόμβων και των δικτύων παρακολουθούνται σύμφωνα με τη δύναμη και τις εργασίες του κόμβου. Αυτό το επίπεδο καθορίζει ποια θα είναι η επόμενη εργασία που θα εκτελεστεί και το πότε. Οι κόμβοι παρακολουθούνται επίσης για την ενεργειακή τους κατανάλωση, έτσι ώστε να μπορούν να ληφθούν εγκαίρως αποτελεσματικά μέτρα (π.χ. εκφόρτωση εργασιών) ανάλογα με την κατάσταση του αισθητήρα.
3. Το **επίπεδο προ επεξεργασίας** είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση δεδομένων. Η ανάλυση των δεδομένων γίνεται εδώ, και με βάση τα αποτελέσματα που λαμβάνονται, η περικοπή των δεδομένων και το φιλτράρισμα πραγματοποιούνται προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η περιττή επικοινωνία.
4. Το **επίπεδο αποθήκευσης** είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση των δεδομένων σε μια ομίχλη. Τα περισσότερα από τα δεδομένα που αποθηκεύονται στο Fog είναι σε προσωρινή βάση. Για μακροχρόνια αποθήκευση, το Cloud είναι πιο κατάλληλο επειδή έχει πολύ περισσότερους πόρους. Μόλις τα δεδομένα κοινοποιηθούν στο Cloud, μπορεί να μην χρειάζεται πλέον να αποθηκεύονται στην ομίχλη. Αρκετές υπηρεσίες απαιτούν μέτρα ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής. Οι πανταχού παρούσες υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης και έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης παράγουν δεδομένα που περιέχουν προσωπικές πληροφορίες των ασθενών. Τα δεδομένα με επίγνωση τοποθεσίας μπορεί επίσης να χρειαστεί να είναι ιδιωτικά σε ορισμένες περιπτώσεις.
5. Το **επίπεδο ασφαλείας Fog** παρέχει κατάλληλες λειτουργίες ασφαλείας και προστασίας προσωπικών δεδομένων για την προστασία των δεδομένων πριν από την αποστολή τους μέσω δημόσιου ή ευάλωτου καναλιού.

6. Μόλις τα δεδομένα είναι έτοιμα να κοινοποιηθούν στο Cloud, **το επίπεδο μεταφοράς** καλείται, το οποίο τα μεταδίδει στο Cloud, μειώνοντας έτσι την επιβάρυνση του κεντρικού δικτύου και αφήνοντας το να δημιουργήσει βελτιωμένες υπηρεσίες πολύ πιο γρήγορα. Τέλος στο σχήμα 3.2 απεικονίζονται τα βασικά στρώματα- επίπεδα μιας τυπικής αρχιτεκτονικής του δικτύου Fog.



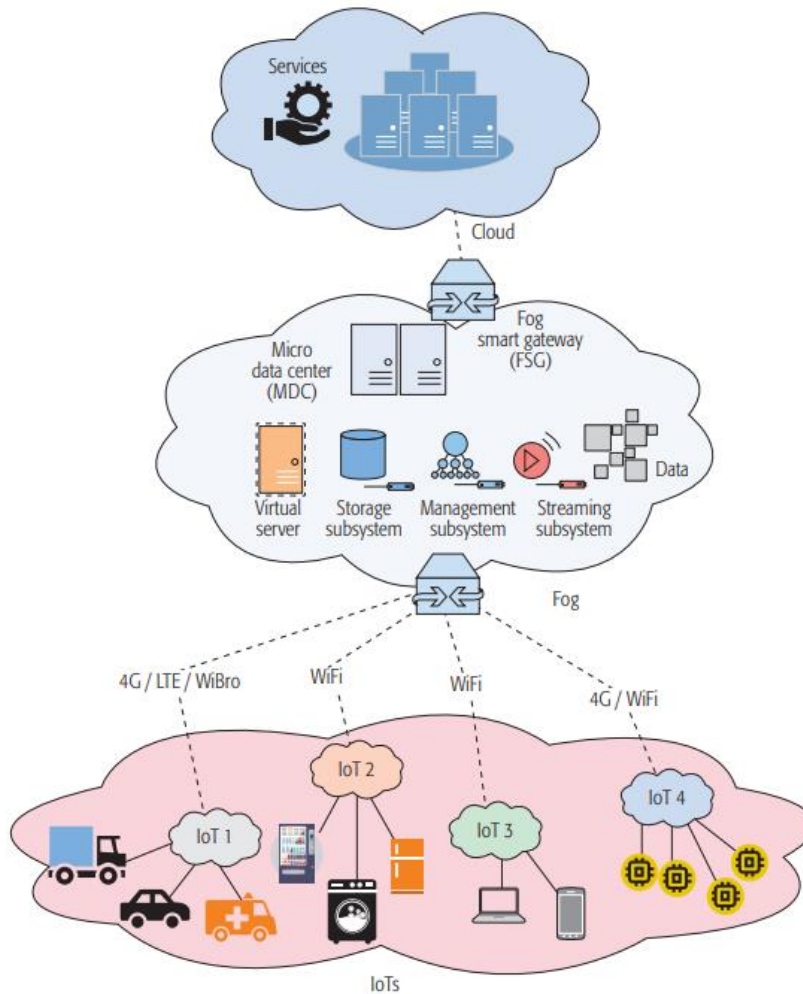
Σχήμα 3.2 Τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής του δικτύου ομίχλης (Πηγή (Azam,2018))

Οι πόροι Fog τοποθετούνται μεταξύ των κόμβων IoT και του στρώματος Cloud (σχήμα 3.3). Το Fog Computing επιτρέπει τη δημιουργία πιο εκλεπτυσμένων, προσαρμοσμένων και με επίγνωση

του περιβάλλοντος υπηρεσιών λόγω της εγγύτητάς της με τις υποκείμενες συσκευές. Ως αποτέλεσμα, παρέχει χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και υψηλής ποιότητας ροή σε κινητούς κόμβους, συμπεριλαμβανομένων των κινούμενων οχημάτων με τη βοήθεια πληρεξουσίων και σημείων πρόσβασης που βρίσκονται ανάλογα (π.χ. αυτοκινητόδρομοι και σιδηροδρομικές γραμμές).

Με βάση τα σχόλια που λαμβάνονται από την εφαρμογή ή/και το Cloud και ανάλογα με τους περιορισμούς των κόμβων που παράγουν δεδομένα, το Fog Computing μπορεί να προγραμματίσει την επικοινωνία μεταξύ μηχανών, κόμβων, αισθητήρων, δικτύων αισθητήρων. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η καλύτερη αξιοποίηση των πόρων δικτύου και Cloud.

Για διάφορες υπηρεσίες που σχετίζονται με την υγειονομική περίθαλψη, το Fog Computing μπορεί να επεξεργαστεί τα δεδομένα σύμφωνα με τις απαιτήσεις κάθε υπηρεσίας υγειονομικής περίθαλψης. Μπορεί να εκτελέσει την προ επεξεργασία των ανεπεξέργαστων δεδομένων και να μεταφέρει τα επεξεργασμένα δεδομένα στο Cloud, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπει τις προ επεξεργασμένες πληροφορίες που αποστέλλονται από την ομίχλη σε βελτιωμένες υπηρεσίες. Για παράδειγμα, μια υπηρεσία υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να ενημερώσει έναν ασθενή όταν το επίπεδο σακχάρου στο αίμα του αυξάνεται ή ο καρδιακός παλμός τους είναι ασυνήθιστος. Με διαφορετικούς τύπους δεδομένων που δημιουργούνται από ετερογενείς κόμβους, προκύπτουν ζητήματα διαλειτουργικότητας. Επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος παρέχοντας γρήγορα εργασίες που σχετίζονται με τη μεταφορά και τη μετάφραση σε τοπικό επίπεδο. Παρόμοια είναι η ομοσπονδία IoT και WSN (Wireless Sensor Network), στην οποία πολλά δίκτυα IoT και WSN μπορούν να ενσωματωθούν για να επεκτείνουν το χαρτοφυλάκιο των υπηρεσιών που παρέχουν. Οι πόροι ενός IoT μπορούν να συναθροιστούν με εκείνους από ένα άλλο, δημιουργώντας ένα μεγαλύτερο IoT. Για παράδειγμα, ένα IoT των κάδων αποβλήτων σε μια μητροπολιτική περιοχή μπορεί να συνδυαστεί με ένα IoT ανακύκλωσης αποβλήτων για τη δημιουργία μιας νέας υπηρεσίας για τη διαχείριση των πόρων αποβλήτων [3].



Σχήμα 3.3 Συνολική αρχιτεκτονική και τοποθέτηση του Fog (Πηγή (Aazam,2018))

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^Ο : Εφαρμογές του Fog Computing

Υπάρχουν πολλές σημαντικές περιοχές όπου το Fog Computing μπορεί να διαδραματίσει ζωτικό ρόλο σε διαφορετικές εφαρμογές IoT. Αυτή η ενότητα παρέχει μια επισκόπηση των διαφόρων εφαρμογών IoT που μπορούν να επωφεληθούν.

4.1 Fog Computing στο Έξυπνο Δίκτυο

Οι εφαρμογές εξισορρόπησης του φορτίου της ενέργειας μπορεί να τρέξουν σε συσκευές στην άκρη του δικτύου, όπως για παράδειγμα οι έξυπνοι μετρητές και τα μικρο-δίκτυα. Αυτές οι συσκευές έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν αυτόματα σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως

η ηλιακή και η αιολική ανάλογα την ενεργειακή ζήτηση, τη διαθεσιμότητα και τη χαμηλότερη τιμή.

4.2 Fog Computing σε έξυπνα φανάρια

Μια βιντεοκάμερα που ανιχνεύει ένα ασθενοφόρο και τα φώτα του που αναβοσβήνουν συνεχώς, είναι ικανή να αλλάξει αυτόματα τα φανάρια του δρόμου προκειμένου να ανοίξει διαδρόμους για το όχημα. Έτσι αυτό θα καταφέρει να περάσει ανάμεσα στη κίνηση που επικρατεί εκείνη τη στιγμή. Τα έξυπνα φανάρια του δρόμου αλληλεπιδρούν τοπικά με αισθητήρες, ανιχνεύοντας την παρουσία των πεζών και ποδηλατών, και υπολογίζοντας την απόσταση και την ταχύτητα προσέγγισης οχημάτων. Επίσης, μπορούν να θεωρηθούν Fog κόμβοι που συγχρονίζονται μεταξύ τους για την αποστολή προειδοποιητικών μηνυμάτων σε κοντινά οχήματα. Οι αλληλεπιδράσεις του Fog Computing μεταξύ του οχήματος και των σημείων πρόσβασης βελτιώνονται με WiFi, 3G, έξυπνα φανάρια και οδικές μονάδες.

4.3 Συνδεδεμένα οχήματα

Σύμφωνα με τη Cisco, τα αυτόνομα οχήματα είναι μια ανερχόμενη τάση για τα αυτοκίνητα. Υπάρχουν πολλά ευεργετικά χαρακτηριστικά, τα οποία εξαρτώνται το Fog Computing και τη σύνδεση στο Διαδίκτυο, που μπορούν να προστεθούν σε αυτοκίνητα όπως το αυτόματο σύστημα διεύθυνσης και η λειτουργία "hands-free" ή τα χαρακτηριστικά αυτοστάθμισης που σημαίνουν ότι δεν υπάρχει ανάγκη για ένα άτομο πίσω από το τιμόνι να παρκάρει το όχημα.

Τα επόμενα χρόνια, αναμένεται ότι όλα τα νέα αυτοκίνητα θα έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνίας με τα κοντινά αυτοκίνητα αλλά και το Διαδίκτυο. Το Fog Computing θα αποτελεί την πιο αποτελεσματική λύση για όλα τα οχήματα που συνδέονται στο Διαδίκτυο, εφόσον παρέχει ένα υψηλό επίπεδο αλληλεπίδρασης σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, θα επιτρέψει στα αυτοκίνητα, τα σημεία πρόσβασης και τα φανάρια να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους έτσι ώστε να παρέχουν μια καλή υπηρεσία στους χρήστες. Ακόμα, με τη χρήση του Fog αντί του Cloud, οι συγκρούσεις και άλλα ατυχήματα πιθανότατα θα μειωθούν δεδομένου ότι δεν πάσχει από τον λανθάνοντα χρόνο της κεντρικής προσέγγισης Clouds ενεργοποιώντας το για να αρχίσει σώζοντας κυριολεκτικά τις ζωές.

4.4 Ασύρματος Αισθητήρας και Δίκτυα Ενεργοποίησης

Τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων δεν διαθέτουν εφαρμογές οι οποίες να εκτελούν λειτουργίες ανίχνευσης και εντοπισμού, διότι απαιτούν ενεργοποιητές για να ασκήσουν φυσικές ενέργειες, όπως το άνοιγμα, το κλείσιμο ή ακόμα και να μεταφέρουν αισθητήρες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ενεργοποιητές λειτουργούν ως συσκευές Fog που ελέγχουν τη διαδικασία μέτρησης από μόνες τους, τη σταθερότητα και τις παλινδρομικές συμπεριφορές με τη δημιουργία ενός συστήματος κλειστού βρόχου. Αυτά τα WSN απαιτούν λιγότερο εύρος ζώνης, λιγότερη ενέργεια καθώς και πολύ χαμηλή ισχύ επεξεργασίας.

Για παράδειγμα, στο σενάριο της αυτο-διατήρησης των τρένων, η παρακολούθηση του αισθητήρα στο ρουλεμάν της αμαξοστοιχίας μπορεί να ανιχνεύσει επίπεδα θερμότητας, επιτρέποντας στις εφαρμογές να στείλουν μια αυτόματη ειδοποίηση προς τον οδηγό του τρένου για να σταματήσει το τρένο στο επόμενο σταθμό για τη συντήρηση έκτακτης ανάγκης και την αποφυγή πιθανού εκτροχιασμού. Σε μία άλλη περίπτωση όπως αυτή των αεραγωγών, οι αισθητήρες πάνω στους αεραγωγούς παρακολουθούν τις συνθήκες του αέρα που ρέει μέσα και έξω από τα ορυχεία και αυτόματα αλλάζει τη ροή του αέρα αν οι συνθήκες γίνουν επικίνδυνες για τους ανθρακωρύχους.

4.5 Αποκεντρωμένος Έλεγχος Έξυπνου Κτιρίου

Οι εφαρμογές αυτού του σεναρίου διευκολύνονται από ασύρματους αισθητήρες οι οποίοι τοποθετήθηκαν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας, ή τα επίπεδα των διαφόρων αερίων στην ατμόσφαιρα του κτιρίου. Σε αυτή την περίπτωση, οι πληροφορίες μπορούν να ανταλλάσσονται μεταξύ όλων των αισθητήρων σε έναν όροφο, και οι αναγνώσεις τους μπορούν να συνδυαστούν για να σχηματίσουν αξιόπιστες μετρήσεις. Έπειτα, τα εξαρτήματα του συστήματος μπορούν να εργαστούν μαζί προκειμένου να μειώσουν τη θερμοκρασία, να εισάγουν φρέσκο αέρα ή ακόμη και να ανοίξουν τα παράθυρα. Τα κλιματιστικά μπορούν επίσης να αφαιρέσουν την υγρασία από τον αέρα όταν τα επίπεδα αυτής είναι υψηλά. Οι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να εντοπίζουν και να αντιδρούν σε κινήσεις (π.χ., ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας τα φώτα). Κάπως έτσι, συσκευές Fog θα μπορούσαν να ανατεθούν σε κάθε όροφο και να συνεργαστούν σε υψηλότερο επίπεδο ενεργοποίησης. Με το Fog Computing να εφαρμόζεται σε αυτό το σενάριο, έξυπνα κτίρια θα μπορούσαν να διατηρήσουν την κατασκευή τους, τα εξωτερικά και εσωτερικά περιβάλλοντα τους με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, νερού και άλλων πόρων.

4.6 Έξυπνο σπίτι

Το IoT έχει πολλούς αισθητήρες και συσκευές που συνδέονται στο σπίτι. Ωστόσο, αυτές οι συσκευές προέρχονται από διαφορετικούς προμηθευτές και έχουν διαφορετικές πλατφόρμες, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη συνεργασία τους. Επιπλέον, ορισμένες εργασίες χρειάζονται μεγάλο όγκο υπολογισμού και αποθήκευσης. Το Fog Computing λύνει πολλά από αυτά τα ζητήματα. Αρχικά, ενσωματώνει όλες τις διαφορετικές πλατφόρμες και δίνει πολλές δυνατότητες σε έξυπνες οικιακές εφαρμογές με ευέλικτους πόρους. Επιπρόσθετα, παρέχει πολλά οφέλη για τις εφαρμογές εγχώριας ασφάλειας. Μερικά από αυτά είναι η ενοποιημένη διεπαφή για την ενσωμάτωση όλων των διαφορετικών ανεξάρτητων συσκευών και οι ελαστικοί πόροι για την αποθήκευση, την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο και σε χαμηλό λανθάνοντα χρόνο.

Τα μελλοντικά έξυπνα σπίτια θα έχουν “συνείδηση” για το τι συμβαίνει μέσα σε ένα κτίριο, κυρίως επηρεαζόμενα από τρεις βασικούς παράγοντες : τη χρήση των πόρων, την ασφάλεια και την άνεση. Σκοπός είναι η επίτευξη καλύτερων επιπέδων άνεσης όπως επίσης και η μείωση των

συνολικών δαπανών. Έτσι λοιπόν, τα έξυπνα σπίτια θα είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν επαρκώς οποιαδήποτε θέματα ασφαλείας μέσω πολύπλοκων συστημάτων ασφαλείας για την ανίχνευση πυρκαγιάς, κλοπής ή παράνομης εισόδου. Οι φορείς που εμπλέκονται σ' αυτό το σενάριο αποτελούν μία ετερογενή ομάδα. Διάφοροι φορείς θα συνεργάζονται στο σπίτι του κάθε χρήστη, όπως εταιρίες του Διαδικτύου, κατασκευαστές συσκευών, φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών, πάροχοι υπηρεσιών οπτικοακουστικών μέσων, εταιρείες προστασίας, εταιρείες κοινής ωφελείας ηλεκτρικής ενέργειας κ.α. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις λειτουργίες τις οποίες θα είναι σε θέση να πραγματοποιήσει ένα έξυπνο σπίτι.

→ **Χρήση ενέργειας και νερού.**

Η κατανάλωση ενέργειας και νερού θα βρίσκεται υπό συνεχή έλεγχο ούτως ώστε να ληφθούν οι κατάλληλες συμβουλές και αποφάσεις για τη μείωση των πόρων και του κόστους.

→ **Απομακρυσμένες συσκευές ελέγχου.**

Η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση συσκευών θα μπορεί να γίνει εξ' αποστάσεως για να αποφευχθούν ατυχημάτων και να εξοικονομηθεί όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια.

→ **Συστήματα ανίχνευσης εισβολής.**

Απαραίτητη κρίνεται η ανίχνευση των παραθύρων και των θυρών ώστε να γίνονται αντιληπτές οι παραβιάσεις και να αποτρέπουν τους εισβολείς.

→ **Περιμετρικός έλεγχος πρόσβασης.**

Ο έλεγχος πρόσβασης σε ζώνες περιορισμένης πρόσβασης και εντοπισμός των ατόμων σε μη εγκεκριμένες περιοχές κρίνεται εξίσου σημαντικός.

4.7 Έξυπνες πόλεις

Παρά το γεγονός ότι ο όρος έξυπνη πόλη εξακολουθεί να είναι μία ασαφής έννοια, υπάρχει μία γενική συμφωνία ότι πρόκειται για μία αστική περιοχή που δημιουργεί βιώσιμη ανάπτυξη και υψηλή ποιότητα ζωής. Το μοντέλο αποσαφηνίζει τα χαρακτηριστικά μιας έξυπνης πόλης, περιλαμβάνοντας την οικονομία, τους ανθρώπους, τη διακυβέρνηση, την κινητικότητα, το περιβάλλον και τη διαβίωση. Ξεπερνώντας αυτούς τους βασικούς τομείς η υλοποίηση μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ισχυρής δύναμης του ανθρώπου ή του κοινωνικού κεφαλαίου και των υποδομών. Μια πρώτη ανάλυση των επιχειρήσεων καταλήγει στο συμπέρασμα ότι πολλοί τομείς και κλάδοι θα επωφεληθούν και κατά συνέπεια θα «ανθίσουν» μέσα από πιο ψηφιοποιημένες και έξυπνες πόλεις. Όμως για την υλοποίηση μιας έξυπνης πόλης η χρήση του Fog Computing κρίνεται αναγκαία.

Λειτουργίες που θα εκτελεί μια έξυπνη πόλη :

- **Μελέτη κατάστασης**

Παρακολούθηση των δονήσεων και των όλων υλικών συνθηκών σε κτίρια, γέφυρες και ιστορικά μνημεία.

- **Χάρτες αστικού θορύβου**

Παρακολούθηση ήχου σε περιοχές όπου υπάρχουν μπαρ και σε κεντρικές ζώνες σε πραγματικό χρόνο.

- **Ανίχνευση Smartphone**

Εντοπισμός συσκευών κινητής τηλεφωνίας και γενικά οποιασδήποτε συσκευής λειτουργεί με WiFi ή Bluetooth διεπαφές.

- **Έξυπνος φωτισμός**

Ευφυής και προσαρμόσιμος φωτισμός με βάση τις καιρικές συνθήκες στα φώτα του δρόμου.

- **Διαχείριση απορριμμάτων**

Ανίχνευση των επιπέδων των σκουπιδιών για τη βελτιστοποίηση των δρομολογίων συλλογής απορριμμάτων.

- **Έξυπνοι δρόμοι**

Ύπαρξη Ευφύων αυτοκινητόδρομων με προειδοποιητικά μηνύματα και εκτροπές ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τα απροσδόκητα γεγονότα έτσι ώστε να ελαττωθούν τα ατυχήματα και η κυκλοφοριακή συμφόρηση.

4.8 Έξυπνο περιβάλλον

Η έννοια του έξυπνου περιβάλλοντος προωθεί την ιδέα ενός φυσικού κόσμου που είναι πλούσιος και ορατά συνυφασμένος με αισθητήρες, ενεργοποιητές, οθόνες και υπολογιστικά στοιχεία, τα οποία έχουν ενσωματωθεί αρμονικά στα καθημερινά αντικείμενα της ζωής μας και συνδέονται μέσω ενός συνεχούς δικτύου. Με το Fog Computing η υλοποίηση των παρακάτω εφαρμογών είναι φανερά ευκολότερη καθιστώντας με αυτό το τρόπο την ανθρώπινη αλληλεπίδραση με το σύστημα μία ευχάριστη εμπειρία .

- **Πυρανίχνευση δασικών περιοχών**

Παρακολούθηση των αερίων καύσης και των συνθηκών που ευνοούν μία ενδεχόμενη πυρκαγιά προκειμένου να οριστούν οι επικίνδυνες ζώνες.

- **Ατμοσφαιρική ρύπανση**

Συνεχής έλεγχος των εκπομπών CO₂ της ρύπανσης των εργοστασίων που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα και των τοξικών αερίων που παράγονται σε αγροκτήματα.

- **Παρακολούθηση επιπέδων χιονιού**

Μέτρηση της στάθμης του χιονιού και ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο για την ποιότητα του χιονιού στις πίστες του σκι και τον κίνδυνο χιονοστιβάδων.

- **Πρόληψη κατολίσθησης και χιονοστιβάδων**

Παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους, των δονήσεων και της πυκνότητας της γης με στόχο την ανίχνευση επικίνδυνων φαινομένων.

- **Πρώιμη ανίχνευση σεισμών**

Κατανεμημένος έλεγχος σε συγκεκριμένες περιοχές δονήσεων.

4.9 Παρακολούθηση υγειονομικής περίθαλψης και δραστηριότητας

Το Fog Computing διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην υγειονομική περίθαλψη. Παρέχει επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο και απαντήσεις σε εκδηλώσεις που είναι κρίσιμες για την περίθαλψη του ασθενούς. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση μεγάλου αριθμού συσκευών υγειονομικής περίθαλψης για απομακρυσμένη αποθήκευση, επεξεργασία και ανάκτηση ιατρικών αρχείων από το cloud απαιτεί αξιόπιστη σύνδεση δικτύου. Στον τομέα αυτό, το Fog Computing καθιστά την ανθρώπινη αλληλεπίδραση πολύ πιο αποτελεσματική αφού επιτρέπει όχι μόνο τον εντοπισμό αλλά και την παρακολούθηση των ασθενών. Οι πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του ασθενή καθιστά την όλη διαδικασία πιο αποτελεσματική και επίσης τους αφήνει πολύ πιο ικανοποιημένους. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες σε αυτό το σενάριο θα είναι τα δημόσια και ιδιωτικά νοσοκομεία και τα ιδρύματα

Παραδείγματα χρήσης του Fog Computing για την παρακολούθηση υγειονομικής περίθαλψης :

- **Ανίχνευση Πτώσης**

Παροχή βοήθειας σε ηλικιωμένους και σε άτομα με ειδικές ανάγκες τα οποία ζουν μόνα τους.

- **Ιατρικά Ψυγεία**

Τακτικός έλεγχος των συνθηκών μέσα σε καταψύκτες αποθήκευσης εμβολίων, φαρμάκων και οργανικών στοιχείων.

- **Φροντίδα Αθλητών**

Σημεία ελέγχου σε κέντρα υψηλής απόδοσης.

- **Επιτήρηση Ασθενών**

Παρακολούθηση των ασθενών μέσα στα νοσοκομεία αλλά και τα γηροκομεία.

- **Υπεριώδης Ακτινοβολία**

Καθημερινή μέτρηση της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου UV ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες, προκειμένου να προειδοποιηθεί ο κόσμος ώστε να αποφεύγει την έκθεση στον ήλιο συγκεκριμένες ώρες.

- **Καλύτερη ποιότητα ζωής για τους ηλικιωμένους**

Η χρήση της εφαρμογής του IoT σε συνδυασμό με το FC μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα ζωής για τον αυξανόμενο αριθμό των ηλικιωμένων. Για παράδειγμα, φανταστείτε μία μικρή φορητή συσκευή προσαρμοσμένη πάνω μας που μπορεί να ανιχνεύσει τα ζωτικά σημεία ενός ατόμου και να στείλει μια προειδοποίηση σε έναν επαγγελματία του τομέα της υγείας, όταν έχει επιτευχθεί ένα ορισμένο όριο, ή την αίσθηση όταν ένα άτομο έχει πέσει κάτω και δεν μπορεί να σηκωθεί. Κάτι τέτοιο θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμο.

4.10 IoT και Κυβερνο-φυσικά συστήματα (CPS)

Η ενσωμάτωση του Fog Computing με το IoT και τα κυβερνοσωματικά συστήματα (CPS) καθίσταται δυνατή. Το IoT είναι ένα δίκτυο που είναι σε θέση να διασυνδέει όλες τις παγκόσμιες συσκευές μαζί με μια προσδιορισμένη διεύθυνση που χρησιμοποιεί το Διαδίκτυο και τις τηλεπικοινωνίες. Από την άλλη, το CPS είναι ένας συνδυασμός φυσικών και υπολογιστικών στοιχείων. Η ενσωμάτωση των CPS με το IoT θα μετατρέψει τον κόσμο σε μια φυσική πραγματικότητα που βασίζεται σε υπολογιστή. Το FC έχει σχεδιαστεί με την έννοια των ενσωματωμένων συστημάτων, για παράδειγμα, συνδεδεμένων οχημάτων, ιατρικών συσκευών και άλλων. Με το συνδυασμό υπολογιστών ομίχλης με το IoT και το CPS, θα καταστεί δυνατή η ανάπτυξη ευφυών ιατρικών συσκευών, έξυπνων κτιρίων και γεωργικών και ρομποτικών συστημάτων.

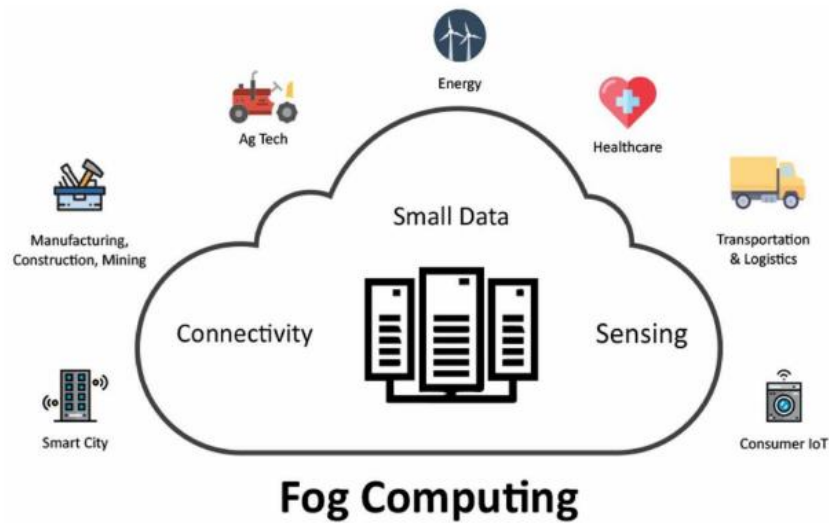
4.11 Software Defined Networks (SDN)

Το SDN είναι ένα αναδυόμενο σχήμα πληροφορικής και δικτύωσης, το οποίο έγινε ένα από τα πιο δημοφιλή θέματα στη βιομηχανία της πληροφορικής. Χωρίζει στρώματα ελέγχου και επικοινωνίας δεδομένων. Ο έλεγχος πραγματοποιείται σε κεντρικό server, και οι κόμβοι ακολουθούν μια διαδρομή επικοινωνίας που αποφασίζεται από τον διακομιστή. Ο κεντρικός διακομιστής μπορεί να χρειαστεί καταναμημένο σχεδιασμό. Η έννοια SDN μελετήθηκε σε WLAN, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, αλλά δεν διαθέτουν ασύρματη επικοινωνία πολλαπλών ανακλάσεων (multihop) και δρομολόγηση πολλαπλών ανακλάσεων. Επιπλέον, δεν υπάρχει καμία επικοινωνία μεταξύ ομότιμων σε αυτό το σενάριο. Η SDN έννοια μαζί με το Fog

Computing θα επιλύσει τα κύρια θέματα στα δίκτυα οχημάτων, την διαλείπουσα συνδεσιμότητα, τις συγκρούσεις και τον υψηλό ρυθμό απώλειας πακέτων, με αύξηση επικοινωνιών από όχημα σε όχημα και από όχημα στην υποδομή επικοινωνιών καθώς και με κεντρικό έλεγχο. Η SDN έννοια για τα δίκτυα οχημάτων προτείνεται για πρώτη φορά.

4.12 Επαυξημένη Πραγματικότητα

Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) αναφέρεται σε συστήματα που προσθέτουν εικονικές πληροφορίες στον πραγματικό κόσμο. Η AR έχει γίνει μια σημαντική εφαρμογή λόγω των υπολογιστικών συσκευών γίνονται μικρότερες, πιο γρήγορα και πιο πανταχού παρούσα. Οι εφαρμογές AR είναι εξαιρετικά ευαίσθητες στον λανθάνοντα χρόνο, καθώς μια μικρή καθυστέρηση στην απόκριση της εφαρμογής μπορεί να βλάψει την εμπειρία του χρήστη. Το FC έχει τη δυνατότητα να είναι ένας βασικός παράγοντας στον τομέα AR, χρησιμοποιώντας τόσο την ομίχλη και όσο διακομιστές Cloud (cloud servers) για να καταστεί δυνατή η εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο. Ορισμένοι ερευνητές έχουν σχεδιάσει ένα επαυξημένο εγκεφαλικό-υπολογιστικό παιχνίδι αλληλεπίδρασης (ABCI) με βάση το FC. Τέλος, έχουν αποδείξει ότι ένας συνδυασμός Fog και διακομιστών Cloud μπορεί να παρέχει ένα συνεχές παιχνίδι σε πραγματικό χρόνο [8],[5].



Εικόνα 4. Η υπολογιστική ομίχλη υποστηρίζει πολλές IoT εφαρμογές, προκειμένου να παρέχει καλύτερες υπηρεσίες στους πελάτες (Πηγή(Zao,2014))

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5⁰ : Περίπτωση μελέτης Fog Computing με τη χρήση του iFogSim

Η προσομοίωση είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές στο σχεδιασμό και τη διαχείριση δικτύων για την πρόβλεψη της απόδοσης ενός δικτύου ή τον έλεγχο αυτού πριν το δίκτυο εφαρμοστεί σε πραγματικό περιβάλλον. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται ο προσομοιωτής iFogSim, που χρησιμοποιείται για την μελέτη και την ανάλυση Fog Computing υλοποιήσεων. Το iFogSim είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει την αναδημιουργία ενός Fog Computing συστήματος για διάφορες καταστάσεις και συνθήκες. Μπορούμε δηλαδή, με τη βοήθεια του να προσθέσουμε τα απαραίτητα συστατικά ενός συστήματος (fog συσκευές, sensors, κ.λπ.), και να προσομοιώσουμε τη λειτουργία του και να συλλέξουμε ένα πλήθος χαρακτηριστικών μετρήσεων, όπως για παράδειγμα το κόστος. Τα συστατικά του iFogSim δομούνται σε επίπεδα, σύμφωνα με την αρχιτεκτονική του Fog Computing. Η επιλογή του συγκεκριμένου προσομοιωτή βασίστηκε τόσο στις παρεχόμενες δυνατότητες όσο και στη μεγάλη αποδοχή εκ μέρους των χρηστών. Η αποδοχή του αποτυπώνεται από τη χρήση του σε ερευνητικές εργασίες αλλά και το πλήθος των οδηγών που δημοσιεύουν οι χρήστες του. Εδώ θα παρουσιάσουμε μια περίπτωση μελέτης Fog Computing, όπως παρουσιάστηκε στην εργασία των Gupta & Harsit το 2017(Gupta,2017). Πιο συγκεκριμένα, το σενάριο μελετά την εφαρμογή έξυπνης παρακολούθησης μέσω ενός κατανεμημένου δικτύου από κάμερες. Η μελέτη των Gupta & Harsit παρουσιάζει την υποδομή του Fog Computing, την τοποθέτηση υπηρεσιών και τις πολιτικές κατανομής πόρων. Πέρα από τις βήμα προς βήμα οδηγίες εγκατάστασης, παρουσιάζεται και ο τρόπος χρήσης και αξιοποίησης του εργαλείου για την προσομοίωση του σεναρίου και τη δημιουργία συσκευών, καθώς και αντικειμένων στο iFogSim. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, μπορούν να αναλυθούν και να εξαχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα.

5.1 iFogSim

Το iFogSim είναι μια εργαλειοθήκη υψηλής απόδοσης ανοιχτού κώδικα που βασίζεται σε Java για τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση των δικτύων του Edge Computing, του Internet of Things και του Fog Computing. Το iFogSim ενσωματώνει τις τεχνικές διαχείρισης πόρων που

μπορούν να προσαρμοστούν περαιτέρω σύμφωνα με τον τομέα της έρευνας. Η προσομοίωση με το iFogSim λειτουργεί σε συνεργασία με το CloudSim. Το CloudSim είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη βιβλιοθήκη για την προσομοίωση του περιβάλλοντος που στηρίζεται στο Cloud και τη διαχείριση των πόρων. Το επίπεδο του CloudSim υπάρχει για να χειριστεί τα συμβάντα μεταξύ των στοιχείων του Fog Computing χρησιμοποιώντας iFogSim. Από την άλλη πλευρά, το iFogSim εφαρμόζει το μοντέλο Sense-Process-Orchestrate και κατανομημένη ροή δεδομένων, ενώ προσομοιώνει οποιοδήποτε σενάριο εφαρμογής στο περιβάλλον υπολογιστών Fog. Επίσης, διευκολύνει την αξιολόγηση του λανθάνοντος χρόνου από άκρο σε άκρο, της συμφόρησης του δικτύου, της χρήσης ενέργειας, των λειτουργικών εξόδων και της ικανοποίησης από το QoS. Σε σημαντικό όγκο ερευνητικών έργων, το iFogSim έχει ήδη χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση πόρων, κινητικότητας, λανθάνουσας κατάστασης, ποιότητα εμπειρίας (QoE), ενέργειας, διαχείριση ασφάλειας και QoS του περιβάλλοντος υπολογιστών ομίχλης.

Το iFogSim αποτελείται από 3 βασικά συστατικά. Αυτά είναι τα φυσικά εξαρτήματα, τα λογικά στοιχεία και τα στοιχεία διαχείρισης. Κάθε συστατικό του iFogSim υλοποιείται με τη χρήση των κλάσεων οι οποίες περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

5.1.1 Συστατικά του iFogSim

Παρακάτω βρίσκονται οι κλάσεις του iFogSim οι οποίες απαιτούνται προκειμένου να γίνει η προσομοίωση του δικτύου ομίχλης :

- **Fog Device**

Αυτή η κλάση καθορίζει τα χαρακτηριστικά υλικού των συσκευών Fog και τις συνδέσεις τους με άλλες συσκευές Fog, αισθητήρες και ενεργοποιητές. Έχοντας πραγματοποιηθεί κατ' επέκταση από την κλάση PowerDatacenter στο CloudSim, τα κύρια χαρακτηριστικά της κλάσης FogDevice είναι η προσβάσιμη μνήμη, ο επεξεργαστής, το μέγεθος αποθήκευσης, τα εύρος ζώνης ανερχόμενης ζεύξης και downlink (καθορίζοντας τη χωρητικότητα επικοινωνίας των συσκευών Ομίχλης). Οι μέθοδοι αυτής της κλάσης καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο προγραμματίζονται οι πόροι μιας συσκευής Fog μεταξύ των λειτουργικών μονάδων εφαρμογής που εκτελούνται σε αυτήν και του τρόπου ανάπτυξης και παροπλισμού των λειτουργικών μονάδων σε αυτές. Η παράκαμψη αυτών των μεθόδων επιτρέπει στους προγραμματιστές να προσθέσουν προσαρμοσμένες πολιτικές για τις προαναφερθείσες συναρτήσεις.

- **Sensor**

Με τη χρήση της κλάσης αισθητήρων, δημιουργούμε συσκευές IoT στο iFogSim. Κατά τη δημιουργία των αισθητήρων, ορίζουμε το αναγνωριστικό συσκευής πύλης και τον λανθάνοντα χρόνο σύνδεσης εγκατάστασης. Η συσκευή πύλης είναι η συσκευή με την οποία είναι συνδεδεμένος ο αισθητήρας και οποιοσδήποτε συσκευές, όπως ένας δρομολογητής, ένας κόμβος ομίχλης ή ένας διακομιστής μεσολάβησης μπορούν να χρησιμεύσουν ως πύλη. Ο λανθάνων χρόνος σύνδεσης εγκατάστασης είναι ο χρόνος καθυστέρησης για τη δημιουργία σύνδεσης μεταξύ του αισθητήρα και της συσκευής Fog. Κανονικά, θέτουμε το χρόνο καθυστέρησης σύνδεσης εγκατάστασης μεταξύ ενός έως τριών χιλιοστών του δευτερολέπτου.

- **Actuator**

Αυτή η κλάση διαμορφώνει έναν ενεργοποιητή καθορίζοντας τις ιδιότητες σύνδεσης δικτύου του. Ένα χαρακτηριστικό στην κλάση αναφέρεται στην πύλη στην οποία είναι συνδεδεμένος ο ενεργοποιητής και στον λανθάνοντα χρόνο αυτής της σύνδεσης. Η κλάση ορίζει μια μέθοδο για την εκτέλεση μιας ενέργειας κατά την άφιξη μιας πλειάδας από μια λειτουργική μονάδα εφαρμογής.

- **Tuple**

Tuples αποτελούν τη θεμελιώδη μονάδα επικοινωνίας μεταξύ των οντοτήτων στο Fog Computing. Τα στοιχεία που αντιπροσωπεύονται ως παρουσίες της κλάσης Tuple στο iFogSim, η οποία μεταβιβάζεται από την κλάση Cloudlet του CloudSim. Μια πλειάδα χαρακτηρίζεται από τον τύπο της και τις ενότητες εφαρμογής πηγής και προορισμού. Τα χαρακτηριστικά της κλάσης καθορίζουν τις απαιτήσεις επεξεργασίας (που ορίζονται ως εκατομμύρια οδηγίες (MI)) και το μήκος των δεδομένων που συμπυκνώνονται στην πλειάδα.

- **Application**

Μια εφαρμογή διαμορφώνεται ως κατευθυνόμενο γράφημα, οι κορυφές του DAG που αντιπροσωπεύουν ενότητες που εκτελούν επεξεργασία σε εισερχόμενα δεδομένα και άκρες που υποδηλώνουν τις εξαρτήσεις δεδομένων μεταξύ των ενότητων. Αυτές οι οντότητες πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες κλάσεις:

- **AppModule:** Οι παρουσίες της κλάσης AppModule αντιπροσωπεύουν στοιχεία επεξεργασίας εφαρμογών ομίχλης.
- **AppEdge:** Μια παρουσία AppEdge δηλώνει την εξάρτηση δεδομένων μεταξύ ενός ζεύγους λειτουργικών μονάδων εφαρμογής και αντιπροσωπεύει ένα κατευθυνόμενο άκρο στο μοντέλο εφαρμογής.
- **AppLoop:** AppLoop είναι μια πρόσθετη κατηγορία, που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των βρόχων ελέγχου διαδικασίας του ενδιαφέροντος για το χρήστη.

Μια πλειάδα δημιουργείται από έναν αισθητήρα και αποστέλλεται στην πύλη με την οποία είναι συνδεδεμένος ο αισθητήρας. Η λειτουργία επιστροφής κλήσης για το χειρισμό μιας εισερχόμενης διεργασίας πλειάδας TupleArrival() καλείται μόλις η πλειάδα φτάσει στη συσκευή Fog (πύλη). Σε περίπτωση που η πλειάδα πρέπει να δρομολογηθεί σε άλλη συσκευή Fog, αποστέλλεται αμέσως χωρίς επεξεργασία. Διαφορετικά, εάν η λειτουργική μονάδα εφαρμογής στην οποία πρέπει να εκτελεστεί η πλειάδα τοποθετείται στη Fog συσκευή λήψης, η πλειάδα υποβάλλεται για εκτέλεση. Ο έλεγχος λειτουργίας CloudletCompletion() καλείται στη συσκευή ομίχλης μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης της πλειάδας. Εκτός από τις βασικές λειτουργίες επεξεργασίας πλειάδας, οι προσομοιωμένες υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες στο iFogSim είναι:

- **Υπηρεσία παρακολούθησης ισχύος:** Κάθε συσκευή Fog (μια παρουσία FogDevice) σχετίζεται με ένα μοντέλο τροφοδοσίας (π.χ. PowerModelLinear). Η μέθοδος executeTuple() στην κλάση FogDevice περιέχει τη λογική επεξεργασίας πλειάδας όπου χρησιμοποιείται το

σχετικό μοντέλο ενέργειας για την ενημέρωση της κατανάλωσης ενέργειας της συσκευής με βάση τις αλλαγές στη χρήση του πόρου.

• **Υπηρεσία διαχείρισης πόρων:** το iFogSim έχει δύο επίπεδα διαχείρισης πόρων για εφαρμογές τοποθέτηση και προγραμματισμός τα οποία ορίζονται ως ξεχωριστές πολιτικές για τη διευκόλυνση της επέκτασης και της προσαρμογής.

1. Τοποθέτηση εφαρμογών: Η πολιτική τοποθέτησης καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται οι λειτουργικές μονάδες εφαρμογής σε όλες τις συσκευές Fog κατά την υποβολή της αίτησης. Η διαδικασία τοποθέτησης μπορεί να καθοδηγείται από στόχους όπως η ελαχιστοποίηση του λανθάνοντος χρόνου από άκρο σε άκρο, της χρήσης δικτύου, του λειτουργικού κόστους ή της κατανάλωσης ενέργειας. Η λειτουργική μονάδα κλάσης είναι η αφηρημένη πολιτική τοποθέτησης που πρέπει να επεκταθεί για την ενσωμάτωση νέων πολιτικών.

2. Προγραμματισμός εφαρμογών: Προγραμματισμός πόρων της συσκευής Fog υποδοχής σε ενότητες εφαρμογών αποτελεί το δεύτερο επίπεδο διαχείρισης πόρων. Το προεπιλεγμένο χρονοδιάγραμμα πόρων διαιρεί εξίσου τους πόρους μιας συσκευής μεταξύ όλων των ενεργών λειτουργικών μονάδων εφαρμογής. Η πολιτική προγραμματισμού εφαρμογών μπορεί να προσαρμοστεί παρακάμπτοντας τη μέθοδο `updateAllocatedMips` μέσα στην κλάση `FogDevice`.

Οι ενσωματωμένες στρατηγικές τοποθέτησης ενότητας iFogSim συσκευάζονται με δύο στρατηγικές τοποθέτησης ενότητας εφαρμογής. Τοποθέτηση μόνο στο Cloud και τοποθέτηση στο edge-ward.

1. Τοποθέτηση μόνο στο Cloud: Η στρατηγική τοποθέτησης μόνο στο Cloud βασίζεται στην παραδοσιακή υλοποίηση εφαρμογών με βάση το Cloud, όπου όλες οι λειτουργικές μονάδες μιας εφαρμογής εκτελούνται σε κέντρα δεδομένων. Ο βρόχος αίσθησης-διαδικασίας-ενεργοποίησης σε τέτοιες εφαρμογές εφαρμόζεται με την κατοχή των αισθητήρων που μεταδίδουν τα αισθητά στοιχεία στο σύννεφο όπου υποβάλλεται σε επεξεργασία και οι ενεργοποιητές ενημερώνονται εάν απαιτείται δράση.

2. Τοποθέτηση edge-ward: Η στρατηγική τοποθέτησης edge-ward ευνοεί την ανάπτυξη ενότητων εφαρμογής κοντά στην άκρη του δικτύου. Ωστόσο, οι συσκευές κοντά στην άκρη του δικτύου όπως δρομολογητές και σημεία πρόσβασης ενδέχεται να μην είναι υπολογιστικά αρκετά ισχυρές για να φιλοξενήσουν όλους τους τελεστές της εφαρμογής. Σε μια τέτοια περίπτωση, η στρατηγική επαναλαμβάνεται στις συσκευές Fog προς το Cloud και προσπαθεί να τοποθετήσει τους υπόλοιπους χειριστές σε εναλλακτικές συσκευές.

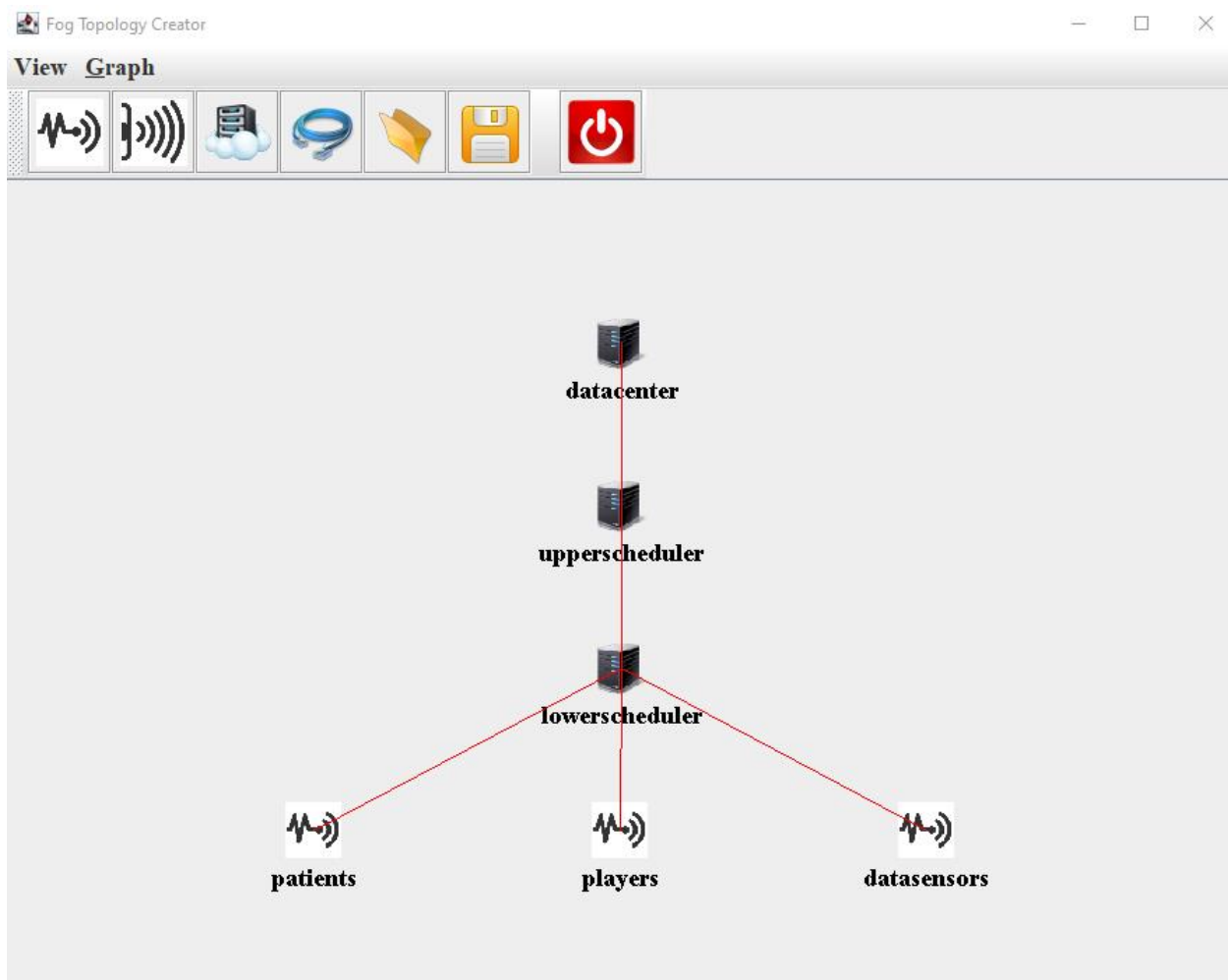
5.2 Βήματα για την εγκατάσταση του iFogSim

1. Αρχικά κατεβάζουμε τον πηγαίο κώδικα iFogSim στον η/θ μας από το GitHub <https://github.com/Cloudslab/iFogSim>.
2. Στη συνέχεια εξάγουμε το αρχείο zip iFogSim και θα υπάρξει ένας φάκελος που ονομάζεται iFogSim-master.
3. Έπειτα, βεβαιωνόμαστε ότι έχουμε εγκαταστήσει το Java Runtime Environment (JRE) ή το Java Development Kit (JDK) 1.7 ή περισσότερα.
4. Εγκαθιστούμε το Eclipse στον υπολογιστή.
5. Ορίζουμε το χώρο εργασίας για το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Eclipse (IDE).
6. Δημιουργούμε ένα νέο φάκελο για το iFogSim στο χώρο εργασίας Eclipse και κάνουμε επικόλληση όλα τα αρχεία και το περιεχόμενο του iFogSim-master σε αυτόν το φάκελο ή μπορούμε απλά να αντιγράψετε το iFogSim-master φάκελο και να το επικολλήσουμε στο φάκελο χώρου εργασίας
7. Ανοίγουμε το Eclipse IDE και δημιουργούμε το νέο έργο Java.
8. Αμέσως μετά, βεβαιωνόμαστε ότι το όνομα του έργου Java είναι το ίδιο με το όνομα του φακέλου που έχουμε δημιουργήσει στο χώρο εργασίας για το iFogSim.
9. Τώρα ανοίγουμε το src του έργου και εξερευνούμε το πακέτο org.fog.test.perfeval. Σε αυτό το πακέτο, υπάρχουν τρία παραδείγματα σεναρίων του iFogSim.
10. Τέλος, ανοίγουμε οποιοδήποτε σενάριο- παράδειγμα, το οποίο μπορούμε να εξερευνήσουμε και να εκτελέσουμε. Τα αποτελέσματα θα εμφανιστούν στην κονσόλα.

5.3 Γραφικό περιβάλλον εργασίας χρήστη

Για να διευκολυνθεί η περιγραφή της φυσικής τοπολογίας δικτύου, ένα GUI έχει κατασκευαστεί πάνω από τη λογική εφαρμογή iFogSim. Το GUI επιτρέπει στο χρήστη να σχεδιάσει φυσικά στοιχεία, όπως συσκευές ομίχλης, αισθητήρες, ενεργοποιητές και συνδέσεις. Ο ορισμός των χαρακτηριστικών αυτών των οντοτήτων μπορεί να τροφοδοτηθεί με την τοπολογία χρησιμοποιώντας το GUI. Οι έτοιμες τοπολογίες μπορούν να αποθηκευτούν και να φορτωθούν εκ νέου μετατρέποντας την τοπολογία από και προς τη μορφή αρχείου JSON. Οι φυσικές τοπολογίες μπορούν να δημιουργηθούν τόσο μέσω GUI όσο και μέσω προγραμματισμού μέσω API Java. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος δημιουργίας και προσομοίωσης μιας απλής τοπολογίας.

Αρχικά ανοίγουμε το Eclipse, αμέσως μετά ανοίγουμε το project στο οποίο έχουμε κάνει import το iFogSim. Έπειτα κάνουμε κλικ στο πακέτο `org.fog.gui.example` και μετά δεξί κλικ και Run as Java Application. Στη συνέχεια, δημιουργούμε την τοπολογία μας η οποία περιέχει τους Fog κόμβους και τους αισθητήρες. Καθώς τοποθετούμε τους κόμβους και τους αισθητήρες μας πρέπει να βάζουμε οπωσδήποτε τις κατάλληλες τιμές στις παραμέτρους. Η αναπαράσταση αυτής της φυσικής τοπολογίας εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.1 iFogSim GUI for building network topology.

Τέλος, εφόσον έχουμε ολοκληρώσει την τοπολογία μας, είμαστε πλέον σε θέση να κάνουμε κλικ στο κουμπί αποθήκευσης και να αποθηκεύσουμε τη δημιουργία μας. Αυτή ήταν μια απλή τοπολογία προκειμένου να κατανοήσουμε τη λειτουργία του συγκεκριμένου περιβάλλοντος.

Καθ' όλη τη διάρκεια της της εργασίας μας στο Fog Topology Creator, εμφανίστηκαν τα εξής αποτελέσματα στην κονσόλα του Eclipse, τα οποία ουσιαστικά μας δείχνουν τον κάθε κόμβο και sensor που δημιουργήσαμε.

```
COORD MAP{Sensor [dist=3 value=100.0]=Coordinates [abscissa=219, ordinate=464], Sensor [dist=1 mean=10.0 stdDev=5.0]=Coordinates [abscissa=438, ordinate=464]}
Start Node : patients
Start Node : players
Start Node : lowerscheduler
Target Node : patients
Target Node : players
Target Node : datasensors
Start Node : datasensors
Start Node : upperscheduler
Target Node : lowerscheduler
Start Node : datacenter
Target Node : upperscheduler
```

Εικόνα 5.1.2 Αποτελέσματα στη κονσόλα του Eclipse.

Προηγουμένως περιγράψαμε με απλό τρόπο τα βήματα για τη δημιουργία μιας σχετικά εύκολης τοπολογίας. Σε αυτό το σημείο θα καθορίζουμε πιο αναλυτικά τα βήματα υψηλού επιπέδου που πρέπει να ακολουθήσουμε για την προσομοίωση ενός περιβάλλοντος IoT/Fog στο iFogSim, για την ανάλυση των επιδόσεων των εφαρμογών και των πολιτικών διαχείρισης πόρων.

1. Πρώτα, πρέπει να δημιουργηθούν φυσικές οντότητες και να καθοριστούν οι δυνατότητες και οι ρυθμίσεις παραμέτρων τους. Αυτές περιλαμβάνουν αισθητήρες, πύλες και εικονικές μηχανές Cloud και τις συνδέσεις που περιγράφουν τον τρόπο σύνδεσης αυτών των οντοτήτων. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με τη χρήση του GUI ή μέσω προγραμματισμού χρησιμοποιώντας τις προαναφερθείσες iFogSim. Για να μοντελοποιήσουμε το φόρτο εργασίας του συστήματος, πρώτα θα πρέπει να ορίσουμε τα ποσοστά μετάδοσης πλειάδας του αισθητήρα χρησιμοποιώντας τη μετάδοση-Διανομή (ένα χαρακτηριστικό στην κατηγορία αισθητήρων). Το επόμενο βήμα στη μοντελοποίηση του φόρτου εργασίας είναι ο προσδιορισμός του χρόνου που απαιτούνται για την επεξεργασία των tuples. Για τον ορισμό της χρήσης πόρων, συμπεριλαμβανομένης της CPU και της μνήμης RAM, ορίζονται οι απαραίτητες μεταβλητές στην κλάση Tuple.
2. Δεύτερον, πρέπει να μοντελοποιήσουμε εφαρμογές. Όπως δηλώσαμε νωρίτερα μια εφαρμογή διαμορφώνεται ως κατευθυνόμενη ακυκλική γραφική παράσταση (DAG), και που χτίζεται μέσω τριών κατηγοριών AppModule, AppEdge, και AppLoop.

3. Τέλος, πρέπει να καθορίσουμε τις πολιτικές τοποθέτησης και προγραμματισμού που αντιστοιχίζονται τις ενότητες εφαρμογής στις συσκευές Fog. Οι πολιτικές ενδέχεται να εξετάσουν το εύρος κριτηρίων, συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών λανθάνουσας κατάστασης επεξεργασίας από άκρο σε άκρο, της απόδοσης, του κόστους, της κατανάλωσης ενέργειας και των περιορισμών συσκευών.

5.4 Περίπτωση μελέτης : Έξυπνη παρακολούθηση μέσω καταναμημένων δικτύων κάμερας.

Το καταναμημένο σύστημα των καμερών παρακολούθησης μιας περιοχής έχει συγκεντρώσει πολλή προσοχή τα τελευταία χρόνια, ιδίως με τη δυνατότητα ενός ευρέος φάσματος διεπιστημονικών εφαρμογών σε τομείς όπως η δημόσια ασφάλεια, η κατασκευή, οι μεταφορές, και η υγειονομική περίθαλψη. Ωστόσο, η παρακολούθηση ροών βίντεο από το σύστημα των καμερών με το χέρι δεν είναι πρακτική. Ως εκ τούτου χρειαζόμαστε εργαλεία που αναλύουν αυτόματα τα δεδομένα που προέρχονται από κάμερες και να συνοψίζουν τα αποτελέσματα με τρόπο που είναι επωφελής για τον τελικό χρήστη. Οι απαιτήσεις ενός τέτοιου συστήματος έχουν καταχωρηθεί ως εξής.

- **Επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης:** Για αποτελεσματική κάλυψη αντικειμένου, οι παράμετροι Παν, κλίση και ζουμ (Pan-tilt-zoom -PTZ) πολλαπλών καμερών πρέπει να συντονιστούν σε πραγματικό χρόνο με βάση την εικόνα που έχει καταγραφεί. Αυτό απαιτεί επικοινωνία χαμηλού λανθάνοντος χρόνου μεταξύ των καμερών και του συνόλου των στρατηγικών ελέγχου της κάμερας.

- **Χειρισμός ογκωδών δεδομένων:** Οι βιντεοκάμερες στέλνουν συνεχώς καταγεγραμμένα καρέ βίντεο για επεξεργασία, γεγονός που προκαλεί τεράστια κίνηση, ειδικά όταν λαμβάνονται υπόψη όλες οι κάμερες σε ένα σύστημα. Είναι απαραίτητο να χειριστούμε τον τόσο μεγάλο όγκο δεδομένων χωρίς να επιβαρύνουμε το δίκτυο σε κατάσταση συμφόρησης.

- **Βαριά μακροπρόθεσμη επεξεργασία:** Η στρατηγική ελέγχου της κάμερας πρέπει να ενημερώνεται συνεχώς, έτσι ώστε να μαθαίνει τη βέλτιστη στρατηγική υπολογισμού παραμέτρων PTZ. Αυτό απαιτεί ανάλυση των αποφάσεων που λαμβάνονται από τη στρατηγική ελέγχου για μεγάλο χρονικό διάστημα, γεγονός που καθιστά την ανάλυση αυτή υπολογιστικά εντατική.

Τα κεντρικά εργαλεία για την ανάλυση δεδομένων που δημιουργούνται από κάμερα δεν είναι επιθυμητά κυρίως λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων που πρέπει να αποσταλούν στην κεντρική μηχανή επεξεργασίας. Αυτό δεν θα οδηγήσει μόνο σε υψηλό λανθάνοντα χρόνο στο σύστημα, αλλά θα καταναλώνουν επίσης *mote* του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Ως εκ τούτου, η επεξεργασία των ροών βίντεο με αποκεντρωμένο τρόπο είναι μια πιο ενδεδειγμένη μέθοδος ανάλυσης. Το σύστημα έξυπνης επιτήρησης στοχεύει στο συντονισμό πολλαπλών καμερών με διαφορετικά πεδία θέας (FOVs-Field of View) για την παρακολούθηση μιας δεδομένης περιοχής. Ο συντονισμός μεταξύ των καμερών περιλαμβάνει τον συντονισμό των παραμέτρων

PTZ έτσι ώστε η καλύτερη άποψη της περιοχής μπορεί να ληφθεί. Επιπλέον, το σύστημα ειδοποιεί τον χρήστη σε περίπτωση παράτυπων γεγονότων τα οποία ενδέχεται να απαιτούν την προσοχή των αρχών ασφαλείας. Η έξυπνη κάμερα ανιχνεύει την κίνηση στο FOV της και αρχίζει να στέλνει μια ροή βίντεο στην εφαρμογή Intelligent Surveillance. Η εφαρμογή εντοπίζει το κινούμενο αντικείμενο στη ροή βίντεο που αποστέλλεται και ξεκινά την παρακολούθηση. Η παρακολούθηση των κινούμενων αντικειμένων γίνεται με τη συνεχή ρύθμιση των παραμέτρων PTZ των καμερών σε αυτό το σημείο, έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη εικόνα όλων των εντοπισμένων αντικειμένων. Επιπλέον, σε περίπτωση εντοπισμού ενός γεγονότος ενδιαφέροντος, η εφαρμογή ειδοποιεί τον χρήστη του συστήματος και του στέλνει καταγεγραμμένες ροές βίντεο μέσω του Διαδικτύου.

Μοντέλο εφαρμογής: Η ευφυής εφαρμογή επιτήρησης αποτελείται από πέντε σημαντικές ενότητες που εκτελούν την επεξεργασία - ανιχνευτής κινήσεων, ανιχνευτής αντικειμένων, ιχνηλάτης αντικειμένων, έλεγχος PTZ και διεπαφή χρήστη. Η εφαρμογή τροφοδοτείται ζωντανές ροές βίντεο από μια σειρά από κάμερες CCTV και ο έλεγχος PTZ σε κάθε κάμερα προσαρμόζει συνεχώς τις παραμέτρους PTZ. Οι λειτουργίες των προαναφερόμενων ενοτήτων είναι οι εξής:

1. Ανίχνευση κινήσεων: Αυτή η ενότητα ενσωματώνεται μέσα στις έξυπνες φωτογραφικές μηχανές που χρησιμοποιούνται στη μελέτη περίπτωσης. Διαβάζει συνεχώς τις πρώτες ροές βίντεο που συλλαμβάνονται από την κάμερα για να βρει την κίνηση ενός αντικειμένου. Σε περίπτωση ανίχνευσης κίνησης στο FOV της κάμερας, η ροή βίντεο προωθείται στη μονάδα ανίχνευσης αντικειμένων για περαιτέρω επεξεργασία.

2. Ανίχνευση αντικειμένων: Η μονάδα ανίχνευσης αντικειμένων λαμβάνει ροές βίντεο στις οποίες οι έξυπνες κάμερες ανιχνεύουν την κίνηση ενός αντικειμένου. Η λειτουργική μονάδα εξάγει το κινούμενο αντικείμενο από τις ροές βίντεο και τα συγκρίνει με αντικείμενα που ανακαλύφθηκαν προηγουμένως και είναι ενεργά στην περιοχή αυτή τη στιγμή. Σε περίπτωση που το αντικείμενο που εντοπίστηκε δεν έχει βρεθεί στην περιοχή πριν, ενεργοποιείται η παρακολούθηση για αυτό το αντικείμενο. Επιπλέον, υπολογίζει τις συντεταγμένες των αντικειμένων.

3. Object Tracker: Η ενότητα Object Tracker λαμβάνει τις τελευταίες υπολογισμένες συντεταγμένες των αντικειμένων που παρακολουθούνται επί του παρόντος και υπολογίζει μια βέλτιστη διαμόρφωση PTZ όλων των καμερών που καλύπτουν την περιοχή, έτσι ώστε τα εντοπισμένα αντικείμενα να μπορούν να συλληφθούν με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο. Αυτές οι πληροφορίες PTZ μεταφέρονται στον έλεγχο PTZ των καμερών περιοδικά.

4. Έλεγχος PTZ: Αυτή η ενότητα τρέχει σε κάθε έξυπνη φωτογραφική μηχανή και ρυθμίζει τη φυσική φωτογραφική μηχανή για να συμμορφωθεί με τις βέλτιστες παραμέτρους PTZ που στέλνονται από την ενότητα ιχνηλάτων αντικειμένων. Αυτή η ενότητα χρησιμεύει ως ενεργοποιητής του συστήματος και είναι ενσωματωμένη στις έξυπνες κάμερες.

5. Διεπαφή χρήστη (User Interface): Η εφαρμογή παρουσιάζει ένα περιβάλλον εργασίας χρήστη στέλνοντας ένα κλάσμα των ροών βίντεο που περιέχουν κάθε εντοπισμένο αντικείμενο

στη συσκευή του χρήστη. Για αυτήν την περίπτωση χρήσης, απαιτεί τέτοιες φιλτραρισμένες ροές βίντεο από τη λειτουργική μονάδα "Ανιχνευτής αντικειμένων".

Οι ενότητες εφαρμογής, εξαρτήσεις δεδομένων, ο βρόχος ελέγχου διαμορφώνονται χρησιμοποιώντας τις AppModule, AppEdge και AppLoop αντίστοιχα. Οι ιδιότητες των tuples που μεταφέρονται από τις άκρες μεταξύ των ενοτήτων της εφαρμογής περιγράφονται στον πίνακα Α.

Tuple Type	CPU Length	N/W Length
RAW_VIDEO_STREAM	1000	20000
MOTION_VIDEO_STREAM	2000	2000
DETECTED_OBJECT	500	2000
OBJECT_LOCATION	1000	100
PTZ_PARAMS	100	100

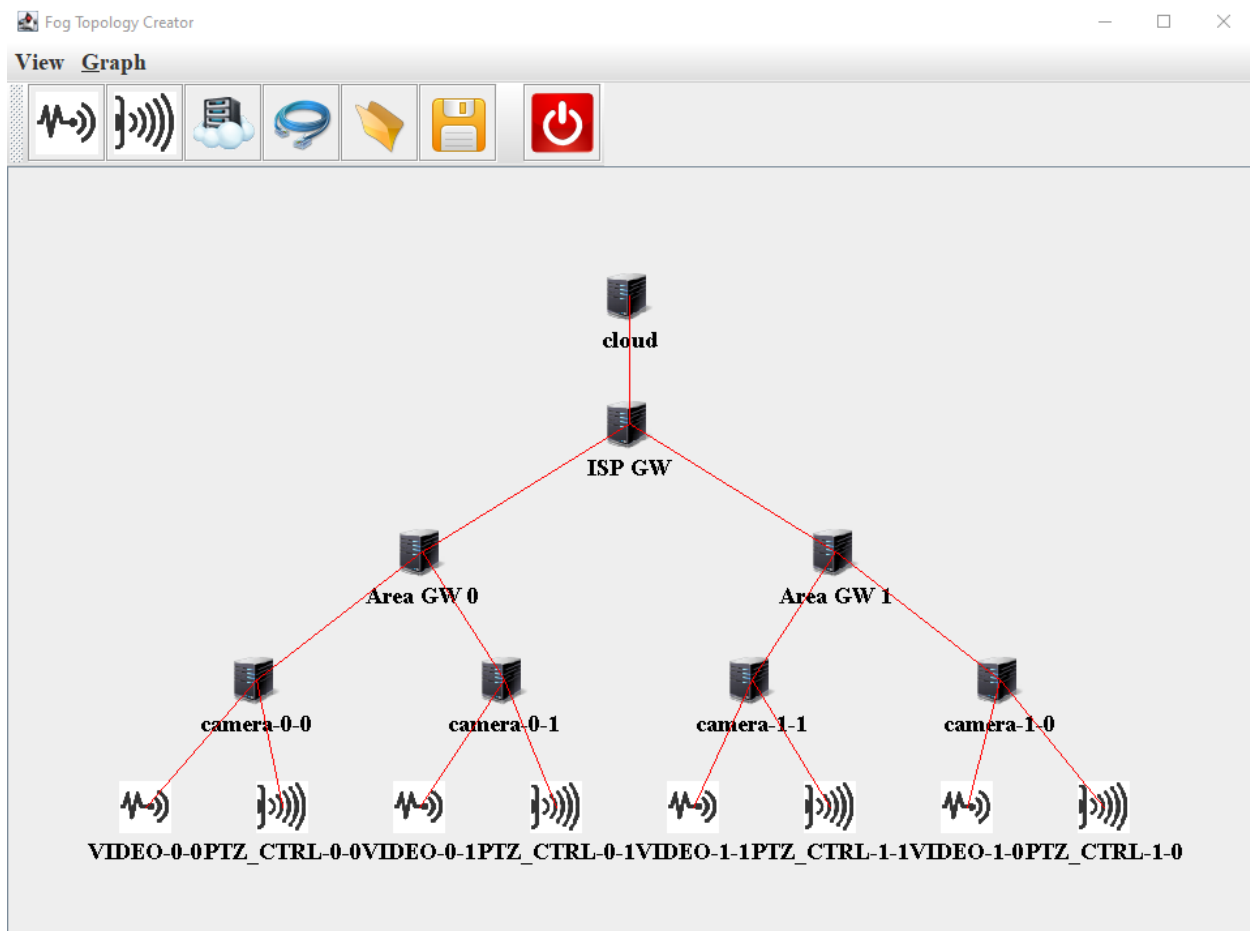
Πίνακας Α

Ο πίνακας Β δείχνει τη διαμόρφωση των αισθητήρων που εμπλέκονται στη μελέτη περίπτωσης. Εδώ, οι κάμερες που καταγράφουν ζωντανές τροφοδοσίες βίντεο λειτουργούν ως αισθητήρες και παρέχουν δεδομένα εισόδου στην εφαρμογή.

CPU Length	NW Length	Average Inter-arrival Time
1000 Million Instructions	20000 bytes	5 milliseconds

Πίνακας Β

5.5 Αποτελέσματα



Εικόνα 5.3.1 Φυσική Τοπολογία του συστήματος έξυπνης παρακολούθησης μέσω καταναμημένων δικτύων κάμερας στο iFogSim που έχουμε δημιουργήσει.

```

Problems @ Javadoc Declaration Console Coverage
<terminated> DCNSFog [Java Application] C:\Users\john\.p2\pool\plugins\org.eclipse.justj.openjdk
Starting DCNS...
Placement of operator object_detector on device d-0 successful.
Placement of operator object_tracker on device d-0 successful.
Creating user_interface on device cloud
Creating object_detector on device d-0
Creating object_tracker on device d-0
Creating motion_detector on device m-0-0
Creating motion_detector on device m-0-1
Creating motion_detector on device m-0-2
Creating motion_detector on device m-0-3
0.0 Submitted application dcns
=====
===== RESULTS =====
=====
EXECUTION TIME : 752
=====
APPLICATION LOOP DELAYS
=====
[motion_detector, object_detector, object_tracker] ---> 5.3571428571438195
[object_tracker, PTZ_CONTROL] ---> 3.110000000000363
=====
TUPLE CPU EXECUTION DELAY
=====
MOTION_VIDEO_STREAM ---> 2.957142857143481
DETECTED_OBJECT ---> 0.1111607142865978
OBJECT_LOCATION ---> 1.5285714285710128
CAMERA ---> 2.100000000000364
=====
cloud : Energy Consumed = 1.333477183112247E7
proxy-server : Energy Consumed = 834332.9999999987
d-0 : Energy Consumed = 1048835.431000002
m-0-0 : Energy Consumed = 846301.761000042
m-0-1 : Energy Consumed = 846301.761000042
m-0-2 : Energy Consumed = 846301.761000042
m-0-3 : Energy Consumed = 846301.761000042
Cost of execution in cloud = 20942.342857161806
Total network usage = 10897.52

```

Εικόνα 5.3.2 Αποτελέσματα στην κονσόλα του Eclipse

Δοκιμάζοντας την εκτέλεση του πειράματος, λάβαμε ορισμένα αποτελέσματα στην κονσόλα του Eclipse σχετικά με τον χρόνο εκτέλεσης. Πόσος χρόνος σε second καταναλώθηκε προκειμένου να εκτελεστεί ο κώδικάς μας. Επιπλέον κάτι εξίσου σημαντικό είναι και η ενέργεια που καταναλώθηκε σε κάθε κόμβο και στο Cloud αντίστοιχα έτσι ώστε να προωθηθούν οι ροές βίντεο στους ανώτερους κόμβους.

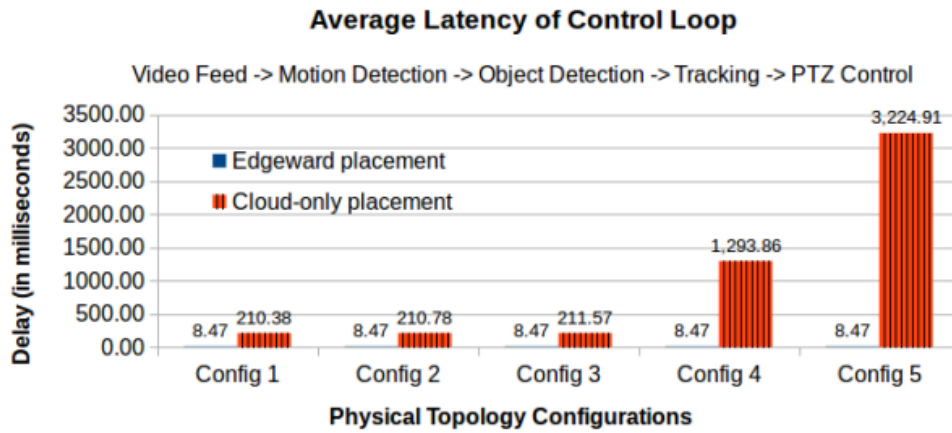
5.6 Αξιολόγηση της μελέτης

Για την επίδειξη της ευελιξίας του iFogSim, η εφαρμογή ευφυής επιτήρησης έχει αξιολογηθεί σε διάφορες διαμορφώσεις φυσικής υποδομής. Ο αριθμός των περιοχών που παρακολουθούνται κυμαίνονται από 1 έως 16. Επιπλέον, κάθε επιτηρημένη περιοχή έχει τέσσερις έξυπνες κάμερες που παρακολουθούν την περιοχή. Αυτές οι κάμερες είναι συνδεδεμένες σε μια πύλη περιοχής που διαχειρίζεται τη δραστηριότητα σε αυτήν την επιτηρημένη περιοχή. Στις προσομοιωμένες τοπολογίες, κάθε επιτηρημένη περιοχή έχει **4 έξυπνες κάμερες** συνδεδεμένες σε μια πύλη περιοχής, η οποία είναι υπεύθυνη για την παροχή πρόσβασης στο Διαδίκτυο σε αυτές. Ο αριθμός των περιοχών που παρακολουθούνται ποικίλλει σε όλες τις διαμορφώσεις φυσικής τοπολογίας Config 1, Config 2, Config 3, Config 4 και Config 5, έχοντας 1, 2, 4, 8 και 16 επιτηρούμενες περιοχές αντίστοιχα. Οι διαφορές δικτύου μεταξύ συσκευών παρατίθενται στον πίνακα Γ. Με αυτό το τρόπο, σχεδιάζεται μια φυσική τοπολογία. Η τοπολογία έχει το κέντρο δεδομένων σύννεφο στην κορυφή και έξυπνες κάμερες στην άκρη του δικτύου. Οι έξυπνες κάμερες τροφοδοτούνται με ζωντανές ροές βίντεο με τη μορφή tuples για την εκτέλεση ανίχνευσης κίνησης και ο έλεγχος PTZ της κάμερας έχει διαμορφωθεί ως ενεργοποιητής. Ομοίως, χρησιμοποιούνται δύο στρατηγικές τοποθέτησης, δηλαδή μόνο στο cloud και edge-ward για την τοποθέτηση ενοτήτων εφαρμογής στο φυσικό δίκτυο. Σε περίπτωση τοποθέτησης μόνο στο Cloud, όλοι οι χειριστές της εφαρμογής τοποθετούνται στο κέντρο δεδομένων Cloud εκτός από τη μονάδα Motion Detector, η οποία είναι συνδεδεμένη με τις έξυπνες κάμερες. Ωστόσο, στην τοποθέτηση Edgeward, οι ενότητες "Ανιχνευτής αντικειμένων" και "Παρακολούθηση αντικειμένων" προωθούνται σε πύλες WiFi που συνδέουν τις κάμερες σε μια επιτηρημένη περιοχή στο Internet. Η προσομοίωση αυτής της περιπτώσιολογικής μελέτης πραγματοποιήθηκε για μια περίοδο 1000 δευτερολέπτων.

Source	Destination	Latency (ms)
Camera	Area Switch	2
Area GW	ISP Gateway	2
ISP Gateway	Cloud DC	100

Πίνακας Γ

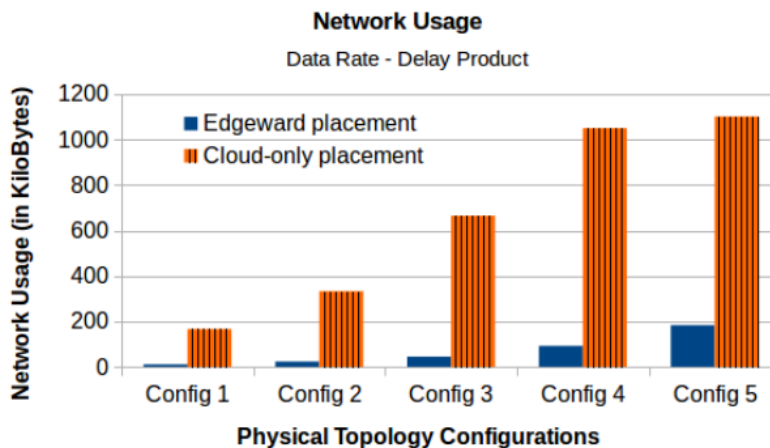
Μέσος χρόνος καθυστέρησης του βρόχου ελέγχου. Το σχήμα 5.4 καταδεικνύει τον μέσο λανθάνοντα χρόνο επεξεργασίας του βρόχου ελέγχου ανίχνευσης-ενεργοποίησης.



Εικόνα 5.4

Στην περίπτωση της στρατηγικής τοποθέτησης μόνο στο cloud, όπως δείχνει το σχήμα, τα κέντρα δεδομένων cloud στράφηκαν σε ένα σημείο συμφόρησης κατά την εκτέλεση των λειτουργικών μονάδων, το οποίο προκάλεσε σημαντική αύξηση του λανθάνοντος χρόνου. Από την άλλη, η τοποθέτηση edge-ward επιτυγχάνει τη διατήρηση χαμηλού λανθάνοντος χρόνου, καθώς τοποθετεί τις λειτουργικές μονάδες που είναι κρίσιμες για το βρόχο ελέγχου κοντά στην άκρη του δικτύου.

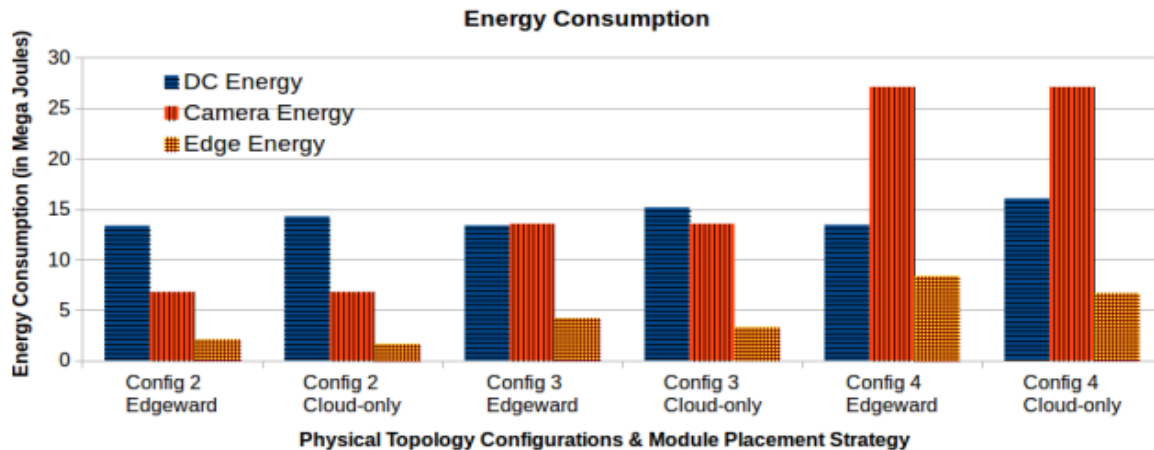
Χρήση δικτύου. Το σχήμα 5.5 δείχνει τη χρήση της εφαρμογής έξυπνης επιτήρησης για τις στρατηγικές τοποθέτησης στο δίκτυο. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των συσκευών που είναι συνδεδεμένες με την εφαρμογή, ο φόρτος στο δίκτυο αυξάνεται σημαντικά στην περίπτωση ανάπτυξης μόνο στο cloud σε αντίθεση με την ανάπτυξη της πτέρυγας άκρων.



Εικόνα 5.5

Η παρατήρηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι στην εκτέλεση βάσει ομίχλης, το μεγαλύτερο μέρος της επικοινωνίας έντασης δεδομένων πραγματοποιείται μέσω συνδέσεων χαμηλού λανθάνοντος χρόνου. Ως εκ τούτου, ενότητες όπως ο ανιχνευτής αντικειμένων και το Object Tracker τοποθετούνται στις συσκευές άκρη, οι οποίες μειώνουν σημαντικά τον όγκο των δεδομένων που αποστέλλονται σε ένα κεντρικό κέντρο δεδομένων σύννεφο.

Κατανάλωση ενέργειας. Το σχήμα 5.6 δείχνει την ενέργεια που καταναλώνεται από διαφορετικές κατηγορίες συσκευών στην προσομοίωση. Η ανάπτυξη της εφαρμογής σε συσκευές fog έχει συγκριθεί με την ανάπτυξη μόνο στα κέντρα δεδομένων Cloud. Οι κάμερες εκτελούν ανίχνευση κίνησης στα καρέ βίντεο που έχουν καταγραφεί, γεγονός που εξαντλεί μεγάλο όγκο ενέργειας. Ως εκ τούτου, όπως δείχνει το σχήμα 16, όταν αυξάνονται οι περιοχές υπό επιτήρηση, αυξάνεται και η κατανάλωση ενέργειας σε αυτές τις συσκευές.



Εικόνα 5.6

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω διαγράμματα έχουν δημιουργηθεί από τους ερευνητές Gupta & Harsit το 2017(Gupta,2017).

5.7 Αποσπάσματα κώδικα

```
1 package org.fog.test.perfeval;
2
3 import java.util.ArrayList;
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29 /**
30  * Simulation setup for case study 2 - Intelligent Surveillance
31  * @author Harshit Gupta
32  *
33  */
34 public class DCNSFog {
35     static List<FogDevice> fogDevices = new ArrayList<FogDevice>();
36     static List<Sensor> sensors = new ArrayList<Sensor>();
37     static List<Actuator> actuators = new ArrayList<Actuator>();
38     static int numOfAreas = 1;
39     static int numOfCamerasPerArea = 4;
40
41     private static boolean CLOUD = false;
42
43     public static void main(String[] args) {
44
45         Log.println("Starting DCNS...");
46
47         try {
48             Log.disable();
49             int num_user = 1; // number of cloud users
50             Calendar calendar = Calendar.getInstance();
51             boolean trace_flag = false; // mean trace events
52
53             CloudSim.init(num_user, calendar, trace_flag);
54
55             String appId = "dcns"; // identifier of the application
56
57             FogBroker broker = new FogBroker("broker");
58
59             Application application = createApplication(appId, broker.getId());
60             application.setUserId(broker.getId());
61
62             createFogDevices(broker.getId(), appId);
63
64             Controller controller = null;
65
66         }
67     }
68 }
69
70
71
72
73
74
```

```

75 ModuleMapping moduleMapping = ModuleMapping.createModuleMapping(); // initializing a module mapping
76 for(FogDevice device : fogDevices){
77     if(device.getName().startsWith("m")){ // names of all Smart Cameras start with 'm'
78         moduleMapping.addModuleToDevice("motion_detector", device.getName()); // fixing 1 instance of the Motion Detector module to
79     }
80 }
81 moduleMapping.addModuleToDevice("user_interface", "cloud"); // fixing instances of User Interface module in the Cloud
82 if(CLOUD){
83     // if the mode of deployment is cloud-based
84     moduleMapping.addModuleToDevice("object_detector", "cloud"); // placing all instances of Object Detector module in the Cloud
85     moduleMapping.addModuleToDevice("object_tracker", "cloud"); // placing all instances of Object Tracker module in the Cloud
86 }
87
88 controller = new Controller("master-controller", fogDevices, sensors,
89                             actuators);
90
91 controller.submitApplication(application,
92                             (CLOUD)?(new ModulePlacementMapping(fogDevices, application, moduleMapping))
93                             :(new ModulePlacementEdgewards(fogDevices, sensors, actuators, application, moduleMapping)));
94
95 TimeKeeper.getInstance().setSimulationStartTime(Calendar.getInstance().getTimeInMillis());
96
97 CloudSim.startSimulation();
98
99 CloudSim.stopSimulation();
100
101 Log.println("VRGame finished!");
102 } catch (Exception e) {
103     e.printStackTrace();
104     Log.println("Unwanted errors happen");
105 }
106 }

```

```

108 /**
109  * Creates the fog devices in the physical topology of the simulation.
110  * @param userId
111  * @param appId
112  */
113 private static void createFogDevices(int userId, String appId) {
114     FogDevice cloud = createFogDevice("cloud", 44800, 40000, 100, 10000, 0, 0.01, 16*103, 16*83.25);
115     cloud.setParentId(-1);
116     fogDevices.add(cloud);
117     FogDevice proxy = createFogDevice("proxy-server", 2800, 4000, 10000, 10000, 1, 0.0, 107.339, 83.4333);
118     proxy.setParentId(cloud.getId());
119     proxy.setUplinkLatency(100); // latency of connection between proxy server and cloud is 100 ms
120     fogDevices.add(proxy);
121     for(int i=0;i<numOfAreas;i++){
122         addArea(i+"", userId, appId, proxy.getId());
123     }
124 }
125
126 private static FogDevice addArea(String id, int userId, String appId, int parentId){
127     FogDevice router = createFogDevice("d-"+id, 2800, 4000, 10000, 10000, 1, 0.0, 107.339, 83.4333);
128     fogDevices.add(router);
129     router.setUplinkLatency(2); // latency of connection between router and proxy server is 2 ms
130     for(int i=0;i<numOfCamerasPerArea;i++){
131         String mobileId = id+"-"+i;
132         FogDevice camera = addCamera(mobileId, userId, appId, router.getId()); // adding a smart camera to
133         camera.setUplinkLatency(2); // latency of connection between camera and router is 2 ms
134         fogDevices.add(camera);
135     }
136     router.setParentId(parentId);
137     return router;
138 }
139
140 private static FogDevice addCamera(String id, int userId, String appId, int parentId){
141     FogDevice camera = createFogDevice("m-"+id, 500, 1000, 10000, 10000, 3, 0, 87.53, 82.44);
142     camera.setParentId(parentId);
143     Sensor sensor = new Sensor("s-"+id, "CAMERA", userId, appId, new DeterministicDistribution(5)); // inte
144     sensors.add(sensor);
145     Actuator ptz = new Actuator("ptz-"+id, userId, appId, "PTZ_CONTROL");
146     actuators.add(ptz);
147     sensor.setGatewayDeviceId(camera.getId());
148     sensor.setLatency(1.0); // latency of connection between camera (sensor) and the parent Smart Camera i
149     ptz.setGatewayDeviceId(camera.getId());
150     ptz.setLatency(1.0); // latency of connection between PTZ Control and the parent Smart Camera is 1 ms
151     return camera;
152 }

```



```

154 /**
155  * Creates a vanilla fog device
156  * @param nodeName name of the device to be used in simulation
157  * @param mips MIPS
158  * @param ram RAM
159  * @param upBw uplink bandwidth
160  * @param downBw downlink bandwidth
161  * @param level hierarchy level of the device
162  * @param ratePerMips cost rate per MIPS used
163  * @param busyPower
164  * @param idlePower
165  * @return
166  */
167 private static FogDevice createFogDevice(String nodeName, long mips,
168     int ram, long upBw, long downBw, int level, double ratePerMips, double busyPower, double idlePower) {
169
170     List<Pe> peList = new ArrayList<Pe>();
171
172     // 3. Create PEs and add these into a list.
173     peList.add(new Pe(0, new PeProvisionerOverbooking(mips))); // need to store Pe id and MIPS Rating
174
175     int hostId = FogUtils.generateEntityId();
176     long storage = 1000000; // host storage
177     int bw = 10000;
178
179     PowerHost host = new PowerHost(
180         hostId,
181         new RamProvisionerSimple(ram),
182         new BwProvisionerOverbooking(bw),
183         storage,
184         peList,
185         new StreamOperatorScheduler(peList),
186         new FogLinearPowerModel(busyPower, idlePower)
187     );
188
189     List<Host> hostList = new ArrayList<Host>();
190     hostList.add(host);
191
192     String arch = "x86"; // system architecture
193     String os = "Linux"; // operating system
194     String vmm = "Xen";
195     double time_zone = 10.0; // time zone this resource located
196     double cost = 3.0; // the cost of using processing in this resource
197     double costPerMem = 0.05; // the cost of using memory in this resource
198     double costPerStorage = 0.001; // the cost of using storage in this
199         // resource
200     double costPerBw = 0.0; // the cost of using bw in this resource
201     LinkedList<Storage> storageList = new LinkedList<Storage>(); // we are not adding SAN
202         // devices by now
203

```

```

204 FogDeviceCharacteristics characteristics = new FogDeviceCharacteristics(
205     arch, os, vmm, host, time_zone, cost, costPerMem,
206     costPerStorage, costPerBw);
207
208 FogDevice fogdevice = null;
209 try {
210     fogdevice = new FogDevice(nodeName, characteristics,
211         new AppModuleAllocationPolicy(hostList), storageList, 10, upBw, downBw, 0, ratePerMips);
212 } catch (Exception e) {
213     e.printStackTrace();
214 }
215
216 fogdevice.setLevel(level);
217 return fogdevice;
218 }
219
220 /**
221  * Function to create the Intelligent Surveillance application in the DDF model.
222  * @param appId unique identifier of the application
223  * @param userId identifier of the user of the application
224  * @return
225  */
226 @SuppressWarnings({"serial" })
227 private static Application createApplication(String appId, int userId){
228
229     Application application = Application.createApplication(appId, userId);
230     /*
231      * Adding modules (vertices) to the application model (directed graph)
232      */
233     application.addAppModule("object_detector", 10);
234     application.addAppModule("motion_detector", 10);
235     application.addAppModule("object_tracker", 10);
236     application.addAppModule("user_interface", 10);
237
238     /*
239      * Connecting the application modules (vertices) in the application model (directed graph) with edges
240      */
241     application.addAppEdge("CAMERA", "motion_detector", 1000, 20000, "CAMERA", Tuple.UP, AppEdge.SENSOR); // adding edge from C
242     application.addAppEdge("motion_detector", "object_detector", 2000, 2000, "MOTION_VIDEO_STREAM", Tuple.UP, AppEdge.MODULE);
243     application.addAppEdge("object_detector", "user_interface", 500, 2000, "DETECTED_OBJECT", Tuple.UP, AppEdge.MODULE); // add
244     application.addAppEdge("object_detector", "object_tracker", 1000, 100, "OBJECT_LOCATION", Tuple.UP, AppEdge.MODULE); // add
245     application.addAppEdge("object_tracker", "PTZ_CONTROL", 100, 28, 100, "PTZ_PARAMS", Tuple.DOWN, AppEdge.ACTUATOR); // addir
246
247     /*
248      * Defining the input-output relationships (represented by selectivity) of the application modules.
249      */
250     application.addTupleMapping("motion_detector", "CAMERA", "MOTION_VIDEO_STREAM", new FractionalSelectivity(1.0)); // 1.0 tup
251     application.addTupleMapping("object_detector", "MOTION_VIDEO_STREAM", "OBJECT_LOCATION", new FractionalSelectivity(1.0)); /
252     application.addTupleMapping("object_detector", "MOTION_VIDEO_STREAM", "DETECTED_OBJECT", new FractionalSelectivity(0.05));
253

```

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Σύνοψη

Συνοψίζοντας το Fog Computing είναι ιδανική πλατφόρμα για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) και υπηρεσίες όπως είναι το διασυνδεδεμένο όχημα (connected vehicle), τις έξυπνες πόλεις, τα δίκτυα που χρησιμοποιούν αισθητήρες και έχει τη δυνατότητα να επεκτείνει το «μοντέλο» του cloud computing στα «άκρα» του δικτύου δηλαδή στα συστήματα που χρησιμοποιούμε προκειμένου να αποκτήσουμε πρόσβαση στο Διαδίκτυο όπως είναι, για παράδειγμα, ένα router. Συμπερασματικά, αυτό οδηγεί σε μεταφορά της υπολογιστικής ισχύος στα «άκρα» του δικτύου, μειώνοντας την ανάγκη για επεξεργασία στα κέντρα δεδομένων.

Αυτός είναι και ο λόγος που τους τελευταίους μήνες όλο και περισσότεροι από τους μεγάλες κατασκευαστές εξοπλισμού για το χώρο των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής έχουν αρχίσει να ασχολούνται με το Fog Computing. Η Cisco ήταν μεν η πρώτη αλλά τώρα στη σχετική λίστα περιλαμβάνονται εταιρείες όπως η Intel, η IBM και η Samsung, οι οποίες προσπαθούν να ενσωματώσουν το FC που αναμένεται να μπορέσει να τους δώσει λύσεις στα ζητήματα που δημιουργεί το cloud.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Katsaragakis, E. (2018). Distributed market-based resource management of edge computing systems.
- [2] Hu, P., Dhelim, S., Ning, H., & Qiu, T. (2017). Survey on fog computing: architecture, key technologies, applications and open issues. *Journal of network and computer applications*, 98, 27-42.
- [3] Aazam, M., Zeadally, S., & Harras, K. A. (2018). Fog computing architecture, evaluation, and future research directions. *IEEE Communications Magazine*, 56(5), 46-52.
- [4] Naha, R. K., Garg, S., & Chan, A. (2018). Fog computing architecture: Survey and challenges. *arXiv preprint arXiv:1811.09047*.
- [5] (Atlam,2018) Atlam, H.F., Walters, R., & Wills, G. (2018). Fog Computing and the Internet of Things: A Review. *Big Data Cogn. Comput.*, 2, 10.
- [6] Τσιόλας, Γ. (2020). Θέματα ασφάλειας και ιδιωτικότητας σε Fog computing.
- [7] Ηλιοπούλου, Σοφία. "Cloud computing." (2015).
- [8] Γέγος, Γεώργιος. *Καινοτόμος προσέγγιση δυναμικής ανάλυσης δεδομένων, καθορισμού πόρων επεξεργασίας και παραγωγής περιεχομένου σε περιβάλλον Edge/Fog Computing και Διαδικτύου των Πραγμάτων*. MS thesis. Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2017.
- [9] Καραμπάσης, Ηλίας Στυλιανός. "Πιλοτική εφαρμογή βαθμονόμησης συστήματος δορυφορικών επικοινωνιών." (2018).
- [10] Awaisi, Kamran Sattar, et al. "Simulating Fog Computing Applications using iFogSim Toolkit."
- [11] Gupta, Harshit, et al. "iFogSim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, Edge and Fog computing environments." *Software: Practice and Experience* 47.9 (2017): 1275-1296.

[12] Zao, John K., et al. "Augmented brain computer interaction based on fog computing and linked data." *2014 International conference on intelligent environments*. IEEE, 2014.

[13] <https://sites.google.com/site/cloudintime/the-team>

[14] <https://studycare.gr/ti-einai-to-diadiktyo-ton-pragmaton-iot/>

[15] <https://nowmag.gr/internet-of-things/>

[16] <http://www.localgov.gr/%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B9%CF%84%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE/>