ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

«Αποτελεσματική παροχή υπηρεσιών του Διαδικτύου των Αντικειμένων μέσω της τεχνολογίας Υπολογιστικής των Άκρων (Edge)/Ομίχλης (Fog)»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της

Δέσποινας Θανασούλια

Επιβλέπων:

Επίκουρος Καθηγητής Σκούτας Δημήτριος

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής:

Καθηγητής Σκιάνης Χαράλαμπος

Καθηγητής Βουγιούκας Δημοσθένης

Σάμος, Ιούλιος 2021

Πρόλογος και ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρα τον επιβλέποντα της εργασίας κύριο Δημήτριο Σκούτα, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος για την βοήθεια και την καθοδήγηση που μου έδειξε όλο αυτό το διάστημα. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη και την ενθάρρυνση που μου προσέφεραν σε όλο το διάστημα των σπουδών μου.

Υπεύθυνη Δήλωση Πρωτοτυπίας Διπλωματικής Εργασίας

Δηλώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Δέσποινα Θανασούλια

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων

Κατάλογος Εικόνων

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η ο αριθμός των συσκευών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων έχει αυξηθεί ραγδαία, επιτρέποντας σε χιλιάδες αντικείμενα να επικοινωνούν μεταξύ τους και να μπορούν να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω του Διαδικτύου. Η τεχνολογία της Υπολογιστικής Νέφους αποτέλεσε τον πιο αποτελεσματικό τρόπο για τη διαχείριση όλων αυτών των δεδομένων έχοντας όμως να αντιμετωπίσει αρκετές προκλήσεις. Ένα νέο υπολογιστικό παράδειγμα ήρθε να προταθεί γνωστό ως Υπολογιστική Ομίχλης, η οποία επεκτείνει την Υπολογιστική Νέφους στην άκρη του δικτύου πραγματοποιώντας τις υπολογιστικές εργασίες, την επεξεργασία και την αποθήκευση σε συσκευές άκρης, οι οποίες βρίσκονται πιο κοντά στον τελικό χρήστη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλές καθυστερήσεις στο δίκτυο, να ενισχύσει την ασφάλεια των συστημάτων και το απόρρητο των πληροφοριών καθώς και να επιτύχει χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και εύρος ζώνης του δικτύου. Αρκετά σημαντικό είναι η μείωση της συμφόρησης που προκαλείται στο δίκτυο λόγω της περισυλλογής και μεταφοράς μεγάλων δεδομένων.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να προσεγγίσουμε τις τεχνολογίες των υπολογιστικών παραδειγμάτων που εφαρμόζονται, οι οποίες αφορούν την Υπολογιστική Νέφους, την Υπολογιστική των Άκρων και την Υπολογιστική Ομίχλης. Να αναλύσουμε για κάθε μια ξεχωριστά τα βασικά τους χαρακτηριστικά, τις αρχιτεκτονικές που ακολουθούν, κατά πόσο ωφέλιμές είναι για τα συστήματα στα οποία εφαρμόζονται καθώς και σε εφαρμογές του πραγματικού κόσμου στις οποίες έχουν αντίκτυπο. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι η σύγκριση όλων αυτών των τεχνολογιών μεταξύ τους και η αναγκαιότητα της εφαρμογής της Υπολογιστικής Ομίχλης έναντι της Υπολογιστικής Νέφους προκειμένου να την αναδείξουμε ως τη βέλτιστη λύση για την αποτελεσματική παροχή υπηρεσιών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Στη συνέχεια της εργασίας παρουσιάζουμε τον προσομοιωτή iFogSim για την προσομοίωση ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Ομίχλης και διάφορα παραδείγματα στα οποία μπορεί να βρει εφαρμογή. Τέλος γίνεται η προσομοίωση του συγκεκριμένου περιβάλλοντος βασιζόμενη στο παράδειγμα του συστήματος «έξυπνης» παρακολούθησης μέσω καμερών εξάγοντας χρήσιμα αποτελέσματα και συγκρίνοντας τις τεχνολογίες της Υπολογιστικής Νέφους και της Υπολογιστικής Ομίχλης.

Λέξεις κλειδιά: Υπολογιστική Νέφους, Υπολογιστική των Άκρων, Υπολογιστική Ομίχλης, Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

Abstract

In recent years, the number of devices on the Internet of Things has grown rapidly, allowing thousands of devices to communicate with each other and to be able to collect and exchange data over the Internet. Cloud computing paradigm has been the most effective way to manage all this data but has had to face several challenges. A new computational example has come to be known as Fog Computing, which extends Cloud Computing to the edge of the network by performing computing, data processing, and storage on edge devices that are closer to the end user. This can lead to low network latencies, enhance system security and information privacy, and achieve lower power consumption and network bandwidth. It is important to reduce the mobility caused by the network due to the collection and transfer of large data.

The purpose of this paper is to approach the technologies of the computing paradigms that are applied, which include Cloud Computing, Edge Computing and Fog Computing. To analyze for each of them their basic characteristics, the architectures that follow, how useful they are for the systems to which they are applied as well as to the applications of the real world in which they have an impact. It is especially important to compare all these technologies with each other and the necessity of applying Fog Computing to Cloud Computing in order to highlight it as the best solution for the effective provision of services on the Internet of Things. In the continuation of the work, we present the iFogSim simulator for the simulation of a Fog Computing environment and various examples in which it can be applied. Finally, the specific environment is simulated based on the example of the "smart" surveillance system through cameras, extracting useful results and comparing the technologies of Cloud Computing and Fog Computing.

Keywords: Cloud Computing, Edge Computing, Fog Computing, Internet of Things.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Αποτελεσματική παροχή υπηρεσιών του Διαδικτύου των Αντικειμένων μέσω της τεχνολογίας υπολογιστικής των άκρων/ομίχλης.

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (Internet Of Things - IoT) αποτελεί μία τεχνολογική επανάσταση για το μέλλον των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Θεμελιώδης παράγοντας για την υποστήριξη του αποτελεί η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών. Περιλαμβάνει όλες τις διασυνδεδεμένες συσκευές στο Διαδίκτυο και οι λειτουργίες του βασίζονται στις δυνατότητες και στο λογισμικό που είναι ενσωματωμένα σε αυτές. Αποτελείται από ένα σύνολο «έξυπνων» συσκευών οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν δεδομένα. Ένα σημαντικό ζήτημα που έρχεται να αντιμετωπίσει είναι η επεξεργασία και η μεταφορά του μεγάλου όγκου δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ των συσκευών μέχρι να φτάσουν στον τελικό χρήστη.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προσεγγίσουμε τις έννοιες του Διαδίκτυού των Αντικειμένων (Internet of Things) μαζί με την τεχνολογία της Υπολογιστικής Νέφους (Cloud Computing) και της Υπολογιστικής των Άκρων (Edge Computing)/Υπολογιστικής Ομίχλης (Fog Computing). Η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Νέφους στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων αποτελεί την προτιμώμενη μέθοδο για την διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων ωστόσο ταυτόχρονα αντιμετωπίζει και ζητήματα ως προς την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών (Quality of Service -QoS) λόγω της καθυστέρησης που μπορεί να προκύπτει στους χρόνους απόκρισης για την μετάδοση των δεδομένων. Σε αυτό το σημείο έρχεται η ανάγκη για ενσωμάτωση της τεχνολογίας της Υπολογιστικής των Άκρων/Υπολογιστικής Ομίχλης στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Αποτελούν δύο τεχνολογίες, με την Υπολογιστική Ομίχλης να αναδεικνύεται για την χρησιμότητα της ως προς την αντιμετώπιση των προβλημάτων στην κλασσική αρχιτεκτονική της Υπολογιστικής Νέφους και του Διαδικτύου των Αντικειμένων.

Όπως γίνεται αναφορά και στις παρακάτω ενότητες, σε κάποιους από τους όρους που θα αναφερθούμε επανειλημμένος είναι η Υπολογιστική Νέφους (Cloud Computing), η Υπολογιστική Ομίχλης (Fog Computing), η Υπολογιστική των Άκρων (Edge Computing) καθώς και το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (Internet of Things – IoT). Η περεταίρω ανάλυση τους περιγράφεται στα επόμενα υπό-κεφάλαια, με στόχο την ανάδειξη της Υπολογιστικής Ομίχλης, ως την τεχνολογία που θα αποτελέσει την επέκταση της Υπολογιστικής Νέφους στην άκρη του δικτύου, με την προοπτική για την δημιουργία νέων εφαρμογών και υπηρεσιών οι οποίες θα ανταποκρίνονται πιο γρήγορα και αποτελεσματικά.

1.2 Αντικείμενο της Διπλωματικής

Αρχικά γίνεται η προσέγγιση της τεχνολογίας της Υπολογιστικής Νέφους, προκειμένου να κατανοήσουμε το θεωρητικό υπόβαθρο και στην συνέχεια να προσεγγίσουμε τις έννοιες του Διαδικτύου των Αντικειμένων, της Υπολογιστικής των Άκρων και της Υπολογιστικής Ομίχλης. Σκοπός είναι να αναλύσουμε την αρχιτεκτονική των βασικών αυτών τεχνολογιών, τη χρησιμότητα τους, τις υπηρεσίες που παρέχουν και τον τρόπο με τον οποίο διαχειρίζονται τα δεδομένα. Η ανάπτυξη της Υπολογιστικής των Άκρων/Ομίχλης επεκτείνει την τεχνολογία της Υπολογιστικής Νέφους έτσι ώστε να είναι πιο κοντά στα άκρα του δικτύου και στις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε την αρχιτεκτονική της Υπολογιστικής Άκρων/Ομίχλης σε σχέση με την παροχή υπηρεσιών στις συσκευές του Διαδικτύου των Αντικειμένων, με ταχύτερη απόκριση και καλύτερη ποιότητα καθώς και τη μοντελοποίηση και προσομοίωση

ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Άκρων/Ομίχλης προκειμένου να αναλυθεί η απόδοση τους σε συγκεκριμένα σενάρια χρήσης (use cases).

1.3 Δομή της Διπλωματικής

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 8 κεφάλαια. Το 1ο κεφάλαιο αναφέρεται στην Εισαγωγή και στην κατανόηση του θέματος της συγκεκριμένης εργασίας. Στο 2ο κεφάλαιο γίνεται η προσέγγιση και η ανάλυση της τεχνολογίας της Υπολογιστικής Νέφους. Στο 3ο, 4ο και 5ο κεφάλαιο αναλύουμε και περιγράφουμε τις έννοιες του Διαδικτύου των Αντικειμένων, της Υπολογιστικής των Άκρων και της Υπολογιστικής Ομίχλης αντίστοιχα. Στο 6ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το εργαλείο προσομοίωσης για ένα περιβάλλον Υπολογιστικής Ομίχλης και στο 7ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της τεχνολογίας της Υπολογιστικής των Ομίχλης σε διάφορα σενάρια χρήσης. Το τελευταίο κεφάλαιο, περιλαμβάνει τα συμπεράσματα μας και κάποια μελλοντική έρευνα για την τεχνολογία της Υπολογιστικής Ομίχλης. Στο τέλος ακολουθεί η βιβλιογραφία στην οποία βασιστήκαμε.

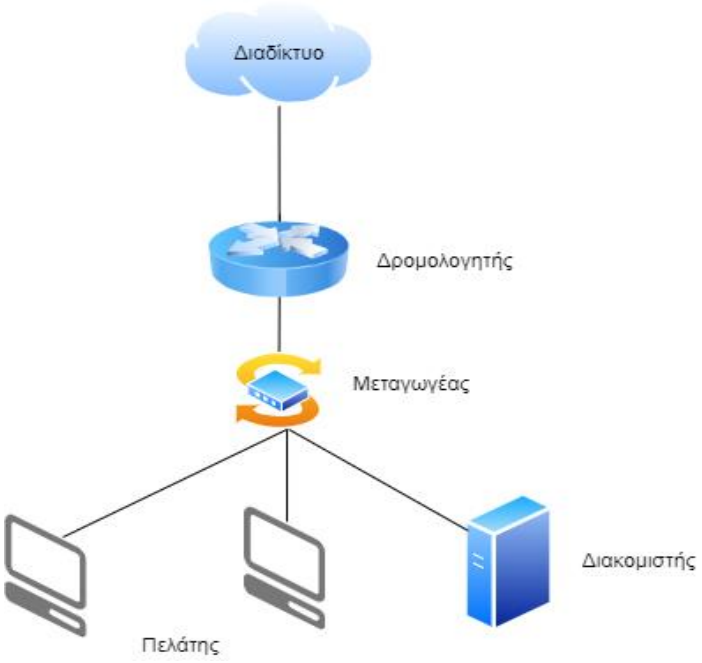
Κεφάλαιο 2. Υπολογιστική Νέφους (Cloud Computing)

2.1 Ορισμός Υπολογιστικής Νέφους

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε την έννοια της Υπολογιστικής Νέφους προκειμένου να κατανοήσουμε πως η τεχνολογία αυτή παρέχει αξιόπιστες, προσαρμοσμένες και αποδοτικές υπηρεσίες σε μια ποικιλία εφαρμογών. Η επεξήγηση της τεχνολογίας της Υπολογιστικής Νέφους είναι αναγκαία προκειμένου να γίνει αντιληπτό το θεωρητικό υπόβαθρο και στη συνέχεια να προσεγγίσουμε την έννοια της Υπολογιστικής των Άκρων και της Υπολογιστικής Ομίχλης που θα αναλυθεί στις επόμενες ενότητες.

Σύμφωνα με τον ορισμό που έχει δοθεί από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and Technology – NIST), η Υπολογιστική Νέφους αποτελεί το μοντέλο που επιτρέπει κατ' απαίτηση την πρόσβαση των χρηστών σε μία κοινή «ομάδα» υπολογιστικών πόρων μέσω του Διαδικτύου (π.χ. διακομιστές, αποθηκευτικό χώρο, εφαρμογές, υπηρεσίες), που μπορούν να παρέχονται άμεσα, χωρίς να χρειάζεται η διαχείριση ή η αλληλεπίδραση με τον αντίστοιχο πάροχο υπηρεσιών [**4**].

Η Υπολογιστική Νέφους, με πιο απλούς όρους σημαίνει πως δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης αποθηκευτικού χώρου και πρόσβασης σε δεδομένα μέσω του Διαδικτύου. Το σύννεφο (cloud) στη γενική του ερμηνεία αποτελεί απλώς μια μεταφορά για το Διαδίκτυο, δηλαδή σε ένα δίκτυο υπολογιστών, το Διαδίκτυο μπορεί να αντιπροσωπευτεί από τον όρο του «σύννεφου», όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα [**1**]:



Εικόνα 1. Απεικόνιση Διαδικτύου ως ένα «σύννεφο»

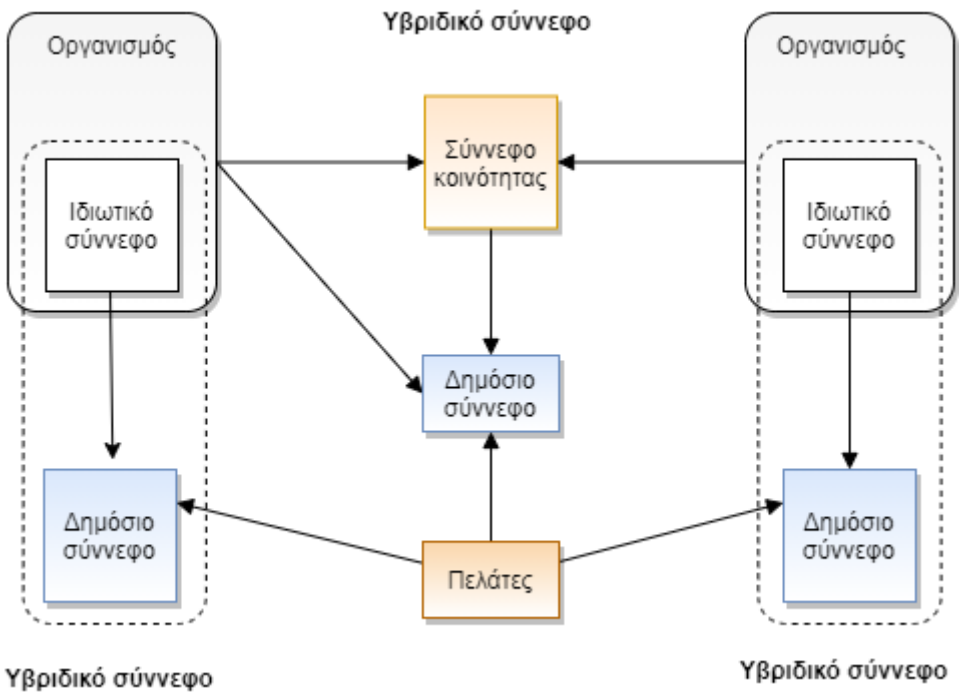
Πιο αναλυτικά, η Υπολογιστική Νέφους αποτελεί τη χρήση υλικού (hardware) και λογισμικού (software) για την παροχή υπηρεσιών μέσω του Διαδικτύου. Μέσω της τεχνολογίας αυτής, οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αρχεία και να χρησιμοποιούν εφαρμογές από οποιαδήποτε συσκευή, η οποία έχει τη δυνατότητα πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Αναφέρεται σε όλες τις υπηρεσίες που παρέχονται μέσω της χρήσης του υπολογιστή όπως διακομιστές, αποθηκευτικός χώρος, βάσεις δεδομένων, λογισμικό. Αυτά που το αναδεικνύουν σαν

τεχνολογία είναι το χαμηλό κόστος, η ταχύτητα, η παραγωγικότητα, η απόδοση και η ασφάλεια των δεδομένων, με το τελευταίο να αποτελεί ίσως τη μεγαλύτερη ανησυχία ως προς την υιοθέτηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Ένα παράδειγμα υπηρεσίας υπολογιστικής νέφους είναι το Gmail της Google. Το κύριο χαρακτηριστικό του, είναι πως όλα είναι προσβάσιμα μέσω του Διαδικτύου κάτι που επιτυγχάνει την άμεση και γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων [**1**].

2.2 Μοντέλα Ανάπτυξης της Υπολογιστικής Νέφους

Η Υπολογιστική Νέφους αποτελείται από τους εξής τύπους μοντέλων ανάπτυξης:

- **Δημόσιο Σύννεφο (Public Cloud):** Το δημόσιο σύννεφο παρέχει υποδομές και υπηρεσίες σε κάθε χρήστη και κάθε οργανισμό μέσω του Διαδικτύου. Αυτές οι υπηρεσίες παρέχονται στους οργανισμούς από τρίτους πάροχους υπηρεσιών (προμηθευτές), που συνήθως έχουν το δικό τους μοντέλο πολιτικής, κοστολόγησης και χρέωσης των υπηρεσιών που προσφέρουν. Παράδειγμα υπηρεσιών δημόσιου σύννεφου αποτελεί η ηλεκτρονική διεύθυνση (email) και οι υπηρεσίες αποθήκευσης φωτογραφιών [**3**].
- **Ιδιωτικό Σύννεφο (Private Cloud):** Η ιδιωτική υπηρεσία του σύννεφου χρησιμοποιείται μόνο από τους ίδιους τους οργανισμούς. Σε σύγκριση με το δημόσιο σύννεφο εξασφαλίζει μεγαλύτερη ασφάλεια επειδή επιτρέπει την πρόσβαση μόνο σε αξιόπιστους χρήστες του οργανισμού. Ένα παράδειγμα χρήσης του ιδιωτικού σύννεφου σε μία επιχείρηση, είναι η κοινή χρήση των δεδομένων των πελατών του εντός του οργανισμού αυτού [**3**].
- **Σύννεφο Κοινότητας (Community Cloud):** Το σύννεφο κοινότητας βρίσκεται μεταξύ του δημόσιου και του ιδιωτικού σύννεφου και δεν παρουσιάζει πολλές διαφορές με το ιδιωτικό σύννεφο. Η διαχείριση των υπηρεσιών μπορεί να γίνεται από τρίτους ή από τους ίδιους τους οργανισμούς. Προσφέρει υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας και ιδιωτικότητας. Ένα παράδειγμα αυτής της υπηρεσίας αποτελεί το εκπαιδευτικό σύννεφο (educational cloud), το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί από τα πανεπιστήμια σε όλο τον κόσμο, για ερευνητικούς σκοπούς [**3**].
- **Υβριδικό Σύννεφο (Hybrid Cloud):** Το υβριδικό σύννεφο αποτελεί τη σύνθεση δύο ή περισσοτέρων υπηρεσιών ανάπτυξης σύννεφου, είτε δημόσιου, είτε ιδιωτικού, είτε κοινότητας. Η διαχείριση των δεδομένων ως προς την ασφάλεια εξασφαλίζεται πιο εύκολα καθώς τα ευαίσθητα δεδομένα αποθηκεύονται στον ιδιωτικό χώρο αποθήκευσης του κάθε οργανισμού. Τις περισσότερες φορές, αυτός ο τύπος υπηρεσίας χρησιμοποιείται για εφεδρικούς σκοπούς [**1**][**3**].



Εικόνα 2. Μοντέλα Υπηρεσιών της Υπολογιστικής Νέφους

2.3 Χαρακτηριστικά της Υπολογιστικής Νέφους

Σύμφωνα με το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and Technology – NIST), έχουν οριστεί κάποια βασικά χαρακτηριστικά για την Υπολογιστική Νέφους, τα οποία την καθιστούν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, όπως περιγράφονται παρακάτω:

1. **Αυτοεξυπηρέτηση βάσει ζήτησης (On-demand self-service):** Αναφέρεται στις υπηρεσίες του σύννεφου όπως ο χρόνος σε ένα διακομιστή ή η αποθήκευση στο δίκτυο που μπορεί να ζητήσει ένας χρήστης και να αποκτήσει άμεσα πρόσβαση σε αυτούς τους υπολογιστικούς πόρους χωρίς να είναι απαραίτητη η ανθρώπινη αλληλεπίδραση ή η παρέμβαση από τον πάροχο υπηρεσιών [**1**].
2. **Αποτελεσματικότητα Κόστους (Cost effectiveness):** Αναφέρεται στις υπηρεσίες του σύννεφου που προσφέρονται από τους πάροχους των υπηρεσιών αυτών με υψηλή αποδοτικότητα ακόμη και αν είναι δωρεάν. Η υποδομή που θα προσφερθεί δεν χρειάζεται να αγοραστεί, επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο τη μείωση του κόστους ως προς τη συντήρηση της υποδομής [**1**].
3. **Ευρεία πρόσβαση στο δίκτυο (Broad Network Access):** Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε υπολογιστικούς πόρους που παρέχονται από το σύννεφο όλη την ώρα και από οπουδήποτε και αν βρίσκονται μέσω του Διαδικτύου με τη χρήση διάφορων τύπων συσκευών όπως κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές κλπ. [**1**].
4. **Συγκέντρωση Πόρων (Resource Pooling):** Οι φυσικοί και εικονικοί πόροι υπολογισμού συγκεντρώνονται στο σύννεφο. Αυτοί οι πόροι δεν εξαρτώνται από την τοποθεσία με την έννοια ότι ο χρήστης δεν έχει καμία γνώση για την ακριβή τοποθεσία των παρεχόμενων υπολογιστικών πόρων [**1**].
5. **Ταχεία Ελαστικότητα (Rapid Elasticity):** Οι υπολογιστικοί πόροι μπορούν να διατεθούν και να απελευθερωθούν ταχεία και ελαστικά με βάση τη ζήτηση από τους

χρήστες. Οι πόροι αυτοί φαίνονται σαν να είναι άπειροι προς τους χρήστες και μπορούν να αγοραστούν και να δεσμευτούν ανά πάσα στιγμή [**1**].

6. **Μετρημένες Υπηρεσίες (Measured Services):** Οι πάροχοι υπηρεσιών του σύννεφου παρακολουθούν, ελέγχουν και βελτιστοποιούν τους υπολογιστικούς πόρους και τις υπηρεσίες που παρέχονται μέσω ενός επιχειρηματικού μοντέλου πληρωμής ανά χρήση. Ο τρόπος χρήσης των συγκεκριμένων υπηρεσιών είναι παρόμοιος με το πώς χρησιμοποιούνται οι υπηρεσίες για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, νερού, φυσικού αερίου κλπ. [**1**].
7. **Πολυδιεργασία (Multitenancy):** Οι υπηρεσίες που παρέχονται μέσω του σύννεφου διατίθενται ταυτόχρονα σε πολλούς χρήστες. Αυτοί οι χρήστες μοιράζονται τους υπολογιστικούς πόρους που έχουν πρόσβαση σε επίπεδο δικτύου και καθένας από αυτούς βρίσκεται απομονωμένος στην προσαρμοσμένη εικονική εφαρμογή του [**1**].
8. **Επεκτασιμότητα (Scalability):** Η υποδομή της υπολογιστικής νέφους είναι επεκτάσιμη με αποτελέσματα οι πάροχοι υπηρεσιών του σύννεφου να μπορούν να προσθέσουν νέους κόμβους και διακομιστές [**1**].
9. **Αξιοπιστία (Reliability):** Η αξιοπιστία της υπολογιστικής νέφους επιτυγχάνεται με την χρήση πολλών διαφορετικών ιστότοπων. Αποτελεί μια καλή λύση στην περίπτωση που μια επιχείρηση αντιμετωπίζει κρίσιμες καταστάσεις [**1**].
10. **Οικονομίες Κλίμακας (Economies of scale):** Προκειμένου το σύννεφο ως υποδομή να επωφεληθεί από τις οικονομίες κλίμακας, εφαρμόζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλο [**1**].
11. **Προσαρμογή (Customization):** Με βάσει τη ζήτηση του χρήστη (on demand), η υποδομή του σύννεφου μπορεί να τροποποιηθεί και να προσαρμοστεί ανάλογα με τις ανάγκες που απαιτούνται [**1**].
12. **Αποτελεσματική χρήση υπολογιστικών πόρων (Efficient Resource Utilization):** Η διαθεσιμότητα των υπολογιστικών πόρων για τις ανάγκες του χρήστη όταν διατίθεται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, επιτυγχάνει την αποτελεσματική χρήση των πόρων αυτών [**1**].
13. **Εικονικοποίηση (Virtualization):** Μέσω της χρήσης της τεχνολογίας της υπολογιστικής νέφους, ο χρήστης μπορεί να εξυπηρετηθεί από οποιαδήποτε συσκευή η οποία έχει τη δυνατότητα πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Οι πόροι που διατίθενται προέρχονται από το σύννεφο και δεν υπάρχουν σε κάποια υπαρκτή οντότητα [**1**].

2.4 Μοντέλα Υπηρεσιών Υπολογιστικής Νέφους

Σε αυτή την ενότητα αναλύουμε τα βασικά μοντέλα υπηρεσιών της Υπολογιστικής Νέφους όπως περιγράφονται παρακάτω:

- **Υποδομή ως Υπηρεσία (Infrastructure as a Service - IaaS):** Η Υποδομή ως Υπηρεσία είναι ένα μοντέλο υπηρεσιών της Υπολογιστικής Νέφους που προσφέρει πολλά οφέλη. Η υποδομή αυτή έχει δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να παρέχει ένα σύνολο εικονικοποιημένων υπολογιστικών πόρων με την επιλογή της ενοικίασης όπως CPU, αποθηκευτικούς χώρους, λειτουργικά συστήματα, εφαρμογές, τα οποία βρίσκονται φυσικά εγκατεστημένα σε ένα κεντρικό σημείο (κέντρο δεδομένων), στο οποίο ο κάθε χρήστης μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση και να τα χρησιμοποιήσει μέσω του Διαδικτύου. Η υποδομή ως υπηρεσία χρησιμοποιεί τεχνολογία εικονικοποίησης επιτρέποντας στους χρήστες να αναπτύξουν και να τρέξουν τόσο λειτουργικά συστήματα όσο και εφαρμογές. Με τη χρήση της συγκεκριμένης

υποδομής, οι πάροχοι υπηρεσιών (προμηθευτές) είναι σε θέση να αναπτύξουν συστήματα εκχωρώντας υπολογιστικούς πόρους στο σύννεφο σύμφωνα με τις ανάγκες των πελατών. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο αυτό, ο χρήστης είναι υπεύθυνος για τη χρήση και τη λειτουργία της υποδομής που του διατίθεται ενώ ο πάροχος της υπηρεσίας είναι υπεύθυνος για την σωστή εξυπηρέτηση, εξασφαλίζοντας την βέλτιστη αποδοτικότητα του συστήματος.
Η Υποδομή ως Υπηρεσία προσφέρεται από μεγάλες εταιρείας στο τομέα της Πληροφορικής και Τεχνολογιών όπως η Google, Amazon EC2, IBM, Verizon και Rackspace Cloud Servers [**1**][**3**].

Πλεονεκτήματα της Υποδομής ως Υπηρεσία [1]:

- Ο κάθε χρήστης που χρησιμοποίει μία τέτοια υποδομή πληρώνει αποκλειστικά και μόνο την υπηρεσία που θέλει.
- Επιτρέπει την πρόσβαση σε υπολογιστικούς πόρους εταιρικού επιπέδου.
- Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη, οι υπολογιστικοί πόροι μπορούν να μειωθούν και να κλιμακωθούν ανάλογα με τις ανάγκες τους .

- **Πλατφόρμα ως Υπηρεσία (Platform as a Service):** Η Πλατφόρμα ως Υπηρεσία παίζει σημαντικό ρόλο στην υπολογιστική νέφους προσφέροντας υπηρεσίες ενοικίασης υπολογιστικών υποδομών. Η έννοια της 'ενοικίασης' έχει να κάνει με την παροχή εφαρμογών στις οποίες οι χρήστες και αντίστοιχα οι οργανισμοί θα μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση μέσω του Διαδικτύου. Οι βασικές υπηρεσίες της πλατφόρμας ως υπηρεσία είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η φιλοξενία εφαρμογών. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αποσκοπεί στο να διευκολύνει τους χρήστες/οργανισμούς παρέχοντας τους λογισμικό, υλικό, λειτουργικό σύστημα, διακομιστές δικτύου, εργαλεία ανάπτυξης χωρίς να χρειάζεται οι ίδιοι (χρήστες) να αγοράσουν άδειες λογισμικού ή να γνωρίζουν πόση μονάδα επεξεργασίας, πόση μνήμη θα χρειαστούν για τις εφαρμογές καθώς θα προσφέρονται από τους πάροχους των υπηρεσιών αυτών. Διατηρείται τόσο το λογισμικό του συστήματος όσο και άλλοι υπολογιστικοί πόροι διευκολύνοντας με αυτόν τον τρόπο τους χρήστες να μην χρειάζεται να ανησυχούν για τους υπολογιστικούς πόρους που θα χρειαστούν ή για το λογισμικό των εφαρμογών.
Μερικά παραδείγματα της πλατφόρμας ως υπηρεσία είναι το Microsoft Azure, οι διαδικτυακές υπηρεσίες του Amazon, το Google App [**1**][**2**].

Πλεονεκτήματα της Πλατφόρμας ως Υπηρεσία [1]:

- **Κοινότητα:** Συμμετοχή ανθρώπων για τη δημιουργία εφαρμογών στο σύννεφο που θα υποστηρίζονται από την Πλατφόρμα ως Υπηρεσία. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια κοινότητα από ομάδες ανθρώπων, η οποία μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη των εφαρμογών αυτών κατά την πορεία της εκτέλεσης τους.
- **Δεν προσφέρονται αναβαθμίσεις:** Οι εταιρείες οι οποίες έχουν δημιουργήσει την υποδομή για την υποστήριξη των εφαρμογών που παρέχουν στους χρήστες δεν είναι υποχρεωμένες να παρέχουν αναβαθμίσεις ή ενημερώσεις για το λογισμικό στο οποίο βασίζεται η υποδομή. Σε αντίθεση παρέχει όλες τις απαιτούμενες ενημερώσεις και αναβαθμίσεις για τη συντήρηση του λογισμικού.

- **Χαμηλό κόστος:** Η ομάδα η οποία αναλαμβάνει τη δημιουργία της εφαρμογής στο σύννεφο έτσι ώστε να διατεθεί στο χρήστη δεν επιβαρύνεται με απαιτήσεις δοκιμών και ανάπτυξης περιβάλλοντος για την υποστήριξη της εφαρμογής που θα παρέχει.

- **Λογισμικό ως Υπηρεσία (Software as a Service – SaaS):** Το Λογισμικό ως Υπηρεσία προσφέρει τη δυνατότητα στους χρήστες να χρησιμοποιήσουν υλικό ή λογισμικό που διατίθενται μέσω του Διαδικτύου αντί να πραγματοποιήσουν φυσική εγκατάσταση στα μηχανήματα τους, επιβαρύνοντας τον χρήστη με λειτουργίες που πρέπει να εκτελεί κάθε φορά ως προς την αναβάθμιση του λογισμικού, τις επιδιορθώσεις που απαιτούνται, τη συντήρηση του λογισμικού κλπ. [**1**][**3**].

  Πλεονεκτήματα Λογισμικού ως Υπηρεσία [1]:

- Εύκολη προσβασιμότητα από οποιαδήποτε τοποθεσία με τη χρήση του Διαδικτύου.
- Απαλλάσσει το χρήστη από ανησυχίες σχετικά με την υποδομή που θα χρειαστεί για την εγκατάσταση του λογισμικού.
- Προσφέρει υποστήριξη και συντήρηση ως προς τις υπηρεσίες που παρέχει.
- Δυνατότητα διαμόρφωσης και επεκτασιμότητας.

2.5 Εφαρμογές Ανάπτυξης της Υπολογιστικής Νέφους

Η Υπολογιστική Νέφους αποτελεί ένα πολύ σημαντικό βήμα στην εξέλιξη της τεχνολογίας λόγω της εύκολης παροχής και διαχείρισης υπολογιστικών πόρων με τη χρήση του Διαδικτύου. Οι τομείς στους οποίους έχει αναδειχθεί σημαντικά, περιγράφονται παρακάτω.

- **Ηλεκτρονική Μάθηση (E-Learning):** Στο τομέα της εκπαίδευσης το οποίο απασχολεί μαθητές, φοιτητές, εκπαιδευτικούς, ερευνητές έχει επιφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς όλοι έχουν τη δυνατότητα πρόσβασης σε δεδομένα και πληροφορίες τα οποία διατηρούνται και βρίσκονται αποθηκευμένα στο σύννεφο κάνοντας με αυτόν τον τρόπο πιο εύκολη την πρόσβαση σε οποιοδήποτε υλικό αναζητούν [**1**].
- **Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση (E-Governance):** Η κυβέρνηση και οι υπηρεσίες που παρέχει προς τους πολίτες μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τον τρόπο λειτουργία της με την εισαγωγή της υπολογιστικής νέφους. Με αυτόν τον τρόπο οι υπηρεσίες που παρέχονται μπορούν να χρησιμοποιούνται από τους πολίτες με πιο βελτιωμένο, αποδοτικό και γρήγορο τρόπο. Με την υπολογιστική νέφους θα μειωθεί αρκετά η αναγκαιότητα ως προς την εγκατάσταση, την συντήρηση και την αναβάθμιση των λογισμικών που απαιτούνται για την υποστήριξη των παρεχόμενων υπηρεσιών [**1**].
- **Διαχείριση Επιχειρησιακών Πόρων (Entreprice Resource Programming – ERP):** Προκειμένου οι επιχειρήσεις να μειώσουν τα κόστη που απαιτούνται για τη συντήρηση των λογισμικών σχετικά με τη διαχείριση των επιχειρησιακών τους πόρων καθώς και να αποφύγουν πολύπλοκες διαδικασίες, οι πάροχοι των υπηρεσιών αυτών μπορούν να εγκαταστήσουν το ERP απευθείας στο σύννεφο [**1**].

Εφαρμογές	Προσφερόμενες Υπηρεσίες
E-Learning	Email, εργαλεία προσομοίωσης, ανταλλαγή δεδομένων, καταχώρηση αιθουσών διδασκαλίας, εικονικές αίθουσες διδασκαλίας, εικονικά εργαστήρια, έρευνες, εκπαιδευτικά φόρουμ
E-governance	Σύστημα επίλυσης παραπόνων, σύστημα διαχείρισης υπαλλήλων, σύστημα πληρωμών κ.α.
ERP Cloud	Διαχείριση έργων και ανθρωπίνου δυναμικού, διαχείριση σχέσεων με πελάτες, χρηματοοικονομικές διεργασίες

Πίνακας 1. Εφαρμογές Υπολογιστικής Νέφους

2.6 Οφέλη και κίνδυνοι της Υπολογιστικής Νέφους

Με την χρήση των διάφορων υπηρεσιών της Υπολογιστικής Νέφους υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι της παραδοσιακής υπολογιστικής. Η εξοικονόμηση κόστους, η επεκτασιμότητα των εφαρμογών, η εύκολη αποθήκευση από οποιαδήποτε σημείο και η πρόσβαση στα δεδομένα, είναι μερικά από αυτά. Η Υπολογιστική Νέφους μπορεί να προσφέρει καλύτερη ασφάλεια, μειώνοντας το επίπεδο κινδύνου με το κατάλληλο σχεδιασμό και σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας σε πραγματικό χρόνο σε περίπτωση απώλειας δεδομένων. Χαρακτηρίζεται για την εμπιστευτικότητα, την ακεραιότητα και την άμεση διαθεσιμότητα των πληροφοριών που ζητούνται.

Το πιο σημαντικό όφελος μέσω της χρήσης της τεχνολογίας της Υπολογιστικής Νέφους είναι η σημαντική μείωση τους κόστους, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, καθώς ελαχιστοποιεί το κόστος υποδομής και το κόστος λειτουργίας ως προς τις υπηρεσίες που διαθέτει. Χαρακτηρίζεται ως μια καλύτερη πτυχή της παραδοσιακής υπολογιστικής καθώς αποτελεί μια κινητή πλατφόρμα μέσα από την οποία οι χρήστες μπορούν εύκολα να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα και πληροφορίες από οπουδήποτε, χρησιμοποιώντας μια πληθώρα κινητών συσκευών οι οποίες έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Πραγματοποιεί με έναν «έξυπνο» τρόπο ενημερώσεις, προσθήκες, αλλαγές, διαγραφές στις εφαρμογές του.

Όπως με κάθε νέα τεχνολογία έτσι και με την Υπολογιστικής Νέφους παραμονεύουν αρκετοί φόβοι και ανησυχίες από την πλευρά των επιχειρήσεων για την υιοθέτηση μίας τέτοιας τεχνολογίας. Θα μπορούσε να γίνει κατηγοριοποίηση των κινδύνων αυτών σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες αναφέρονται στο τμήμα της οργάνωσης, της τεχνικής, της νομικής υποστήριξης και άλλων γενικών τμημάτων.

Ως προς το τμήμα της οργάνωσης οι κίνδυνοι περιστρέφονται κυρίως προς την αποδοτικότητα της επιχείρησης καθώς και στη φήμης της λόγω της λανθασμένης κρίσης των πελατών για τυχόν ευπάθειες που μπορεί να υπάρχουν στο σύννεφο. Στο τμήμα της τεχνικής υποστήριξης θα μπορούσαν να υπάρχουν ανησυχίες για πιθανά τεχνικά προβλήματα που μπορεί να προκληθούν από τον πάροχο υπηρεσιών ή που μπορεί να προκαλούνται από την υποδομή του σύννεφου. Ενώ στο τμήμα της νομικής υποστήριξης ο μεγαλύτερος κίνδυνος

βρίσκεται στην χρήση και την αποθήκευση των δεδομένων καθώς υπάγονται στους κανονισμούς που εφαρμόζονται σε διαφορετικές χώρες ακόμα και στις πολιτικές που ακολουθεί κάθε οργανισμός. Τέλος σε άλλα γενικών τμημάτων έχει να αντιμετωπίσει ανησυχίες με ζητήματα που αφορούν την προστασία των δεδομένων καθώς και με πολιτικές απορρήτου [**2**][**3**].

Όλα τα παραπάνω συγκεντρώνονται στον παρακάτω πίνακα.

Οφέλη	**Περιγραφή**
Εξοικονόμηση Κόστους	Επιτρέπει στους πελάτες να πληρώνουν μόνο υπολογιστικούς πόρους που χρησιμοποιούν χωρίς να επιβαρύνονται με περιττά έξοδα.
Μείωση των υπαλλήλων των Τεχνολογιών Πληροφορικής & Επικοινωνιών (ΤΠΕ)	Η υπολογιστική νέφους δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να αναθέσουν σε εξωτερικούς φορείς τις διαδικασίες που έχουν να κάνουν με την ανάκτηση αντιγράφων ασφαλείας, ενημερώσεων λογισμικού με αποτέλεσμα να μπορούν να μειώσουν το προσωπικό τους στα τμήματα της τεχνικής υποστήριξης ή να μπορούν να τους αναθέσουν άλλες αρμοδιότητες.
Μεγάλη Ευελιξία	Προσφέρει μια μεγάλη προσαρμοστικότητα σε σχέση με άλλες τεχνολογικές λύσεις.
Ενισχυμένη κινητικότητα των δεδομένων & άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες	Δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να έχουν άμεση και εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα και πληροφορίες από οπουδήποτε και αν βρίσκονται με τη χρήση μιας συσκευής η οποία έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο.
Λιγότερη προσοχή στις ΤΠΕ	Οι χρήστες που χρησιμοποιούν το σύννεφο δεν χρειάζεται να αναλαμβάνουν και να εκτελούν εργασίες σχετικά με την ενημέρωση του λογισμικού που απαιτείται καθώς και άλλων ζητημάτων που μπορεί να προκύπτουν.

Πίνακας 2. Οφέλη Υπολογιστικής Νέφους

Κατηγορία	Κίνδυνοι
Οργανωτική Δομή	Κίνδυνοι ως προς τη φήμη και την αποδοτικότητα της επιχείρησης.
Τεχνική Δομή	Κακόβουλες επιθέσεις στον πάροχο υπηρεσιών του cloud, παραβίαση δεδομένων.
Νομική Δομή	Παραβίαση κανονισμών ως προς την αποθήκευση και την χρήση δεδομένων σε διαφορετικές χώρες.
Άλλα τμήματα	Προστασία δεδομένων και απορρήτου, απώλεια ή παραβίαση αντιγράφων ασφαλείας

Πίνακας 3. Κίνδυνοι Υπολογιστικής Νέφους

2.7 Σύνοψη Κεφαλαίου

Η ανάπτυξη και η εξέλιξη της Υπολογιστικής Νέφους αποτελεί μια σημαντική τεχνολογία η οποία έχει αλλάξει το πεδίο της Πληροφορικής και έχει βελτιώσει τον τρόπο λειτουργίας των επιχειρήσεων. Αποτελεί ένα πολύτιμο πλεονέκτημα για την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας μεταξύ των οργανισμών. Μια πληθώρα υπηρεσιών και εφαρμογών μπορεί να προσφέρεται μέσω της Υπολογιστικής Νέφους κάνοντας πιο εύκολη την εμπειρία των χρηστών. Υπάρχουν διάφορες υπηρεσίες, όπως έγινε αναφορά στις παραπάνω ενότητες όπως το Λογισμικό ως Υπηρεσία που χρησιμοποιείται για την ενοικίαση λογισμικού, η Πλατφόρμα ως Υπηρεσία που χρησιμοποιείται κυρίως από προγραμματιστές ως ένα μοντέλο συνδρομής και η Υποδομή ως Υπηρεσία που χρησιμοποιείται για την ενοικίαση υπολογιστικής υποδομής. Κάθε μια από τις προαναφερθείσες υπηρεσίες προσφέρει πολλά οφέλη είτε αυτά έχουν να κάνουν με την εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα, είτε με την εξοικονόμηση κόστους καθώς και πολλές άλλες παραμέτρους. Όπως έγινε αναφορά στις προηγούμενες ενότητες, η Υπολογιστική Νέφους προσφέρει πολλές ευκολίες και οφέλη στους οργανισμούς/επιχειρήσεις καθώς απαλλάσσει το τελικό χρήστη από εργασίες που πρέπει να εκτελέσει, οι οποίες μπορεί να έχουν να κάνουν με την αναβάθμιση υλικού και λογισμικού, με τις ανάγκες για επεκτασιμότητα και συντήρηση των εφαρμογών καθώς και με τη μείωση του κόστους που μπορεί να απαιτείται για την χρήση των υπολογιστικών πόρων. Η μεγαλύτερη ανησυχία που επικρατεί σχετικά με την τεχνολογία της Υπολογιστικής Νέφους αφορά κυρίως ζητήματα ασφάλειας σχετικά την ανταλλαγή των δεδομένων. Έτσι, μια μελλοντική εργασία που θα μπορούσε να γίνει είναι να επιλυθούν αυτά τα ζητήματα και να προσεγγίσουν νέες μεθόδους οι οποίες θα επιλύσουν τα συγκεκριμένα προβλήματα και θα καταστήσουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία μια απολύτως σύμφωνη και σίγουρη λύση για την λειτουργία όλων των οργανισμών/επιχειρήσεων και κατ' επέκταση βελτιώνοντας την εμπειρία των χρηστών παρέχοντας καλύτερες υπηρεσίες.

Εικόνα 3. Σύστημα της Υπολογιστικής Νέφους [58**]**

Κεφάλαιο 3. Διαδίκτυο των Αντικειμένων (Internet Of Things)

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται ο όρος για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων, προκειμένου να διερευνηθεί η αρχιτεκτονική και οι τεχνολογίες με τις οποίες συνδέεται και βρίσκει εφαρμογή καθώς και τα ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου που αντιμετωπίζει, έτσι ώστε να παρουσιαστεί και να αναλυθεί στην πορεία ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να γίνει η ενσωμάτωση και η ενοποίηση των τεχνολογιών της Υπολογιστικής των Άκρων /Ομίχλης με το Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων αποτελεί την επέκταση του διαδικτύου, στο οποίο μπορούν να συνυπάρχουν πολλά διαφορετικά δίκτυα με κύριο στόχο την παροχή πληροφοριών και την εκτέλεση πολλών εφαρμογών [**5**]. Ο όρος «Διαδίκτυο των Αντικειμένων», συνδέεται με τους όρους «πράγματα» και «αντικείμενα», τα οποία μπορούν να έχουν ταυτότητα, εικονική προσωπικότητα και έναν ενεργό ρόλο μέσα από «έξυπνες» διεπαφές που μπορούν να χρησιμοποιήσουν προκειμένου να αλληλεπιδράσουν και να επικοινωνήσουν με το περιβάλλον του χρήστη [**6**].

Προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης όλων των συσκευών με τα διάφορα δίκτυα οπουδήποτε και αν βρίσκονται, προκείμενου να παρέχουν ασφαλείς και αποτελεσματικές υπηρεσίες με όλες τις εφαρμογές [**5**]. Αποτελείται από μια πληθώρα συσκευών οι οποίες μπορούν να ενσωματώσουν αισθητήρες, αντικείμενα, «έξυπνους» κόμβους, έτσι ώστε να μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και να ανταλλάσσουν πληροφορίες μέσω του Διαδικτύου, καθιστώντας με αυτό τον τρόπο δυνατή την συνύπαρξη των συσκευών και του ανθρώπου [**7**][**8**]. Η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και η ανταλλαγή των πληροφοριών πραγματοποιείται με έναν «έξυπνο» τρόπο για την επίτευξη των ενεργειών που πρέπει να εκτελούν σε καθημερινή βάση, λειτουργώντας πολλές φορές αυτόνομα, χωρίς να καθιστά απαραίτητη την ανθρώπινη παρουσία**.** Τα αντικείμενα που αποτελούν το Διαδίκτυο των αντικειμένων έχουν να κάνουν με «έξυπνες» συσκευές όπως «έξυπνα» τηλέφωνα, «έξυπνες» τηλεοράσεις, τη δυνατότητα ενσωμάτωσης κωδικών αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID), κωδικών γρήγορης απόκρισης (QR), αισθητήρες, ασύρματες τεχνολογίες, με κύριο στόχο τη μεταξύ τους επικοινωνία [**9**].

Απλούστερα, το Διαδίκτυο των Αντικειμένων αποτελεί ένα δίκτυο το οποίο συνδέει καθημερινά απλά αντικείμενα έτσι ώστε να δημιουργήσει πιο «έξυπνα» σπίτια, πιο «έξυπνες» πόλεις, πιο «έξυπνο» σύστημα υγείας. Έρευνες που είχαν πραγματοποιηθεί, υποστήριζαν πως μέχρι το τέλος του 2020, ο αριθμός των συσκευών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων θα είχε φτάσει τα 30 έως 75 δισεκατομμύρια «έξυπνες» συσκευές [**10**] .

3.1 Αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Αντικειμένων

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Όπως περιγράφεται παρακάτω, δεν υπάρχει συγκεκριμένη αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται ομόφωνα και παγκοσμίως για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων καθώς διάφορες αρχιτεκτονικές έχουν προταθεί από πολλούς ερευνητές [**11**].

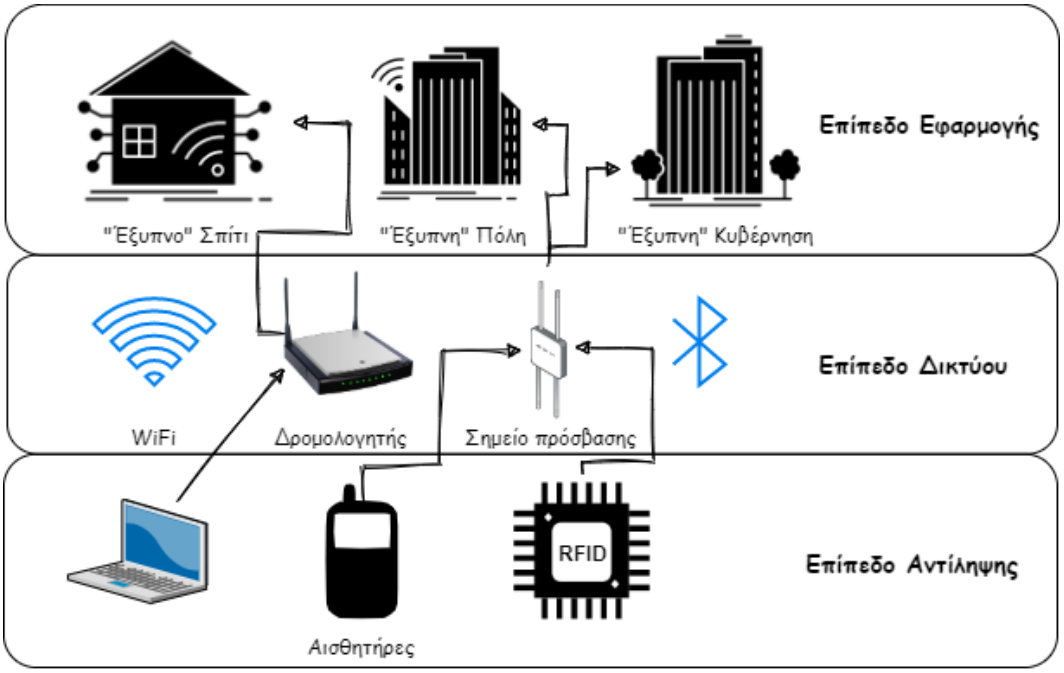
3.1.1 Αρχιτεκτονική τριών επιπέδων (Three-Layer Architecture)

Η αρχιτεκτονική τριών επιπέδων αποτελεί τη πιο βασική αρχιτεκτονική στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και χωρίζεται σε τρία επίπεδα. Κάθε ένα επίπεδο ορίζει τις λειτουργίες και τις συσκευές τις οποίες χρησιμοποιεί [**11**]. Τα τρία επίπεδα τα οποία ορίζουν το Διαδίκτυο των Αντικειμένων, αποτελούνται από το α) επίπεδο εφαρμογής (Application Layer), β) το επίπεδο δικτύου (Network Layer), και γ) το επίπεδο αντίληψης (Perception Layer) **[5]**[**12**].

1) Επίπεδο Αντίληψης (Perception Layer): Βρίσκεται στο χαμηλότερο επίπεδο στην αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Αντικειμένων και χαρακτηρίζεται και ως επίπεδο αισθητήρα διότι μέσα από αυτούς ανιχνεύει και συλλέγει πληροφορίες από το περιβάλλον. Μπορεί να αλληλεπιδρά με άλλες φυσικές συσκευές και εξαρτήματα μέσω της χρήσης των «έξυπνων» συσκευών, οι οποίες μπορεί να έχουν να κάνουν με αισθητήρες (sensors), ενεργοποιητές (actuators), κωδικούς αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID). Ο βασικός στόχος του επιπέδου αντίληψης είναι να συνδέσει τις 'απλές' συσκευές στο δίκτυο του Διαδικτύου των Αντικειμένων και να συλλέξει, επεξεργαστεί τις πληροφορίες που σχετίζονται με αυτές μέσω των «έξυπνων» συσκευών που αναπτύσσονται, έτσι ώστε να μεταδώσει τις πληροφορίες αυτές στο υψηλότερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής. [**5**][**7**][**11**].

2) Επίπεδο Δικτύου (Network Layer): Βρίσκεται στο μεσαίο επίπεδο στην αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Αντικειμένων και χαρακτηρίζεται και ως επίπεδο μετάδοσης. Στο επίπεδο δικτύου γίνεται η λήψη των πληροφοριών που έχουν συλλεχτεί και επεξεργαστεί στο επίπεδο αντίληψης. Αποτελείται από ένα σύνολο ενσύρματων και ασύρματων συστημάτων και είναι το πιο σημαντικό επίπεδο στην αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Αντικειμένων καθώς διάφορες συσκευές και διάφορες τεχνολογίες είναι ενσωματωμένες σε αυτό [**5**][**7**]. Ο κύριος ρόλος του είναι να μπορεί να επιτυγχάνει τη σύνδεση με «έξυπνα» αντικείμενα, συσκευές δικτύου, διακομιστές [**11**].

3) Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer): Βρίσκεται στο υψηλότερο επίπεδο στη αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Αντικειμένων και χαρακτηρίζεται και ως επιχειρηματικό επίπεδο. Τα δεδομένα τα οποία μεταδίδονται από το επίπεδο δικτύου λαμβάνονται από το επίπεδο εφαρμογής και τα χρησιμοποιεί προκειμένου να παρέχει τις απαιτούμενες υπηρεσίες [**5**]. Ο βασικός ρόλος του επιπέδου εφαρμογής είναι να αλληλεπιδρά με τους τελικούς χρήστες έτσι ώστε να τους παρέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες προκειμένου να εξυπηρετεί διάφορες ανάγκες τους [**7**][**11**]. Ένα παράδειγμα παρεχόμενων υπηρεσιών από το επίπεδο εφαρμογής αποτελούν οι υπηρεσίες αποθήκευσης για τη δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας από δεδομένα που λαμβάνονται σε μια βάση δεδομένων [**5**].



Εικόνα 4. Αρχιτεκτονική Τριών Επιπέδων

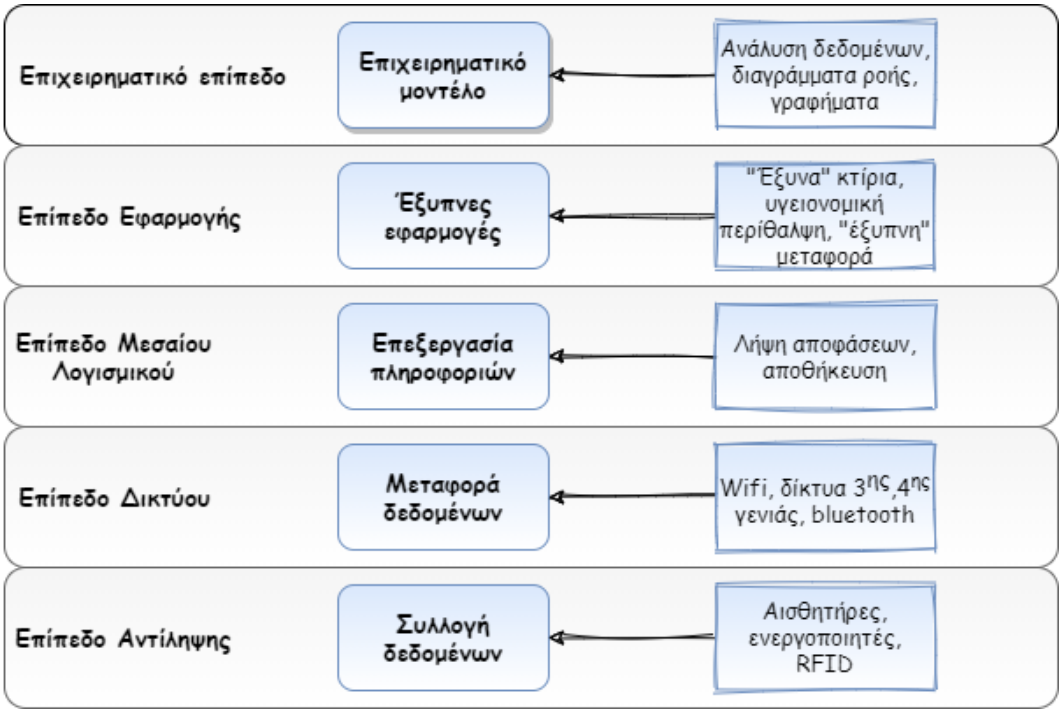
3.1.2 Αρχιτεκτονική πέντε επιπέδων (Five-Layer Architecture)

Η αρχιτεκτονική τριών επιπέδων που μελετήθηκε παραπάνω αποτελεί μια προσέγγιση της λειτουργίας του Διαδικτύου των Αντικειμένων παρέχοντας μια βασική και συγκεκριμένη ιδέα ως προς τις λειτουργίες του. Ωστόσο, αυτό δεν αρκεί για να ερευνήσουμε το Διαδίκτυο των Αντικειμένων και όλες τις πτυχές του γι' αυτό είναι σημαντικό να έχουμε στη διάθεση μας μία ή περισσότερες πολυεπίπεδες αρχιτεκτονικές. Μια προτεινόμενη αρχιτεκτονική αποτελεί η αρχιτεκτονική πέντε επιπέδων, η οποία αποτελείται από τα επίπεδα αντίληψης, μεταφοράς, επεξεργασίας, εφαρμογής και επιχειρήσεων, με το επίπεδο αντίληψης και το επίπεδο εφαρμογής να υποστηρίζουν τον ίδιο ρόλο όπως και στην αρχιτεκτονική τριών επιπέδων [**11**].

1) Επίπεδο Μεταφοράς (Transport Layer): Σε αυτό το επίπεδο, τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται από τους αισθητήρες μεταφέρονται από το επίπεδο αντίληψης στο επίπεδο επεξεργασίας και αντίστροφα μέσω ασύρματων δικτύων, 3G δικτύων, Bluetooth, RFID, NFC [**11**].

2) Επίπεδο Επεξεργασίας (Processing Layer): Χαρακτηρίζεται και ως επίπεδο μεσαίου λογισμικού (middleware) και ο ρόλος του είναι να αποθηκεύει, να αναλύει και να επεξεργάζεται μεγάλες ποσότητες δεδομένων οι οποίες συλλέγονται από το επίπεδο μεταφοράς. Οι βάσεις δεδομένων, η υπολογιστική νέφους, οι μονάδες επεξεργασίας μεγάλων δεδομένων, είναι μερικές από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιεί [**11**].

3) Επιχειρηματικό Επίπεδο (Business Layer): Στο επίπεδο αυτό παρουσιάζεται το επιχειρηματικό μοντέλο και τα δεδομένα τα οποία λαμβάνονται από το επίπεδο εφαρμογής [**13**]. Διαχειρίζεται ολόκληρο το σύστημα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**11**].



Εικόνα 5. Αρχιτεκτονική Πέντε Επιπέδων

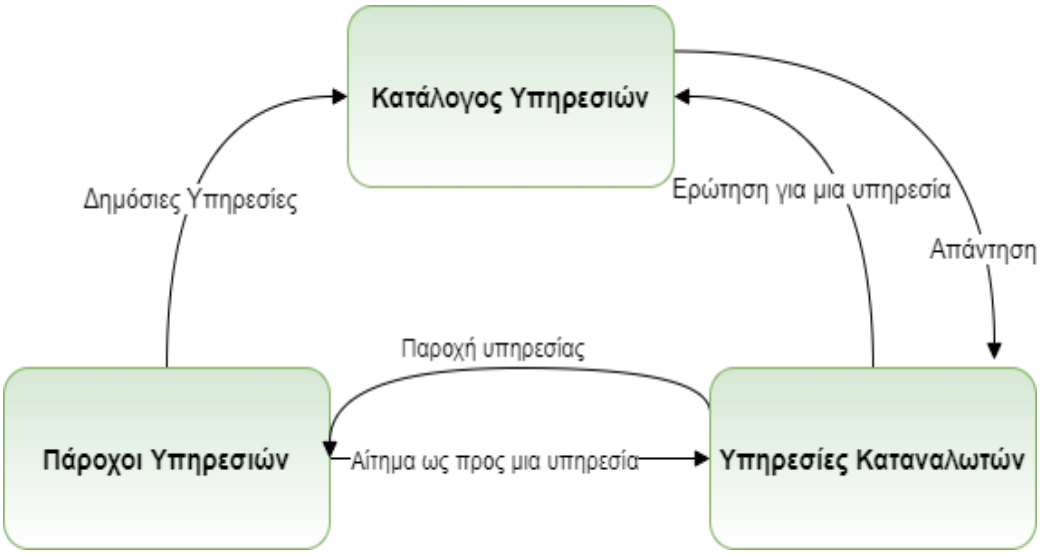
3.1.3 Αρχιτεκτονική προσανατολισμένη ως προς τις υπηρεσίες (Service oriented Architecture – SoA)

Η αρχιτεκτονική τριών επιπέδων που αναλύθηκε παραπάνω είναι μια βασική αρχιτεκτονική για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Το πρόβλημα που εντοπίζεται στην συγκεκριμένη αρχιτεκτονική έχει να κάνει με την πολυπλοκότητα των επίπεδων από τα οποία αποτελείται. Πιο συγκεκριμένα, το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο στο να μεταδίδει δεδομένα αλλά ταυτόχρονα να παρέχει και υπηρεσίες, αντίστοιχα το επίπεδο εφαρμογής εκτός από το να παρέχει υπηρεσίες στο χρήστη με τον οποίο αλληλεπιδρά θα πρέπει να παρέχει και υπηρεσίες δεδομένων, οι οποίες μπορεί να έχουν να κάνουν με την ανάλυση των δεδομένων που λαμβάνουν. Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός επιπέδου υπηρεσίας το οποίο θα λειτουργεί μεταξύ του επιπέδου δικτύου και του επιπέδου εφαρμογής για την παροχή των δεδομένων στο δίκτυο του Διαδικτύου των Αντικειμένων. Σύμφωνα με αυτή την ανάγκη έχει μελετηθεί η αρχιτεκτονική προσανατολισμένη ως προς τις υπηρεσίες (Service oriented Architecture - SoA) για την υποστήριξη των αναγκών ως προς τη διαχείριση των δεδομένων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**].

Η αρχιτεκτονική προσανατολισμένη ως προς τις υπηρεσίες αποτελεί ένα αρχιτεκτονικό μοντέλο το οποίο βασίζεται κυρίως σε συστατικά τα οποία έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορούν να στηρίξουν διαφορετικές λειτουργικές μονάδες μιας εφαρμογής χρησιμοποιώντας διεπαφές και πρωτόκολλα. Αποτελείται από πολλές υπηρεσίες οι οποίες λειτουργούν αυτόνομα δίνοντας τους το πλεονέκτημα να μπορούν να εκτελούνται σε διαφορετικούς κόμβους με διαφορετικούς πάροχους υπηρεσιών. Χαρακτηρίζεται από τρία στοιχεία τα οποία αποτελούν ο πάροχος υπηρεσιών (service provider), ο κατάλογος υπηρεσιών (service directory) και ο καταναλωτής υπηρεσιών (service consumer). Κάθε ένα στοιχείο εξυπηρετεί συγκεκριμένες ανάγκες, με το πάροχο υπηρεσιών να είναι υπεύθυνος ως προς το σχεδιασμό και την ανάπτυξη μιας υπηρεσίας, ο κατάλογος υπηρεσιών να περιέχει

τις πληροφορίες μιας υπηρεσίας και ο καταναλωτής υπηρεσιών να ζητά τις πληροφορίες οι οποίες βρίσκονται στον κατάλογο των υπηρεσιών και κάνει αίτηση για μια συγκεκριμένη υπηρεσία δεσμεύοντας τον αντίστοιχο πάροχο υπηρεσιών. Λόγω των λειτουργιών που μπορεί να εκτελέσει ως προς το συντονισμό των υπηρεσιών και την επαναχρησιμοποιήσει λογισμικού και υλικού μπορεί να ενσωματωθεί στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Από τη συλλογή δεδομένων που γίνεται στο επίπεδο δικτύου και στο επίπεδο εφαρμογής μπορεί να σχηματιστεί το επίπεδο υπηρεσίας [**5**][**10**].

Στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική, περιλαμβάνονται τέσσερα επίπεδα τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και αποτελούνται από το επίπεδο αντίληψης, επίπεδο δικτύου, επίπεδο υπηρεσίας και επίπεδο εφαρμογής. Το επίπεδο αντίληψης βρίσκεται στο κατώτερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής και ο ρόλος του είναι η συλλογή και η εξαγωγή δεδομένων που λαμβάνονται από τις φυσικές συσκευές. Το επίπεδο δικτύου παρέχει υποστήριξη της μετάδοσης των δεδομένων μέσα από ετερογενή δίκτυα. Το επίπεδο υπηρεσίας αποτελεί ένα ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ του επιπέδου δικτύου και του επιπέδου εφαρμογής προκειμένου να παρέχει υπηρεσίες για την υποστήριξη του επιπέδου εφαρμογής. Επιπλέον χρησιμοποιείται για να λαμβάνει αιτήματα ως προς τις υπηρεσίες που παρέχονται, να αλληλεπιδρά με τα αντικείμενα που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο και να ικανοποιεί σχετικά αιτήματα ως προς τις υπηρεσίες καθώς και τη χρήση κατάλληλων διεπαφών, έτσι ώστε όλες οι υπηρεσίες που παρέχονται να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Το επίπεδο εφαρμογής υποστηρίζει τα αιτήματα που λαμβάνει για τις υπηρεσίες από τους χρήστες και μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές όπως το «έξυπνο» δίκτυο, οι «έξυπνες» μεταφορές, οι «έξυπνες» πόλεις [**5**].



Εικόνα 6. Βασική Λειτουργία Αρχιτεκτονικής Προσανατολισμένη ως προς τις υπηρεσίες

3.2 Εφαρμογή του Διαδικτύου των Αντικειμένων μέσω τεχνολογιών

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια τεχνολογική επανάσταση όπου για την περαιτέρω εξέλιξη του είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ορισμένων τεχνολογιών, οι οποίες θα μπορούν να το υποστηρίξουν και μέσα από αυτές να καθοριστεί το μέλλον των υπολογιστών [**6**]. Μπορεί να παρουσιαστεί από διαφορετικές τεχνολογίες, όπου η κάθε μια θα εξυπηρετεί το δικό της σκοπό ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής [**7**].

Σύμφωνα με τις αρχιτεκτονικές που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα και εστιάζοντας στην αρχιτεκτονική προσανατολισμένη ως προς τις υπηρεσίες, παρακάτω γίνεται η αναφορά σε συγκεκριμένες τεχνολογίες που βρίσκει εφαρμογή το Διαδίκτυο των Αντικειμένων έτσι ώστε να αλληλεπιδρά με τον πραγματικό κόσμο. Κάθε μία τεχνολογία διαχωρίζεται σε τρία διαφορετικά επίπεδα σύμφωνα με την αρχιτεκτονική προσανατολισμένη ως προς τις υπηρεσίες [**5**].

1. **Επίπεδο Αντίληψης (Perception Layer)**

Η βασική λειτουργία που επιτυγχάνεται στο επίπεδο αυτό, είναι ο εντοπισμός και η παρακολούθηση των αντικειμένων που είναι συνδεδεμένα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Για την επίτευξη αυτής της λειτουργίας είναι απαραίτητη η ανάπτυξη συγκεκριμένων τεχνολογιών όπως παρουσιάζονται παρακάτω [**5**].

- **Αναγνώριση Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification):** Το RFID αποτελεί μια τεχνολογία επικοινωνίας η οποία μπορεί να παρακολουθεί τα αντικείμενα/συσκευές απομακρυσμένα. Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο για την υποστήριξη του Διαδικτύου των Αντικειμένων. Μέσω της χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency – RF), η οποία είναι ενσωματωμένη στο RFID, δίνει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει μοναδικά τα αντικείμενα και τις συσκευές που είναι συνδεδεμένα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων μέσω ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ,επιτυγχάνοντας την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τους σε μικρή απόσταση. Ένα σύστημα Αναγνώρισης Ραδιοσυχνοτήτων αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Το ένα έχει να κάνει με τους πομποδέκτες, οι οποίοι μπορεί να αναφερθούν και ως ετικέτες RFID (RFID tags) και το άλλο το οποίο χαρακτηρίζεται ως αναγνώστες RFID (RFID readers). Οι πομποδέκτες ή αλλιώς ετικέτες RFID περιέχουν ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα με αποθηκευτικό χώρο στο οποίο ενσωματώνονται τα μικροτσίπ προκειμένου να αποθηκεύουν δεδομένα και πληροφορίες ενώ περιέχει και μία κεραία. Οι αναγνώστες RFID έχουν τη δυνατότητα να ανακτούν τα δεδομένα από τις ετικέτες RFID ενώ βρίσκονται σε αυτούς ενσωματωμένα μία κεραία και μια μονάδα ελέγχου.

  Ο τρόπος λειτουργίας του RFID έχει να κάνει με την επικοινωνία που υπάρχει μεταξύ των ετικετών RFID και των αναγνωστών RFID. Για να επιτευχθεί η μεταξύ τους επικοινωνία θα πρέπει οι ετικέτες RFID, όταν βρεθούν στην εμβέλεια της κεραίας του αναγνώστη RFID, η μονάδα ελέγχου να επικοινωνήσει με ραδιοκύματα με την κεραία της ετικέτας RFID. Οι ετικέτες RFID θα πρέπει να επιστρέψουν τα δεδομένα στους αναγνώστες RFID. Για να πραγματοποιηθεί η αποστολή των πληροφορίων από τη μονάδα ελέγχου του αναγνώστη RFID θα πρέπει να υπάρχει ένα ενδιάμεσο λογισμικό προκειμένου να μεταφερθούν στο κατάλληλο πληροφοριακό σύστημα.

  Το RFID σαν τεχνολογία, προσδίδει πολλά πλεονεκτήματα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων ως προς την ασφάλεια, τη γρήγορη και απομακρυσμένη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των αντικειμένων/συσκευών, ανθεκτικότητα, χαμηλό κόστος, γι' αυτό και θεωρείται η καλύτερη επιλογή ως προς την παρακολούθηση και τον εντοπισμό αντικειμένων στο επίπεδο αντίληψης. Το εύρος του RFID είναι μεταξύ 3 με 10 μέτρα ενώ βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις κινούμενης πλοήγησης σε εσωτερικούς χώρους, σε έξυπνους χώρους στάθμευσης, σε τηλεχειριστήρια χωρίς τη χρήση μπαταρίας κλπ. Αρκετό ενδιαφέρον έχει η προσέγγιση των μικροτσίπ, τα οποία είναι ενσωματωμένα στις ετικέτες RFID, καθώς το μέγεθος τους μπορεί να

είναι τόσο μικρό όσο και το μισό ενός κόκκου άμμου (1/3 του χιλιοστού), ανάλογα με το τύπο της ετικέτας [**5**][**13**] [**14**].

- **Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks – WSN):** Το Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων έχει ένα αρκετά σημαντικό ρόλο στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Ο ενεργός του ρόλος είναι να παρακολουθεί φυσικές ή περιβαλλοντολογικές συνθήκες οι οποίες μπορεί να σχετίζονται με τις αλλαγές στη θερμοκρασία, στην ατμοσφαιρική πίεση, στον ήχο, μέσα από ένα σύνολο αυτόνομων αισθητήρων. Περιέχει έναν σταθμό βάσης, ο οποίος μεταδίδει τα δεδομένα που συλλέγει από τους αισθητήρες σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Αποτελείται από κόμβους όπου κάθε ένας από αυτούς συνδέεται με έναν αισθητήρα. Τα στοιχεία που απαρτίζουν έναν κόμβο στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων περιλαμβάνουν ένα ραδιοπομποδέκτη με μια εσωτερική κεραία ή μια σύνδεση με μια εξωτερική κεραία, ένα μικροελεγκτή και ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για να γίνει η διασύνδεση με τους αισθητήρες. Προσφέρει αρκετά οφέλη τα οποία σχετίζονται με το χαμηλό κόστος, τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, την αξιοπιστία, τα οποία το καθιστούν μια σημαντική προσθήκη στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Ο κύριος ρόλος του είναι να αντιλαμβάνεται τις πραγματικές παραμέτρους οι οποίες σχετίζονται με το περιβάλλον [**5**][**7**] [**15**]
- **Διάφορες άλλες τεχνολογίες:** Το Barcode ή αλλιώς γραμμωτός ή ραβδωτός κώδικας αποθηκεύει πληροφορίες για ένα αντικείμενο/συσκευή/προϊόν σε πολλές μαύρες γραμμές με λευκές αποστάσεις. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από ένα σύνολο γραμμών με ανάλογους αριθμούς, οι οποίες μπορεί να αντιστοιχούν σε μια περιγραφή για το αντικείμενο/συσκευή/προϊόν όπως η τιμή για ένα προϊόν, η ημερομηνία λήξης κλπ. Οι γραμμές και τα διαστήματα έχουν διαταχθεί σύμφωνα με ειδικούς κανόνες κωδικοποίησης και μπορούν να διαβαστούν από ειδικά μηχανήματα τα οποία σαρώνουν γραμμωτούς ή ραβδωτούς κωδικούς. Συμβολίζεται και ως 1-D κώδικας. Παραδείγματα εφαρμογής του barcode συναντάμε σε όλα τα προϊόντα λιανικής, σε οπισθόφυλλα βιβλίων και περιοδικών ακόμα σε πολλές βιβλιοθήκες οι οποίες χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο σύστημα για τη διαδικασία δανεισμού των βιβλίων [**5**] [**16**].

2. Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)

Η βασική λειτουργία που επιτυγχάνεται στο επίπεδο αυτό είναι η δρομολόγηση και η μετάδοση των δεδομένων μέσα από ολοκληρωμένα ετερογενή δίκτυα (δίκτυα με ενσύρματους και ασύρματους κόμβους). Μέσα από τη χρήση κατάλληλων πρωτοκόλλων επιτυγχάνεται η ασφαλή και αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ των συσκευών στο Διαδίκτυο των αντικειμένων. Τα πρωτόκολλα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν, περιγράφονται παρακάτω [**5**].

- **IEEE 802.15.4:** Το IEEE 802.15.4 είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορεί να καθορίσει το φυσικό επίπεδο (Physical Layer) και το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control – MAC) για προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Network – WPAN) χαμηλού ρυθμού μετάδοσης, τα οποία μπορεί να αποτελούνται από σταθερές/κινητές συσκευές. Ο στόχος της εφαρμογής του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου είναι να πραγματοποιεί συνδέσεις χαμηλού ρυθμού μετάδοσης, επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, χαμηλό κόστος και χαμηλό ρυθμό συνδέσεων. Αποτελεί βάση για πολλές τεχνολογίες και πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας με

μερικά από αυτά να αποτελούν το ZigBee, WirelessHART, MiWi, 6LoWPAN, Thread και SNAP [**5**] [**17**].

- **6LoWPAN:** Το πρωτόκολλο 6LoWPAN αποτελεί μια βελτιωμένη εκδοχή το οποίο σχεδιάστηκε συνδυάζοντας το πρωτόκολλο Διαδικτύου IPv6 (Internet Protocol version 6) και το LoWPAN (LowPower Wireless Personal Area Networks). Μπορεί να εφαρμοστεί ακόμα και στις πιο μικρές συσκευές χαμηλού κόστους, χρησιμοποιώντας ελάχιστους πόρους προκειμένου να επιτευχθεί η μεταξύ τους σύνδεση μέσω ασύρματων επικοινωνιών. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι κατάλληλο για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων καθώς εφαρμόζεται σε συσκευές χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας προσφέροντας πολύ καλή συνδεσιμότητα και συμβατότητα με παλαιότερες αρχιτεκτονικές. Επιτρέπει σε πακέτα πρωτοκόλλου IPv6 να μεταφέρονται μέσω πλαισίων (frames) μικρού μήκους σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.14.5 [**5**][**7**] [**18**] [**19]**.
- **ZigBee:** Βασίζεται στο πρωτόκολλο επικοινωνίας IEEE 802.14.5 και ορίζει το επίπεδο δικτύου το οποίο τρέχει πάνω από το φυσικό επίπεδο (Physical Layer) και το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control – MAC). Επιτυγχάνει την ασύρματη επικοινωνία με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και περιλαμβάνει πέντε επίπεδα:
    1) Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer)
    2) Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο (Medium Access Control – MAC)
    3) Επίπεδο Μετάδοσης
    4) Επίπεδο Δικτύου
    5) Επίπεδο Εφαρμογής

  Αποτελεί μια τεχνολογία ασύρματου δικτύου, η οποία προσφέρει αρκετά οφέλη καθώς έχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, χαμηλό κόστος, χαμηλό ρυθμό δεδομένων, αξιοπιστία και ασφάλεια ενώ μπορεί να υποστηρίξει πολλές τοπολογίες δικτύου. Το εύρος ζώνης της επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών είναι αρκετά μικρό, περίπου 10-100 μέτρα και περιλαμβάνει τρείς τύπους συσκευών, οι οποίες είναι μια πλήρως λειτουργική συσκευή – FFD, μια συσκευή με μειωμένη λειτουργική απόδοση – RFD και ένα συντονιστή ZigBee [**5**][**11**].

- **Z-Wave:** Το Z-Wave παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες ως προς την αρχιτεκτονική με την τεχνολογία του ZigBee, κάποιες όμως σημαντικές διαφορές το καθιστούν πιο προσιτή τεχνολογία για συγκεκριμένες εφαρμογές όπως τα αυτοματοποιημένα σπίτια. Συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του χαμηλού κόστους, της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και της μεγάλης αξιοπιστίας έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίξει την ασύρματη επικοινωνία μικρής εμβέλειας με απώτερο στόχο την αξιόπιστη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ μιας μονάδας ελέγχου και των τελικών συσκευών. Το δίκτυο Z-Wave υποστηρίζει την τεχνολογία της δυναμικής δρομολόγησης και η βασική διαφορά του με το ZigBee είναι το εύρος ζώνης των συχνοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, στο ZigBee η ζώνη συχνοτήτων στο φυσικό στρώμα είναι συνήθως 2.4 GHz ενώ στο Z-Wave είναι μικρότερη από 1GHz. Η αρχιτεκτονική του είναι αρκετά απλή το οποίο το καθιστά και πιο εύκολο στην εφαρμογή ενώ μέσα από την κρυπτογράφηση AES (Advance Encryption Standard) που χρησιμοποιεί εξασφαλίζει πιο ασφαλούς τρόπους μετάδοσης της επικοινωνίας [**5**][**11**].
- **Τηλεμετρική Μεταφορά Ουράς Μηνυμάτων (Message Queue Telemetry Transport – MQTT):** Αποτελεί ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων μέσα από τη χρήση των τεχνικών δημοσίευση (publish) / εγγραφή (subscribe). Χρησιμοποιείται προκειμένου

να συλλέξει συγκεκριμένα δεδομένα από τους αισθητήρες που βρίσκονται απομακρυσμένα και στη συνέχεια να μεταδώσει τα δεδομένα αυτά σε διακομιστές. Είναι ένα αρκετά απλό πρωτόκολλο με χαμηλό εύρος ζώνης ωστόσο παρουσιάζει υψηλή καθυστέρηση. Μέσα από την ανταλλαγή μηνυμάτων που μπορεί να επιτευχθεί μεταξύ αισθητήρων, ενεργοποιητών και διακομιστών μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες πλατφόρμες για την σύνδεση των συσκευών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων κάνοντας το να έχει σημαντικό ρόλο σε αυτό [**5**].

- **Πρωτόκολλο Περιορισμένης Εφαρμογής (Constrained Application Protocol – CoAP):** Βασισμένο στο αρχιτεκτονικό μοντέλο της Αντιπροσωπευτικής Κατάστασης Μεταφοράς (Representational state transfer – REST), αποτελεί ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων σε περιβάλλοντα με περιορισμένες συσκευές και δίκτυα. Λόγω των περιορισμένων πόρων στις περισσότερες συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων προτάθηκε το CoAP, προκειμένου να τροποποιήσει κάποιες λειτουργίες του HTTP έτσι ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Το CoAP είναι ένα πρωτόκολλο που εφαρμόζεται στο επίπεδο εφαρμογής με απώτερο στόχο του να επιτύχει την αλληλεπίδραση των συσκευών με περιορισμένους πόρους. Δεν υποστηρίζει την μετάδοση αλλά μόνο την ομαδική επικοινωνία και τις ειδοποιήσεις push. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του CoAP, έχουν να κάνουν με την παρατήρηση των πόρων, την μεταφορά των πόρων, την ανακάλυψη πόρων, την αλληλεπίδραση με το πρωτόκολλο HTTP και την ασφάλεια [**5**].
- **Επεκτάσιμα Μηνύματα και Πρωτόκολλο Παρουσίας (Extensible Messaging and Presence Protocol – XMPP):** Το XMPP αποτελεί ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που επιτρέπει τη ανταλλαγή άμεσων μηνυμάτων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Εφαρμόζεται στο επίπεδο εφαρμογής και βασίζεται στη γλώσσα XML. Η αρχική του σχεδίαση είχε να κάνει με την μεταφορά σύντομων μηνυμάτων, στη συνέχεια όμως επεκτάθηκε προκειμένου να παρέχει περισσότερες δυνατότητες. Λόγω του ότι βασίζεται στη γλώσσα XML, έχει κληρονομήσει αρκετά χαρακτηριστικά, τα οποία προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια ενώ η συνομιλία μπορεί να πραγματοποιηθεί με συνδυασμό διάφορων μέσων όπως φωνής και βίντεο καθώς και με τηλεπαρουσία. Στο πρωτόκολλο XMPP διακρίνονται τρείς βασικοί ρόλοι στους οποίους περιλαμβάνονται ο πελάτης, ο διακομιστής και η πύλη. Ο ρόλος του διακομιστή έχει να κάνει με την επίτευξη της λειτουργικότητας ως προς τη διαχείριση των συνδέσμων και της δρομολόγησης των μηνυμάτων, η πύλη χρησιμοποιείται για να παρέχει σταθερή επικοινωνία μεταξύ ετερογενών συστημάτων ενώ ο πελάτης μπορεί να συνδεθεί στο διακομιστή σύμφωνα με το πρωτόκολλο TCP/IP και να αλληλεπιδράσει με το περιβάλλον μέσω της ροής XML. Συνεπώς ο κύριος ρόλος του πρωτοκόλλου XMPP στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων είναι να μπορεί να υποστηρίξει την αντικειμενική επικοινωνία με μηνύματα κειμένου που βασίζονται στη γλώσσα XML [**5**].
- **Υπηρεσία Διανομής Δεδομένων (Data Distribution Service - DDS):** Το DDS είναι πρωτόκολλο το οποίο βασίζεται σε δεδομένα, παρέχοντας υψηλή απόδοση ως προς την επικοινωνία από συσκευή σε συσκευή, υποστηρίζοντας την πολλαπλή μετάδοση και επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο καλή ποιότητα υπηρεσιών και υψηλή αξιοπιστία. Βασισμένο στην αρχιτεκτονική της δημοσίευσης (publish)/εγγραφής (subscribe), το καθιστά κατάλληλο για περιορισμένες επικοινωνίες από συσκευή σε συσκευή στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**].

- **Προηγμένο Πρωτόκολλο Ουράς Μηνυμάτων (Advanced Message Queuing Protocol – AMQP):** Χρησιμοποιείται στο επίπεδο εφαρμογής και αποτελεί ένα πρωτόκολλο για να παρέχει υπηρεσίες μηνυμάτων είτε αυτές έχουν να κάνουν με τη δρομολόγηση είτε με την ασφάλεια είτε με την αξιοπιστία. Το AMQP θεωρείται πρωτόκολλο μεσαίου λογισμικού (middleware) το οποίο είναι προσανατολισμένο στα μηνύματα. Με τη χρήση του πρωτοκόλλου αυτού, ένας πελάτης μπορεί να επιτύχει σταθερή επικοινωνία ακόμα και αν η ανταλλαγή μηνυμάτων πραγματοποιείται μεταξύ προγραμμάτων και συσκευών υλοποιημένα σε διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού. Μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές αρχιτεκτονικές ανταλλαγής μηνυμάτων, οι οποίες μπορεί να έχουν να κάνουν με την αποθήκευση και προώθηση, δημοσίευση/εγγραφή, διανομή μηνυμάτων, ουρές μηνυμάτων, δρομολόγηση μηνυμάτων αλληλεπιδρώντας με το περιβάλλον καθώς και δρομολόγηση μηνυμάτων από σημείο σε σημείο [**5**].
- **Διάφορες Άλλες τεχνολογίες:** Εκτός από τα πρωτοκόλλα που αναφέρθηκαν παραπάνω τα οποία μπορεί να έχουν να κάνουν είτε με την επικοινωνία, είτε με την ανταλλαγή μηνυμάτων, υπάρχουν κι' άλλα πρωτόκολλα προκειμένου να εξυπηρετήσουν άλλους σκοπούς. Ένα παράδειγμα αποτελεί το πρωτόκολλο πολλαπλής διανομής DNS, όπου ο ρόλος του είναι να μπορεί να επιλύει ονόματα κεντρικών υπολογιστών σε διευθύνσεις IP για μικρά δίκτυα τα οποία δεν περιλαμβάνουν τοπικό διακομιστή ονομάτων. Τα πρωτόκολλα τα οποία είναι επιθυμητό να ενσωματωθούν στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων πρέπει να είναι βελτιωμένα, με υψηλές απαιτήσεις ως προς την ασφάλεια και την αξιοπιστία, προκειμένου να μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη του Διαδικτύου των Αντικειμένων [**5**] [**20**].

3. Επίπεδο Υπηρεσίας (Service Layer)

Το επίπεδο υπηρεσίας βρίσκεται μεταξύ του επιπέδου δικτύου και του επιπέδου εφαρμογής παρέχοντας στα αντικείμενα και στις εφαρμογές ασφαλείς και αποτελεσματικές υπηρεσίες. Πρέπει να περιλαμβάνει τις τεχνολογίες που αναφέρονται παρακάτω προκειμένου να διασφαλίσει ότι θα παρέχει αποτελεσματικές υπηρεσίες [**5**].

- **Διεπαφή (Interface):** Εφαρμόζεται στο επίπεδο υπηρεσίας έτσι ώστε η ανταλλαγή των πληροφοριών μεταξύ των συσκευών και των εφαρμογών να γίνεται αποτελεσματικά και με ασφάλεια. Η διασύνδεση των συσκευών η οποία μπορεί να έχει να κάνει είτε με τη σύνδεση των συσκευών είτε με την αποσύνδεση είτε με την επικοινωνία και τη λειτουργία τους, πρέπει να πραγματοποιείται αποτελεσματικά. Το IFP αποτελεί ένα προφίλ διεπαφής το οποίο μπορεί να υποστηρίξει τη λειτουργία των εφαρμογών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων χαρακτηρίζοντας το ως πρότυπο υπηρεσίας διότι μπορεί να βοηθήσει την αλληλεπίδραση μεταξύ των υπηρεσιών που παρέχονται από διάφορες συσκευές ή εφαρμογές. Λόγω της ανάπτυξης της αρχιτεκτονικής προσανατολισμένη ως προς τις υπηρεσίες και μέσω της χρήσης της αρχιτεκτονικής SOCRADES η παροχή αλληλεπιδράσεων μεταξύ εφαρμογών και υπηρεσιών μπορεί να γίνει αποτελεσματικά. Όπως έχει μελετηθεί παραπάνω υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες για τη διασύνδεση τους με το Διαδίκτυο των Αντικειμένων όμως η επέκταση των τεχνολογιών διεπαφής με χαμηλό κόστος παραμένει μια μεγάλη πρόκληση για την υποστήριξη του Διαδικτύου των Αντικειμένων [**5**].

- **Διαχείριση Υπηρεσιών (Service Management):** Η Διαχείριση Υπηρεσιών αποκρίνεται σε αιτήματα που λαμβάνει μέσα από αποτελεσματικές και αξιόπιστες υπηρεσίες. Στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, μία μόνο υπηρεσία μπορεί να καλύψει μια συγκεκριμένη απαίτηση ενώ πολλαπλές υπηρεσίες μπορούν να καλύψουν περισσότερες από μία απαιτήσεις. Ανταποκρινόμενο σε αυτό το ρόλο, η διαχείριση των υπηρεσιών διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία χαρακτηρίζεται ως κύρια ή αλλιώς βασική υπηρεσία προκειμένου να καλύψει πρωταρχικές λειτουργίες σε μια συσκευή ή εφαρμογή. Στην δεύτερη κατηγορία έχουμε τη δευτερεύουσα υπηρεσία η οποία χρησιμοποιείται προκειμένου να επιτύχει κάποιες βοηθητικές λειτουργίες βασιζόμενη στις ενέργειες που έχει πραγματοποιήσει η κύρια υπηρεσία. Η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής προσανατολισμένη ως προς τις υπηρεσίες στη συγκεκριμένη τεχνολογία, έχει συμβάλλει στην ενοποίηση των υπηρεσιών με αποτέλεσμα να μπορούν να εφαρμοστούν πλήρως σε ετερογενής συσκευές και εφαρμογές. Με αυτό τον τρόπο παρέχει μεγαλύτερη αξιοπιστία και ασφάλεια ως προς τις υπηρεσίες [**5**].
- **Middleware:**Το Middleware είναι ένα λογισμικό στον υπολογιστή το οποίο έχει τη δυνατότητα να παρέχει υπηρεσίες σε εφαρμογές λογισμικού εκτός από αυτές που διατίθενται ήδη από το λειτουργικό σύστημα. Οι προγραμματιστές που εργάζονται σε ένα λογισμικό middleware έχουν στη διάθεση τους τυπικές διεπαφές χωρίς να γνωρίζουν παραπάνω λεπτομέρειες για τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται προκειμένου να επικεντρώνονται στην ανάπτυξη των εφαρμογών χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν τη συμβατότητα μεταξύ των εφαρμογών και των υποδομών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι συσκευές και οι εφαρμογές που έχουν υλοποιηθεί σε διαφορετικές διεπαφές να μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να μοιράζονται πόρους. Το middleware σαν λογισμικό μπορεί να τρέξει σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα, να υποστηρίξει πολλές και διαφορετικές εφαρμογές, να επιτύχει την αλληλεπίδραση μεταξύ των υπηρεσιών σε ετερογενή δίκτυα, να παρέχει τυπικά πρωτόκολλα και διασυνδέσεις. Έχοντας μια σταθερή διεπαφή, οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες που αναπτύσσονται μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από το υλικό και το λειτουργικό σύστημα. Αυτή η δυνατότητα κάνει το middleware να αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων καθώς ήδη ένας μεγάλος αριθμός ετερογενών συσκευών και δικτύων είναι ενσωματωμένα σε αυτό και αλλάζουν ή ενημερώνονται συχνά [**5**].
- **Διαχείριση Πόρων και Κοινή Χρήση (Resource Management and Sharing) :** Στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων πολλές εφαρμογές προκειμένου να παρέχουν δεδομένα και πληροφορίες καθώς και να μοιράζουν ένα μέρος τον πόρων τους για να επιτύχουν μείωση του κόστους, βρίσκονται ενσωματωμένα διάφορα ετερογενή δίκτυα. Το ζήτημα που έρχεται να αντιμετωπίσει σε αυτή την περίπτωση το Διαδίκτυο των Αντικειμένων, είναι η διασφάλιση ότι οι πληροφορίες που ζητούνται από τις εφαρμογές φτάνουν εγκαίρως. Η διαμοίραση των πόρων βασίζεται στην κοινή χρήση του φάσματος, χωρισμένο σε τρεις διαστάσεις συμπεριλαμβανομένου του χώρου, της συχνότητας και του χρόνου, όπου με αυτό τον τρόπο συντονίζονται με πιο αποτελεσματικό τρόπο πολλαπλά δίκτυα στην ίδια συχνότητα προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός της χρήσης των πόρων του δικτύου που απαιτούνται. Η ανάπτυξη ενός μοντέλου για την σωστή διαχείριση των πόρων και τους διαμοιρασμού τους αποτελεί μια σημαντική μελλοντική εξέλιξη για το περιβάλλον του Διαδικτύου των Αντικειμένων [**5**].

3.3 Ζητήματα Ασφάλειας στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων

Η ασφάλεια αποτελεί μια σημαντική πρόκληση και ανησυχία για τις διασυνδεδεμένες συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, από τις οποίες γίνεται η συλλογή και η μεταφορά των δεδομένων. Τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μπορεί να είναι προσωπικού χαρακτήρα, εταιρικού ή βιομηχανικού και γι' αυτό θα πρέπει να είναι ασφαλή και προστατευμένα σε οποιαδήποτε πιθανότητα κλοπής ή παραβίασης κατά της διαδικασία μεταφοράς και ανταλλαγής μεταξύ των συσκευών. Στις περιπτώσεις μετάδοσης των δεδομένων μέσω του Διαδικτύου ή ακόμα και μέσα από ασφαλή ιδιωτικά δίκτυα όπως το VPN, η ασφάλεια αποτελεί ένα μείζον ζήτημα. Τα θέματα ασφάλειας των συσκευών μπορεί να έχουν να κάνουν με ζητήματα τεχνολογικής φύσεως, ηθικού χαρακτήρα καθώς και με παραβιάσεις απορρήτου. Οι τρείς βασικοί στόχοι της ασφάλειας στοχεύουν στην εξασφάλιση της ακεραιότητας, της εμπιστευτικότητας και της διαθεσιμότητας των συσκευών. Παρακάτω περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της ασφάλειας στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και τα ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου που αντιμετωπίζει σε κάθε επίπεδο σύμφωνα με την αρχιτεκτονική προσανατολισμένη ως προς τις υπηρεσίες που υποστηρίζει το Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**][**8**][**9**].

3.3.1 Χαρακτηριστικά ασφάλειας στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων

- **Εμπιστευτικότητα (Confidentiality):** Η εμπιστευτικότητα αποτρέπει την πρόσβαση μη εξουσιοδοτημένων χρηστών σε ευαίσθητες πληροφορίες. Αποτελεί πολύ σημαντική αρχή της ασφάλειας για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων, διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα είναι ασφαλή και διαθέσιμα μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες χωρίς να μπορούν να παραλειφθούν από άλλους που δεν τους έχουν αποδοθεί τα αντίστοιχα δικαιώματα. Το βασικό ζήτημα της εμπιστευτικότητας είναι να διασφαλίσει ότι οι πληροφορίες μιας συσκευής δεν θα αποκαλυφθούν από τις γειτονικές τους συσκευές που επικοινωνούν. Μέσα από την βελτίωση τεχνικών οι οποίες μπορεί να έχουν να κάνουν με την ενίσχυση των μηχανισμών ασφάλειας και διαχείρισης των δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη εμπιστευτικότητα στη διαχείριση των δεδομένων από τις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**][**12**][**21**].
- **Ακεραιότητα (Integrity):** Η ακεραιότητα αποσκοπεί στη διατήρηση της αρχικής κατάστασης των δεδομένων αποτρέποντας την οποιαδήποτε τροποποίηση, επεξεργασία ή προσθήκη από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες καθώς και την απαγόρευση της πρόσβασης και χρήσης υπολογιστών και δικτύων από άτομα που δεν τους έχει δοθεί συγκεκριμένη άδεια. Ο σκοπός της είναι να μπορεί να διασφαλίσει ότι τα δεδομένα δεν θα παραβιαστούν ή παραλειφθούν από άτομα που δεν έχουν κάποια εξουσιοδότηση. Αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων καθώς οι εφαρμογές που λαμβάνουν δεδομένα θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιληφθούν αν κάποια πληροφορία είναι εσφαλμένη ή τροποποιημένη καθώς μπορεί να οδηγηθούν σε λανθασμένα συμπεράσματα ως προς την κατάσταση λειτουργίας τους και να δοθούν λανθασμένες εντολές, διαταράσσοντας με αυτό τον τρόπο την λειτουργία των εφαρμογών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Λόγω του ότι η ανταλλαγή των δεδομένων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων πραγματοποιείται μεταξύ πολλών διαφορετικών συσκευών, η ακρίβεια των πληροφοριών που ανταλλάσσονται είναι σημαντικό ζήτημα και γι' αυτό η διασφάλιση της ακεραιότητας στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων κατέχει σημαντικό ρόλο. Το ζητούμενο είναι κάθε φορά να ελέγχεται ο αποστολέας από τον οποίο προήλθαν οι πληροφορίες και ότι

κατά τη μετάδοση τους δεν υπάρχει κάποιο φαινόμενο παραβίασης. Μέσα από την βελτίωση των μηχανισμών σχετικά με την ασφάλεια των δεδομένων, η ακεραιότητα μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό στις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**][**12**][**21**].

- **Διαθεσιμότητα (Availability):** Η Διαθεσιμότητα εξασφαλίζει ότι οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες μπορούν να έχουν στη διάθεση τους υπολογιστές, δίκτυα και δεδομένα όποτε είναι αναγκαία η χρήση τους. Αποτελεί μια σημαντική αρχή της ασφάλειας καθώς οι υπηρεσίες που ζητούνται από τους χρήστες παρέχονται σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα αν εντοπιστεί πρόβλημα στην αποστολή τους, να μην μπορούν να προγραμματιστούν προκειμένου να εξασφαλίσουν τη συγκεκριμένη υπηρεσία που ζητείται. Η διασφάλιση της διαθεσιμότητας στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα καθώς οι υπηρεσίες πρέπει να είναι προσβάσιμες και διαθέσιμες όταν ζητούνται προκειμένου να επιτευχθούν όλες οι προσδοκίες για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**][**12**][**21**].
- **Ταυτοποίηση και Αυθεντικοποίηση (Identification and Authentication):** Η διαδικασία της ταυτοποίησης των χρηστών μπορεί να διασφαλίσει ότι μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε συσκευές ή εφαρμογές που είναι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Στην άλλη περίπτωση, η αυθεντικοποίηση διασφαλίζει την νομιμότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται μέσω του δικτύου καθώς και των εφαρμογών/συσκευών που στέλνουν τις συγκεκριμένες πληροφορίες. Η ταυτοποίηση και η αυθεντικοποίηση αποτελούν ένα δύσκολο επίτευγμα για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων καθώς συμπεριλαμβάνεται ένας μεγάλος αριθμός πολλών διαφορετικών συσκευών. Είναι αναγκαία η σχεδίαση αποτελεσματικών μηχανισμών προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα ζητήματα στη διαδικασία της ταυτοποίησης και της αυθεντικοποίησης για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**][**12**].
- **Απόρρητο (Privacy):** Το απόρρητο εξασφαλίζει ότι ο κάθε χρήστης έχει αποκλειστικά και μόνο πρόσβαση στα δεδομένα του, αποτρέποντας οποιονδήποτε άλλον χρήστη εκτός του ιδίου να έχει πρόσβαση και να επεξεργάζεται τις πληροφορίες αυτές. Ο κάθε χρήστης έχει δικαίωμα να ελέγχει μόνο τα δεδομένα που λαμβάνει χωρίς να έχει πρόσβαση σε άλλες περαιτέρω πληροφορίες. Αποτελεί μια πολύ σημαντική αρχή ασφάλειας για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων λόγω του ότι ένας μεγάλος αριθμός ατόμων, συσκευών και υπηρεσιών μοιράζονται το ίδιο δίκτυο [**5**].
- **Εμπιστοσύνη (Trust):** Η εμπιστοσύνη διαιρείται σε εμπιστοσύνη μεταξύ κάθε επιπέδου στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, μεταξύ των συσκευών, μεταξύ των συσκευών και εφαρμογών διασφαλίζοντας όλους τους παραπάνω στόχους που αναφέρθηκαν ως προς και την ασφάλεια και το απόρρητο κατά την αλληλεπίδραση πολλών διαφορετικών αντικειμένων, διαφορετικών επιπέδων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και διαφορετικών εφαρμογών. Η βελτίωση των συστημάτων διαχείρισης της εμπιστοσύνης μπορούν να ενισχύσουν της εμπιστοσύνη στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**].

3.3.2 Ζητήματα ασφάλειας στα επίπεδα της αρχιτεκτονικής προσανατολισμένη ως προς τις υπηρεσίες

1. Επίπεδο Αντίληψης (Perception Layer): Στο επίπεδο αυτό πραγματοποιείται η συλλογή δεδομένων, με την ασφάλεια να εστιάζει κυρίως σε ζητήματα πλαστογραφημένων δεδομένων και σε περιπτώσεις καταστροφών των συσκευών.

- **Επίθεση σε κόμβους (Node capture attacks):** Στην περίπτωση αυτή ο εισβολέας ο οποίος έχει ως στόχο να αποκτήσει τον έλεγχο του κόμβου ή της συσκευής στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, προσπαθεί να αντικαταστήσει ολόκληρο τον κόμβο προκειμένου να παραβιάσει τα δεδομένα που βρίσκονται αποθηκευμένα σε αυτόν και να αποκτήσει πρόσβαση σε σημαντικές πληροφορίες. Εκτός από την αντικατάσταση του κόμβου έχουν παρατηρηθεί και άλλες ενέργειες που μπορεί να ακολουθήσει προκειμένου να αποκτήσει πρόσβαση σε πληροφορίες που δεν έχει δικαίωμα. Μια από αυτές τις ενέργειες αποτελεί η αντιγραφή των καταγεγραμμένων πληροφοριών του κόμβου σε έναν άλλον κακόβουλο προκειμένου να τον πλαστοποιήσει και να θεωρηθεί ως εξουσιοδοτημένος κόμβος για να το συνδέσει στο δίκτυο του Διαδικτύου των Αντικειμένων. Λόγω αυτής της διαδικασίας, η επίθεση αυτή χαρακτηρίζεται και ως επίθεση αναπαραγωγής του κόμβου και έχει σοβαρό αντίκτυπο στο δίκτυο [**5**].
- **Κακόβουλες επιθέσεις στον κώδικα (Malicious code injection attacks):** Μια ακόμα επίθεση που εντοπίζεται, είναι η εισαγωγή κακόβολου κώδικα στη μνήμη ενός κόμβου προκειμένου ο χρήστης που επιθυμεί να πραγματοποιήσει τη συγκεκριμένη ενέργεια να μπορεί να ελέγξει έναν κόμβο ή μια συσκευή στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Μέσα από αυτή την επίθεση ο εισβολέας μπορεί να εκτελέσει συγκεκριμένες λειτουργίες, να δώσει σε όποιον επιθυμεί πρόσβαση στο σύστημα του Διαδικτύου των Αντικειμένων καθώς και να αποκτήσει τον πλήρη έλεγχο του συστήματος. Για να αποφευχθεί η συγκεκριμένη ενεργεία, είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν αποτελεσματικά συστήματα ελέγχου ταυτότητας του κώδικα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**].
- **Ψευδείς επιθέσεις στα δεδομένα (False data injection attacks):** Μια ακόμη επίθεση, κατά την οποία ο εισβολέας προσπαθεί να αντικαταστήσει τα πραγματικά δεδομένα που έχουν καταγραφεί από τον κόμβο ή την συσκευή με ψεύτικα, έτσι ώστε να τα μεταδώσει σε εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων να μην λειτουργούν αποτελεσματικά και να μην παρέχουν τις σωστές υπηρεσίες καθώς έχουν λάβει εσφαλμένες πληροφορίες και κατά συνέπεια αποστέλλουν λανθασμένες εντολές. Απαιτείται ο σχεδιασμός τεχνικών έτσι ώστε να μπορούν να εντοπίσουν τα ψευδή δεδομένα και να αποτρέπουν τη μετάδοση τους στις εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**].
- **Επανάληψη Επιθέσεων (Replay attacks):** Στη συγκεκριμένη επίθεση, ο εισβολέας αποκτά την εμπιστοσύνη των συστημάτων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων καθώς η μετάδοση του συγκεκριμένου κόμβου στον κεντρικό υπολογιστή γίνεται με νόμιμες πληροφορίες ταυτοποίησης, τις οποίες λαμβάνει ο κεντρικός υπολογιστής προορισμού. Η διαδικασία ξεκινάει από τον έλεγχο της ταυτότητας προκειμένου να καταστραφεί κάθε πιστοποίηση ως προς την εγκυρότητα. Για την εξάλειψη των συγκεκριμένων επιθέσεων απαιτείται η σχεδίαση και η ανάπτυξη τεχνικών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**].

- **Επίθεση μέσω καναλιού και κρυπτό-ανάλυση (Cryptanalysis attacks and side channel attacks):** Η επίθεση μέσω καναλιού είναι ανεξάρτητη από τον αλγόριθμο που σχεδιάζεται και εφαρμόζεται σε ένα σύστημα και έχει να κάνει αποκλειστικά με τις πληροφορίες που αποκτά πρόσβαση από μια εφαρμογή του συστήματος. Μια επίθεση κρυπτό-ανάλυσης σχετίζεται με την απόκτηση του κλειδιού κρυπτογράφησης που χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο κρυπτογράφησης ωστόσο η αποτελεσματικότητα της επίθεσης του είναι αρκετά χαμηλή. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι συγκεκριμένες επιθέσεις είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν αποτελεσματικοί και ασφαλείς αλγόριθμοι κρυπτογράφησης στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**].
- **Παραβίαση και Παρεμβολή (Eavesdropping and interference):** Η συγκεκριμένη επίθεση εντοπίζεται στην προσπάθεια μη-εξουσιοδοτημένων χρηστών να παραλείψουν πληροφορίες για τις οποίες δεν έχουν κάποιο δικαίωμα. Για την προστασία των πληροφοριών και την αντιμετώπιση της υποκλοπής απαιτούνται ασφαλείς αλγόριθμοι κρυπτογράφησης [**5**].
- **Επιθέσεις στη ρουτίνα ύπνου των κόμβων (Sleep deprivation attacks):** Οι συσκευές και οι κόμβοι που είναι διασυνδεδεμένοι στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων έχουν προγραμματιστεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ακολουθούν μια ρουτίνα ύπνου για να επιτυγχάνουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η επίθεση που μπορεί να πραγματοποιηθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι να σπάσει την ρουτίνα αυτή με αποτέλεσμα οι συσκευές ή οι κόμβοι να παραμένουν ενεργοί συνεχώς διαταράσσοντας τον κύκλο ζωής τους. Μια πιθανή λύση θα ήταν να συλλέγουν ενέργεια από το περιβάλλον ή να αναπτυχθούν τεχνικές που θα εξασφαλίζουν έναν ασφαλή μηχανισμό ως προς τον κύκλο λειτουργίας τους για να αντιμετωπίσουν τις συγκεκριμένες επιθέσεις [**5**].

2. Επίπεδο Δικτύου (Network Layer): Στο επίπεδο αυτό πραγματοποιείται η συλλογή συγκεκριμένων δεδομένων με την ασφάλεια να εστιάζει κυρίως σε ζητήματα ως προς τη διαθεσιμότητα των πόρων του δικτύου και στα ασύρματα δίκτυα μέσω των οποίων συνδέονται οι συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

- **Επίθεση Άρνησης Υπηρεσιών (Denial of Services – DoS):** Η επίθεση αυτή δρα ενάντια του υπολογιστή ή μιας υπηρεσίας με κύριο στόχο να αποτρέψει τον υπολογιστή ή την υπηρεσία να δεχτεί άλλες συνδέσεις με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους πελάτες. Μέσα από πρωτόκολλα δικτύου που μπορούν να επιβάλλουν ή προκαλώντας συμφόρηση στο δίκτυο μπορούν να καταναλώσουν όλους του διαθέσιμους πόρους στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Αποτελεί την πιο κοινή επίθεση που μπορεί να πραγματοποιηθεί έχοντας ως αντίκτυπο πολλές υπηρεσίες να μην είναι διαθέσιμες στα συστήματα του Διαδικτύου των Αντικειμένων. Αυτή η επίθεση έχει μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης λόγω του ότι εφαρμόζονται μηχανισμοί με απομακρυσμένη πρόσβαση και γίνεται ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών. Μπορεί να καταστήσει μια συσκευή ή έναν πόρο ή το δίκτυο μη διαθέσιμο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες, συνεπώς είναι απαραίτητη η ενίσχυση του μηχανισμού μέσω του οποίου γίνεται η ανταλλαγή των κλειδιών προκειμένου να αποτρέψει τέτοιου είδους εισβολές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**][**12**][**22**].
- **Επίθεση Πλαστογράφησης (Spoofing attacks):** Η συγκεκριμένη επίθεση στοχεύει στην παράνομη πρόσβαση σε υπολογιστές μέσα από την δημιουργία πακέτων

TCP/IP, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία και τη διεύθυνση ενός αξιόπιστου χρήστη με σκοπό να στείλει κακόβουλα δεδομένα στο σύστημα. Κατά την επίθεση αυτή, ο εισβολέας μπορεί να πλαστογραφήσει και να καταγράψει την έγκυρη διεύθυνση IP από μία αξιόπιστη συσκευή στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων με αποτέλεσμα να μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση το σύστημα του Διαδικτύου των Αντικειμένων. Η συγκεκριμένη επίθεση μπορεί να πραγματοποιηθεί διότι μέσω των τεχνικών που χρησιμοποιεί εξασφαλίζει ότι τα κακόβουλα δεδομένα που φτάνουν στον τελικό προορισμό φαίνονται ως έγκυρα. Ο έλεγχος της ταυτότητας και η ενίσχυση της εμπιστευτικότητας μπορούν να ενισχύσουν τα συστήματα στο Διαδίκτυο των Αντικείμενων αποτρέποντας τέτοιου είδους επιθέσεις [**5**][**7**][**23**].

- **Επίθεση 'Νιπτήρα' (Sinkhole attack) :** Η επίθεση αυτή στοχεύει στο να θέσει σε κίνδυνο έναν κόμβο στο δίκτυο προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι ανάλογες ενέργειες από τον εισβολέα. Ο κόμβος που προσβάλλεται προσπαθεί να αποκτήσει μια μεγάλη ποσότητα δεδομένων από τους γειτονικούς κόμβους πριν αυτά παραδοθούν στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων με σκοπό να ξεκινήσει την επίθεση. Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων είναι αρκετά ευάλωτο σε μια τέτοιου είδους παραβίαση διότι βασίζεται στην ανταλλαγή δεδομένων μέσω ασύρματων δικτύων και στην επικοινωνία πολλών αισθητήρων. Για την αντιμετώπιση τέτοιου είδους επιθέσεων είναι αναγκαίο να εφαρμοστούν τεχνικές που σχετίζονται με ασφαλή πρωτόκολλα δρομολόγησης [**5**][**29**].
- **Επίθεση 'Σκουληκότρυπα' (Wormhole attack):** Η συγκεκριμένη επίθεση βασίζεται στην επικοινωνία μεταξύ κακόβουλων συσκευών ή κόμβων, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετική τοποθεσία και να έχουν μεγάλη εμβέλεια μεταξύ τους χρησιμοποιώντας «σήραγγες», προκειμένου να ανταλλάξουν πληροφορίες ως προς την δρομολόγηση με ιδιωτικούς συνδέσμους, για να επιτύχουν εσφαλμένη μετάδοση. Έχει πολλά κοινά με την επίθεση Sinkhole προκαλώντας την ίδια ζημιά στα συστήματα με τη διαφορά ότι μπορούν να στείλουν πολλά περισσότερα δεδομένα. Για να ενισχυθεί η ασφάλεια των συστημάτων και για να αποφευχθεί μια τέτοιου είδους επίθεση είναι απαραίτητη η τροποποίηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ασφαλές περιβάλλον στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**][**24**].
- **Επίθεση Man in the Middle:** Αποτελεί μια κοινή παραβίαση ασφάλειας όπου ο εισβολέας εμποδίζει τη νόμιμη επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών. Η κακόβουλη συσκευή βρίσκεται στο ενδιάμεσο μεταξύ δύο συσκευών που ανταλλάσσουν πληροφορίες προκειμένου να προωθεί και να αποθηκεύει τα δεδομένα που λαμβάνει ενώ οι κανονικές συσκευές δεν μπορούν να αντιληφθούν την ύπαρξη της θεωρώντας πως η επικοινωνία πραγματοποιείται απευθείας μεταξύ τους. Μια τέτοιου είδους επίθεση παραβιάζει την εμπιστευτικότητα, την ακεραιότητα και το απόρρητο των δεδομένων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Μέσα από ασφαλή πρωτόκολλα επικοινωνίας μπορούν να προστατεύσουν τις συσκευές και να μην υπάρχει διαρροή δεδομένων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**][**25**].
- **Επίθεση στη δρομολόγηση πληροφοριών (Routing Information attack):** Η επίθεση κατά τη δρομολόγηση των πληροφοριών επικεντρώνεται στα πρωτόκολλα δρομολόγησης που εφαρμόζονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων προκειμένου να μπορούν να τα χειραγωγήσουν με σκοπό να προκαλέσουν καθυστέρηση στο δίκτυο. Για να εξασφαλίσουν τα συστήματα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων ότι δεν θα διαρρεύσουν πληροφορίες και διευθύνσεις IP, θα πρέπει να δημιουργηθούν

ασφαλής σύνδεσμοι μεταξύ των συσκευών έτσι ώστε να μην υπάρχει κάποια παραβίαση από εισβολείς στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**][**31**].

- **Επίθεση Sybil :** Η συγκεκριμένη επίθεση έχεις ως στόχο να τροποποιήσει και να αλλοιώσει τις νόμιμες ταυτότητες στα συστήματα του Διαδικτύου των Αντικειμένων χρησιμοποιώντας μια κακόβουλη συσκευή. Εξαιτίας την απόκτησης των νόμιμων ταυτοτήτων από μια συσκευή sybil μπορεί να αποστείλει λανθασμένα δεδομένα, τα οποία θα γίνουν αποδεκτά από την συσκευή που τα λαμβάνει λόγω της εγκυρότητας που έχει δημιουργήσει. Είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν ασφαλείς μηχανισμοί αναγνώρισης και ταυτοποίησης για να ενισχύσουν την άμυνα από τέτοιου είδους επιθέσεις τα συστήματα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**].
- **Μη Εξουσιοδοτημένη πρόσβαση (Unauthorized access):** Όπως είχε γίνει αναφορά σε προηγούμενη ενότητα, το RFID αποτελεί μια σημαντική τεχνολογία για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων με αρκετές συσκευές οι οποίες βασίζονται στην τεχνολογία αυτή να είναι ήδη ενσωματωμένες στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Το πρόβλημα εντοπίζεται στις ετικέτες RFID οι οποίες δεν διαθέτουν κατάλληλους μηχανισμούς για τον έλεγχο των ταυτοτήτων με αποτέλεσμα οι πληροφορίες που αποθηκεύονται στις ετικέτες να μπορούν να τροποποιηθούν ή ακόμα και να διαγραφούν από κάποιον εισβολέα. Γι΄ αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να ενισχυθούν οι μηχανισμοί πρόσβασης και ελέγχου ταυτότητας για τις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, προκειμένου να αποφευχθούν τέτοιου είδους παραβιάσεις [**5**].

3. Επίπεδο Εφαρμογής (Application Level): Στο επίπεδο αυτό παρέχεται η υποστήριξη για τις υπηρεσίες που ζητούνται από τους χρήστες με τις προκλήσεις της ασφάλειας να εστιάζουν κυρίως στις επιθέσεις λογισμικού που εντοπίζονται στα συστήματα.

- **Επίθεση Ηλεκτρονικού Ψαρέματος (Phishing attack):** Το Phishing ή αλλιώς ηλεκτρονικό ψάρεμα είναι ένα είδος επίθεσης σε ένα σύστημα, κατά το οποίο ένας κακόβουλος χρήστης προσπαθεί να αποκτήσει πρόσβαση σε προσωπικά δεδομένα τα οποία μπορεί να σχετίζονται με την απόκτηση κωδικών πρόσβασης ή με ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα, παριστάνοντας μια αξιόπιστη οντότητα προκειμένου να εξαπατήσει τον ‘θύτη’. Η εξαπάτηση του θύτη μπορεί να γίνει είτε με «μολυσμένα» μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που θα λάβει στο προσωπικό του email είτε μέσα από την περιήγηση του σε διάφορους ιστότοπους. Αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα ως προς την ασφάλεια των συστημάτων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων διότι πέρα από την ανάπτυξη τεχνικών οι οποίες θα μπορούν να εξασφαλίσουν μια ασφαλή εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και έναν έγκυρο έλεγχο της ταυτότητας, πολλές φορές ζητείται και από τους ίδιους τους χρήστες να είναι πάντοτε σε εγρήγορση κατά την περιήγηση τους στο Διαδίκτυο, κάτι για το οποίο δεν μπορεί κάποιος να εγγυηθεί για τους μηχανισμούς στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων καθώς δεν διαθέτουν μια τέτοιου είδους νοημοσύνη [**5**][**26**][**32**].
- **Κακόβουλος ιός (Malicious virus):** Η επίθεση από κακόβουλο ιό αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα για την ασφάλεια των Πληροφοριακών Συστημάτων. Το λογισμικό το οποίο έχει κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να εκτελεί συγκεκριμένες ενέργειες σύμφωνα με τις προθέσεις του προγραμματιστή προκειμένου να βλάψει το υπολογιστικό σύστημα, χαρακτηρίζεται ως κακόβουλο. Ο κακόβουλος ιός αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων καθώς όταν αυτός καταφέρει να εγκατασταθεί σε ένα σύστημα μπορεί να μολύνει τις εφαρμογές του και να παραβιάσει εμπιστευτικά δεδομένα χωρίς να είναι γνωστή

η πρόθεση και ο σκοπός αυτουνού που ενεργεί. Είναι σημαντικό να αναπτυχθούν αμυντικοί μηχανισμοί για την αντιμετώπιση των επιθέσεων και να χρησιμοποιηθεί ένα αξιόπιστο τείχος προστασίας για τον εντοπισμό των κακόβουλων ιών για τα συστήματα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**5**].

- **Κακόβουλο σενάριο (Malicious script):** Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν τα κακόβουλα σενάρια ή αλλιώς script είναι να προστίθενται σε ένα λογισμικό, να τροποποιούνται σε λογισμικό και να διαγράφονται από το λογισμικό, με απώτερο σκοπό να βλάψουν τις λειτουργίες του συστήματος. Ένα κακόβουλο script μπορεί εύκολα να ξεγελάσει έναν χρήστη και να προκαλέσει τη διαρροή εμπιστευτικών δεδομένων ακόμα και να τερματίσει ολόκληρο το σύστημα καθώς όλες οι εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων είναι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο. Είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν αποτελεσματικές τεχνικές για την ανίχνευση κακόβουλων script έτσι ώστε να μπορούν να αμυνθούν τα συστήματα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων από τέτοιους είδους εισβολές και παραβιάσεις [**5**].

3.3.3 Ζητήματα απορρήτου στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων

Η συνεχόμενη ανάπτυξη και η αυξανόμενη ανάγκη ενσωμάτωσης των συσκευών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων έχει προκαλέσει ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο των δεδομένων και κατά πόσο η προστασία των προσωπικών πληροφοριών των χρηστών και η ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ τους πραγματοποιείται σε ένα ασφαλές περιβάλλον. Τα δεδομένα που συλλέγονται και ανταλλάσσονται μέσα από το Διαδίκτυο των Αντικειμένων θα πρέπει να ακολουθούν τα εξής βήματα: α) συλλογή δεδομένων, β) συγκέντρωση δεδομένων, γ)εξόρυξη δεδομένων και ανάλυση των στοιχείων που συλλέχθηκαν. Κατά τη συλλογή δεδομένων συλλέγονται πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των συσκευών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Η συγκέντρωση των δεδομένων ενσωματώνει ένας μέρος της πληροφορίας που έχει λάβει σε μια ολοκληρωμένη πληροφορία ενώ κατά την εξόρυξη των δεδομένων και την ανάλυση των στοιχείων που έχουν συλλεχθεί παρέχεται μια ακολουθία υπηρεσιών που μπορούν να αξιοποιηθούν για τις ανάγκες της καθημερινής ζωής. Σε αυτά τα τρία βήματα, τίθενται σημαντικά ζητήματα ως προς το απόρρητο των δεδομένων, με το Διαδίκτυο των αντικειμένων να πρέπει να είναι στη θέση να διασφαλίσει ότι τα δεδομένα αυτά δεν θα διαρρεύσουν σε κάποια κακόβουλη πηγή.

Το φαινόμενο της παραβίασης του απορρήτου μπορεί να προκληθεί από παραβιάσεις της εμπιστευτικότητας και της ακεραιότητας των δεδομένων, όπου διάφορες επιθέσεις από εισβολείς προσπαθούν να αποκτήσουν πρόσβαση σε ευαίσθητα δεδομένα χωρίς να έχει δοθεί κάποια άδεια ή εξουσιοδότηση. Είναι σημαντικό να εφαρμοστούν λύσεις προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα απορρήτου στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων ωστόσο αυτό αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση που θα μελετηθεί στο μέλλον [**5**][**7**][**8**].

Μερικές λύσεις σχετίζονται με τους χρήστες και την προτροπή να χρησιμοποιούν εργαλεία προκειμένου να ελέγχουν τα δεδομένα που συλλέγονται, αποθηκεύονται και κοινοποιούνται. Ωστόσο είναι κάτι που βρίσκεται υπό έρευνα προκειμένου να λυθούν τα ζητήματα που δημιουργούν προβληματισμούς και ανησυχία ως προς την ασφάλεια των δεδομένων και της προστασίας του απορρήτου.

3.4 Ενσωμάτωση της υπολογιστικής νέφους στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων

Η Υπολογιστική Νέφους και το Διαδίκτυο των Αντικειμένων αποτελούν δύο πολύ διαφορετικές τεχνολογίες μεταξύ τους, οι οποίες έχουν έναν πολύ ενεργό ρόλο στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου, παρέχοντας ένα σύνολο υπηρεσιών και εφαρμογών

προκειμένου να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένες ανάγκες. Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τα κοινά χαρακτηριστικά των δύο αυτών τεχνολογιών προκειμένου να αντιληφθούμε πως η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Νέφους στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων μπορεί να φέρει σημαντική βελτίωση και να διευκολύνει την λειτουργία των υπηρεσιών και την ανταλλαγή των δεδομένων που πραγματοποιείται μεταξύ των συσκευών. Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών, το Διαδίκτυο των Αντικειμένων μπορεί να επωφεληθεί από κάποιες δυνατότητες που παρέχει η υπολογιστική νέφους προκειμένου να αντιμετωπίσει κάποιους τεχνολογικούς περιορισμούς που εντοπίζονται στην αποθήκευση των δεδομένων και στην επεξεργασία τους.

Αναφερόμενοι αρχικά στην τεχνολογία της Υπολογιστικής Νέφους, έχει παρατηρηθεί πως έχει φέρει αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η πρόσβαση, η διαχείριση και η παράδοση των τεχνολογιών, παρέχοντας υπηρεσίες οι οποίες καθιστούν εφικτή την απομακρυσμένη πρόσβαση και την κοινή χρήση των υπολογιστικών πόρων μέσω του Διαδικτύου. Από την άλλη πλευρά, βρίσκεται η τεχνολογία του Διαδικτύου των Αντικειμένων, μία δικτυακή υποδομή η οποία έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται πολλές διαφορετικές συσκευές με έξυπνο τρόπο. Η βασική ιδέα είναι πως όλα τα αντικείμενα στο φυσικό κόσμο θα μπορούν να συνδέονται στο Διαδίκτυο και θα επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς να είναι αναγκαία η ύπαρξη του ανθρώπου. Η υπολογιστική νέφους σαν τεχνολογία εξαρτάται αποκλειστικά από πάροχους υπηρεσιών και στη δυνατότητα της διαλειτουργικότητας στην οποία έχουν τα συστήματα της ενώ το Διαδίκτυο των Αντικειμένων βασίζεται στην ποικιλομορφία και όχι τόσο στη διαλειτουργικότητα των συστημάτων.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η Υπολογιστική Νέφους και το Διαδίκτυο των αντικειμένων αποτελούν δύο διαφορετικές τεχνολογίες οι οποίες εξελίσσονται και αναπτύσσονται ανεξάρτητα η μία από την άλλη με τη διαφορά ότι αρκετά χαρακτηριστικά τους είναι συμπληρωματικά το ένα ως προς το άλλο. Πιο συγκεκριμένα, το Διαδίκτυο των Αντικειμένων είναι γνωστό πως αντιμετωπίζει προβλήματα σχετικά με την απόδοση, την αξιοπιστία, το απόρρητο και την ασφάλεια σε συσκευές με περιορισμένες δυνατότητες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την επεξεργασία και την αποθήκευση των δεδομένων. Γι’ αυτό το λόγω καθώς και για άλλους πολλούς έρχεται να ενσωματωθεί η Υπολογιστική Νέφους στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, προσφέροντας απεριόριστες δυνατότητες αποθήκευσης και άμεση πρόσβαση στα δεδομένα που φυλάσσονται. Παρέχει ένα πιο ευέλικτο και διαφοροποιημένο περιβάλλον προσφέροντας λύση σε προβλήματα που αντιμετωπίζει το Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Και οι δύο τεχνολογίες είναι αρκετά απαιτητικές και πολλά υποσχόμενες ως προς το μέλλον του Διαδικτύου και των εφαρμογών. Η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Νέφους στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων προσφέρει έναν πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο ως προς την έξυπνη χρήση εφαρμογών, πληροφοριών και υποδομών. Στις περισσότερες περιπτώσεις ανάλογο με τον όγκο των δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και τις απαιτήσεις των χρηστών μπορεί να προσφέρει περισσότερο χώρο αποθήκευσης.

Ωστόσο σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω η Υπολογιστική Νέφους έρχεται να αντιμετώπιση κάποια ζητήματα μέσα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων λόγω της συνεχόμενης αύξησης του αριθμού των συσκευών που συμπεριλαμβάνονται σε αυτό. Η παραγωγή του μεγάλου όγκου πληροφοριών που συλλέγονται από τις συσκευές και η μεταφορά τους στο σύννεφο εισάγει μεγάλες καθυστερήσεις καθώς το εύρος ζώνης του δικτύου είναι αρκετά περιορισμένο. Επίσης πολλές φορές μπορεί να μην μπορεί να διαχειριστεί όλα τα δεδομένα που αποστέλλονται στο σύννεφο για επεξεργασία ενώ πολλές φορές ο χρόνος που απαιτείται

για την πρόσβαση σε εφαρμογές που βασίζονται σε πραγματικό χρόνο να είναι αρκετά μεγάλο. Όλα αυτά κατέστησαν την Υπολογιστική Νέφους μια αναποτελεσματική τεχνολογία για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων γι΄αυτό προέκυψε η ανάγκη δύο νέων υπολογιστικών μοντέλων, αυτό της Υπολογιστικής των Άκρων και της Υπολογιστικής Ομίχλης όπως θα αναλύσουμε στα επόμενα κεφάλαια [**27**][**28**].

	Διαδίκτυο των Αντικειμένων	**Υπολογιστική Νέφους**
Χαρακτηριστικά	Είναι διάχυτο. Τα αντικείμενα («έξυπνες» συσκευές) είναι παντού	Παρέχει εικονικούς υπολογιστικούς πόρους, οι οποίοι είναι διαθέσιμοι από οποιαδήποτε συσκευή, οπουδήποτε και αν βρίσκεται ο χρήστης
Δυνατότητες Επεξεργασίας	Περιορισμένες	Σχεδόν απεριόριστες
Δυνατότητες Αποθήκευσης	Περιορισμένες έως και μηδαμινές	Απεριόριστες
Συνδεσιμότητα	Χρησιμοποιεί το Διαδίκτυο για την επικοινωνία μεταξύ των «έξυπνων» συσκευών	Χρησιμοποιεί το Διαδίκτυο για την παροχή υπηρεσιών
Μεγάλα Δεδομένα (Big Data)	Αποτελεί μια πηγή μεγάλων δεδομένων	Μέσο το οποίο διαχειρίζεται τα μεγάλα δεδομένα

Πίνακας 4. Σύγκριση του Διαδικτύου των Αντικειμένων με την Υπολογιστική Νέφους

3.5 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό, μελετήσαμε το Διαδίκτυο των Αντικειμένων και πως η εφαρμογή του έρχεται να φέρει μια νέα εποχή στο τομέα της πληροφορικής, με κύριο μέλημα του όλα τα αντικείμενα του φυσικού κόσμου να μπορούν να συνδέονται στο Διαδίκτυο και να επικοινωνούν μεταξύ τους, ανταλλάσσοντας πληροφορίες. Η επικοινωνία που μπορεί να επιτευχθεί διαχωρίζεται σε επικοινωνία ανθρώπου με άνθρωπο, σε άνθρωπο με συσκευή και σε συσκευή με συσκευή. Λόγω των πολλών συνδεδεμένων συσκευών που βρίσκονται στο δίκτυο αυτό, απαιτούνται μεγάλοι όγκοι αποθήκευσης των δεδομένων και υψηλές δυνατότητες ως προς την επεξεργασία τους. Το πρόβλημα εντοπίζεται στις περιορισμένες δυνατότητες που παρουσιάζει το Διαδίκτυο των Αντικειμένων ως προς την επεξεργαστική ισχύ και την αποθήκευση των δεδομένων, με αποτέλεσμα να τίθενται ζητήματα ασφάλειας και απόρρητου στη διαφύλαξη των πληροφοριών. Τα ζητήματα ασφάλειας εντοπίζονται και διαχωρίζονται ανάλογα με την αρχιτεκτονική που εφαρμόζεται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων για το κάθε επίπεδο, είτε έχει να κάνει με την αρχιτεκτονική τριών επιπέδων είτε με την αρχιτεκτονική SoA. Για το λόγω αυτό η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Νέφους στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων έρχεται να αντιμετωπίσει αρκετές από αυτές τις προκλήσεις εξασφαλίζοντας ότι δεν θα επηρεαστεί η αποτελεσματικότητα των υπηρεσιών που προσφέρει. Ο κύριος σκοπός της μελέτης του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι να γίνει κατανοητή και να παρέχει μια σαφή και αναλυτική περιγραφή του Διαδικτύου των Αντικειμένων και γιατί είναι αναγκαία η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Νέφους στο δίκτυο

αυτό. Η Υπολογιστική Νέφους παρόλο που έρχεται να αντιμετωπίσει σημαντικά ζητήματα που εντοπίζονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, όπως θα μελετηθεί στην πορεία η επέκταση της και η ενσωμάτωση των τεχνολογιών της Υπολογιστικής Ομίχλης και Υπολογιστικής των Άκρων σε αυτή μπορούν να εξασφαλίσουν ακόμα καλύτερη απόδοση, αξιοπιστία, επεκτασιμότητα και ασφάλεια των υπηρεσιών στις συσκευές που συνδέονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

Κεφάλαιο 4. Επεξεργασία στα άκρα του Δικτύου (Edge Computing)

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αποτελεί μια αναπτυσσόμενη τεχνολογία στον τομέα της πληροφορικής κατέχοντας ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου. Προσπαθεί να εισάγει και να υλοποιήσει την χρήση του υπολογιστή και των δυνατοτήτων του με την ελάχιστη έως και μηδαμινή ανθρώπινη παρέμβαση. Παρατηρώντας με το πέρασμα των χρόνων, ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών που συμπεριλαμβάνεται σε αυτό αυξάνεται μέρα με τη μέρα. Ξεκινώντας το 1992 ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών ήταν περίπου στο ένα εκατομμύριο, όπου μέχρι το 2003 είχε φτάσει μόλις τις 500 εκατομμύρια συσκευές, καθώς πλέον είχαν συμπεριληφθεί και οι φορητοί υπολογιστές. Στην πορεία, το Διαδίκτυο των Αντικειμένων έγινε ακόμα πιο δημοφιλές πλησιάζοντας πλέον σε αριθμό συσκευών τα τρία δισεκατομμύρια. Από το 2012 μέχρι το 2014 παρουσιάστηκε εκθετική αύξηση του πλήθους των συσκευών του φτάνοντας έως και τις 14.4 δισεκατομμύρια διασυνδεδεμένες συσκευές . Η μεγάλη αύξηση πραγματοποιήθηκε λόγω του ότι πλέον άρχισαν να συμπεριλαμβάνονται και πιο μικρές συσκευές όπως ηλεκτρονικές οδοντόβουρτσες, φανάρια, «έξυπνα» ρολόγια κλπ. Μέχρι και το 2020 υποστηρίζαν πως ο συνολικός αριθμός των αντικειμένων θα είχε πλησιάσει τα 50 δισεκατομμύρια [**33**][**34**].

Ο κύριος ρόλος όλων αυτών των διασυνδεδεμένων συσκευών σχετίζεται με την συλλογή και των ανταλλαγή δεδομένων μέσω του διαδικτύου, αξιοποιώντας εκατομμύρια κόμβους που συμπεριλαμβάνονται στην υποδομή του Διαδικτύου των Αντικειμένων και χρησιμοποιώντας αισθητήρες για την απόκτηση των πληροφοριών. Επίσης, παρέχεται μια ποικιλία εφαρμογών και υπηρεσιών διευκολύνοντας τον τελικό χρήστη. Ωστόσο, το Διαδίκτυο των Αντικειμένων λόγω των υψηλών απαιτήσεων και του μεγάλου όγκου των πληροφοριών που έρχεται να διαχειριστεί ως μια ενιαία υποδομή, αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις ως προς τη διαχείριση και την ανάλυση τόσο μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, ήρθε να ενσωματωθεί η υπολογιστικής νέφους ως μια τεχνολογία η οποία επιτρέπει την πρόσβαση στο τελικό χρήστη από οπουδήποτε και αν βρίσκεται, διαθέτοντας υπολογιστικούς πόρους μέσω του Διαδικτύου, αυτοματοποιώντας τις διαδικασίες και παρέχοντας περισσότερη ευκολία και ευελιξία ως προς τη χρήση των υπηρεσιών και την διαχείριση των δεδομένων που αποθηκεύονται στο σύννεφο. Παρόλο που η υπολογιστική νέφους αποτελεί μια αρκετά υποσχόμενη τεχνολογία, λόγω του μεγάλου όγκου των πληροφοριών που πρέπει να εκφορτωθούν στο σύννεφο παρουσιάζονται προβλήματα ως προς τη γρήγορη μετάδοση των δεδομένων λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης του δικτύου.

Η έννοια της Υπολογιστική των Άκρων (Edge Computing) η οποία προσεγγίζεται σε αυτό το κεφάλαιο, αποτελεί μία νέα τεχνολογία η οποία έχει σκοπό να εξελίξει την υπολογιστική νέφους, προκειμένου η επεξεργασία των δεδομένων μέσα από το Διαδίκτυο των Αντικειμένων να πραγματοποιείται στην άκρη του δικτύου, υποστηρίζοντας μια νέα ποικιλία υπηρεσιών και εφαρμογών. Ο μεγάλος αριθμός των κόμβων που χρησιμοποιεί η υπολογιστική των άκρων έρχεται να μειώσει τον αριθμό των συσκευών που είναι συνδεδεμένες σε ένα μόνο σύννεφο, εξαλείφοντας σημαντικά ζητήματα που είχαν προκληθεί από την υπολογιστική νέφους. Τόσο η υπολογιστική νέφους όσο και η υπολογιστική των άκρων αποτελούν μέρος του Διαδικτύου των Αντικειμένων επιτρέποντας την πρόσβαση των δεδομένων από οπουδήποτε και αν βρίσκεται ο τελικός χρήστης [**36**][**37**].

Όπως παρουσιάζεται παρακάτω, γίνεται αναφορά στην αρχιτεκτονική που υποστηρίζει η Υπολογιστική των Άκρων. Αναλύονται τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας, η

οποία έρχεται να αντιμετωπίσει όλες τις ανησυχίες και τα ζητήματα που σχετίζονται με τους απαιτούμενους χρόνους, την ασφάλεια των δεδομένων και τον περιορισμό των συσκευών ως προς την ανταλλαγή των δεδομένων μέσα από το Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Τέλος αναλύεται ο ρόλος της Υπολογιστικής των Άκρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του και εξασφαλίζοντας καλύτερη απόδοση στις παρεχόμενες υπηρεσίες του μέσα από το σύνολο των συσκευών που συνδέονται σε αυτό.

4.1 Υπολογιστική των άκρων (Edge Computing)

Η σταδιακή και αναδυόμενη εξέλιξη τη τεχνολογίας της Υπολογιστικής Νέφους όπως έχει σημειωθεί την τελευταία δεκαετία αποτέλεσε ένα νέο πρότυπο για την απομακρυσμένη αποθήκευση και διαχείριση των πληροφοριών καθώς και την διαχείριση των δικτύων μέσα από το σύννεφο. Για την πραγματοποίηση αυτών των δυνατοτήτων είναι απαραίτητη η διάθεση τεράστιων πόρων προκείμενου να παρέχουν την ελάχιστη υπολογιστική ισχύ που απαιτείται στις τελικές συσκευές που αξιοποιούνται από τους χρήστες. Η εξέλιξη της Υπολογιστικής Νέφους έφερε στο προσκήνιο την ανάπτυξη πολλών εταιρειών στο Διαδίκτυο όπως της Amazon, με ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τις υπηρεσίες του Dropbox που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό από την υπηρεσία του σύννεφου της συγκεκριμένης εταιρείας [**41**].

Τα τελευταία χρόνια αυτό που έχει παρατηρηθεί είναι η μετάβαση όλων των υπολογισμών που πραγματοποιούνται στο σύννεφο να τείνουν όλο και πιο κοντά στα άκρα του δικτύου. Η ανάπτυξη του Διαδικτύου των Αντικειμένων και η επιτυχία των υπηρεσιών που σημειώθηκε μέσα από την Υπολογιστική Νέφους έφερε στην επιφάνεια ένα νέο παράδειγμα υπολογιστικής, αυτό της Υπολογιστικής των Άκρων προκειμένου να μπορεί να επιτευχθεί η επεξεργασία των δεδομένων στην άκρη του δικτύου. Η ανάγκη για την ανάπτυξη τη συγκεκριμένης τεχνολογίας συνδέεται άμεσα με τις ανησυχίες που είχαν προκληθεί από την εφαρμογή της Υπολογιστικής Νέφους σχετικά με τους χρόνους απόκρισης των υπηρεσιών, τη μικρή διάρκεια ζωής της μπαταρίας που είχε παρατηρηθεί στις κινητές και φορητές συσκευές καθώς και τα ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου που είχαν τεθεί ως προς την ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ των συσκευών και του τελικού χρήστη [**33**].

Η Υπολογιστική των Άκρων έχει χαρακτηριστεί ως μια εξέλιξη της τεχνολογίας της Υπολογιστικής Νέφους καθώς παρέχει τη δυνατότητα μεταφοράς όλων των υπολογιστικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στο σύννεφο σε κόμβους αιχμής, οι οποίοι βρίσκονται κοντά στον τελικό χρήστη [**36**]. Παρέχει ένα περιβάλλον υπηρεσιών πληροφορικής και επιτρέπει οι δυνατότητες της υπολογιστικής νέφους να εκτελούνται στην άκρη του δικτύου, κάνοντας δυνατή τη σύνδεση του τελικού χρήστη απευθείας με το κοντινότερο δίκτυο.[**34**][**39**][**42**].

Η ανάγκη για την ανάδειξη και την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας συνδυάστηκε με το γεγονός ότι η κεντρική υποδομή της Υπολογιστικής Νέφους για τις διάφορες υπηρεσίες του Διαδικτύου των Αντικειμένων παρουσιάστηκε ως αναποτελεσματική. Η αναποτελεσματικότητα της συνδυάστηκε με το γεγονός ότι η συλλογή και η επεξεργασία των μεγάλων ποσοτήτων των δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές του Διαδικτύου των Αντικειμένων προκαλούσε σημαντικά ζητήματα ως προς την απόδοση του δικτύου. Με την Υπολογιστική των Άκρων, όλη η χρήσιμη πληροφορία που συλλέγεται, εκφορτώνεται κοντά στις συσκευές του Διαδικτύου των Αντικειμένων, επιλύοντας με αυτό τον τρόπο πολλά σημαντικά ζητήματα, όπως έχουν αναφερθεί μέχρι στιγμής [**36**]. Μπορεί να εκτελέσει λειτουργίες που αφορούν την αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων καθώς και την

αποστολή αιτημάτων και υπηρεσιών από το σύννεφο στο τελικό χρήστη, παρέχοντας έναν βελτιστοποιημένο τρόπο ως προς τη διαχείριση των εργασιών αυτών, αποφεύγοντας τη συμφόρηση που μπορεί να παρουσιαστεί στο δίκτυο και αντιμετωπίζοντας αστοχίες του συστήματος [**34**][**36**]. Σε σύγκριση με την Υπολογιστική Νέφους, μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλες ποσότητες δεδομένων πριν μεταφερθούν στους κεντρικούς διακομιστές του σύννεφου ενώ με την τοποθέτηση κόμβων στην άκρη του δικτύου μπορεί να βελτιστοποιήσει τις υπολογιστικές διεργασίες. Οι κόμβοι στην άκρη του δικτύου μπορεί να αποτελούν μικρά κέντρα δεδομένων τα οποία δημιουργούν ένα τοπικό δίκτυο με τις τελικές συσκευές ή ένα σύνολο από δρομολογητές, πύλες, μεταγωγείς τα οποία έχουν κάποιες υπολογιστικές δυνατότητες προκειμένου να πραγματοποιούν την αποθήκευση, επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων. Λόγω αυτής της εξέλιξης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τα προβλήματα που εντοπίζονται στην υποδομή της Υπολογιστικής Νέφους στοχεύοντας στην διατήρηση της ποιότητας των υπηρεσιών (Quality of Service – QoS) όσο το δυνατόν υψηλότερα [**37**][**38**] .

Εν κατακλείδι η βασική ιδέα γύρω από την Υπολογιστική των Άκρων έχει να κάνει με το ότι οι λειτουργίες που εκτελούνται σε ένα υπολογιστή ή σε μια συσκευή πρέπει να βρίσκονται κοντά στην πηγή των δεδομένων. Η έννοια της «άκρης» (edge), συσχετίζεται με τους υπολογιστικούς πόρους και τους πόρους του δικτύου που χρησιμοποιούνται στη διαδρομή που ακολουθείται για την ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ της πηγής των δεδομένων και των κέντρων δεδομένων του σύννεφου. Είναι μια εναλλακτική προσέγγισή από την Υπολογιστική Ομίχλης, όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο, με την Υπολογιστική των Άκρων να εστιάζει περισσότερο στην πλευρά των αντικειμένων ενώ η Υπολογιστική Ομίχλης στην πλευρά της υποδομής. Η υποδομή της πρέπει να είναι καλά σχεδιασμένη και να μπορεί να εκτελεί αποτελεσματικά τις υπηρεσίες, προσφέροντας μεγάλη αξιοπιστία, ασφάλεια των δεδομένων και προστασία του απορρήτου, κερδίζοντας ένα σημαντικό ρόλο στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**33**].

4.2 Χαρακτηριστικά της Υπολογιστικής των Άκρων

Η τεχνολογία της Υπολογιστικής των Άκρων διαθέτει κάποια βασικά χαρακτηριστικά, όπως παρουσιάζονται παρακάτω.

- **On-Premises**: Οι πλατφόρμες στις οποίες βρίσκεται και εκτελείται το υλικό και το λογισμικό της Υπολογιστικής των Άκρων, μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητο και απομονωμένο από το υπόλοιπο δίκτυο ενώ ταυτόχρονα καθιστά δυνατή την πρόσβαση σε τοπικούς πόρους του δικτύου. Με το διαχωρισμό που γίνεται από τα υπόλοιπα δίκτυα το καθιστά λιγότερο ευάλωτο ενώ είναι πολύ σημαντικό στην απευθείας επικοινωνία που πραγματοποιείται μεταξύ των συσκευών μέσα από ένα κανάλι επικοινωνίας (Machine to Machine – M2M) [**34**].
- **Εγγύτητα (Proximity):** Λόγω του ότι η Υπολογιστική των Άκρων έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί τις υπολογιστικές τις διεργασίες στην άκρη του δικτύου, αυτό τις δίνει το πλεονέκτημα να μπορεί να διαχειρίζεται και να αναλύει μεγάλα δεδομένα. Βρίσκει εφαρμογή στην ανάλυση και επεξεργασία βίντεο όπως οι κάμερες παρακολούθησης ή κυκλοφορίας καθώς και στην επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality – AR) [**34**].
- **Χαμηλή Καθυστέρηση (Low Latency):** Οι υπηρεσίες της Υπολογιστικής των Ακρών επειδή εκτελούνται κοντά στο δίκτυο, μειώνουν σημαντικά την κίνηση των δεδομένων που μπορεί να εντοπίζεται στο κεντρικό δίκτυο λόγω τις συνεχόμενης ανταλλαγής των πληροφοριών, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνει χαμηλότερη

καθυστέρηση εξασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο καλύτερη ποιότητα των υπηρεσιών στον τελικό χρήστη [**34**].

- **Location Awareness:** Η Υπολογιστική των Άκρων μέσα από την λήψη των πληροφοριών από συσκευές που βρίσκονται κοντά στου κόμβους αιχμής στο τοπικό δίκτυο, μπορεί να λάβει άμεσα πληροφορίες για την ακριβή τοποθεσία των συσκευών και τον εντοπισμό τους [**34**].
- **Πληροφορίες Περιβάλλοντος του Δικτύου (Network Context Information):** Μέσα από την εφαρμογή της τεχνολογίας της Υπολογιστικής των Άκρων, οι επιχειρήσεις μπορούν να επωφεληθούν στο να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις και να παρέχουν καλύτερης ποιότητας υπηρεσίες στους χρήστες τους καθώς τους επιτρέπεται να γνωρίζουν και να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο και τις υπηρεσίες των δεδομένων του δικτύου σε πραγματικό χρόνο μέσα από εφαρμογές που εξασφαλίζει η συγκεκριμένη τεχνολογία [**34**].

4.3 Αρχιτεκτονική της υπολογιστικής των άκρων

Όπως έγινε αναφορά σε προηγούμενη ενότητα η διαφορά της Υπολογιστικής των Άκρων με την Υπολογιστική Νέφους είναι ότι οι διακομιστές της Υπολογιστικής των Άκρων είναι πιο κοντά στον τελικό χρήστη σε σχέση με τους διακομιστές του Νέφους, προσφέροντας υψηλότερου επιπέδου ποιότητα στις υπηρεσίες λόγω της χαμηλής καθυστέρησης που παρουσιάζεται στο δίκτυο [**38**]. Για να κατανοήσουμε καλύτερα το ρόλο της Υπολογιστικής των Άκρων θα μελετήσουμε την υπάρχουσα αρχιτεκτονική που υποστηρίζει, αναλύοντας πρώτα κάποια βασικά συστατικά που συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα της υπολογιστικής αυτής.

4.3.1 Συστατικά περιβάλλοντος της υπολογιστικής των άκρων

Μερικά από τα βασικά συστατικά που απαρτίζουν το περιβάλλον της Υπολογιστικής των Άκρων είναι [**40**] :

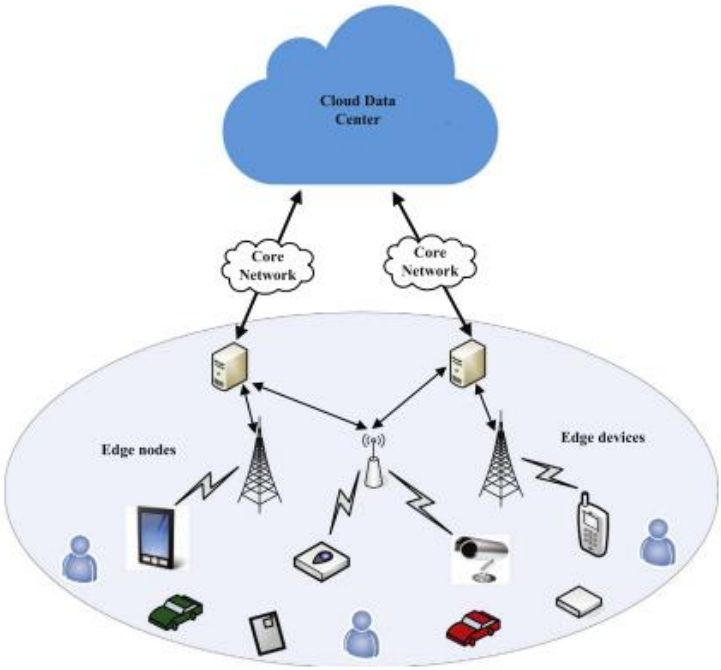
- **Σύννεφο (Cloud):** Το σύννεφο το οποίο μπορεί να είναι δημόσιο ή ιδιωτικό αποτελεί το μέρος στο οποίο εκφορτώνονται οι διεργασίες που εκτελούνται σε εφαρμογές καθώς και σε διάφορα μοντέλα μάθησης. Επίσης φιλοξένει και τρέχει διάφορες εφαρμογές οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου να μπορούν να διαχειριστούν τους διαφορετικούς κόμβους αιχμής. Αποτελεί την πηγή και τον προορισμό για οποιαδήποτε δεδομένα που μπορεί να προέρχονται από διαφορετικούς κόμβους.
- **Συσκευή Άκρης (Edge Device):** Είναι ένα ειδικό εξάρτημα, με δικιά του χωρητικότητα υπολογισμού. Μπορεί να εκτελέσει λειτουργίες όπως αυτές πραγματοποιούνται σε ένα ATM, στις «έξυπνες» κάμερες, στα αυτοκίνητα καθώς και σε μηχανές συναρμολόγησης ωστόσο έχει περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους.
- **Κόμβος Άκρης (Edge Node):** Αποτελεί μια γενική ερμηνεία για οποιαδήποτε συσκευή άκρης, διακομιστή άκρης ή πύλη άκρης, πάνω στο οποίο μπορεί να βρει εφαρμογή η Υπολογιστική των Άκρων.
- **Διακομιστής Άκρης (Edge Server):** Αποτελεί έναν οποιοδήποτε διακομιστή, ο οποίος βρίσκεται στο «άκρο», μεταξύ δύο δικτύων, συνήθως ενός δημόσιου και ενός ιδιωτικού. Ένας διακομιστής άκρης μπορεί να εξυπηρετήσει διαφορετικούς σκοπούς, ανάλογα με τις ανάγκες.
- **Πύλη Άκρης (Edge Gateway):** Μέσα από την πύλη άκρης, οι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν υπηρεσίες του νέφους, μπορούν να εισέρχονται στο δίκτυο μέσω αυτής. Οι δρομολογητές, οι διακόπτες δρομολόγησης, οι πολυπλέκτες καθώς και οι

συσκευές πρόσβασης μητροπολιτικού δικτύου και του δικτύου ευρείας περιοχής περιλαμβάνονται στη πύλη άκρης.

4.3.2 Περιγραφή Αρχιτεκτονικής

Περιγράφοντας παρακάτω την αρχιτεκτονική που υποστηρίζει η Υπολογιστική των Άκρων, μπορούμε να διακρίνουμε τρεις βασικές πτυχές στις οποίες διαχωρίζεται [**38**][**40**].

- **Front-End:** Οι συσκευές της άκρης (device edge), οι οποίες αποτελούν τις πραγματικές συσκευές και στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι κάμερες, οι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές καθώς και άλλες φυσικές συσκευές με σκοπό τη συλλογή δεδομένων, βρίσκονται στο μπροστινό άκρο της Υπολογιστικής των Άκρων. Μέσα από το περιβάλλον του front-end, οι τελικοί χρήστες μπορεί να έχουν καλύτερη αλληλεπίδραση και ανταπόκριση με τις υπηρεσίες, οι οποίες για ορισμένες εφαρμογές μπορεί να παρέχονται σε πραγματικό χρόνο. Εξαιτίας της περιορισμένης χωρητικότητας που παρουσιάζουν οι συσκευές της άκρης, κάποιες διεργασίες μπορεί να μην είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν από το περιβάλλον του front-end και γι΄αυτό θα πρέπει να προωθούν οποιεσδήποτε απαιτήσεις έχουν σε υπολογιστικούς πόρους στους διακομιστές.
- **Near-End:** Οι πύλες που αναπτύσσονται στο περιβάλλον της Υπολογιστικής των Άκρων μπορούν να υποστηρίξουν την κίνηση των δεδομένων που εντοπίζεται στο δίκτυο. Οι διακομιστές της άκρης λόγω του ότι έχουν πολλές απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους μπορούν να υποστηρίξουν την επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο καθώς και την προσωρινή αποθήκευση τους και εκφόρτωση στο σύννεφο. Το μεγαλύτερο μέρος της επεξεργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων μεταφέρεται στην άκρη του δικτύου με αποτέλεσμα να παρέχεται καλύτερη ποιότητα των δεδομένων στους τελικούς χρήστες.
- **Far-End:** Παρέχεται παράλληλη επεξεργασία, εξόρυξη και διαχείριση των μεγάλων δεδομένων μέσω των διακομιστών του σύννεφου καθώς βρίσκονται μακριά από τις συσκευές άκρης, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ και αποθήκευση των δεδομένων. Αποτελεί ένα σημαντικό επίπεδο της αρχιτεκτονικής καθώς οι εφαρμογές έχουν τη δυνατότητα επεξεργαστούν δεδομένα τα οποία δεν είναι δυνατό να διαχειριστεί κάποιος άλλος κόμβος της άκρης.



Εικόνα 7. Αρχιτεκτονική Υπολογιστικής των Άκρων [51**]**

4.4 Πλεονεκτήματα της υπολογιστικής των άκρων.

Ο σκοπός και ο ρόλος της ανάπτυξης της Υπολογιστικής των Άκρων είναι να βρίσκεται κοντά στην πηγή από την οποία θα γίνει η συλλογή, η επεξεργασία και η ανταλλαγή των δεδομένων, προσφέροντας πολλά οφέλη σε σύγκριση με το πρότυπο της Υπολογιστικής Νέφους που έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται. Η Υπολογιστική των Άκρων προσπαθεί να επιτύχει χαμηλές καθυστερήσεις και υψηλό εύρος ζώνης περιορίζοντας την κίνηση των δεδομένων σε διακομιστές της Υπολογιστικής των Άκρων παρά σε κεντρικούς διακομιστές που παρουσιάζουν μεγάλες καθυστερήσεις στο δίκτυο. [**33**][**34**].

Συγκριτικά με την Υπολογιστική Νέφους παρέχει κάποια οφέλη καθώς μπορεί να ανταποκριθεί πλήρως στην επεξεργασία των δεδομένων τα οποία συλλέγονται στην άκρη του δικτύου, σε σχέση με το Νέφος που έχει χαρακτηριστεί ως αναποτελεσματικό. Η αποδοτικότητα των υπηρεσιών μέσω της συγκεκριμένης τεχνολογίας εντοπίζεται στο γεγονός ότι η επεξεργασία των δεδομένων που γίνεται στην άκρη του δικτύου είναι πιο αποτελεσματική, με πολύ μικρότερους χρόνους απόκρισης και ελάχιστες πιέσεις στο δίκτυο λόγω της συμφόρησης που μπορεί να παρουσιαστεί. Ένα ακόμα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της Υπολογιστικής των Άκρων σχετίζεται με το γεγονός ότι ένας πολύ μεγάλος αριθμός συσκευών που θα εισαχθεί στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, θα αποτελούν τη βασική πηγή παραγωγής των δεδομένων. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει ένας μεγάλος όγκος δεδομένων τα οποία θα πρέπει να διαχειριστούν. Καθώς το σύννεφο είναι ανίκανο να διαχειριστεί ένα τέτοιο μέγεθος πληροφοριών, η εκφόρτωση κάποιων υπολογιστικών εργασιών μέσω της Υπολογιστικής των Άκρων μπορεί να παρέχει πιο αποδοτικές υπηρεσίες και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Το τελευταίο και σημαντικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η προστασία των δεδομένων και του απορρήτου που μπορεί να προσφέρει στους χρήστες καθώς τα δεδομένα που συλλέγονται από τις συσκευές στην άκρη του δικτύου είναι ιδιωτικού χαρακτήρα με αποτέλεσμα να μπορεί να εξασφαλίσει μεγαλύτερη προστασία στα δεδομένα των χρηστών [**33**].

4.5 Ο ρόλος της υπολογιστικής των άκρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε το ρόλο που μπορεί να κατέχει η Υπολογιστική των Άκρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και την αναγκαιότητα της ενσωμάτωσης της σε αυτό.

Οι συσκευές που συμπεριλαμβάνονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων παράγουν ένα μεγάλο όγκο δεδομένων, τα οποία τα μεταφέρουν στο σύννεφο για να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία τους. Τα δεδομένα τα οποία λαμβάνονται μπορεί να έχουν να κάνουν με πληροφορίες όπως βίντεο, εικόνας, ήχου κλπ. Μέχρι στιγμής η τεχνολογία της Υπολογιστικής Νέφους που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία όλων αυτών των πληροφοριών δεν μπορεί να προσφέρει κατάλληλες και αποδοτικές υπηρεσίες ως προς τις συσκευές του Διαδικτύου των Αντικειμένων που γίνεται η συλλογή των δεδομένων [**36**].

Όπως η Υπολογιστική Νέφους έτσι και η Υπολογιστική των Ακρών αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα του Διαδικτύου των Αντικειμένων, παρέχοντας τη δυνατότητα και την ευελιξία στον τελικό χρήστη να μπορεί να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες και δεδομένα από οπουδήποτε και αν βρίσκεται. Ο σκοπός της ανάπτυξης μιας τεχνολογίας όπως η Υπολογιστική των Άκρων έχει ως βασικό στόχο να μειώσει τις χαμηλές αποκρίσεις του δικτύου και να διατηρήσει την ποιότητα των υπηρεσιών όσο τον δυνατόν υψηλότερα. Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική που ακολουθεί, όπως είδαμε σε προηγούμενη ενότητα, μπορεί να επιτύχει τον στόχο της και να μειώσει τα προβλήματα που εντοπίζονται στην Υπολογιστική Νέφους, προσθέτοντας ένα επιπλέον επίπεδο μεταξύ των συσκευών του Διαδικτύου των Αντικειμένων και της υποδομής που πραγματοποιούνται όλες οι επικοινωνιακές και υπολογιστικές διεργασίες. Σε αυτό το επίπεδο συμπεριλαμβάνονται οι Διακομιστές Άκρης (Server Edge), οι οποίοι αποτελούν ένα μέρος της αρχιτεκτονικής της Υπολογιστικής των Άκρων. Χρησιμοποιεί υπηρεσίες της Υπολογιστικής Νέφους με τη διαφορά ότι προσπαθεί όλη η επεξεργασία, η αποθήκευση, η μεταφορά καθώς και η ασφάλεια και προστασία των δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές του Διαδικτύου των Αντικειμένων να γίνεται στην άκρη του δικτύου [**37**].

Η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής των Άκρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων παρουσιάζει περισσότερα οφέλη σε σχέση με την Υπολογιστική Νέφους προσφέροντας αρκετό χώρο αποθήκευσης, γρήγορους χρόνους απόκρισης και ικανοποιητική υπολογιστική χωρητικότητα προκειμένου να μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις των συσκευών του Διαδικτύου των Αντικειμένων. Οι συσκευές που συμπεριλαμβάνονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων έχουν περιορισμένες δυνατότητες ως προς την επεξεργασία των δεδομένων ωστόσο μπορούν να ενισχύσουν τις δυνατότητες τους αξιοποιώντας τους υπολογιστικούς πόρους από τους Διακομιστές Άκρης (Edge Servers), βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του και επιλύοντας κρίσιμα ζητήματα. Για την επιτυχημένη ανάπτυξη της Υπολογιστικής των Άκρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων θα πρέπει να πληρούνται κάποιες απαιτήσεις, όπως αναφέρονται παρακάτω, οι οποίες αποτελούν ένα βασικό συστατικό για την ομαλή λειτουργία και ενσωμάτωση της τεχνολογίας αυτής στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων . Στη συνέχεια αναφέρεται η αναγκαιότητα της συνύπαρξης των δύο αυτών τεχνολογιών[**35**][**38**].

4.5.1 Απαιτήσεις της Υπολογιστικής των Άκρων

- **Καθυστέρηση (Latency):** Σε εφαρμογές που παρουσιάζουν έντονη καθυστέρηση ως προς την απόκριση των υπηρεσιών τους, η Υπολογιστική των Άκρων αποτελεί μια προτιμώμενη λύση από την Υπολογιστική Νέφους. Οι περισσότερες εφαρμογές παρουσιάζουν έντονες καθυστερήσεις στο δίκτυο, εκτελώντας τους απαραιτήτους υπολογισμούς σε δεδομένα που βασίζονται σε πραγματικό χρόνο. Με τη μεταφορά

των περισσότερων υπηρεσιών και εφαρμογών από το σύννεφο στην άκρη του δικτύου μειώνεται σημαντικά η καθυστέρηση των εφαρμογών από τις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Η μείωση του χρόνου που απαιτείται για την απόκριση των υπηρεσιών οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα στην επικοινωνία μεταξύ των συσκευών που βασίζεται σε πραγματικό χρόνο κάνοντας την Υπολογιστική των Άκρων ένα σημαντικό παράγοντα για τη βελτιωμένη λήψη αποφάσεων μέσα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**35**].

- **Αξιοπιστία (Reliability):** Μέσα από την εφαρμογή της Υπολογιστικής των Άκρων και τη χρήση των Διακομιστών της Άκρης (Edge Serves), παρέχεται στις συσκευές ένας ολοκληρωμένος έλεγχος σε πραγματικό ή μη πραγματικό χρόνο για τις συσκευές. Η αξιοπιστία του συστήματος αποτελεί μια κρίσιμη απαίτηση για οποιοδήποτε υπολογιστικό σύστημα καθώς πολλές διεργασίες που πραγματοποιούνται είναι ζωτικής σημασίας όπως η ανθρώπινη ασφάλεια. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να έχουμε ένα αξιόπιστο σύστημα προκειμένου να μπορεί να ανταπεξέλθει σε οποιαδήποτε απαίτηση και να αντιδρά σε όλες τις καταστάσεις [**35**][**37**].
- **Υποστήριξη Κινητικότητας (Mobility Support):** Ο τύπος των συσκευών που εντάσσεται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος της αρχιτεκτονικής που εφαρμόζεται. Η κινητικότητα χρησιμοποιείται σε διαφορετικές αρχιτεκτονικές της Υπολογιστικής των Άκρων και της Υπολογιστικής Νέφους, έχοντας καλύτερη ανταπόκριση από εφαρμογές που έχουν βασιστεί σε υβριδικές υποδομές. Για πολλές εφαρμογές που βασίζονται στην Υπολογιστική των Άκρων, ο έλεγχος της κινητικότητας αποτελεί ένα ζήτημα και είναι υποχρεωτικό στις περισσότερες εφαρμογές. Αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την επικοινωνία και την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ διαφορετικών κινητών συσκευών [**35**].
- **Αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο (Real-time Interactions):** Οι εφαρμογές που συλλέγουν δεδομένα και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο αποτελούν τις πιο δημοφιλείς στο τομέα της επικοινωνίας. Στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, οι εφαρμογές που βασίζονται στην Υπολογιστική των Άκρων για την αλληλεπίδραση τους με τον τελικό χρήστη απαιτούν δεδομένα που βασίζονται σε πραγματικό χρόνο [**35**].
- **Ασφάλεια και Απόρρητο (Security and Privacy):** Η ασφάλεια αποτελεί μια κύρια και βασική απαίτηση για όλα τα συστήματα. Η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής των Άκρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων εξασφαλίζει την ανάπτυξη ασφαλών συστημάτων και εφαρμογών. Σε αντίθεση, η Υπολογιστική Νέφους λόγω της δομής της παρουσιάζει κάποιες ανεπάρκειες ως προς την ασφάλεια των συστημάτων για συγκεκριμένους τύπους επιθέσεων καθώς και για παραβιάσεις των δεδομένων. Η ενίσχυση της ασφάλειας για την Υπολογιστική των Άκρων, καθορίζεται από το γεγονός ότι οι πληροφορίες και τα δεδομένα των χρηστών συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένα σημεία που βρίσκονται στην άκρη του δικτύου και κατά συνέπεια πιο κοντά στον τελικό χρήστη. Η Υπολογιστική των Άκρων αποτελεί ένα τρόπο για την ασφάλεια των δεδομένων [**35**][**37**].
- **Διαλειτουργικότητα (Interoperability):** Οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες που παρέχονται από συσκευές οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και αξιοποιούν την τεχνολογία της Υπολογιστικής των Άκρων πρέπει να είναι διαλειτουργικές και συμβατές με άλλες εφαρμογές. Λόγω της εφαρμογής της Υπολογιστικής των Άκρων οι διακομιστές της άκρης μπορούν να συνδεθούν με διαφορετικές συσκευές και άλλους διακομιστές. Από την άλλη η Υπολογιστική Νέφους παρουσιάζει προβλήματα διαλειτουργικότητας καθώς επιτρέπει την

επικοινωνία ενός μεγάλου αριθμού συσκευών μεταξύ του ή με τους τελικούς χρήστες στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Με τη χρήση ενός πιο διευρυμένου προτύπου επικοινωνίας μπορεί να ενισχυθεί η διαλειτουργικότητα των συσκευών [**35**][**37**].

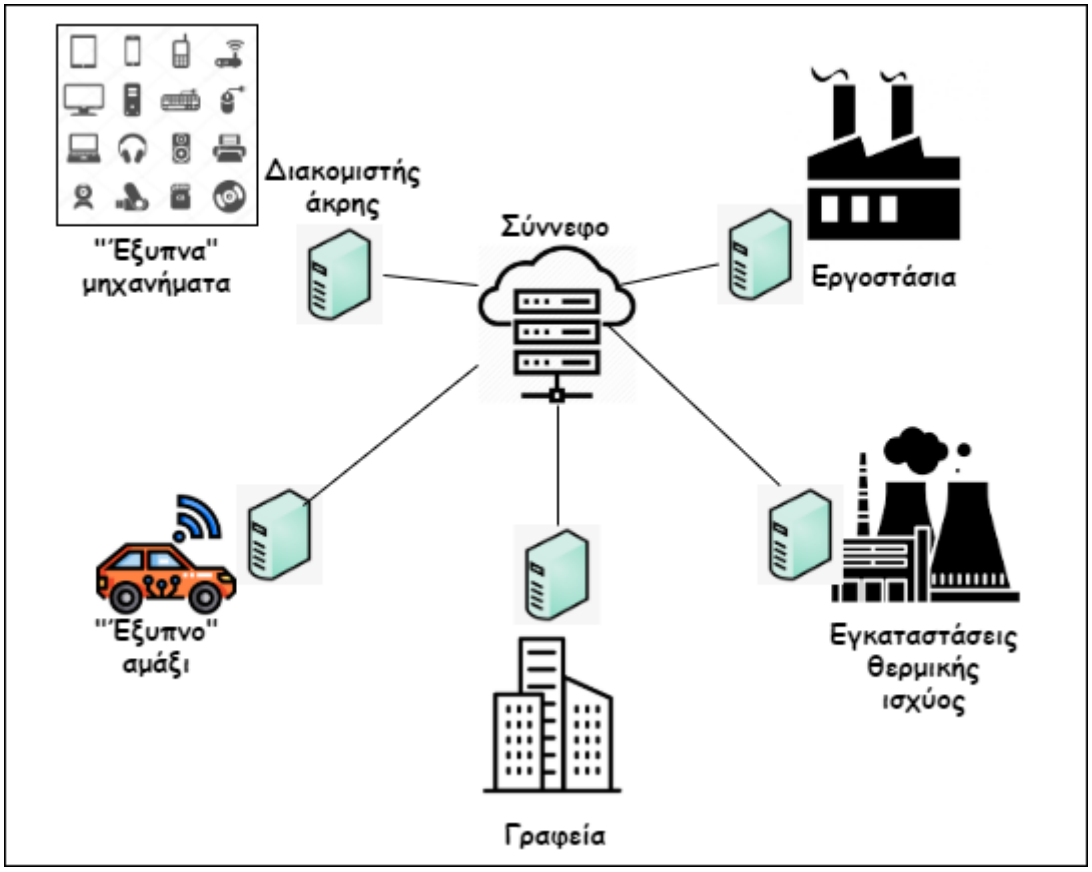
4.5.2 Ενσωμάτωση της Υπολογιστικής των Άκρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων και η Υπολογιστική των Άκρων είναι δυο ανεξάρτητες τεχνολογίες οι οποίες εξελίσσονται γρήγορα. Η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής των Άκρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων μπορεί να λύσει σημαντικά κρίσιμα ζητήματα που έχουν παρουσιαστεί. Σύμφωνα με όσα έχουν επισημανθεί μέχρι στιγμής παρακάτω γίνεται αναφορά για την αναγκαιότητα της συνύπαρξης των δύο αυτών τεχνολογιών και τον σημαντικό ρόλο που μπορεί να κατέχει η Υπολογιστική των Άκρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων μέσω της ενσωμάτωσης της σε αυτό [**38**].

- **Απόκτηση Δεδομένων (Data Acquisition):** Με την Υπολογιστική των Άκρων, οι συσκευές άκρης στις οποίες μπορεί να ανήκουν οι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές, μπορούν να λαμβάνουν, να αναλύουν και να επεξεργάζονται τα δεδομένα άμεσα και γρήγορα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι συσκευές να αυξάνουν την παραγωγικότητα τους και να προσφέρουν σε πολύ γρήγορους χρόνους τα αποτελέσματα από τα αντίστοιχα αιτήματα των τελικών χρηστών. Για παράδειγμα σε ένα πιθανό σενάριο εφαρμογής, οι κάμερες φωτεινού σηματοδότη πέρα από την συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων, μπορούν να αποφασίσουν μόνες για το ποιες ενέργειες πρέπει να γίνουν προκειμένου να βελτιωθεί η ροή των οχημάτων [**35**].
- **Συμπερασματικοί Έλεγχοι (Inferential Control):** Τα συμπερασματικά στοιχεία τα οποία προκύπτουν ύστερα από προηγμένους ελέγχους που πραγματοποιούνται στις συσκευές, αποτελούν βασικά συστατικά για τις συσκευές άκρης στην Υπολογιστική των Άκρων. Μέσα από τη διαδικασία του ελέγχου, η συσκευή μπορεί να παρακολουθήσει με ακρίβεια τι συμβαίνει στο περιβάλλον της. Ωστόσο στις συσκευές άκρης πολλές φορές δεν είναι εφικτό να πραγματοποιήσει τους συμπερασματικούς ελέγχους καθώς εξαρτάται από σχετικές πληροφορίες που λαμβάνει. Ένα πιθανό σενάριο εφαρμογής ενός συμπερασματικού ελέγχου θα μπορούσε να είναι η παροχή έξυπνων λύσεων σε οδηγούς αυτοκινήτων ως προς την πλοήγηση τους μέσω της χρήσης του GPS [**35**].
- **Ανάλυση Δεδομένων (Data Analysis):** Η Υπολογιστική των Άκρων όπως έχει αναφερθεί μέχρι στιγμής, επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ο λανθάνοντας χρόνος που μπορεί να προκύψει κατά την συλλογή των πληροφοριών, μπορεί να μειωθεί σημαντικά ενώ οι συσκευές της άκρης έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν και να επεξεργάζονται τις πληροφορίες που λαμβάνουν από τις γύρω συσκευές δίνοντας τον πλεονέκτημα στους υπεύθυνους που λαμβάνουν αποφάσεις να δρουν άμεσα. Επειδή η ανάλυση των δεδομένων γίνεται τοπικά στο δίκτυο, οι συσκευές της άκρης μπορούν επίσης να μειώσουν το εύρος ζώνης του δικτύου. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να αποτελέσει η τοποθέτηση καμερών ελαφρύ φορτίου που αντί να στέλνουν τα δεδομένα που λαμβάνουν για ανάλυση σε μια κεντρική υποδομή, να τα αναλύουν οι ίδιοι, να επικοινωνούν με άλλες συσκευές και να λαμβάνουν τις

αποφάσεις που είναι απαραίτητες εκτελώντας τις εργασίες που απαιτούνται [**35**].

- **Λήψη Αποφάσεων (Decision Making):** Μετά την ανάλυση των δεδομένων που πραγματοποιείται τοπικά του δικτύου, το επόμενο όφελος που προσφέρουν οι συσκευές άκρης είναι η λήψη κρίσιμων αποφάσεων. Όπως έχουν αναφέρει ήδη, επειδή ο όγκος των δεδομένων που συλλέγεται είναι αρκετά μεγάλος, το σύννεφο είναι ανίκανο να διαχειριστεί ένα τέτοιο μέγεθος πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Μέσα από την Υπολογιστική των Άκρων, τα δεδομένα αναλύονται τοπικά του δικτύου, μειώνοντας σημαντικά τους χρόνους απόκρισης συνεπώς η λήψη των κρίσιμων αποφάσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί πιο γρήγορα [**35**].
- **Βελτιωμένη Ασφάλεια Δεδομένων (Enhanced Data Security):** Με την Υπολογιστική των Άκρων προσφέρεται περισσότερη ασφάλεια των δεδομένων διότι η επεξεργασία και η ανάλυση τους γίνεται τοπικά κοντά στον κόμβο της άκρης του δικτύου, χωρίς να απαιτεί εκτεταμένη δρομολόγηση με αποτέλεσμα η οποιαδήποτε δραστηριότητα να εντοπίζεται άμεσα [**35**].



Εικόνα 8. Ο ρόλος της Υπολογιστικής των Άκρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων

4.6 Σύνοψη κεφαλαίου

Με την συνεχόμενη και αναδυόμενη εξέλιξη της τεχνολογίας, όλες οι υπηρεσίες που βασίζονται στην Υπολογιστική Νέφους τείνουν να μεταφέρουν τις διαδικασίες που απαιτούνται στην άκρη του δικτύου μέσω της Υπολογιστικής των Άκρων. Η συγκεκριμένη

τεχνολογία μπορεί να εξασφαλίσει μικρότερο χρόνο απόκρισης και καλύτερη αξιοπιστία στις υπηρεσίες που προσφέρονται. Σε αυτό το κεφάλαιο αναπτύξαμε την τεχνολογία της Υπολογιστικής των Άκρων, όπου μέσα από τη διερεύνηση που έγινε αποδεικνύεται μια τεχνολογία πιο ικανή από την Υπολογιστική Νέφους, προσφέροντας πολλά πλεονεκτήματα και κατέχοντας ένα σημαντικό ρόλο στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Προσφέρει μεγάλες δυνατότητες ως προς το εύρος ζώνης, τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών καθώς και τις απαιτήσεις αποθήκευσης σε φορητές συσκευές με περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους. Ο βασικός της στόχος είναι να μεταφέρει τις υπηρεσίες που εκτελούνται στο σύννεφο σε συσκευές, οι λεγόμενες συσκευές άκρης έτσι ώστε να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο τελικό χρήστη.

Όπως είχαμε αναφέρει, η Υπολογιστική Νέφους έφερε πολλά πλεονεκτήματα και καινοτομίες στο κόσμο των υπηρεσιών μέσω του Διαδικτύου ωστόσο ο συνεχόμενος αυξανόμενος αριθμός των συσκευών που βρίσκονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους, έφερε κάποια κρίσιμα ζητήματα ως προς την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχουν. Γι’ αυτό το λόγο, η Υπολογιστική των Άκρων αποτελεί μια αναδυόμενη λύση για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων επιλύοντας πολλά κρίσιμα ζητήματα και προσφέροντας πιο αποτελεσματικές υπηρεσίες. Λόγω του ότι όλη η επεξεργασία μέσω της Υπολογιστικής των Άκρων γίνεται στην άκρη του δικτύου και κοντά στον τελικό χρήστη, μειώνεται σημαντικά ο χρόνος απόκρισης για εφαρμογές του Διαδικτύου των Αντικειμένων που βασίζονται σε δεδομένα πραγματικού χρόνου.

Συνοψίζοντας λοιπόν διερευνήσαμε τον όρο της Υπολογιστικής των Άκρων σαν τεχνολογία και τον διαχωρισμό της από την Υπολογιστική Νέφους προσφέροντας κάποια επιπλέον πλεονεκτήματα και επεκτείνοντας τις υπηρεσίες που βασίζονται στο Διαδίκτυο να είναι πιο κοντά στο χρήστη. Μελετήσαμε μια υπάρχουσα αρχιτεκτονική που έχει υιοθετήσει καθώς και τη σημαντικότητα του ρόλου της μέσα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Οι μεγάλες προσδοκίες που είχαν πολλοί ερευνητές για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων, οδήγησαν στην ανάπτυξη της Υπολογιστικής των Άκρων προκειμένου να συμβάλλει στην αντιμετώπιση πολλών ζητημάτων που προκαλούνται από την έλλειψη υπολογιστικών πόρων στις τελικές συσκευές. Η έννοια της Υπολογιστικής των Άκρων στοχεύει στη μέγιστη απόδοση που μπορεί να προσφέρει στις υπηρεσίες, συνδυάζοντας το μοντέλο της Υπολογιστικής Νέφους και μέσω των συσκευών του Διαδικτύου των Αντικειμένων που συλλέγουν και ανταλλάσσουν κρίσιμες πληροφορίες.

Κεφάλαιο 5. Υπολογιστική Ομίχλης (Fog Computing)

5.1 Ορισμός Υπολογιστικής Ομίχλης

Τα τελευταία χρόνια, ο συνεχόμενος και αυξανόμενος αριθμός όλων των διασυνδεδεμένων συσκευών/αισθητήρων οδήγησε στο γεγονός το Διαδίκτυο των Αντικειμένων να αποτελεί ένα μεγάλο μέρος της καθημερινής μας ζωής αλλά και του περιβάλλοντος μας. Ο κύριος στόχος του είναι να μπορέσει να διασυνδέσει δισεκατομμύρια συσκευές με τους ανθρώπους και να φέρει πολλά πλεονεκτήματα. Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων αποτελεί μια αναδυόμενη τεχνολογία η οποία απαιτεί γρήγορους υπολογισμούς χωρίς καθυστερήσεις για την επεξεργασία των πληροφορίων που συλλέγει σε πραγματικό χρόνο από τις συσκευές του. Ωστόσο η διαχείριση όλων των δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές του Διαδικτύου των Αντικειμένων μέσω της Υπολογιστικής Νέφους δεν είναι αποτελεσματική, γι' αυτό προτάθηκε ένα ακόμα υπολογιστικό παράδειγμα για την ικανοποίηση όλων των αιτημάτων από τις εφαρμογές που παρουσιάζουν κάποιες δυσκολίες ως προς το χρόνο, το οποίο αποτελεί η Υπολογιστική Ομίχλης. Η ανάπτυξη της Υπολογιστικής Ομίχλης μαζί με την Υπολογιστική των Άκρων, για την οποία έγινε εκτεταμένη αναφορά στο προηγούμενο κεφάλαιο αποτελούν δύο πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων και την επίλυση κρίσιμων ζητημάτων [**47**][**48**].

Η τεχνολογία της Υπολογιστικής Ομίχλης μοιάζει με την Υπολογιστική των Άκρων με κύριο στόχο και των δύο να μπορούν να επιτύχουν μείωση της καθυστέρησης στους χρόνους απόκρισης και της συμφόρησης του δικτύου από άκρο σε άκρο. Η διαφορά τους εντοπίζεται στο τρόπο χειρισμού και επεξεργασίας των δεδομένων. Στην Υπολογιστική των Άκρων μεταφέρονται οι υπολογιστικές διεργασίες στις πηγές δεδομένων, σε συσκευές άκρης όπως αποτελούν οι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές ενώ στην Υπολογιστική Ομίχλης επεκτείνονται όλοι οι υπολογιστικοί πόροι και η επικοινωνία κοντά στην άκρη του δικτύου μέσα από ένα σύνολο κόμβων ομίχλης [**53**]. Η έννοια της Υπολογιστικής Ομίχλης εισάχθηκε για πρώτη φορά από τη Cisco το 2012, προκειμένου να την αναδείξει ως μια τεχνολογία που σκοπό έχει να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις των εφαρμογών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων που προέκυψαν μέσω της εφαρμογής της Υπολογιστικής Νέφους [**49**]. Ο ορισμός που έχει αποδοθεί για την Υπολογιστική Ομίχλης είναι ότι οι υπηρεσίες που προσφέρει το μοντέλο της Υπολογιστικής Νέφους για τον υπολογισμό, την αποθήκευση, την επικοινωνία και τον έλεγχο των δεδομένων επεκτείνετε μεταξύ των τελικών συσκευών και των διακομιστών του σύννεφου φέρνοντας το πιο κοντά στους τελικούς χρήστες με αποτέλεσμα ο χρόνος μεταφοράς των δεδομένων να μειώνεται σημαντικά [**51**]. Δεν αντικαθιστά το σύννεφο για να επιτύχει την απομακρυσμένη αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων αλλά το συμπληρώνει λειτουργώντας ως ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ των κέντρων δεδομένων του σύννεφου και των συσκευών/ αισθητήρων που συμπεριλαμβάνονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων [**49**][**56**]. Αποτελεί ένα μοντέλο στο οποίο η επεξεργασία των δεδομένων και οι εφαρμογές συγκεντρώνονται σε συσκευές του Διαδικτύου των Αντικειμένων κοντά στην άκρη του δικτύου αντί να υπάρχουν αποκλειστικά στο σύννεφο, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο την τοπική επεξεργασία των δεδομένων στις «έξυπνες» συσκευές αντί να σταλούν στο σύννεφο για επεξεργασία [**57**].Οι εφαρμογές που λειτουργούν μέσα από το Διαδίκτυο των Αντικειμένων και αξιοποιούν την τεχνολογία της Υπολογιστικής Ομίχλης, αποθηκεύουν, επεξεργάζονται και αναλύουν τα δεδομένα που είναι ευαίσθητα στο χρόνο σε κόμβους ομίχλης, οι οποίοι βρίσκονται κοντά στις συσκευές [**56**]. Οι κόμβοι ομίχλης διευκολύνουν στο να δημιουργηθεί μια ιεραρχική υποδομή μαζί με το σύννεφο προκειμένου να εκτελεστούν οι απαραίτητες υπολογιστικές διεργασίες ενώ αναπτύσσονται ετερογενώς στην άκρη του δικτύου, κοντά στις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελεί μια προσέγγιση για την αντιμετώπιση του αυξανόμενου αριθμού των συσκευών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και του μεγάλου όγκου των δεδομένων που πρέπει να διαχειριστεί. Μπορεί να ανταποκριθεί αποτελεσματικά σε εφαρμογές που παρουσιάζουν υψηλές καθυστερήσεις ως προς τη συλλογή των δεδομένων που βασίζονται σε πραγματικό χρόνο καθώς και να μειώσει το εύρος ζώνης του δικτύου όταν παρουσιάζεται συμφόρηση. Αποτελεί ένα συμπλήρωμα όπως και η Υπολογιστική των Άκρων για ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών και υπηρεσιών, στις οποίες η Υπολογιστική Νέφους δεν είναι ικανή να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις τους [**51**][**56**][**57**].

5.2 Αρχιτεκτονική της Υπολογιστικής Ομίχλης

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει προσέγγιση της αρχιτεκτονικής την οποία ακολουθεί η τεχνολογία της Υπολογιστικής Ομίχλης προκειμένου να γίνει κατανοητό πως η εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας μπορεί να επεκτείνει τις υπηρεσίες της Υπολογιστικής Νέφους στην άκρη του δικτύου, εισάγοντας ένα επίπεδο ομίχλης μεταξύ των τελικών συσκευών και του σύννεφου. Η αρχιτεκτονική της Υπολογιστικής Ομίχλης είναι διαφορετική από άλλα υπολογιστικά παραδείγματα κάνοντας την με αυτό τον τρόπο να προσομοιάζεται σε μια εναλλακτική πλατφόρμα [**46**][**51**][**56**].

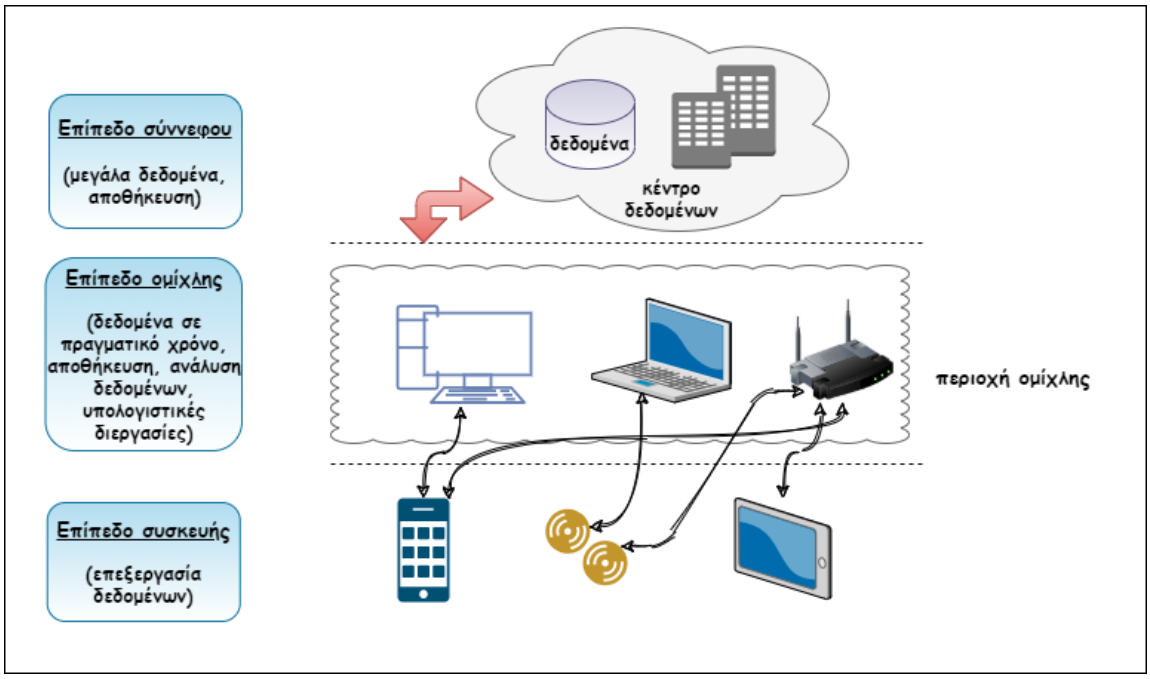
Η ιεραρχική δομή αρχιτεκτονικής την οποία ακολουθεί η Υπολογιστική Ομίχλης αποτελείται από τρία επίπεδα. Χαρακτηρίζεται ως η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη αρχιτεκτονική για την συγκεκριμένη τεχνολογία. Το πρώτο επίπεδο αναφέρεται στο επίπεδο της συσκευής ή τερματικού, το δεύτερο επίπεδο αναφέρεται στο επίπεδο της ομίχλης και το τρίτο επίπεδο αναφέρεται στο επίπεδο του σύννεφου. Καθένα από τα επίπεδα αυτά, είναι επεκτάσιμα και ευέλικτα με αποτέλεσμα να υπάρχουν πιθανότητες μελλοντικής βελτίωσης προκειμένου να συμπεριλαμβάνονται κι' άλλες οντότητες [**56**].

- **Επίπεδο Συσκευής (Device Layer):** Είναι το επίπεδο το οποίο βρίσκεται πιο κοντά στον τελικό χρήστη και στο φυσικό περιβάλλον. Συμπεριλαμβάνει δύο τύπους συσκευών: τις κινητές συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και τις σταθερές συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Οι κινητές συσκευές αναφέρονται στις φορητές συσκευές, οι οποίες μπορούν να μεταφερθούν και στις οποίες μπορεί να ανήκουν τα «έξυπνα» ρολόγια, τα «έξυπνα» τηλέφωνα, οι φορητοί υπολογιστές, οι «έξυπνες» κάρτες, τα «έξυπνα» οχήματα κλπ. Από την άλλη, στις σταθερές συσκευές ανήκουν οι αισθητήρες, οι ετικέτες ραδιοσυχνοτήτων (RFID), οι οποίες είναι υπεύθυνες προκειμένου να εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες. Αυτά μπορεί να έχουν να κάνουν είτε με την ανίχνευση πυρκαγιάς σε κάποιο δάσος είτε με την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα είτε με την ανίχνευση κίνησης ενός αντικειμένου. Οι συγκεκριμένες συσκευές έχουν περιορισμένους υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους καθώς και εύρος ζώνης. Ο βασικός τους σκοπός είναι να συλλέγουν δεδομένα τα οποία δεν έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία και τα μεταφέρουν στο ανώτερο επίπεδο [**51**][**56**].
- **Επίπεδο Ομίχλης (Fog Layer):** Είναι το πιο σημαντικό επίπεδο της αρχιτεκτονικής, το οποίο βρίσκεται κοντά στην άκρη του δικτύου. Πραγματοποιείται αποκλειστικά η επεξεργασία των δεδομένων για εφαρμογές οι οποίες είναι ευαίσθητες στο χρόνο. Μπορεί να καθορίσει ποια δεδομένα θα σταλούν στο σύννεφο και ποια όχι [**47**]. Συμπεριλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό κόμβων ομίχλης στους οποίους μπορεί να ανήκουν δρομολογητές, πύλες, διακόπτες, σταθμοί βάσης, σημεία πρόσβασης, διακομιστές. Οι κόμβοι ομίχλης κατανέμονται μεταξύ των τελικών συσκευών του Διαδικτύου των Αντικειμένων και των διακομιστών του σύννεφου έχοντας κάποιες

βασικές δυνατότητες υπολογισμού, μεταφοράς και αποθήκευσης των δεδομένων ενώ μπορούν να συνδεθούν με τον κεντρικό διακομιστή του σύννεφου προκειμένου να αποκτήσουν ισχυρότερες υπολογιστικές και αποθηκευτικές δυνατότητες αλληλεπιδρώντας με αυτόν τον τρόπο με το σύννεφο. Το επίπεδο της ομίχλης επεκτείνει την υπολογιστική νέφους στην άκρη του δικτύου, διαθέτοντας συγκεκριμένες υπολογιστικές και αποθηκευτικές ικανότητες προκειμένου να επιτύχει την μείωση του φορτίου της επεξεργασίας που πραγματοποιείται στις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων με περιορισμένους πόρους [**51**][**56**].

- **Επίπεδο Σύννεφου (Cloud Layer):** Είναι το επίπεδο το οποίο αποτελείται από πολλούς διακομιστές υψηλής απόδοσης, συσκευές αποθήκευσης ενώ παρέχει διάφορες υπηρεσίες εφαρμογών βασισμένες στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Το επίπεδο του σύννεφου είναι προσβάσιμο από τους χρήστες από οπουδήποτε και αν βρίσκονται αρκεί να υπάρχει σύνδεση στο Διαδίκτυο ενώ παρέχει μεγάλο αποθηκευτικό χώρο προκειμένου να μπορεί να υποστηρίξει μεγάλους όγκους δεδομένων καθώς και ισχυρές υπολογιστικές απαιτήσεις. Οι κόμβοι ομίχλης στέλνουν στο σύννεφο δεδομένα ενώ το σύννεφο με τη σειρά του πραγματοποιεί ανάλυση των δεδομένων που υποβάλλονται από τους κόμβους ομίχλης. Επιπλέον το σύννεφο στέλνει στους κόμβους ομίχλης σημαντικές βελτιώσεις για την ποιότητα των υπηρεσιών που παρουσιάζουν καθυστερήσεις ως προς τον χρόνους απόκρισης [**51**][**56**].

Στην αρχιτεκτονική των τριών επιπέδων που ακολουθεί η Υπολογιστική Ομίχλης κάθε συσκευή ή «έξυπνο» αντικειμένου συνδέεται μέσω ασύρματης πρόσβασης σε κάποιον από τους κόμβους ομίχλης. Οι κόμβοι ομίχλης έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους είτε ασύρματα είτε ενσύρματα και να συνδέονται με το σύννεφο. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής μπορεί να αποτελέσει μια υποστήριξη για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων έτσι ώστε να παρέχει αποτελεσματικές υπηρεσίες ως προς την επεξεργασία των δεδομένων και την αποθήκευση τους [**51**].



Εικόνα 9. Αρχιτεκτονική τριών επιπέδων Υπολογιστικής Ομίχλης

5.3 Χαρακτηριστικά και Πλεονεκτήματα της Υπολογιστικής Ομίχλης

Η Υπολογιστική Ομίχλης όπως έχουμε αναλύσει μέχρι στιγμής αποτελεί ένα υπολογιστικό παράδειγμα το οποίο παρέχει υπηρεσίες υπολογισμού, αποθήκευσης, επεξεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ των τελικών συσκευών και των κέντρων δεδομένων του σύννεφου, προκειμένου οι συγκεκριμένες υπηρεσίες να βρίσκονται κοντά στον τελικό χρήστη. Αυτό αποτελεί και το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της και κατ' επέκταση και πλεονέκτημα της σε σχέση με άλλα υπολογιστικά παραδείγματα. Πολλά από τα χαρακτηριστικά της Υπολογιστικής Ομίχλης είναι παρόμοια με της Υπολογιστικής Νέφους ωστόσο σε κάποια από αυτά διαφοροποιούνται [**51**][**55**][**57**].

5.3.1 Χαρακτηριστικά Υπολογιστικής Ομίχλης

- **Χαμηλή Καθυστέρηση (Low Latency):** Οι κόμβοι ομίχλης, οι οποίοι αναπτύσσονται κοντά στις συσκευές του τελικού χρήστη, επεξεργάζονται και αποθηκεύουν τα δεδομένα που λαμβάνουν από τους αισθητήρες/συσκευές κοντά στην άκρη του δικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά ο χρόνος που απαιτείται για την μεταφορά των δεδομένων μέσα στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, παρέχοντας πιο γρήγορες και υψηλότερου επιπέδου υπηρεσίες συγκριτικά με το χρόνο που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί όλη η επεξεργασία αποκλειστικά στο σύννεφο. Επίσης για εφαρμογές οι οποίες είναι ευαίσθητες στη διάρκεια του χρόνου μπορεί να αλληλεπιδρά σε πραγματικό χρόνο [**50**][**51**][**55**].
- **Ετερογένεια (Heterogeneity):** Η Υπολογιστική Ομίχλης λόγω της ετερογένειας που παρουσιάζει στην υποδομή της έχει τη δυνατότητα να συλλέγει δεδομένα από πολλές πηγές. Οι πηγές αυτές μπορεί να έχουν να κάνουν είτε με φορητές συσκευές, είτε με «έξυπνες» συσκευές, είτε με σταθερές συσκευές στις οποίες ανήκουν οι αισθητήρες, οι ετικέτες ραδιοσυχνοτήτων (RFID tags). Η ετερογένεια που παρουσιάζουν οι κόμβοι ομίχλης οφείλεται στο γεγονός πως για την επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να απαιτούνται διαφορετικές δυνατότητες υπολογισμού και αποθήκευσης [**51**][**55**].
- **Υποστήριξη Κινητικότητας (Mobility support):** Η κινητικότητα αναφέρεται στην ικανότητα που πρέπει να έχουν πολλές εφαρμογές της Υπολογιστικής Ομίχλης έτσι ώστε να μπορούν να επικοινωνούν απευθείας με τις κινητές συσκευές. Επίσης και οι ίδιες οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους. Τα δεδομένα που συλλέγονται δεν είναι απαραίτητο να μεταδοθούν στο σύννεφο ενώ η επεξεργασία τους μπορεί να πραγματοποιηθεί από τις ίδιες τι συσκευές. Η υποστήριξη της κινητικότητας είναι περιορισμένη από το σύννεφο ενώ υποστηρίζεται πλήρως από τους κόμβους ομίχλης [**51**][**55**][**57**].
- **Επεκτασιμότητα και Ευελιξία (Scalability and Agility of Fog-Node Clusters):** Η Υπολογιστική Ομίχλης έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος. Μπορεί να υποστηρίξει τον ελαστικό υπολογισμό δηλαδή ο συνολικό αριθμός των υπολογιστικών πόρων που διαθέτει ένα σύστημα μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί με βάση τη ζήτηση [**59**]. Επίσης μπορεί να επιτύχει ομαδοποίηση των πόρων, να πραγματοποιήσει αλλαγές στη φόρτωση των δεδομένων και κάποιες παραλλαγές στην κατάσταση του δικτύου [**54**].
- **Ασύρματη πρόσβαση (Wireless Access):** Η Υπολογιστική Ομίχλης αποτελεί την κατάλληλη τεχνολογία για ασύρματα δίκτυα πρόσβασης στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των αισθητήρων που ενσωματώνει στο περιβάλλον της. Η τοποθέτηση των αισθητήρων πραγματοποιείται σε διαφορετικές περιοχές με αποτέλεσμα να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις για την ανάλυση των

στοιχείων που συλλέγουν με αποτέλεσμα η Υπολογιστική Ομίχλης να αποτελεί την κατάλληλη τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης [**54**].

- **Αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο (Real – time interactions):** Οι εφαρμογές τη Υπολογιστικής ομίχλης μπορούν να αλληλεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο βελτιώνοντας την εμπειρία χρήστη [**54**].
- **Διαλειτουργικότητα (Interoperability):** Η Υπολογιστική Ομίχλης λόγω της ετερογένειας που παρουσιάζουν οι κόμβοι ομίχλης και διάφορες τελικές συσκευές πρέπει να μπορεί να ανταπεξέρχεται και να υποστηρίζει μια ποικιλία υπηρεσιών, το οποίο απαιτεί τη συνεργασία διαφορετικών παροχών [**54**]. Γι΄αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να μπορεί να διασφαλίσει τη διαλειτουργικότητα, την επικοινωνία και την διασύνδεση ετερογενών πόρων και συσκευών [**51**].
- **Γεωγραφική Κατανομή (Geographical distribution):** Οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες της Υπολογιστικής Ομίχλης μπορούν να υποστηρίξουν τη γεωγραφική κατανεμημένη ανάπτυξη. Η γεωγραφική κατανομή σχετίζεται με ένα μεγάλο αριθμό κατανεμημένων κόμβων οι οποίοι μπορούν να παρακολουθούν και να εντοπίζουν τη θέση των τελικών συσκευών έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν την κινητικότητα. Αντί να πραγματοποιεί την επεξεργασία και την αποθήκευση των πληροφοριών σε κέντρα δεδομένων τα οποία βρίσκονται μακριά από τον τελικό χρήστη, αξιοποιεί την αρχιτεκτονική της Υπολογιστικής Ομίχλης προκειμένου να εξασφαλίσει στο χρήστη την εγγύτητα των δεδομένων. Με αυτή την διαδικασία μπορεί να παρέχει γρηγορότερη επεξεργασία σε μεγάλα δεδομένα, καλύτερες υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας και ισχυρές δυνατότητες ως προς τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο [**51**].

5.3.2 Πλεονεκτήματα Υπολογιστικής Ομίχλης

Η Υπολογιστική Ομίχλης αποτελεί την κατάλληλη τεχνολογία η οποία μπορεί να επεκταθεί, να παρέχει αποτελεσματικούς υπολογισμούς στο δίκτυο και να επιτύχει την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών χωρίς καθυστερήσεις. Η επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο, έχει μεγάλη ευελιξία σαν περιβάλλον ενώ μπορεί να παρακολουθεί και να εντοπίζει τη θέση των τελικών συσκευών μέσα από ένα σύνολο κατανεμημένων κόμβων προκειμένου να μπορεί να υποστηρίξει την μεταξύ τους επικοινωνία και να παρέχει καλύτερες υπηρεσίες με βάσει τη τοποθεσία [**51**]. Επιπλέον λόγω των χαμηλών καθυστερήσεων παρέχει υπηρεσίες υψηλότερου επιπέδου. Η Υπολογιστική Ομίχλης μπορεί να μειώσει αρκετά τον όγκο των δεδομένων που εκφορτώνονται στο σύννεφο καθώς όλη η επεξεργασία πραγματοποιείται τοπικά στις τελικές συσκευές κοντά στην άκρη του δικτύου ενώ μπορεί να διατηρήσει και να αναλύσει δεδομένα για μεγάλο χρονικό διάστημα στον πυρήνα του δικτύου. Μειώνει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας στο σύννεφο λόγω των συσκευών που τοποθετεί κοντά στην άκρη του δικτύου και επιτυγχάνει την ελαχιστοποιήσει της πολυπλοκότητας του χώρου και του χρόνου ενώ παράλληλα μεγιστοποιεί την χρησιμότητα και την απόδοση των δεδομένων που επεξεργάζεται. Ωστόσο έρχεται να αντιμετωπίσει κάποιες σημαντικές προκλήσεις λόγω της αρχιτεκτονικής τριών επιπέδων που ακολουθεί όπως θα συζητήσουμε παρακάτω [**52**].

5.4 Ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου στην υπολογιστική ομίχλης

5.4.1 Ζητήματα ασφάλειας

Η Υπολογιστική Ομίχλης παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια των δεδομένων που συλλέγονται και μεταφέρονται σε σχέση με την Υπολογιστική Νέφους, διότι οι πληροφορίες ανταλλάσσονται τοπικά μεταξύ των τελικών συσκευών και των κόμβων ομίχλης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι εισβολείς να μην μπορούν να αποκτήσουν εύκολα πρόσβαση στα δεδομένα των χρηστών

καθώς όλη η αποθήκευση, η ανάλυση και η μεταφορά τους γίνεται τοπικά. Επιπλέον, η μεταφορά των δεδομένων μεταξύ του σύννεφου και των «έξυπνων» συσκευών δεν γίνεται σε πραγματικό χρόνο το οποίο αποτρέπει τον εντοπισμό κρίσιμων πληροφοριών που αφορούν τους χρήστες από ανεπιθύμητους. Η Υπολογιστική Ομίχλης είναι πιο ασφαλής από την Υπολογιστική Νέφους ωστόσο δεν αποτελεί ένα πλήρως ασφαλές σύστημα. Μερικές απειλές που έρχεται να αντιμετωπίσει στην ασφάλεια του συστήματος της αναλύονται παρακάτω [**55**].

- **Πλαστές πληροφορίες και ανεπιθύμητο περιεχόμενο (Forgery and Spam):** Προκειμένου πολλοί εισβολείς να μπορέσουν να παραπλανήσουν τους χρήστες για να αποκτήσουν πρόσβαση σε κρίσιμες πληροφορίες, δημιουργούν ψεύτικα προφίλ και προσθέτουν ψεύτικες πληροφορίες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σπατάλη αποθηκευτικού χώρου, του εύρους ζώνης καθώς και σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Το ανεπιθύμητο περιεχόμενο περιλαμβάνει περιττές ή ανεπιθύμητες πληροφορίες οι οποίες δεσμεύουν άσκοπα τους χώρους αποθήκευσης [**55**].
- **Παραβίαση (Tampering):** Πολλοί εισβολείς προσπαθώντας να αποτρέψουν την παράδοση των πραγματικών δεδομένων στους τελικούς χρήστες μπορεί είτε να αλλάξουν τα δεδομένα είτε να τα απομακρύνουν προκειμένου να μην φτάσουν ποτέ στον τελικό προορισμό τους. Στην περίπτωση της επικοινωνίας των συσκευών μέσω ενός ασύρματου δικτύου είναι δύσκολο να εξακριβωθεί εάν αυτή η τροποποίηση στα δεδομένα προκλήθηκε είτε από αποτυχία της μετάδοσης είτε από εισβολέα [**55**].
- **Μπλοκάρισμα (Jamming):** Πολλές φορές οι εισβολείς προκειμένου να μπλοκάρουν οποιοδήποτε κανάλι επικοινωνίας και να αποτρέψουν τη χρήση των υπηρεσιών υπολογισμού και δρομολόγησης της ομίχλης στους χρήστες μπορεί να δημιουργήσουν ένα μεγάλο αριθμό περιττών ή ψεύτικων μηνυμάτων. Συνήθως χαρακτηρίζεται ως Denial-of-Service, στην περίπτωση που ένας χρήστης δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποια υπηρεσία της Υπολογιστικής Ομίχλης εξαιτίας των παραπλανητικών δεδομένων. Είναι ένα συχνό φαινόμενο στην Υπολογιστική Ομίχλης λόγω των περιορισμένων πόρων που διατίθενται [**55**].
- **Υποκλοπή (Eavesdroppin):** Στην περίπτωση που δεν εφαρμόζονται μηχανισμοί κρυπτογράφησης για τον έλεγχο ταυτότητας των συσκευών πολλοί εισβολείς παρακολουθούν τα κανάλια επικοινωνίας προκειμένου να αποσπάσουν σημαντικές πληροφορίες [**55**].
- **Συμπαιγνία (Collusion):** Πολλές φορές ο συνδυασμός από δύο ή περισσότερα μέρη τα οποία μπορεί να αφορούν είτε μια συσκευή στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων ή μια συσκευή στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και κόμβους ομίχλης ή του σύννεφου και των κόμβων ομίχλης μπορεί να εξαπατήσουν έναν χρήστη. Αυτό μπορεί να αυξήσει την πιθανότητα κάποιας επίθεσης [**55**].
- **Man in the Middle:** Μεταξύ μιας συσκευής του Διαδικτύου των Αντικειμένων και ενός κόμβου ομίχλης μπορεί να βρίσκεται ένας εισβολέας και να παρακολουθεί τις κινήσεις των χρηστών, να τροποποιεί τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ χωρίς οι ίδιοι να έχουν επίγνωση για αυτές τις ενέργειες [**55**].
- **Πλαστοπροσωπία (Impersonation):** Ένας εισβολέας προκειμένου να έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες που παρέχονται από τους κόμβους ομίχλης, μπορεί να ενεργήσει ως νόμιμος χρήστης προκειμένου να εκμεταλλευτεί τις πληροφορίες στις οποίες αποκτά πρόσβαση, με κακόβουλο τρόπο [**55**].

5.4.2 Ζητήματα απορρήτου

Ένα ακόμα σημαντικό ζήτημα που τίθεται στην Υπολογιστική Ομίχλης είναι η προστασία του απορρήτου των δεδομένων τα οποία υπόκεινται σε επεξεργασία, συλλέγονται και ανταλλάσσονται. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε τέσσερα είδη απειλών απορρήτου με τα οποία έρχεται αντιμέτωπη η Υπολογιστική Ομίχλης [**55**].

- **Απόρρητο Ταυτότητας:** Η ταυτότητα ενός χρήστη χαρακτηρίζεται από το όνομα του, τη διεύθυνση του και άλλα προσωπικά στοιχεία τα οποία μπορεί να γνωστοποιηθούν εύκολα κατά τον έλεγχο της ταυτότητας ενός χρήστη χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες της Υπολογιστικής Ομίχλης [**55**].
- **Απόρρητο Δεδομένων:** Μέσω της χρήσης των υπηρεσιών της Υπολογιστικής Ομίχλης μερικές από τις προσωπικές πληροφορίες που αφορούν έναν χρήστη μπορεί να είναι εκτεθειμένες λόγω του ότι διατηρούνται σε κάποιο τρίτο μέρος στους κόμβους ομίχλης [**55**].
- **Απόρρητο Χρήσης:** Μέσα από το μοτίβο χρήσης καταγράφονται πολλές πληροφορίες σχετικά με το πότε οι χρήστες έχουν χρησιμοποιήσει κάποιες από τις υπηρεσίες των κόμβων ομίχλης και άλλες πολλές λεπτομέρειες, οι οποίες είναι πολύ επικίνδυνο στην περίπτωση που υπάρξει κάποια διαρροή των πληροφοριών αυτών [**55**].
- **Απόρρητο Τοποθεσίας:** Μέσα από την χρήση των υπηρεσιών που παρέχονται από τους κόμβους ομίχλης είναι πολύ εύκολο να εντοπιστεί η τοποθεσία του κάθε χρήστη. Με την εύρεση του κόμβου ομίχλης είναι πολύ εύκολο να προσεγγιστεί η τοποθεσία στην οποία είναι συνδεδεμένος ο χρήστης και ο εισβολέας να αποσπάσει κρίσιμες πληροφορίες [**55**].

5.5 Σύγκριση υπολογιστικής νέφους και υπολογιστικής άκρων σε σχέση με την ανάπτυξη της υπολογιστικής ομίχλης

Με την ανάπτυξη και την εφαρμογή της Υπολογιστικής Νέφους ως μια τεχνολογία υπολογισμού ήρθε στο προσκήνιο μια νέα εποχή για την πληροφορική. Πολλές μεγάλες εταιρείες έχουν υιοθετήσει αυτό το υπολογιστικό παράδειγμα για την παροχή υπηρεσιών μέσω του Διαδικτύου, όπως η Google, η Amazon, η IBM, η Microsoft. Προκειμένου να διαχειριστούν διάφορα επιχειρηματικά ή εκπαιδευτικά θέματα παρέχουν υπηρεσίες που βασίζονται στο σύννεφο όπως η υποδομή ως υπηρεσία, η πλατφόρμα ως υπηρεσία και το λογισμικό ως υπηρεσία. Παρόλο που η Υπολογιστική Νέφους αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία έχει φέρει σημαντικά κρίσιμα ζητήματα ως προς την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχει λόγω καθυστερήσεων στο δίκτυο και της ανεπάρκειας στο να διαχειριστεί ένα μεγάλο όγκο δεδομένων. Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων προτάθηκαν δύο ακόμα υπολογιστικά παραδείγματα ως επεκτάσεις του σύννεφου, τα οποία αποτελούν η Υπολογιστική των Άκρων και η Υπολογιστική Ομίχλης. Σε αυτή την ενότητα επικεντρωνόμαστε στη σύγκριση της Υπολογιστικής Νέφους με την Υπολογιστική Ομίχλης και στη σύγκριση της Υπολογιστικής των Άκρων με την Υπολογιστική Ομίχλης προκειμένου να αναδείξουμε την αξία της Ομίχλης ως μια εξέλιξη της Υπολογιστικής Νέφους επιλύοντας πολλά ζητήματα και αναδεικνύοντας την ως την καλύτερη αποδεκτή λύση [**48**][**49**].

5.5.1 Σύγκριση Υπολογιστικής Νέφους και Υπολογιστικής Ομίχλης

Η Υπολογιστική Νέφους αποτελεί μια τεχνολογία η οποία παρέχει κατ' απαίτηση υπηρεσίες που αφορούν την επεξεργασία και την αποθήκευση των δεδομένων για διάφορες εφαρμογές. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελείται από μια ομάδα εικονικοποιημένων

πόρων στα κέντρα δεδομένων του σύννεφου προκειμένου να μπορεί να πραγματοποιηθεί η αποθήκευση, η επεξεργασία, η επικοινωνία καθώς και η παροχή των κατάλληλων υπηρεσιών. Παρόλο που η υπολογιστική ισχύς στο σύννεφο είναι αρκετά ισχυρή με αποτέλεσμα όλες οι υπολογιστικές εργασίες να μπορούν να επιτευχθούν με αποτελεσματικότητα, λόγω της ανάπτυξης του Διαδικτύου των Αντικειμένων και της παραγωγής μεγάλων και ποικίλων ποσοτήτων δεδομένων το καθιστά αδύνατο να μπορεί να διαχειριστεί όλο αυτό το μέγεθος των πληροφοριών, εμφανίζοντας αρκετές καθυστερήσεις στο δίκτυο. Επίσης, είναι αδύνατο να εκφορτωθούν όλα αυτά τα δεδομένα στο σύννεφο και να υποστούν οποιαδήποτε επεξεργασία και αποθήκευση διότι το εύρος ζώνης του δικτύου προκαλεί αυτή την αναποτελεσματικότητα στην Υπολογιστική Νέφους. Ουσιαστικά δεν μπορεί να διαχειριστεί δεδομένα από εφαρμογές οι οποίες βασίζονται σε πραγματικό χρόνο [**51**].

Η Υπολογιστική Ομίχλης έρχεται να αντιμετωπίσει αυτά τα ζητήματα μεταφέροντας όλες τις υπολογιστικές εργασίες και την αποθήκευση των δεδομένων στην άκρη του δικτύου, έτσι ώστε να βρίσκονται πιο κοντά στους τελικούς χρήστες. Τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία και να αποθηκευτούν τοπικά με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται να εκφορτωθούν όλα στο σύννεφο. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτύχει σημαντική μείωση στην ποσότητα της μετάδοσης του δικτύου, να εξοικονομήσει εύρος ζώνης και να παρέχει υψηλότερου επιπέδου ανάλυση των δεδομένων και ποιότητας των υπηρεσιών [**51**].

Η Υπολογιστική Νέφους και η Υπολογιστική Ομίχλης έχει η καθεμία τα δικά της πλεονεκτήματα ωστόσο σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό πρέπει να συνεργάζονται ενεργά μεταξύ τους. Στο παρακάτω πίνακα βλέπουμε συγκεντρωτικά τις διαφορές των δύο αυτών τεχνολογιών [**51**].

	Υπολογιστική Νέφους	**Υπολογιστική Ομίχλης**
Καθυστέρηση	Υψηλή	Χαμηλή
Αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο	Υποστηρίζεται	Υποστηρίζεται
Κινητικότητα	Περιορισμένη	Υποστηρίζεται
Ευαισθητοποίηση τοποθεσίας	Υποστηρίζεται εν μέρει	Υποστηρίζεται
Αριθμός κόμβων του διακομιστή	Λίγοι	Πολλοί
Γεωγραφική Κατανομή	Κεντρική	Κατανεμημένη και αποκεντρωμένη

Απόσταση από τις τελικές συσκευές	Μακριά	Κοντά
Τοποθεσία υπηρεσίας	Μέσα στο Διαδίκτυο	Στην άκρη του τοπικού δικτύου
Περιβάλλον εργασίας	Ειδικά κτίρια κέντρα δεδομένων	Εξωτερικοί ή εσωτερικοί χώροι
Τρόπος επικοινωνίας	Δίκτυο IP	Ασύρματη ή ενσύρματη επικοινωνία
Εξάρτηση από την ποιότητα του κεντρικού δικτύου	Δυνατή	Αδύναμη
Κόστος εύρους ζώνης	Υψηλό	Χαμηλό
Δυνατότητες υπολογισμού και αποθήκευσης	Δυνατή	Αδύναμη
Κατανάλωση ενέργειας	Υψηλή	Χαμηλή

Πίνακας 5. Σύγκριση Υπολογιστικής Νέφους και Υπολογιστικής Ομίχλης

Όπως παρατηρούμε από τον Πίνακα 5, η ευαισθητοποίηση σχετικά με την τοποθεσία, υποστηρίζεται εν μέρει στην Υπολογιστική Νέφους με την ίδια να εντοπίζεται ως ένα συγκεντρωτικό μέρος όπου χρησιμεύει ως μια κεντρική πύλη πληροφοριών με αποτέλεσμα να μην έχει επίγνωση της θέσης. Ενώ η Υπολογιστική Ομίχλης υποστηρίζεται πλήρως καθώς επεκτείνει όλους τους υπολογισμούς στην άκρη του δικτύου, πραγματοποιώντας τοπική επεξεργασία των πληροφοριών στις εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα να μπορεί να εντοπίσει πιο εύκολα τη θέση των κόμβων ομίχλης στις αντίστοιχες συσκευές. Από την άλλη, η υποστήριξη της κινητικότητας είναι περιορισμένη για την Υπολογιστική Νέφους ενώ υποστηρίζεται από την Υπολογιστική Ομίχλης. Σχετικά με τις δυνατότητες υπολογισμού και αποθήκευσης, όπως παρατηρούμε στην Υπολογιστική Νέφους είναι αρκετά ισχυρές καθώς η εφαρμογή του Νέφους συνήθως εντοπίζεται σε απομακρυσμένα κέντρα δεδομένων από τις τελικές συσκευές ενώ στην Υπολογιστική Ομίχλης είναι αρκετά αδύναμες καθώς χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός συσκευών στην άκρη του δικτύου για την παροχή των υπηρεσιών. Όπως βλέπουμε, ο τρόπος επικοινωνίας στην Υπολογιστική Νέφους εξαρτάται από δίκτυα IP διότι εντοπίζεται σε ένα κέντρο δεδομένων μακριά από τις τελικές συσκευές ενώ η Υπολογιστική Ομίχλης βασίζεται στην ασύρματη ή ενσύρματη επικοινωνία. Τέλος η εξάρτηση από την ποιότητα του κεντρικού δικτύου είναι ισχυρότερη στην Υπολογιστική Νέφους απ’ ότι στην Υπολογιστική Ομίχλης ενώ το κόστος του εύρους ζώνης είναι υψηλότερο στην Υπολογιστική Νέφους [**51**].

5.5.2 Σύγκριση Υπολογιστικής των Άκρων και Υπολογιστικής Ομίχλης

Η Υπολογιστική των Άκρων αποτελεί ένα ακόμα υπολογιστικό παράδειγμα όπου επεκτείνει τις υπηρεσίες που παρέχονται από το σύννεφο στις συσκευές άκρης. Επιτρέπει ο υπολογισμός και η αποθήκευση των δεδομένων να πραγματοποιούνται στις συσκευές άκρης δηλαδή να βρίσκονται πιο κοντά σε αντικείμενα και σε πηγές δεδομένων. Οι κόμβοι άκρης και οι συσκευές άκρης που συμπεριλαμβάνονται στην αρχιτεκτονική της Υπολογιστικής των Άκρων μπορούν να εκτελέσουν ένα μεγάλο αριθμό υπολογιστικών εργασιών είτε αυτές έχουν να κάνουν με την επεξεργασία των δεδομένων, είτε με την προσωρινή αποθήκευσή τους, είτε με τη διαχείριση των συσκευών, είτε με την ασφάλεια και την προστασία του απορρήτου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην μείωση του λανθάνοντας χρόνου του δικτύου καθώς και της κίνησης των δεδομένων μεταξύ του σύννεφου και των τελικών συσκευών. Οι κόμβοι άκρης μπορεί να αποτελούνται από αισθητήρες, «έξυπνα» τηλέφωνα, «έξυπνα» οχήματα και ειδικούς διακομιστές άκρης. Οι προκλήσεις που έχουν σημειωθεί με την Ανάπτυξη του Διαδικτύου των Αντικειμένων, όπως η μείωση της καθυστέρησης στο δίκτυο, η υψηλή ποιότητα των υπηρεσιών, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας μπορούν να αντιμετωπιστούν από την Υπολογιστική των Άκρων [**51**].

Οι στόχοι της Υπολογιστικής των Άκρων και της Υπολογιστικής Ομίχλης είναι παρόμοιοι προσεγγίζοντας σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες που προσφέρει η Υπολογιστική Νέφους κοντά στην άκρη του δικτύου. Πραγματοποιούν όλες τις υπολογιστικές εργασίες και τις διαδικασίες αποθήκευσης σε κοντινή απόσταση από τους τελικούς χρήστες προκειμένου να επιτύχουν μείωση του λανθάνοντας χρόνου στις υπηρεσίες και να εξοικονομήσουν εύρος ζώνης σε εφαρμογές που είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις. Στους παρακάτω πίνακες αναλύονται οι ομοιότητες των δύο αυτών τεχνολογιών καθώς και οι διαφορές που εντοπίζονται στην εφαρμογή τους [**51**].

	Υπολογιστική των Άκρων	**Υπολογιστική Ομίχλης**
Αρχιτεκτονική	Ιεραρχική, αποκεντρωμένη, κατανεμημένη	Ιεραρχική, αποκεντρωμένη, κατανεμημένη
Εγγύτητα στις τελικές συσκευές	Βρίσκεται στις τελικές συσκευές	Δίπλα στις τελικές συσκευές
Καθυστέρηση	Χαμηλή	Χαμηλή
Κόστος εύρους ζώνης	Χαμηλή	Χαμηλή
Πόροι	Περισσότερο περιορισμένη	Περιορισμένη
Δυνατότητες υπολογισμού και αποθήκευσης	Περισσότερο περιορισμένη	Περιορισμένη
Κινητικότητα	Υποστηρίζεται	Υποστηρίζεται

Επεκτασιμότητα	Υψηλή	Υψηλή
Υπηρεσία	Εικονικοποιημένη	Εικονικοποιημένη

Πίνακας 6. Ομοιότητες Υπολογιστικής των Άκρων και Υπολογιστικής Ομίχλης.

Όπως παρατηρούμε από τον Πίνακα 6, οι αρχιτεκτονικές που ακολουθούν η Υπολογιστική των Άκρων και η Υπολογιστική Ομίχλης είναι ίδιες αλλά διαφέρουν από την κεντρική αρχιτεκτονική που εφαρμόζει η Υπολογιστική Νέφους. Η Υπολογιστική των Άκρων πραγματοποιεί τους υπολογισμούς στις τελικές συσκευές στην άκρη του δικτύου ενώ η Υπολογιστική Ομίχλης επεκτείνει τους υπολογισμούς κοντά στις τελικές συσκευές στην άκρη του δικτύου. Οι πόροι που διαθέτουν και οι δυνατότητες υπολογισμού και αποθήκευσης είναι περιορισμένα σε σχέση με την Υπολογιστική Νέφους ενώ η Υπολογιστική των Άκρων εμφανίζει μεγαλύτερο περιορισμό σε σχέση με την Υπολογιστική Ομίχλης. Επιπλέον και οι δύο τεχνολογίες υποστηρίζουν την κινητικότητα ενώ μπορεί να επεκταθεί ολόκληρο το σύστημα τους. Η Υπολογιστική των Άκρων και η Υπολογιστική Ομίχλης αποτελούν δύο εικονικοποιημένες πλατφόρμες καθώς πολλές φορές το δίκτυο και οι κόμβοι δεν αποτελούν φυσικά αντικείμενα παρέχοντας εικονικοποιημένες υπηρεσίες [**51**].

Παρόλο που και η Υπολογιστική των Άκρων και η Υπολογιστική Ομίχλης έχουν τον ίδιο στόχο, υπάρχουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους. Στην Υπολογιστική των Άκρων, οι συσκευές της άκρης δεν μπορούν να υποστηρίξουν πολλές εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων λόγω των περιορισμένων πόρων που διαθέτουν συνεπώς θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη καθυστέρηση ως προς την επεξεργασία των δεδομένων. Σε αντίθεση, η Υπολογιστική Ομίχλης μπορεί να ξεπεράσει αυτούς τους περιορισμούς. Προκειμένου να βελτιώσει την εμπειρία του χρήστη, χρησιμοποιεί γεωγραφικά κατανεμημένες συσκευές άκρης και πόρους του σύννεφου έτσι ώστε να μπορεί να εξισορροπήσει τη χρήση των πόρων που απαιτούνται στους υπολογισμούς. Επιπλέον, η Υπολογιστική των Άκρων επικεντρώνεται στο επίπεδο των αντικειμένων ενώ η Υπολογιστική Ομίχλης στο επίπεδο της υποδομής. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά οι διαφορές των δύο αυτών τεχνολογιών [**51**].

	Υπολογιστική των Άκρων	**Υπολογιστική Ομίχλης**
Θέση δεδομένων, συλλογή, επεξεργασία, αποθήκευση	Άκρη δικτύου, συσκευές άκρης	Κοντά στις τελικές συσκευές στην άκρη του δικτύου
Διαχείριση πολλαπλών εφαρμογών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων	Δεν υποστηρίζεται	Υποστηρίζεται
Επίδραση πόρων	Αισθητή	Ασήμαντη

Εστίαση	Επίπεδο αντικειμένων	Επίπεδο υποδομής

Πίνακας 7. Διαφορές Υπολογιστικής των Άκρων και Υπολογιστικής Ομίχλης

5.6 Ο ρόλος της Υπολογιστικής Ομίχλης στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων

Το μοντέλο της Υπολογιστικής Νέφους έρχεται να αντιμετωπίσει σημαντικές προκλήσεις για διάφορες εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων κυρίως με αυτές που είναι ευαίσθητες στο χρόνο όπως η ροή βίντεο, τα παιχνίδια, η επαυξημένη πραγματικότητα. Η Υπολογιστική Ομίχλης ως μια εξέλιξη της Υπολογιστικής Νέφους έρχεται να επιλύσει κάποια σημαντικά ζητήματα προσθέτοντας ένα επιπλέον επίπεδο μεταξύ των τελικών συσκευών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και των υπηρεσιών που παρέχονται από το σύννεφο. Προκειμένου να αυξήσει την αποτελεσματικότητα στις εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, υποβάλλει την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές σε πραγματικό χρόνο. Μεταφέρει όλες τις υπολογιστικές δυνατότητες, τη δικτύωση του σύννεφου και την αποθήκευση των δεδομένων στην άκρη του δικτύου αντιμετωπίζοντάς τα ζητήματα που έχουν προκληθεί στις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας πιο ασφαλής και αποτελεσματικές εφαρμογές. Μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών όπως αποτελούν τα συνδεδεμένα οχήματα μπορεί να επιτύχει αποτελεσματική επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο αξιοποιώντας στο συγκεκριμένο παράδειγμα του διακομιστές μεσολάβησης και τα σημεία πρόσβασης που τοποθετούνται σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους. Ενώ, αποτελεί την καλύτερη επιλογή για εφαρμογές που παρουσιάζουν χαμηλό λανθάνοντα χρόνο δηλαδή μικρό χρόνο αδράνειας στο δίκτυο. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων μπορεί να αποφέρει πολλά οφέλη σε διάφορες εφαρμογές που αντιμετωπίζουν κρίσιμα ζητήματα. Για να επιτύχει μείωση της καθυστέρησης ειδικά σε εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στο χρόνο, μπορεί να αλληλεπιδρά σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των συσκευών. Επίσης μπορεί να υποστηρίξει δίκτυα αισθητήρων μεγάλης κλίμακας αντιμετωπίζοντας με αυτό τον τρόπο τα προβλήματα που προκύπτουν από το συνεχόμενο αυξανόμενο αριθμό των συσκευών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Πιο συγκεκριμένα για τις εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, μπορεί να προσφέρει:

- **Χαμηλή καθυστέρηση**: Με την εκτέλεση όλων των υπολογισμών που αφορούν τη διαχείριση και την ανάλυση των δεδομένων στην άκρη του δικτύου, κοντά στους τελικούς χρήστες μπορεί να αντιμετωπίσει τις καθυστερήσεις που παρουσιάζουν πολλές εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων που είναι ευαίσθητες στο χρόνο.
- **Εξοικονόμηση εύρους ζώνης δικτύου:** Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται κατά μήκος του σύννεφου στις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Με αυτό τον τρόπο η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται σύμφωνα με τις απαιτήσεις που έχει η εφαρμογή και με τους διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους και τους πόρους του δικτύου. Αυτό έχεις ως αποτέλεσμα να μειώνεται η ποσότητα των δεδομένων που θα εκφορτωθεί στο σύννεφο, μειώνοντας αρκετά το εύρος ζώνης του δικτύου.
- **Συσκευές με περιορισμένους πόρους:** Η Υπολογιστική Ομίχλης μπορεί να πραγματοποιήσει την διαχείριση και την ανάλυση των δεδομένων σε συσκευές οι οποίες έχουν περιορισμένους πόρους ενώ χρειάζονται περισσότερους και δεν μπορούν να μεταφέρουν τα δεδομένα τους στο σύννεφο προκειμένου να

εκτελεστούν οι απαραίτητες λειτουργίες. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η πολυπλοκότητα των συσκευών, το κόστος του κύκλου ζωής τους και η κατανάλωση ενέργειας.

- **Αδιάκοπες υπηρεσίες:** Η Υπολογιστική ομίχλης μπορεί να παρέχει υπηρεσίες και να εκτελεί κανονικά όλους τους υπολογισμούς ακόμα και αν προκύπτει κάποια ακανόνιστη συνδεσιμότητα στο δίκτυο με το σύννεφο.
- **Προκλήσεις ασφάλειας στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων:** Οι συσκευές οι οποίες διαθέτουν ελάχιστους πόρους εμφανίζουν και περιορισμό ως προς την ασφάλεια των δεδομένων τους. Η Υπολογιστική Ομίχλης μπορεί να εξασφαλίσει μεγαλύτερη ασφάλεια των πληροφοριών λειτουργώντας ως διακομιστής μεσολάβησης για τις συσκευές, παρέχοντας συνεχή ενημέρωση του λογισμικού τους και των διαπιστευτηρίων ασφάλειας, παρακολουθώντας την κατάσταση των συσκευών που βρίσκονται κοντά στους τελικούς χρήστες.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η Υπολογιστική Ομίχλης αποτελεί μια τεχνολογία η οποία έρχεται να αντιμετωπίσει πολλά σημαντικά ζητήματα παρέχοντας αποτελεσματικούς τρόπους προκειμένου να ξεπεραστούν πολλοί περιορισμοί που έχουν προκληθεί από άλλα υπολογιστικά παραδείγματα και να αποκτήσει ένα σημαντικό ρόλο στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων **[60].**

5.7 Τεχνολογίες που υποστηρίζουν την ανάπτυξη της υπολογιστικής ομίχλης

Για την ανάπτυξη και την υποστήριξη της τεχνολογίας της Υπολογιστικής Ομίχλης υπάρχουν ορισμένες τεχνολογίες μέσα από τις οποίες παρέχει πιο «έξυπνες» και ευέλικτες υπηρεσίες στους χρήστες. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε όλες τις τεχνολογίες που μπορούν να υποστηρίξουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία και μπορεί να βρει εφαρμογή η Υπολογιστική Ομίχλης [**51**].

5.7.1 Τεχνολογίες Υπολογισμών (Computing technologies)

Η Υπολογιστική Ομίχλης αποτελεί ένα παράδειγμα υπολογισμού όπου μπορεί να πραγματοποιήσει τοπικά τις υπολογιστικές και επεξεργαστικές διεργασίες των δεδομένων κοντά στις τελικές συσκευές. Λόγω του ότι βρίσκεται πιο κοντά στους χρήστες, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτει χαμηλή καθυστέρηση στο δίκτυο. Αυτός ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιήσει όλες τις υπολογιστικές διεργασίες και να επιτύχει χαμηλή καθυστέρηση στο δίκτυο, θα πρέπει να υποστηρίζεται από ορισμένες τεχνολογίες υπολογισμών.

- **Υπολογισμός Εκφόρτωσης (Computing offloading):** Μέσα από τον υπολογισμό της εκφόρτωσης διάφορες συσκευές μπορούν να ξεπεράσουν τυχόν προβλήματα με περιορισμένους πόρους, βελτιώνοντας την απόδοση και εξοικονομώντας τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών. Στο μοντέλο της Υπολογιστικής Ομίχλης ένα μέρος των εργασιών μπορεί να εκφορτωθεί στους κόμβους ομίχλης επιτυγχάνοντας χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μείωση του χρόνου που απαιτείται για τους υπολογισμούς.
- **Διαχείριση Καθυστέρησης (Latency Management):** Μέσα από τη διαχείριση της καθυστέρησης, η Υπολογιστική Ομίχλης έχει ως βασικό στόχο να μπορεί να περιορίσει τους χρόνους απόκρισης μιας υπηρεσίες εντός κάποιων ορίων. Τα όρια αυτά έχουν να κάνουν με τη μέγιστη καθυστέρηση που μπορεί να εμφανίσει σε ένα αίτημα για κάποια υπηρεσία καθώς και στην ποιότητα των υπηρεσιών. Για να μπορέσει να διαχειριστεί τον λανθάνοντα χρόνο εντός του δικτύου μπορεί να

εφαρμόσει έναν μηχανισμό όπου οι υπολογιστικές διεργασίες μπορούν να διανεμηθούν και να εκτελεστούν από πολλούς κόμβους ομίχλης εντός των ορίων που θέτει.

5.7.2 Τεχνολογίες Επικοινωνίας (Communication technologies)

Οι κόμβοι ομίχλης που συμπεριλαμβάνονται στην αρχιτεκτονική της Υπολογιστικής Ομίχλης έχουν ως κύριο ρόλο τη συνδεσιμότητα που μπορεί να επιτευχθεί μεταξύ των τελικών συσκευών και των χρηστών, μεταξύ των κόμβων ομίχλης με άλλους κόμβους ομίχλης και μεταξύ των κόμβων ομίχλης με το σύννεφο. Η σύνδεση μπορεί να γίνει ασύρματα μεταξύ των τελικών συσκευών και των χρηστών, ενσύρματα ή ασύρματα με άλλους κόμβους ομίχλης και ενσύρματα ή ασύρματα μεταξύ των κόμβων ομίχλης και του σύννεφου. Η ασύρματη επικοινωνία μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από δίκτυα 3ης γενιάς (3G), 4ης γενιάς (4G), Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee και ασύρματα τοπικά δίκτυα που υποστηρίζουν την εφαρμογή της Υπολογιστικής Ομίχλης. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε άλλες τεχνολογίες επικοινωνίας.

- **Δικτύωση καθορισμένη από το λογισμικό (Software defined networking - SDN):** Το SDN αποτελεί μια μέθοδο για την υλοποίηση της εικονικοποίησης του δικτύου. Για να μπορεί να ελέγχει την κίνηση του δικτύου διαχωρίζει το επίπεδο ελέγχου όπου πραγματοποιείται από τον κεντρικό διακομιστή και το επίπεδο δεδομένων. Συγκεκριμένα, στην Υπολογιστική Ομίχλης μπορεί να βοηθήσει στη διαχείριση των ετερογενών δικτύων ομίχλης. Ο συνδυασμός του SDN και η εφαρμογή της Υπολογιστικής Ομίχλης μπορεί να επιλύσει ζητήματα σχετικά με την απώλεια των πακέτων, την ακανόνιστη συνδεσιμότητα, διάφορες συγκρούσεις που εντοπίζονται στο δίκτυο, να βελτιστοποιήσει τη χρήση των υπολογιστικών πόρων καθώς και να μειώσει το λανθάνοντα χρόνο του δικτύου.
- **Εικονικοποίηση της λειτουργίας του δικτύου (Network function virtualization - NFV):** Η εικονικοποίηση της λειτουργίας του δικτύου είναι μια αρχιτεκτονική δικτύου όπου χρησιμοποιεί τεχνολογίες εικονικοποίησης προκειμένου να δημιουργήσει διάφορες υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Αποτελείται από εικονικές μηχανές πάνω στις οποίες τρέχει διαφορετικό λογισμικό και διεργασίες σε κοινούς εξυπηρετητές, σε μεταγωγείς, συσκευές αποθήκευσης ακόμα και στο υπολογιστικό νέφος. Η Υπολογιστική Ομίχλης αξιοποιώντας τη συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να τοποθετήσει σε κόμβους ομίχλης εικονικοποιημένες πύλες, διακόπτες και τείχη προστασίας. Επίσης, μπορεί να διαχειριστεί τους υπολογιστικούς πόρους και να διαχειριστεί καλύτερα τις λειτουργίες που εκτελούνται στα ετερογενή δίκτυα της.
- **Σύστημα ασύρματης επικοινωνίας 5ης γενιάς (The fifth generation (5G) wireless communication system):** Αποτελεί μια νέα γενιά κινητής επικοινωνίας προσφέροντας μεγαλύτερη κάλυψη του σήματος, υψηλότερη ταχύτητα δικτύου, μεγαλύτερη ποσότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται, διασύνδεση ακόμα περισσότερων συσκευών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Συγκεκριμένα για την Υπολογιστική Ομίχλης δίνει τη δυνατότητα να ξεπεράσει τη συμφόρηση που προκαλείται στο δίκτυο λόγω των περιορισμένων πόρων στις συσκευές, να παρέχει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών στην ασύρματη επικοινωνία, να μειώσει τον λανθάνοντα χρόνο στο δίκτυο καθώς και να ικανοποιεί τις απαιτήσεις για εφαρμογές που μεταφέρουν δεδομένα υψηλότερης ταχύτητας.
- **Δίκτυο διανομής περιεχομένου (Content distribution network - CDN):** Αποτελεί ένα δίκτυο προσωρινής αποθήκευσης, αναπτύσσοντας τους διακομιστές μεσολάβησης στην άκρη του Διαδικτύου. Μέσα από το διακομιστή μεσολάβησης μεταφέρει τις

πληροφορίες που συλλέγει κοντά στους χρήστες επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο μείωση της καθυστέρησης που μπορεί να προκύψει κατά τη λήψη των δεδομένων και να βελτιώσει την ταχύτητα απόκρισης των υπηρεσιών. Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει την Υπολογιστική Ομίχλης να επιτύχει μείωση του εύρους ζώνης του δικτύου, μείωση της συμφόρησης και να παρέχει τις πιο επιθυμητές υπηρεσίες στους χρήστες.

- **Παθητικό δίκτυο οπτικής πρόσβασης (Long-Reach Passive Optical Network - LRPON):** Επεκτείνει την εμβέλεια του δικτύου έως και 100 χιλιόμετρα με μεγάλο αριθμό μονάδων οπτικού δικτύου. Έχει εισαχθεί στο δίκτυο της Υπολογιστικής Ομίχλης έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές οι οποίες είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις του χρόνου και απαιτούν μεγάλη κατανάλωση του εύρους ζώνης του δικτύου.

5.7.3 Τεχνολογίες αποθήκευσης (Storage technologies)

Για να επιτευχθεί η μείωση του λανθάνοντας χρόνου στο δίκτυο της Υπολογιστικής Ομίχλης ερευνήθηκε η τεχνολογία της προ-προσωρινής αποθήκευσης. Οι κόμβοι ομίχλης επιλέγουν ποια περιεχόμενα των δεδομένων που έχουν συλλέξει θα αποθηκευτούν προσωρινά στους κόμβους ομίχλης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η καθυστέρηση που μπορεί να προκύψει κατά τη λήψη των πληροφοριών από απομακρυσμένα κέντρα δεδομένων και οι εφαρμογές να μπορούν να αξιοποιήσουν πλήρως τους υπολογιστικούς πόρους παρέχοντας τις πιο επιθυμητές υπηρεσίες στους χρήστες. Λόγω του ότι οι συσκευές άκρης έχουν περιορισμένες δυνατότητες αποθήκευσης, με την επέκταση της τεχνολογίας αποθήκευσης μπορεί να βελτιώσει τις δυνατότητες της Υπολογιστικής Ομίχλης.

5.8 Εφαρμογές της Υπολογιστικής Ομίχλης

Η Υπολογιστική Ομίχλης διαθέτει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στις οποίες ανήκουν κυρίως όσες είναι ευαίσθητες στο χρόνο και πρέπει να διαχειριστούν ένα μεγάλο όγκο δεδομένων. Παρακάτω, γίνεται αναφορά στις εφαρμογές όπου μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση της Υπολογιστικής Ομίχλης [**61**].

- **Σύστημα υγειονομικής περίθαλψης (Health care):** Στον τομέα της υγείας, η επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο χρόνος που απαιτείται για την επεξεργασία των δεδομένων να είναι πολύ γρήγορος ενώ ο χρόνος απόκρισης του συστήματος όσο τον δυνατόν χαμηλότερος. Η Υπολογιστική Ομίχλης αποτελεί την ιδανική λύση καθώς χρησιμοποιείται ως ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ των τελικών συσκευών και του σύννεφου προσφέροντας υψηλότερη ποιότητα των υπηρεσιών.
- **Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented reality – AR):** Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι πολύ σημαντική η επικάλυψη των χρήσιμων πληροφοριών του φυσικού κόσμου σε πραγματικό χρόνο. Μέσα από την Υπολογιστική Ομίχλης μπορεί να επιτύχει αυτό το ζητούμενο στην επαυξημένη πραγματικότητα.
- **«Έξυπνες» δημόσιες υπηρεσίες (Smart utility services):** Η διαχείριση πολλών δημόσιων υπηρεσιών οι οποίες μπορεί να είναι το ηλεκτρικό ρεύμα, το νερό, το τηλέφωνο μπορεί να γίνει μέσω της τεχνολογίας της Υπολογιστική Ομίχλης.
- **Σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας (Traffic management system):** Με την Υπολογιστική Ομίχλης, το σύστημα κυκλοφορίας μπορεί να αυξήσει την

αποτελεσματικότητά του επιτυγχάνοντας μείωση του λανθάνοντας χρόνου του δικτύου και βελτιώνοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των οχημάτων, των σημάτων κυκλοφορίας και των σημείων πρόσβασης.

- **Προσωρινή αποθήκευση και επεξεργασία (Caching and processing):** Η Υπολογιστική Ομίχλης μπορεί να βελτιώσει την απόδοση των διάφορων ιστότοπων αξιοποιώντας το επίπεδο της ομίχλης στο οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η προσωρινή αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την πολυπλοκότητα του χρόνου και του χώρου.
- **Αποκεντρωμένος έλεγχος «έξυπνου» κτιρίου (Decentralized smart building control):** Η Υπολογιστική Ομίχλης μπορεί να προσφέρει πιο αποτελεσματικές και ασφαλής υπηρεσίες στην διαχείριση ενός «έξυπνου» κτιρίου.

5.9 Τύποι κόμβων ομίχλης

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε πέντε διαφορετικούς τύπους των κόμβων ομίχλης οι οποίοι σχετίζονται με διακομιστές, συσκευές δικτύωσης, cloudlets, σταθμούς βάσης και οχήματα [**49**].

- **Διακομιστές (Servers):** Οι διακομιστές της ομίχλης μπορούν να αναπτυχθούν και να εντοπιστούν σε διάφορα μέρη του πραγματικού κόσμου όπως οι τερματικοί σταθμοί των λεωφορείων, τα εμπορικά κέντρα, οι δρόμοι, τα πάρκα κλπ. Αποτελούν ένα πολύ σημαντικό συστατικό της Υπολογιστικής Ομίχλης καθώς είναι εικονικοποιημένοι και παρέχουν εγκαταστάσεις αποθήκευσης, υπολογισμού και δικτύωσης [**49**].
- **Συσκευές Δικτύωσης (Networking devices):** Οι συσκευές δικτύωσης αποτελούν μια πιθανή υποδομή έτσι ώστε η Υπολογιστική Ομίχλης να μπορεί να εκτελεί όλες τις απαραίτητες υπολογιστικές εργασίες εκτός από τις βασικές λειτουργίες που εκτελούν όπως προώθηση πακέτων, δρομολόγηση, μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Λόγω της κατανεμημένης ανάπτυξης τους βοηθούν την Υπολογιστική Ομίχλης να βρίσκεται παντού και να εκτελεί άμεσα όλες τις λειτουργίες που χρειάζονται [**49**].
- **Cloudlets:** Το Cloudlet επεκτείνει τις υπηρεσίες που βασίζονται στην Υπολογιστική Νέφους, βρισκόμενο στο μεσαίο επίπεδο της τελικής συσκευής, του Cloudlet και του σύννεφου. Πολλές φορές αναφέρονται ως κόμβοι ομίχλης ενώ η Υπολογιστική Ομίχλης που βασίζεται σε Cloudlet έχει το πλεονέκτημα να μπορεί να διαχειριστεί ένα μεγάλο αριθμό τελικών συσκευών [**49**].
- **Σταθμοί Βάσης (Base Stations):** Οι σταθμοί βάσης αποτελούν ένα πολύ σημαντικό συστατικό για την ασύρματη διασύνδεση του χρήστη με το δίκτυο. Λόγω του ότι παρέχουν δυνατότητες αποθήκευσης και υπολογισμού αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα της Υπολογιστικής Ομίχλης [**49**].
- **Οχήματα (Vehicles):** Χρησιμοποιώντας τα οχήματα ως κόμβους ομίχλης, μπορεί να δημιουργηθεί ένα κατανεμημένο και επεκτάσιμο περιβάλλον για την Υπολογιστική Ομίχλης. Η μετακίνηση ή η στάθμευση των οχημάτων στην άκρη του δικτύου με εγκαταστάσεις υπολογισμού μπορεί να χρησιμεύσει ως κόμβοι ομίχλης [**49**].

5.10 Σύνοψη Κεφαλαίου

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων έχει αποτελέσει ένα μεγάλο κομμάτι του πραγματικού κόσμου λόγω του συνεχόμενου αυξανόμενου αριθμού των συσκευών σε αυτό. Οι συσκευές που διασυνδέονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων παρουσιάζουν περιορισμένες δυνατότητες αποθήκευσης και επεξεργασίας των δεδομένων. Η εφαρμογή της Υπολογιστικής Νέφους δεν μπορεί να αντιμετωπίσει αυτά τα προβλήματα λόγω των υψηλών καθυστερήσεων που παρουσιάζει στο δίκτυο. Για την επίλυση όλων αυτών των ζητημάτων προτάθηκε ένα νέο υπολογιστικό παράδειγμα, αυτό της Υπολογιστικής Ομίχλης, η οποία

αποτελεί την εξέλιξη της Υπολογιστικής Νέφους. Η Υπολογιστική Ομίχλης επεκτείνετε κοντά στις τελικές συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων με αποτέλεσμα όλη η επεξεργασία και η αποθήκευση να πραγματοποιείται σε κόμβους ομίχλης κοντά στους τελικούς χρήστες, μειώνοντας αρκετά τους χρόνους καθυστέρησης και το φορτίο του δικτύου. Το συγκεκριμένο υπολογιστικό παράδειγμα αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την διαχείριση μεγάλων δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων ενώ παρέχει υψηλότερο επίπεδο των υπηρεσιών σε σχέση με το την Υπολογιστική Νέφους.

Σε αυτό το κεφάλαιο εστιάσαμε γύρω από την τεχνολογία της Υπολογιστικής Ομίχλης, την ιεραρχική αρχιτεκτονική που ακολουθεί καθώς και κάποια βασικά χαρακτηριστικά της. Επεκταθήκαμε στα ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου που έρχεται αντιμέτωπη καθώς και το βασικό ρόλο που παίζει η ενσωμάτωση της στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Έγινε η σύγκριση των τριών υπολογιστικών παραδειγμάτων που ασχοληθήκαμε σε αυτή την έρευνα ενώ στη συνέχεια αναφερθήκαμε στις βασικές τεχνολογίες μέσα από τις οποίες μπορεί να βρει εφαρμογή και να αναδειχθεί σαν τεχνολογία καθώς και κάποιες εφαρμογές του πραγματικού κόσμου, στις οποίες κατέχει ένα σημαντικό ρόλο. Τέλος αναφερθήκαμε στους βασικούς τύπους που διακρίνονται οι κόμβοι ομίχλης.

Η Υπολογιστική Ομίχλης ήρθε να φέρει μια επανάσταση ως η εξέλιξη της Υπολογιστικής Νέφους, επεκτείνοντας τις δυνατότητες επεξεργασίας, αποθήκευσης και δικτύωσης κοντά στην άκρη του δικτύου προκειμένου να μπορεί να υποστηρίξει διάφορες εφαρμογές του Διαδικτύου των Αντικειμένων που είναι ευαίσθητες στο χρόνο και να αποτελέσει ένα πιο «έξυπνο και αποτελεσματικό υπολογιστικό παράδειγμα για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

Κεφάλαιο 6: Εργαλείο προσομοίωσης/μοντελοποίησης ενός περιβάλλοντος υπολογιστικής ομίχλης.

6.1 Εργαλείο iFogSim.

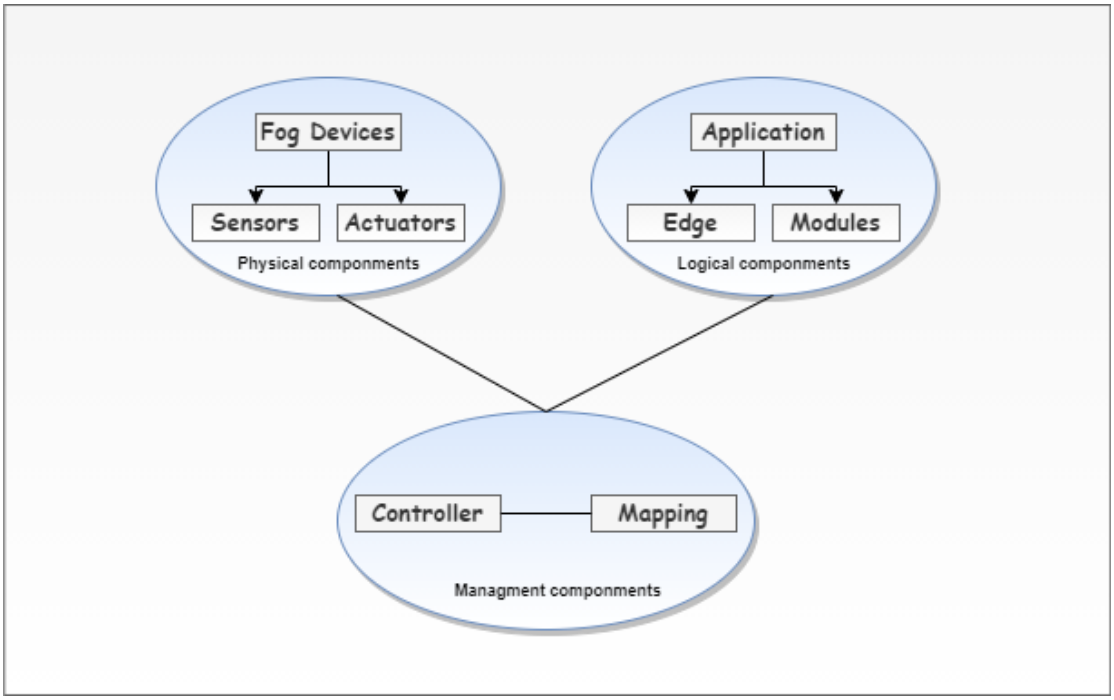
Μέσα από τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας στην παροχή υλικού και λογισμικού, το Διαδίκτυο των Αντικειμένων έχει τη δυνατότητα παροχής «έξυπνων» εφαρμογών στο φυσικό κόσμο. Οι εφαρμογές αυτές μπορεί να έχουν να κάνουν με την ιατρική περίθαλψη, την «έξυπνη» πόλη, τα «έξυπνα» οχήματα, τα «έξυπνα» εργοστάσια κ.α. Για την παροχή όλων αυτών των «έξυπνων» εφαρμογών γίνεται χρήση της Υπολογιστικής Νέφους, η οποία προσφέρει υπηρεσίες υποδομής, πλατφόρμας και λογισμικού για την ανάπτυξη των κατάλληλων συστημάτων που χρειάζεται το Διαδίκτυο των Αντικειμένων προκειμένου να μπορεί να υποστηρίξει τις συγκεκριμένες εφαρμογές. Ωστόσο η Υπολογιστική Νέφους δεν αποτελεί μια τεχνολογία η οποία μπορεί να παρέχει δυνατότητες στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων για την επίτευξη των στόχων του. Η Υπολογιστική των Άκρων και η Υπολογιστική Ομίχλης αποτελούν δύο εναλλακτικές λύσεις για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις που παρουσιάζονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων λόγω των συσκευών που προστίθενται συνεχώς. Όπως έχουμε αναφέρει, η Ομίχλη μειώνει σημαντικά της καθυστερήσεις κατά την απόκριση των υπηρεσιών καθώς η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται στους κόμβους ομίχλης, κοντά στους τελικούς χρήστες. Λόγω του ότι το περιβάλλον της Υπολογιστικής Ομίχλης συμπεριλαμβάνει τις συσκευές του Διαδικτύου των Αντικειμένων, τους κόμβους ομίχλης, τα κέντρα δεδομένων του σύννεφου καθώς και ένα μεγάλο όγκο δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, η πραγματική εφαρμογή για ένα περιβάλλον Ομίχλης είναι αρκετά δαπανηρή. Γι' αυτό το λόγο είναι αρκετά χρήσιμη η προσομοίωση ενός τέτοιου περιβάλλοντος μέσα από τη χρήση ενός προσομοιωτή [**62**].

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εστιάζουμε στη χρήση του προσομοιωτή iFogSim για τη μοντελοποίηση ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Ομίχλης και την εκτέλεση αντίστοιχων πειραμάτων. Το iFogSim αποτελεί ένα εργαλείο του οποίου η ανάπτυξη έχει βασιστεί στο εργαλείο CloudSim, το οποίο αποτελεί με τη σειρά του έναν προσομοιωτή για την διαμόρφωση ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Νέφους. Το iFogSim έχει επεκτείνει τις κλάσεις που βρίσκονται στο CloudSim έτσι ώστε να μπορεί να προσφέρει παραπάνω πεδία για την προσομοίωση της Υπολογιστικής Ομίχλης, παρέχοντας ένα μεγάλο αριθμό κόμβων ομίχλης και συσκευών για το Διαδίκτυο των Αντικειμένων, όπως αισθητήρες και ενεργοποιητές. Το συγκεκριμένο εργαλείο εφαρμόζει το μοντέλο της κατανεμημένης ροής δεδομένων (Sense-Process-Actuate) και μπορεί να προσομοιώνει ταυτόχρονα οποιοδήποτε σενάριο το οποίο μπορεί να βρει εφαρμογή σε ένα περιβάλλον Υπολογιστικής Ομίχλης. Μπορεί να εκτιμήσει την καθυστέρηση που παρουσιάζεται από άκρη σε άκρη του δικτύου, την απαραίτητη ισχύς που χρειάζεται, τα λειτουργικά έξοδα που απαιτούνται και την ικανοποίηση της ποιότητας των υπηρεσιών. Αποτελείται από τα τρία ακόλουθα στοιχεία [**62**].

- **Φυσικά Στοιχεία (Physical Components):** Στα φυσικά στοιχεία συμπεριλαμβάνονται οι συσκευές της ομίχλης, οι οποίες οργανώνονται με ιεραρχική σειρά. Οι συσκευές οι οποίες βρίσκονται σε χαμηλότερο επίπεδο συνδέονται άμεσα με τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές και λειτουργούν σαν κέντρα δεδομένων προσφέροντας μνήμη, υπολογιστικούς πόρους και δίκτυο. Διαθέτουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά για την επεξεργασία των αιτημάτων που λαμβάνουν και την απαιτούμενη ισχύς που θα καταναλωθεί [**62**].
- **Λογικά Στοιχεία (Logical Components):** Στα λογικά στοιχεία συμπεριλαμβάνονται τα AppModules (Application Modules) και τα AppEdges (Application Edges). Στο εργαλείο του iFogSim, οι εφαρμογές θεωρούνται ως μια συλλογή

αλληλεξαρτώμενων AppModules προκειμένου να μπορούν να υποστηρίξουν την έννοια της κατανεμημένης εφαρμογής. Η αλληλεξάρτηση καθορίζεται από τα AppEdges. Στην Υπολογιστική Νέφους τα AppModules μπορεί να αποτελούν εικονικές μηχανές ενώ τα AppEdges είναι η ροή των δεδομένων μεταξύ δύο εικονικών μηχανών. Στο iFogSim τα AppModules εκτελούν ένα συγκεκριμένο τύπο εργασιών [**62**].

- **Στοιχεία Διαχείρισης (Management Components):** Στα στοιχεία διαχείρισης συμπεριλαμβάνονται τα αντικείμενα Controller και Module Mapping. Το Module Mapping βασιζόμενο στα AppModules, προσδιορίζει τις απαιτήσεις που χρειάζονται στους διαθεσίμους πόρους για τις συσκευές της ομίχλης και τους τοποθετεί σε αυτές. Το Controller διαχειρίζεται περιοδικά τους πόρους στις συσκευές ομίχλης. Όταν ολοκληρωθεί η προσομοίωση, ο Controller συλλέγει όλα τα αποτελέσματα σχετικά με το κόστος, τη χρήση του δικτύου, τους χρόνους καθυστέρησης και την κατανάλωση ενέργειας κατά τη προσομοίωση από τις συσκευές ομίχλης [**62**].



Εικόνα 10. Αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων του iFogSim.

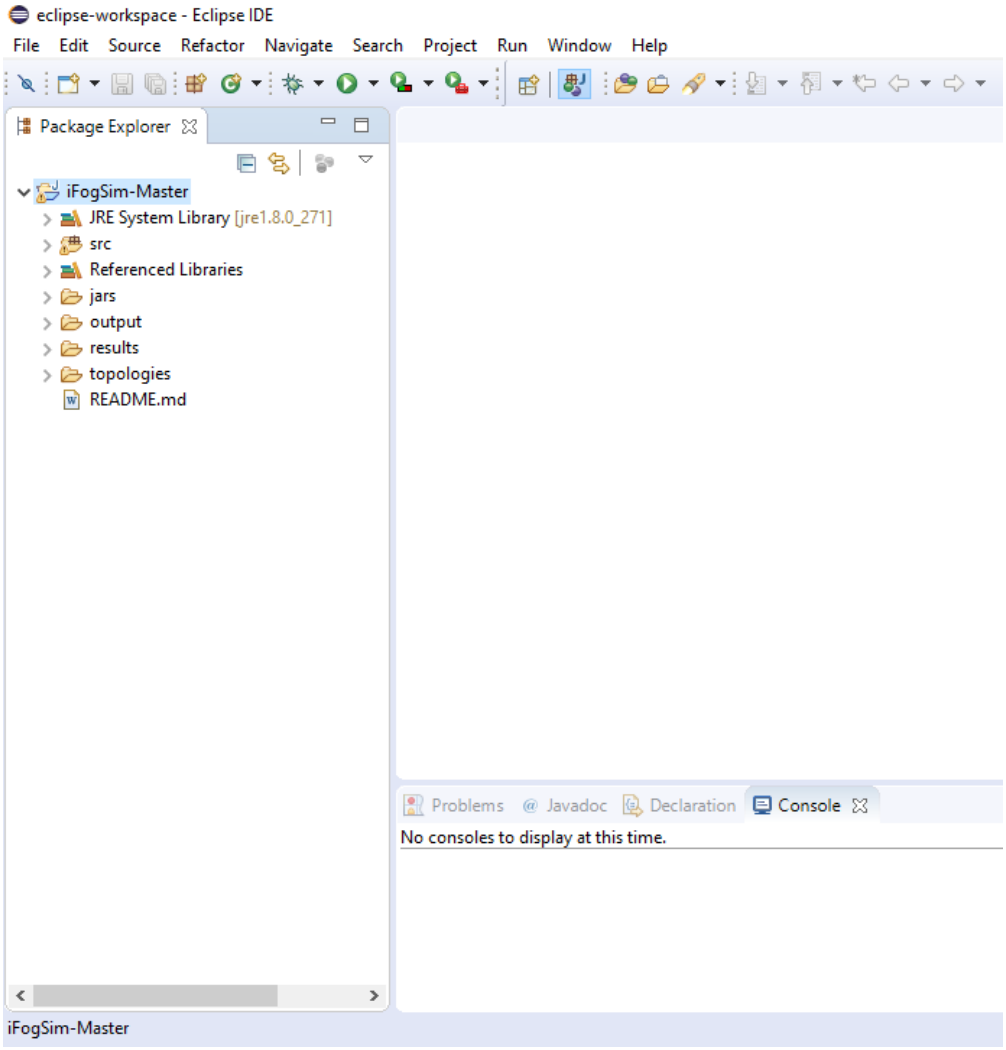
6.2 Εγκατάσταση iFogSim

Το iFogSim αποτελεί έναν προσομοιωτή ανοιχτού κώδικα σε γλώσσα Java, το οποίο αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Cloud Computing and Distributed Systems στο Πανεπιστήμιο της Μελβούρνης. Για την εγκατάσταση του εργαλείου απαραίτητη είναι η λήψη του πηγαίου κώδικα του iFogSim μέσα από ένα περιβάλλον ανάπτυξης που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό υπολογιστών [**62**].

Πιο αναλυτικά, για την παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε το Eclipse IDE, μέσα από το οποίο η εγκατάσταση του iFogSim, μπορεί να επιτευχθεί με την εξής διαδικασία.

- Λήψη του αρχείου .zip με τον πηγαίο κώδικα του iFogSim [**63**].
- Εξαγωγή του αρχείου .zip με το όνομα iFogSim-master.
- Δημιουργία ενός νέου φακέλου στο workspace του Eclipse IDE.

- Αντιγραφή και επικόλληση όλων των περιεχομένων από το φάκελο του iFogSim-master στον καινούριο φάκελο που δημιουργήθηκε.
- Δημιουργία ενός νέου Java project με το ίδιο όνομα που δόθηκε στον καινούριο φάκελο που δημιουργήθηκε στο workspace.
- Μέσα από το πακέτο **org.fog.test.perfeval** του φακέλου **src** στο project, μπορεί να πραγματοποιηθεί η εκτέλεση και η προσομοίωση παραδειγμάτων για ένα περιβάλλον Υπολογιστικής Άκρων/Ομίχλης.



Εικόνα 11. Εγκατάσταση iFogSim στο περιβάλλον του Eclipse IDE

6.3 Διαδικασία προσομοίωσης ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Ομίχλης στο iFogSim.

Σε αυτή την ενότητα περιγράφουμε αναλυτικά τα βήματα που πρέπει να προηγηθούν έτσι ώστε μπορεί να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Ομίχλης στο εργαλείο του iFogSim [**62**].

- Στο πρώτο βήμα θα πρέπει να δημιουργηθούν τα φυσικά στοιχεία, στα οποία όπως έχουμε αναφερθεί ανήκουν οι συσκευές ομίχλης, με συγκεκριμένη διαμόρφωση. Οι παράμετροι που θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν για τη διαδικασία της διαμόρφωσης είναι η μνήμη RAM, οι δυνατότητες επεξεργασίες σε εκατομμύρια εντολές ανά

δευτερόλεπτο, το κόστος ανά επεξεργασία εκατομμύριων εντολών, το εύρος ζώνης του δικτύου της άνω και κάτω ζεύξης (up link bandwidth, down-link bandwidth) καθώς και η ισχύς που χρησιμοποιείται και παραμένει αδρανής (busy and idle power) ενώ θα πρέπει να οριστεί και το ιεραρχικό επίπεδο στο οποίο βρίσκονται. Κατά τη διαδικασία δημιουργίας των συσκευών ομίχλης στο χαμηλότερο επίπεδο θα πρέπει να δημιουργηθούν και οι συσκευές του Διαδικτύου των Αντικειμένων οι οποίες αφορούν τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές. Για την δημιουργία των συγκεκριμένων συσκευών πρέπει να ληφθεί υπόψιν το αντικείμενο transmitDistribution το οποίο έχει οριστεί για τη δημιουργία των αισθητήρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων και αναφέρεται στο διάστημα ανίχνευσης. Επιπλέον, για τη δημιουργία τους απαιτείται η αναφορά σε δύο αναγνωριστικά, το application id και το broker id.

- Στο δεύτερο βήμα θα πρέπει να δημιουργηθούν τα λογικά στοιχεία τα οποία έχουν να κάνουν με τα AppModules, AppEdges και τα AppLoops. Τα AppModules δημιουργούνται απευθείας με τις διαμορφώσεις που απαιτούνται ενώ τα AppEdges παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη CPU, το μήκος του δικτύου καθώς και την πηγή προέλευσης και προορισμού των πληροφοριών.
- Στο τελευταίο βήμα, τα στοιχεία διαχείρισης αναλαμβάνουν να καθορίσουν τις διαφορετικές πολιτικές προγραμματισμού και την τοποθέτηση των AppModules. Οι χρήστες μπορούν να γνωρίζουν τη συνολική κατανάλωση ενέργειας, το λανθάνοντα χρόνο των υπηρεσιών, τη χρήση που γίνεται στο δίκτυο, τα λειτουργικά κόστη και την ετερογένεια που παρουσιάζεται μεταξύ των συσκευών. Μπορούν να τοποθετήσουν τα AppModules σε συσκευές ομίχλης και μπορούν να επεκτείνουν τη κλάση του Module Mapping. Οι πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί από τα φυσικά και λογικά στοιχεία αμέσως μετά την χαρτογράφηση των AppModules και των συσκευών ομίχλης, μπορούν να σταλθούν στον Controller προκειμένου να ξεκινήσει τη διαδικασία της προσομοίωσης ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Ομίχλης στη μηχανή του CloudSim.

6.4 Υπάρχοντα Παραδείγματα

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται μερικά «έξυπνα» συστήματα, τα οποία έχουν βρει εφαρμογή χρησιμοποιώντας το εργαλείο του iFogSim. Παρουσιάζουμε την ανάπτυξη ενός «έξυπνου» συστήματος στάθμευσης οχημάτων και διαχείρισης αποβλήτων [**45**].

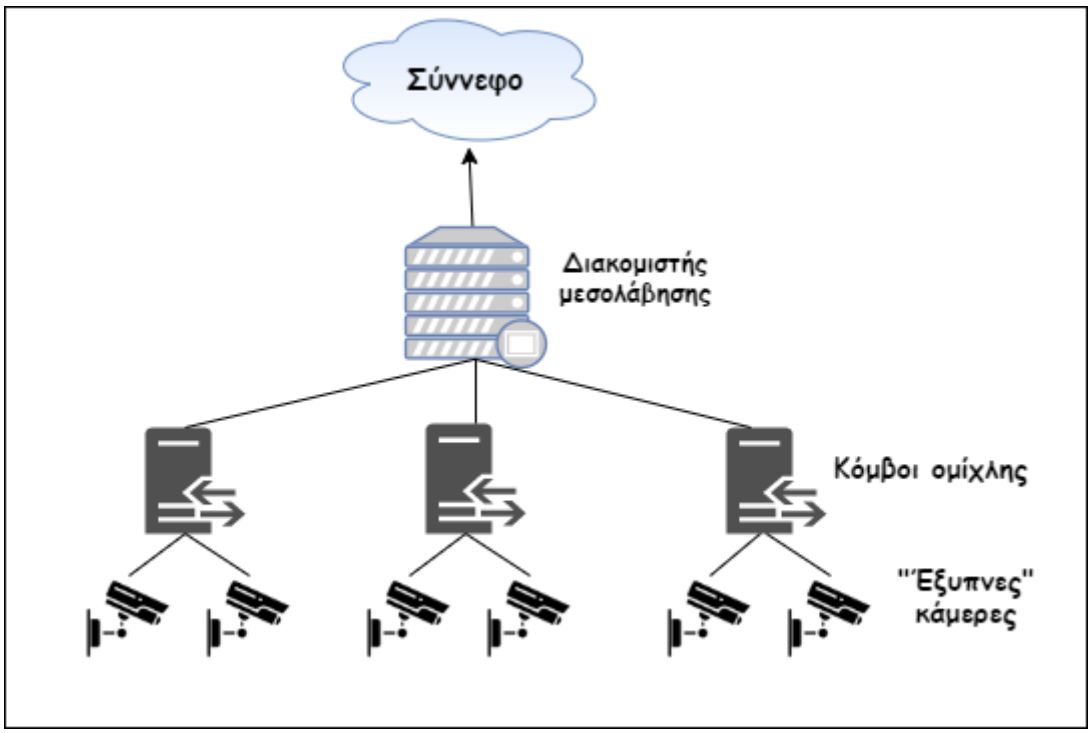
6.4.1 Έξυπνο Σύστημα Στάθμευσης Οχημάτων

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί πως οι περισσότεροι άνθρωποι τείνουν να μετακινούνται σε μεγάλες πόλεις λόγω των καλύτερων συνθηκών που μπορεί να βρουν. Λόγω αυτής της μετακίνησης των ανθρώπων, έχει παρατηρηθεί πως ο αριθμός των οχημάτων έχει αυξηθεί πολύ και ιδιαίτερα των προσωπικών οχημάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι χώροι στάθμευσης να αποτελούν ένα μεγάλο πρόβλημα για τις κατοικημένες περιοχές. Λόγω των προβλημάτων που μπορεί να προκληθούν κατά την εύρεση θέσεων στάθμευσης έχουν προταθεί αρκετές λύσεις σχετικά με την στάθμευση των αυτοκινήτων βασιζόμενο στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Παρακάτω παρουσιάζεται μια «έξυπνη» αρχιτεκτονική για την στάθμευση των οχημάτων αξιοποιώντας την Υπολογιστική Ομίχλης [**45**].

Η αρχιτεκτονική που ακολουθεί αποτελείται από:

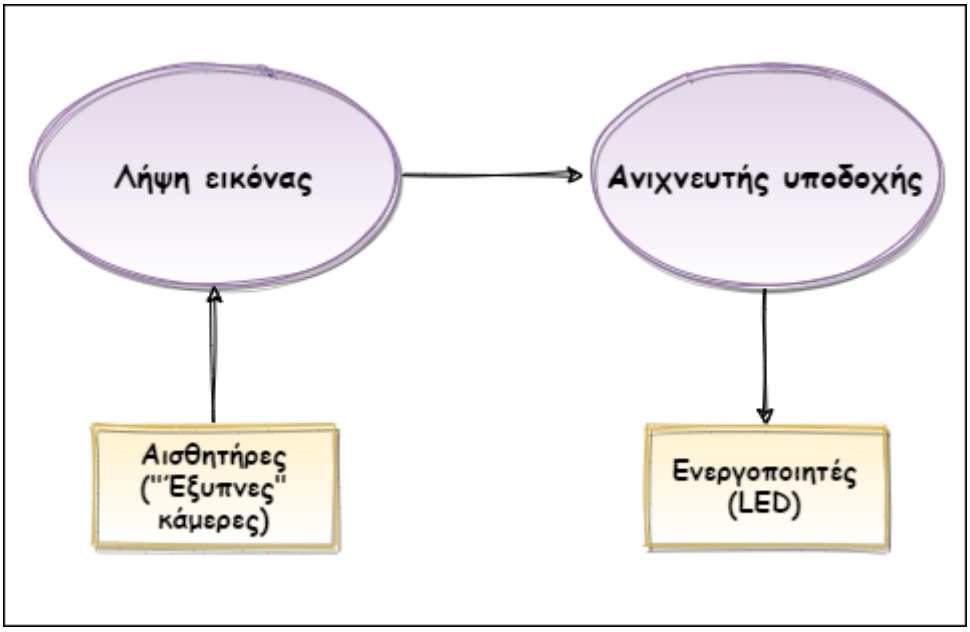
- «Έξυπνες» κάμερες
- Κόμβους ομίχλης
- Οθόνες προβολής φωτεινής διόδου (Light Emitting Diode – LED)
- Διακομιστή σύννεφου

Οι «έξυπνες» κάμερες τοποθετούνται στις λωρίδες στάθμευσης των αυτοκινήτων, λαμβάνοντας την εικόνα των λωρίδων και μεταφέρουν τις εικόνες αυτές στους κόμβους ομίχλης. Οι κόμβοι ομίχλης εφαρμόζουν κατάλληλους αλγορίθμους για την επεξεργασία της εικόνας προκειμένου να εντοπίσουν τις κενές θέσεις που υπάρχουν. Μόλις εντοπίσουν τις κενές θέσεις, οι πληροφορίες που έχουν συλλέξει σχετικά με τις θέσεις στάθμευσης ενημερώνονται απευθείας στις οθόνες προβολής – LED. Τα δεδομένα που έχουν συλλέξει αποθηκεύονται προσωρινά στους κόμβους ομίχλης και στη συνέχεια μεταφέρονται στο διακομιστή του σύννεφου για μόνιμη αποθήκευση. Όταν ο οδηγός του επιβατικού οχήματος φτάσει στον αντίστοιχο δρόμο ενημερώνεται σχετικά με τη διαθέσιμη θέση που υπάρχει και δεσμεύει τον αντίστοιχο χώρο στάθμευσης που είναι κενός. Οι πληροφορίες που συλλέγονται στο LED ενημερώνονται σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα ενώ η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων ομίχλης και του διακομιστή του σύννεφου επιτυγχάνεται μέσω ενός διακομιστή μεσολάβησης [**45**].



Εικόνα 12. «Έξυπνο» σύστημα στάθμευσης οχημάτων με βάση της Υπολογιστική Ομίχλης

Για την προσομοίωση ενός «έξυπνου» συστήματος στάθμευσης οχημάτων με τη χρήση του εργαλείου iFogSim, θα πρέπει να δημιουργηθούν δύο ενότητες, όπου η μία αφορά τη λήψη της εικόνας από τις λωρίδες στάθμευσης και η δεύτερη έναν ανιχνευτή υποδοχής. Οι «έξυπνες» κάμερες είναι ρυθμισμένες έτσι ώστε να λαμβάνουν μια καινούρια εικόνα κάθε πέντε δευτερόλεπτα και να την αποστέλλουν στους κόμβους ομίχλης. Επιπλέον, θα δημιουργηθεί ένας διακομιστής του σύννεφου και ένας διακομιστής μεσολάβησης. Ο διακομιστής μεσολάβησης μπορεί να πραγματοποιήσει την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων ομίχλης και του διακομιστή του σύννεφου. Στο συγκεκριμένο σύστημα, οι «έξυπνες» κάμερες μπορούν να λειτουργήσουν και ως αισθητήρες. Συγκεκριμένα στον προσομοιωτή του iFogSim, οι αισθητήρες λειτουργούν ως οι συσκευές που μεταφέρουν την είσοδο στο σύστημα για επεξεργασία ενώ οι ενεργοποιητές ως οι συσκευές που μεταφέρουν την έξοδο. Στο σύστημα της «έξυπνης» στάθμευσης, όταν δημιουργηθούν οι «έξυπνες» κάμερες συνδέονται στους κόμβους ομίχλης [**45**].



Εικόνα 13. Ροή δεδομένων του συστήματος «έξυπνης» στάθμευσης

Το iFogSim περιλαμβάνει ενσωματωμένες κλάσεις για τη δημιουργία των αισθητήρων, των ενεργοποιητών και των κόμβων ομίχλης. Για την εφαρμογή του «έξυπνου» συστήματος στάθμευσης θα γίνει χρήση των [**45**]:

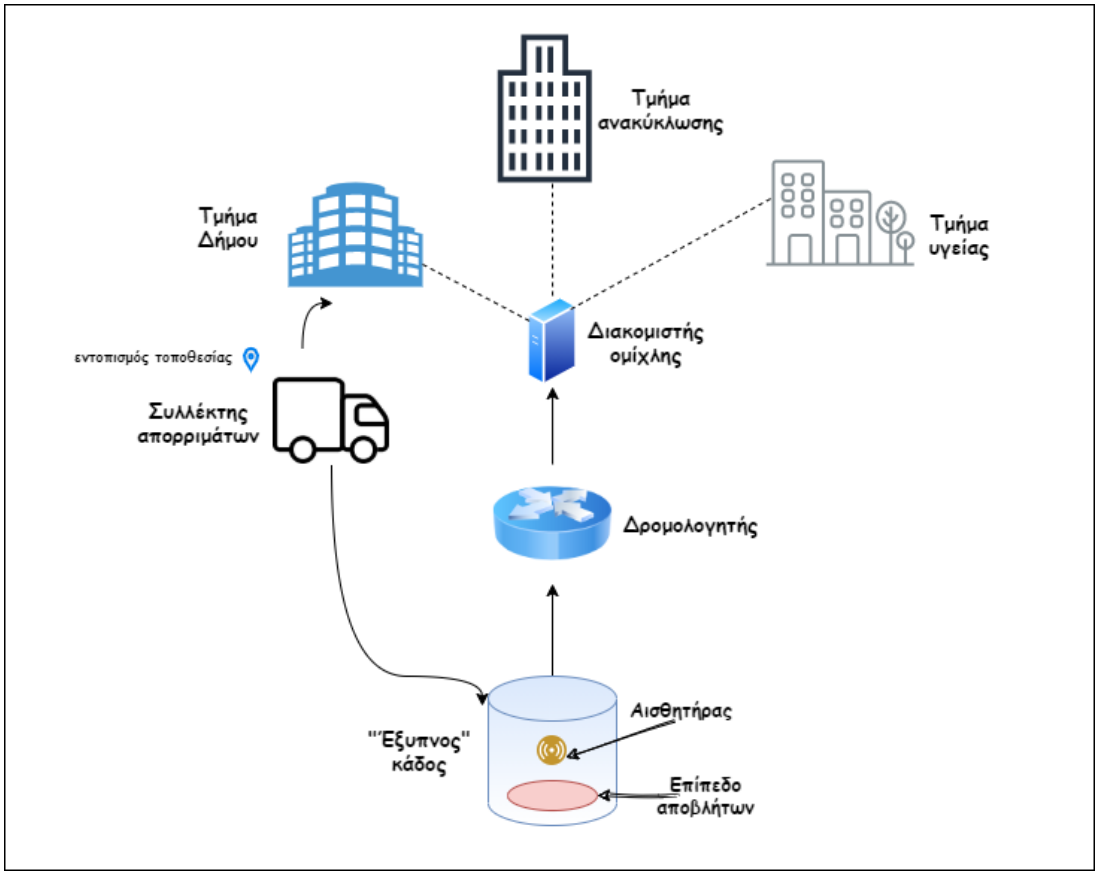
- **Συσκευές Ομίχλης**: Η συγκεκριμένη κλάση παρέχει έναν κατασκευαστή για την δημιουργία των συσκευών ομίχλης και τον τρόπο με τον οποίο θα διαμορφωθούν όπως το όνομα του κόμβου, τη μνήμη RAM του κόμβου ομίχλης, το εύρος ζώνης του δικτύου, το ποσό ισχύος που καταναλώνεται όταν ο κόμβος ομίχλης είναι απασχολημένος ή αδρανής καθώς και την επεξεργαστική ικανότητα (MIPS) της συσκευής. Μόλις δημιουργηθούν οι συσκευές ομίχλης πρέπει να εκχωρηθούν τιμές σε αυτές τις παραμέτρους [**45**].
- **Αισθητήρες:** Μέσα από την κλάση των αισθητήρων θα δημιουργηθούν οι συσκευές στο Διαδίκτυο των αντικειμένων μέσα από το εργαλείο του iFogSim. Μόλις δημιουργηθεί ο αισθητήρας θα πρέπει να αποδοθούν τιμές στο πεδίο που αφορά το αναγνωριστικό της συσκευής πύλης και της καθυστέρησης της σύνδεσης. Στη συσκευή της πύλης συνδέεται ο αισθητήρας και όλες οι συσκευές που έχουν να κάνουν με τους κόμβους ομίχλης, τον δρομολογητή, το διακομιστή μεσολάβησης. Η καθυστέρηση της σύνδεσης αφορά το χρόνο της καθυστέρησης που παρουσιάζεται κατά τη δημιουργία της σύνδεσης μεταξύ του αισθητήρα και της συσκευής ομίχλης [**45**].
- **Ενεργοποητές:** Μέσα από τους ενεργοποιητητές μπορεί να πραγματοποιηθεί η δημιουργία αντικειμένων στο εργαλείο του iFogSim. Στο σύστημα της «έξυπνης» στάθμευσης, το LED έχει δημιουργηθεί ως ενεργοποιητής καθώς η εικόνα που λαμβάνεται σχετικά με τις κενές θέσεις στις λωρίδες στάθμευσης θα εμφανίζεται στο LED. Ο ενεργοποιητής πρέπει να είναι συνδεδεμένο με οποιαδήποτε συσκευή πύλης η οποία στέλνει τα δεδομένα στο LED [**45**].

Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου συστήματος στο εργαλείο του iFogSim, θα δημιουργηθεί μια νέα κλάση στο πακέτο org.fog.test.perfeval του φάκελου src [**45**].

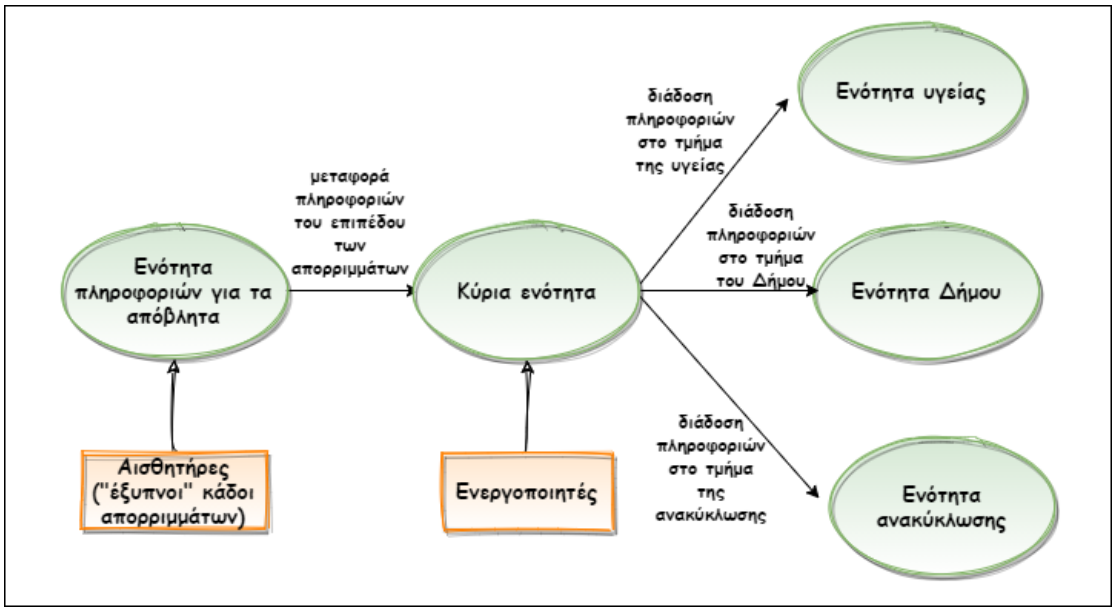
6.4.2 Έξυπνο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων

Εξαιτίας της συνεχόμενης αύξησης του πληθυσμού στις μεγάλες πόλεις, έχει παρατηρηθεί πως τα ποσοστά αποβλήτων αυξάνονται συνεχώς. Η παραγωγή των αποβλήτων δεν μπορεί να αποφευχθεί ωστόσο με την εφαρμογή «έξυπνων» συστημάτων μπορεί να γίνει καλύτερη διαχείριση. Η άμεση συλλογή των αποβλήτων μπορεί να αποτρέψει την εξάπλωση πολλών ασθενειών ενώ ταυτόχρονα μπορεί να συμβάλει στην προστασία του περιβάλλοντος, διατηρώντας το πιο «πράσινο». Ένα «έξυπνο» σύστημα σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων θα μπορούσε να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας το σύννεφο. Με τη χρήση του διακομιστή του σύννεφου μπορούν να αυτοματοποιηθούν οι διαδικασίες που αφορούν το χειρισμό των αποβλήτων. Οι «έξυπνοι» κάδοι συνδέονται με το διακομιστή του σύννεφου και οι πληροφορίες που συλλέγονται στο επίπεδο των αποβλήτων θα αποστέλλονται σε αυτόν μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Όταν το επίπεδο των αποβλήτων φτάσει σε μια συγκεκριμένη τιμή τότε θα συλλέγονται ενώ σε διαφορετική περίπτωση δεν θα πραγματοποιείται κάποια ενέργεια. Ωστόσο λόγω των προβλημάτων που μπορεί να προκαλέσει η χρήση της τεχνολογίας της Υπολογιστικής Νέφους όπως μεγάλες καθυστέρησης από άκρο σε άκρο καθώς και μεγάλη κατανάλωση του εύρους ζώνης με αποτέλεσμα να προκαλείται συμφόρηση δικτύου και να μην είναι δυνατή η διαχείριση των αποβλήτων, η καλύτερη δυνατή λύση είναι η ανάπτυξη κόμβων ομίχλης κάνοντας το σύστημα αυτό πιο αποτελεσματικό και εύκολο για όσους το διαχειρίζονται [**45**].

Για την προσομοίωση ενός συστήματος διαχείρισης αποβλήτων μέσω της Υπολογιστικής Ομίχλης με τη χρήση του εργαλείου iFogSim, προτείνετε να υπάρχουν διαφορετικού κάδοι αποβλήτων. Κάθε κάδος διακρίνεται σε διαφορετικό είδος κάδου περισυλλογής απορριμμάτων όπως οι κάδοι που συλλέγουν πλαστικό, οι κάδοι που συλλέγουν χαρτί, οι κάδοι που συλλέγουν γυαλί κ.α. Κάθε κάδος τοποθετείτε σε αγροτικές περιοχές για να επιτυγχάνεται με καλύτερο τρόπο οι συλλογή των αποβλήτων και θα είναι εξοπλισμένοι με έναν αισθητήρα (αισθητήρας υπερήχων – HC-SR04), ο οποίος θα είναι υπεύθυνος να ειδοποιεί σχετικά με τον όγκο των απορριμμάτων που έχουν συλλεχθεί και αν έχει ξεπεράσει το επιθυμητό όριο. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες εκπέμπουν κύματα σε συγκεκριμένη συχνότητα και στη συνέχεια περιμένουν το κύμα να ανακλαστεί πίσω. Το ποσοστό των αποβλήτων που βρίσκεται στον κάδο καθορίζεται από την απόσταση και το χρόνο που αφαιρείται μετά την ανάκλαση. Οι κάδοι συνδέονται με τον διακομιστή της ομίχλης μέσω ενός δρομολογητή [**45**].



Εικόνα 14. «Έξυπνο» σύστημα διαχείρισης αποβλήτων με βάση την Υπολογιστική Ομίχλης



Εικόνα 15. Ροή δεδομένων του συστήματος διαχείρισης αποβλήτων

Όπως βλέπουμε από το παραπάνω διάγραμμα, η ενότητα σχετικά με τις πληροφορίες των αποβλήτων, συλλέγει πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο των απορριμμάτων που βρίσκονται στους κάδους. Η ενότητα αυτή, μεταφέρει τα δεδομένα στην κύρια μονάδα, η οποία διαχειρίζεται τις σχετικές πληροφορίες στους κόμβους ομίχλης. Υπάρχουν ξεχωριστές ενότητες σχετικά με την υγεία, το Δήμο και την ανακύκλωση, με τις οποίες θα δημιουργηθεί

μια σύνδεση στους κόμβους ομίχλης. Ο εντοπισμός της θέσης των οχημάτων που συλλέγουν τα απόβλητα μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο [**45**].

Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου συστήματος στο εργαλείο του iFogSim, θα δημιουργηθεί μια νέα κλάση στο πακέτο org.fog.test.perfeval του φάκελου src [**45**].

6.5 Σύνοψη Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο συζητήσαμε για τη δυνατότητα προσομοίωσης ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Ομίχλης με τη χρήση προσομοιωτών όπως αποτελεί το iFogSim. Αναλύσαμε τα τρία βασικά στοιχεία τα οποία περιλαμβάνονται στο συγκεκριμένο εργαλείο και τα βασικά βήματα που πρέπει να ακολουθήσουμε για την εγκατάσταση του μέσα από ένα περιβάλλον ανάπτυξης όπως αποτελεί το Eclipse IDE, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Στην συνέχεια αναφερθήκαμε στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να γίνει μία προσομοίωση ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Ομίχλης μέσα από τον συγκεκριμένο προσομοιωτή καθώς και κάποια βασικά παραδείγματα μέσα από τα οποία βρήκε εφαρμογή το συγκεκριμένο εργαλείο με την υλοποίηση «έξυπνων» συστημάτων.

Κεφάλαιο 7. Υλοποίηση

Για την μελέτη και την εφαρμογή ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Ομίχλης σε σύγκριση με την εφαρμογή της Υπολογιστικής Νέφους βασιστήκαμε στο παράδειγμα της Παρακολούθησης «Έξυπνων» Καμερών (Intelligent Surveillance) του συγγραφέα Harshit Gupta, το οποίο προσφέρεται μέσω του εργαλείου προσομοίωσης iFogSim και δημιουργήσαμε δύο σενάρια χρήσης μέσα από τα οποία βρίσκουν εφαρμογή οι δύο αυτές τεχνολογίες προκειμένου να συγκρίνουμε την απόδοση του συστήματος μόνο με την εφαρμογή της τεχνολογίας της Υπολογιστική Νέφους και στη συνέχεια με την ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης.

Η ανάγκη για την ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος προέκυψε από το γεγονός της αδυναμίας που παρουσιάζει η παρακολούθηση διάφορων ροών βίντεο με τη χρήση καμερών με μη αυτόματο τρόπο. Γι’ αυτό ήταν αναγκαία η ανάπτυξη διάφορων εργαλείων, τα οποία θα μπορούν να αναλύουν αυτόματα τα δεδομένα που συλλέγονται από τις κάμερες και να μπορούν να παρουσιάζουν τα αποτελέσματα με τέτοιο τρόπο τα οποία θα είναι κατανοητά για τον τελικό χρήστη.

Οι απαιτήσεις ενός τέτοιου συστήματος είναι:

- **Επίτευξη επικοινωνίας με χαμηλό λανθάνοντα χρόνο στο δίκτυο**

Προκειμένου να μπορεί το σύστημα να επιτύχει χαμηλή καθυστέρηση στην επικοινωνία μεταξύ των καμερών και του συνόλου των στρατηγικών ελέγχου που εφαρμόζονται στις κάμερες, θα πρέπει οι παράμετροι των Pan Tilt Zoom (PTZ) καμερών να συντονιστούν σε πραγματικό χρόνο με βάση την εικόνα που λαμβάνουν. Οι κάμερες PTZ εφαρμόζονται σε σύγχρονα συστήματα παρακολούθησης και μπορούν να επιβλέπουν μια ολόκληρη περιοχή και να εστιάζουν σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο στο οποίο έχει εντοπιστεί επικίνδυνη δραστηριότητα. Αποτελούν κάμερες με δυνατότητες μετακίνησης, εστίασης (ζουμ) σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο και κλίσης, οι οποίες ελέγχονται απομακρυσμένα από το χρήστη μέσω του PTZ ελέγχου (PTZ control).

- **Διαχείριση μεγάλων δεδομένων**

Οι βιντεοκάμερες που συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα της «έξυπνης» παρακολούθησης λόγω των πληροφοριών που συλλέγουν στέλνουν διαρκώς καρέ βίντεο που έχουν καταγραφεί προκειμένου να υποβληθούν σε επεξεργασία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται τεράστια κίνηση δεδομένων στο δίκτυο ειδικά όταν λαμβάνουν δεδομένα απ’ όλες τις κάμερες του συστήματος. Γι’ αυτό είναι πολύ σημαντικό η διαχείριση όλου αυτού του μεγάλου αριθμού δεδομένων να γίνεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μην προκαλείται συμφόρηση και να μην επιβαρύνει το δίκτυο με αυτό τον τρόπο.

- **Βαριά μακροχρόνια επεξεργασία**

Προκειμένου να είναι δυνατό να μπορούν να εφαρμοστούν οι βέλτιστες στρατηγικές υπολογισμού ως προς τις παραμέτρους των PTZ καμερών που έχουν προσδιοριστεί θα πρέπει η στρατηγική ελέγχου της κάμερας να ενημερώνεται συνεχώς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ανάλυση των αποφάσεων που λαμβάνονται σύμφωνα με την στρατηγική ελέγχου, να απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη διεργασία να γίνεται εντατικά.

Η εφαρμογή της Υπολογιστικής Νέφους και της Υπολογιστικής Ομίχλης στο σύστημα της «έξυπνης» παρακολούθησης είναι αναγκαία καθώς αποτελούν μια πιο αποτελεσματική και ενδεδειγμένη μέθοδο για την ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από τις κάμερες. Το σύστημα της «έξυπνης» παρακολούθησης έχει ως στόχο τον συντονισμό πολλαπλών καμερών για μια συγκεκριμένη περιοχή από διαφορετικά οπτικά πεδία (Fields Of View – FOV). Για να μπορέσει να έχει καλή οπτική στην περιοχή απαιτείται όλος ο συντονισμός των

παραμέτρων διαμόρφωσης που έχουν αποδοθεί στις κάμερες PTZ. Σε περίπτωση πιθανής παραβίασης της ασφάλειας του συστήματος, στέλνεται σχετική ειδοποίηση. Ο τρόπος λειτουργίας του βασίζεται στην ανίχνευση κίνησης στο οπτικό πεδίο από τις κάμερες και στη συνέχεια αποστέλλει τη ροή βίντεο που έχει καταγράψει, στο σύστημα της «έξυπνης» παρακολούθησης. Η εφαρμογή με τη σειρά της εντοπίζει την κίνηση που έχει καταγραφεί και ξεκινά την παρακολούθηση. Η παρακολούθηση σχετίζεται με το συντονισμό των παραμέτρων διαμόρφωσης των PTZ καμερών προκειμένου να παρέχει την καλύτερη προβολή στα αντικείμενα που παρακολουθούνται. Στην περίπτωση που εντοπιστεί κάποιο συμβάν στην περιοχή που παρακολουθείται ενημερώνει αμέσως το χρήστη του συστήματος και του στέλνει συνεχόμενες ροές βίντεο που έχει καταγράψει μέσω του Διαδικτύου.

Στο iFogSim, η αρχιτεκτονική της Υπολογιστικής Ομίχλης περιλαμβάνει πολλαπλά επίπεδα το καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για να εκτελεί συγκεκριμένες εργασίες. Το κατώτερο επίπεδο αποτελείται από τις συσκευές του Διαδικτύου των Αντικειμένων οι οποίες αλληλεπιδρούν με τον πραγματικό κόσμο και αποτελούν την πηγή δεδομένων. Σε αυτές ανήκουν οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές, με τους αισθητήρες να αποτελούν την πηγή δεδομένων και τους ενεργοποιητές το μηχανισμό για τον έλεγχο του συστήματος. Οι συσκευές ομίχλης στην τοπολογία του συστήματος είναι οποιοδήποτε στοιχείο στο δίκτυο το οποίο φιλοξενεί συγκεκριμένες λειτουργικές μονάδες εφαρμογών (application modules) οι οποίες είναι υπεύθυνες για να υποβάλλουν συγκεκριμένη επεξεργασία στα δεδομένα που συλλέγονται. Για την υλοποίηση της εφαρμογής της «έξυπνης» παρακολούθησης έχουν προσδιοριστεί οι παρακάτω λειτουργικές μονάδες εφαρμογών.

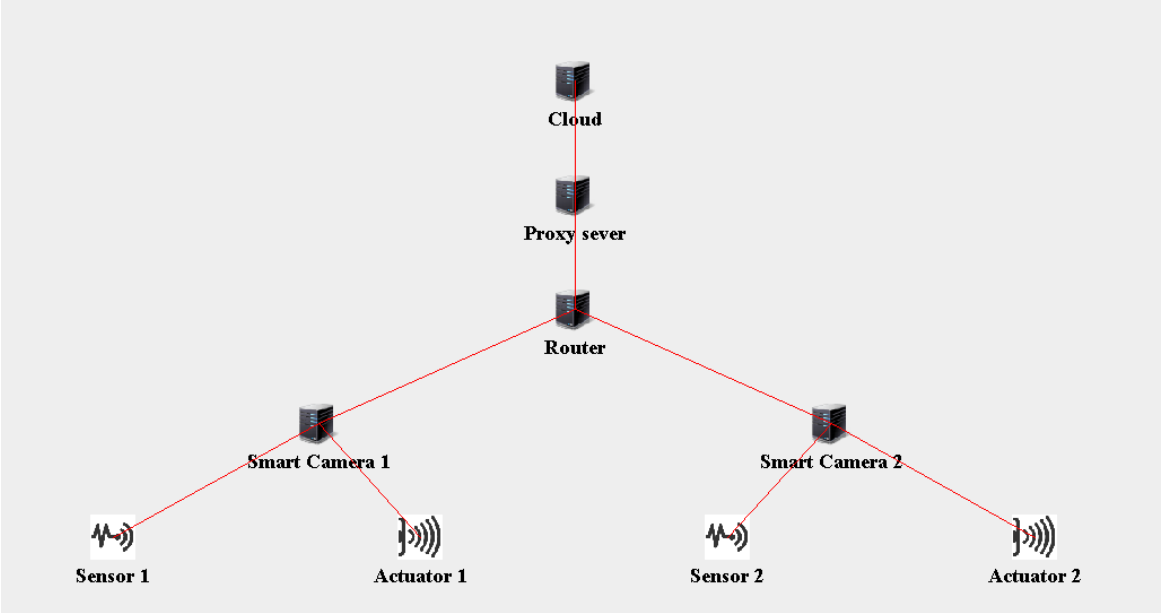
1. **Ανιχνευτής Κίνησης (Motion Detector):** Ο Ανιχνευτής Κίνησης βρίσκεται ενσωματωμένο στις «έξυπνες» κάμερες που χρησιμοποιούνται στην συγκεκριμένη εφαρμογή και διαβάζουν συνεχώς τις ροές βίντεο που καταγράφονται από τις κάμερες προκειμένου να εντοπίσουν κάποια κίνηση ενός αντικειμένου. Σε περίπτωση που εντοπίσει κίνηση ενός αντικειμένου στο οπτικό πεδίο το οποίο παρακολουθεί στέλνει σχετική ειδοποίηση στον Ανιχνευτή Αντικειμένων προκειμένου να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία.
2. **Ανιχνευτής Αντικειμένων (Object Detector):** Ο Ανιχνευτής Αντικειμένων λαμβάνει ροές βίντεο από τις «έξυπνες» κάμερες στην περίπτωση που έχουν εντοπίσει κίνηση ενός αντικειμένου. Εξάγει τις πληροφορίες που έχει συλλέξει για το συγκεκριμένο αντικείμενο και το συγκρίνει με αντικείμενα που είχαν εντοπιστεί από προηγούμενη δραστηριότητα και παραμένουν ενεργά στην περιοχή που παρακολουθεί. Αν το αντικείμενο που έχει ανακαλύψει αντιλαμβάνεται ότι δεν βρισκόταν και προηγουμένως στην περιοχή τότε ξεκινάει την παρακολούθηση για το συγκεκριμένο αντικείμενο που έχει εντοπίσει. Επίσης, υπολογίζει τις συντεταγμένες των αντικειμένων.
3. **Ανιχνευτής Αντικειμένων (Object Tracker):** Προκειμένου να μπορεί να παρέχει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα για το αντικείμενο που έχει εντοπίσει, λαμβάνει συνεχώς τις τελευταίες υπολογισμένες συντεταγμένες των αντικειμένων που παρακολουθούνται στη συγκεκριμένη περιοχή και υπολογίζει τη βέλτιστη διαμόρφωση των PTZ καμερών. Οι πληροφορίες που συλλέγει στέλνονται περιοδικά στον έλεγχο PTZ.
4. **Έλεγχος PTZ (Control PTZ):** Ο έλεγχος PTZ εφαρμόζεται σε κάθε «έξυπνη» κάμερα και λειτουργεί ως ενεργοποιητής του συστήματος, βρίσκοντας το ενσωματωμένο σε κάθε «έξυπνη» κάμερα.
5. **Διεπαφή Χρήστη (User Interface):** Η Διεπαφή Χρήστη απαιτεί φιλτραρισμένες ροές βίντεο από τον Ανιχνευτή Αντικειμένων (Object Detector) και στέλνει ένα κλάσμα από τις ροές βίντεο που έχει καταγράψει για τη συγκεκριμένη περιοχή και τα

αντικείμενα που έχει εντοπίσει στη συσκευή του χρήστη. Βρίσκεται ενσωματωμένο στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου.

Στην περίπτωση που εκτελείται το σύστημα βασισμένο στην τεχνολογία της Υπολογιστικής Νέφους όλες οι παραπάνω λειτουργικές μονάδες εφαρμογών τοποθετούνται στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου εκτός από τον Ανιχνευτή Κίνησης, ο οποίος βρίσκεται ενσωματωμένος στις «έξυπνες» κάμερες. Με την ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης, οι Ανιχνευτές Αντικειμένων (Object Detector και Object Tracker) προωθούνται στις πύλες που βρίσκονται στην περιοχή και επιτρέπουν την πρόσβαση των καμερών στο Διαδίκτυο. Οι κάμερες που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της «έξυπνης» παρακολούθησης και καταγράφουν τις ροές βίντεο λειτουργούν ως αισθητήρες και παρέχουν δεδομένα εισόδου για την εφαρμογή. Η εφαρμογή λειτουργεί με τη καταγραφή ροών βίντεο σε πραγματικό χρόνο ενώ όλες οι παράμετροι που προσδιορίστηκαν για την διαμόρφωση τον καμερών βασίζονται σε μια σειρά από κάμερες CCTV (Closed Circuit Television) οι οποίες αποτελούν μέλος του κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης για την παρακολούθηση και την καταγραφή εικόνας ενός συγκεκριμένου μέρους με ένα περιορισμένο αριθμό οθονών, οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή σε «έξυπνα» συστήματα παρακολούθησης [**43**].

Η τοπολογία της εφαρμογής σύμφωνα με την αρχική της διαμόρφωση, έχει ως κέντρο δεδομένων το σύννεφο (Cloud), έναν διακομιστή μεσολάβησης (Proxy server) ο οποίος είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία των συσκευών ομίχλης και του διακομιστή του σύννεφου, το συνολικό αριθμό των περιοχών που είναι υπό παρακολούθηση και περιλαμβάνουν έναν δρομολογητή (Router) για τη παροχή δικτύου στις κάμερες, τις «έξυπνες» κάμερες (Smart Camera) στην άκρη του δικτύου οι οποίες είναι τοποθετημένες στην κάθε περιοχή και διαμορφώνονται ως αισθητήρες (Sensors) και ενεργοποιητές (Actuators). Κάθε περιοχή σημαίνει μια συσκευή ομίχλης, στη συγκεκριμένη περίπτωση έναν δρομολογητή. Στο iFogSim κάθε συσκευή του Διαδικτύου των Αντικειμένων η οποία αποτελεί μια πηγή δεδομένων ή μια ομάδα δεδομένων μοντελοποιείται από έναν αισθητήρα ή έναν ενεργοποιητή. Αυτές οι συσκευές επειδή εκπέμπουν συγκεκριμένα δεδομένα μπορούν να προσαρμοστούν προκειμένου να προσομοιώσουν οποιαδήποτε «έξυπνη» συσκευή. Στο παράδειγμα μας, βρίσκονται ενσωματωμένες στην «έξυπνη» κάμερα και για να δείξουμε τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνεται τους έχουμε προσθέσει στο τελευταίο επίπεδο την τοπολογίας αποτελώντας μέρος των «έξυπνων καμερών».

Για την κατασκευή της τοπολογίας του συστήματος «έξυπνης» παρακολούθησης όπως παρουσιάζεται παρακάτω, έγινε χρήση του Graphic User Interface (GUI) του εργαλείου iFogSim.



Εικόνα 16. Αρχική τοπολογία του συστήματος «Έξυπνης» Παρακολούθησης

Σύμφωνα με την παραπάνω τοπολογία, παρατηρούμε ότι το σύστημα εξ' αρχής, έχει θέσει ένα κέντρο δεδομένων του σύννεφου το οποίο βρίσκεται στην κορυφή του δικτύου, έναν διακομιστή μεσολάβησης, ο οποίος βρίσκεται στο αμέσως κατώτερο επίπεδο, μία περιοχή υπό παρακολούθηση στην οποία τοποθετείται ένας δρομολογητής προκειμένου να δίνει τη δυνατότητα της πρόσβασης των «έξυπνων» καμερών στο Διαδίκτυο και δύο «έξυπνες» κάμερες οι οποίες τοποθετούνται στην περιοχή και διαμορφώνονται ως αισθητήρες και ενεργοποιητές, αποτελώντας την πηγή των δεδομένων που θα αποστέλλει τις πληροφορίες που συλλέγει μέσα από την καταγραφή ροών βίντεο, για περαιτέρω επεξεργασία στα ανώτερα στρώματα.

Η καθυστέρηση του δικτύου μεταξύ των συνδέσμων των συσκευών που επικοινωνούν μεταξύ τους αναγράφεται στον παρακάτω πίνακα.

Σύνδεσμοι μεταξύ συσκευών	Καθυστέρηση Δικτύου (milliseconds)
Κέντρο Δεδομένων Σύννεφου – Διακομιστής Μεσολάβησης	100
Διακομιστής Μεσολάβησης - Δρομολογητής	2
Δρομολογητής – «Έξυπνη» Κάμερα	2
«Έξυπνη» Κάμερα - Αισθητήρας	1
«Έξυπνη» Κάμερα - Ενεργοποιητής	1

Πίνακας 8. Διαμόρφωση Καθυστέρησης

7.1 Σενάριο Χρήσης 1

Στην εφαρμογή του πρώτου σεναρίου για τη σύγκριση των τεχνολογιών της Υπολογιστικής Νέφους και της Υπολογιστικής Ομίχλης στο σύστημα της «έξυπνης» παρακολούθησης θα αξιολογήσουμε το σύστημα με διαφορετικές διαμορφώσεις ως προς τη φυσική του τοπολογία. Κατά την εκτέλεση της κάθε προσομοίωσης για την εφαρμογή του πρώτου σεναρίου θα αυξήσουμε τον αριθμό των «έξυπνων» καμερών που είναι τοποθετημένες σε μια περιοχή και συνδέονται με έναν δρομολογητή για να έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Το σενάριο θα τρέξει για τις τιμές 5, 10, 15, 20, 25 και 30, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των «έξυπνων» καμερών που είναι τοποθετημένες στην περιοχή.

Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν για να καταλήξουμε στο τελικό συμπέρασμα και στην σύγκριση των δύο τεχνολογιών, αφορούν το χρόνο καθυστέρησης, τη χρήση του δικτύου και την κατανάλωση ενέργειας που υπέστη κάθε συσκευή.

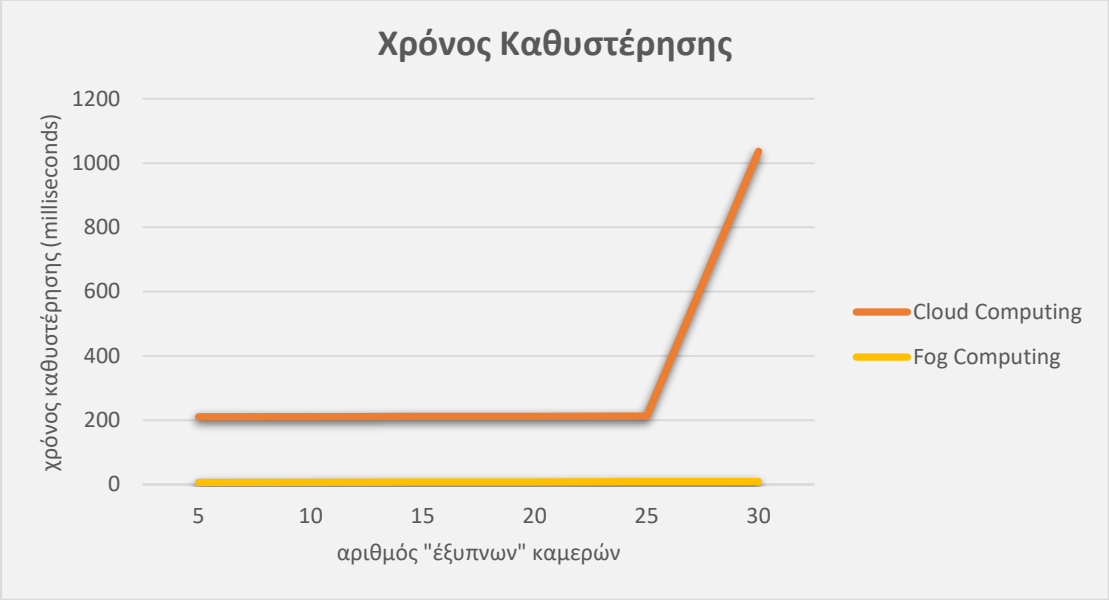
7.1.1 Χρήση Δικτύου

Εικόνα 17. Χρήση Δικτύου στο σύστημα «Έξυπνης» Παρακολούθησης.

Η Εικόνα 17 παρουσιάζει τη χρήση του δικτύου κατά την εκτέλεση της εφαρμογής «Έξυπνης» Παρακολούθησης με τη χρήση των τεχνολογιών της Υπολογιστικής Νέφους και της Υπολογιστικής Ομίχλης. Παρατηρούμε ότι κατά την αύξηση του αριθμού των συσκευών αυξάνεται κατά πολύ το φορτίο του δικτύου στην περίπτωση της Υπολογιστικής Νέφους όπου μετά τις 25 συσκευές παραμένει σχετικά σταθερό, φτάνοντας στα 1040863,06 kbps. Στην περίπτωση που ενσωματώνεται η Υπολογιστική Ομίχλης, η χρήση του δικτύου έχει μια μικρή αύξηση η οποία κυμαίνεται σε μικρότερες τιμές σε σχέση με την Υπολογιστική Νέφους. Η μέση χρήση του δικτύου σε αυτή την περίπτωση είναι στα 49894,31 kbps ενώ στην Υπολογιστική Νέφους η μέση χρήση του δικτύου είναι στα 693324,66 kbps. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως κατά την εφαρμογή της Υπολογιστικής Ομίχλης οι λειτουργικές μονάδες που αφορούν τον Object Tracker και τον Object Detector μεταφέρονται στις συσκευές ομίχλης, στην συγκεκριμένη περίπτωση στο δρομολογητή όπου εκεί πραγματοποιείται η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο όγκος των δεδομένων που μεταφέρονται στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου. Με χαμηλό φορτίο στο δίκτυο μπορεί

να επιτευχθεί και μείωση της συμφόρησης που μπορεί να παρουσιαστεί λόγω της διαχείρισης όλων αυτών των δεδομένων. Αυτό μπορεί να διασφαλίσει και καλύτερη απόδοση στην λειτουργικότητα της εφαρμογής.

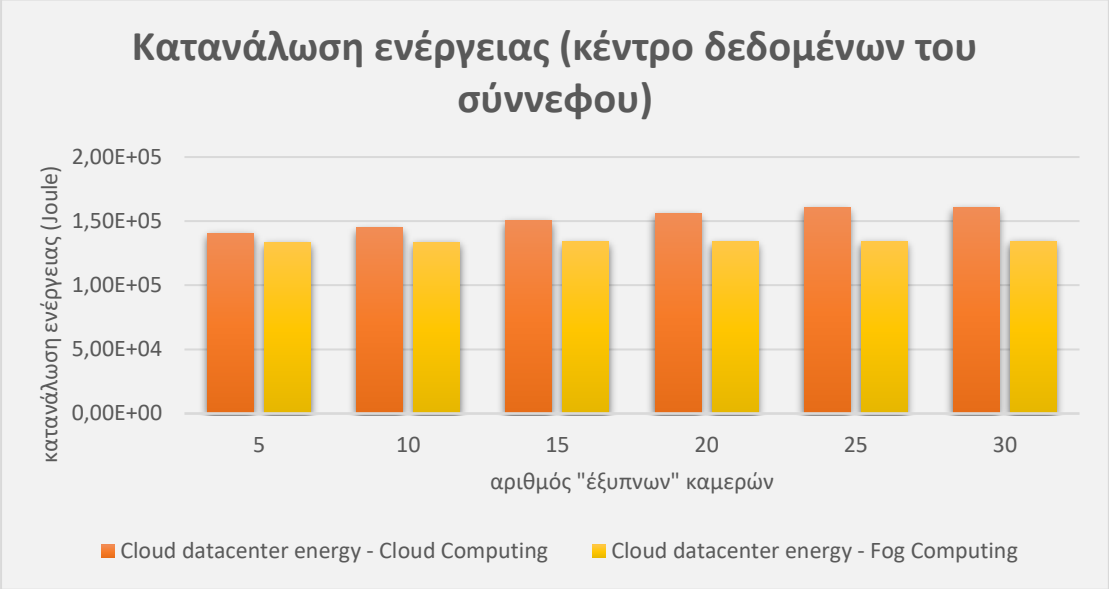
7.1.2 Χρόνος Καθυστέρησης



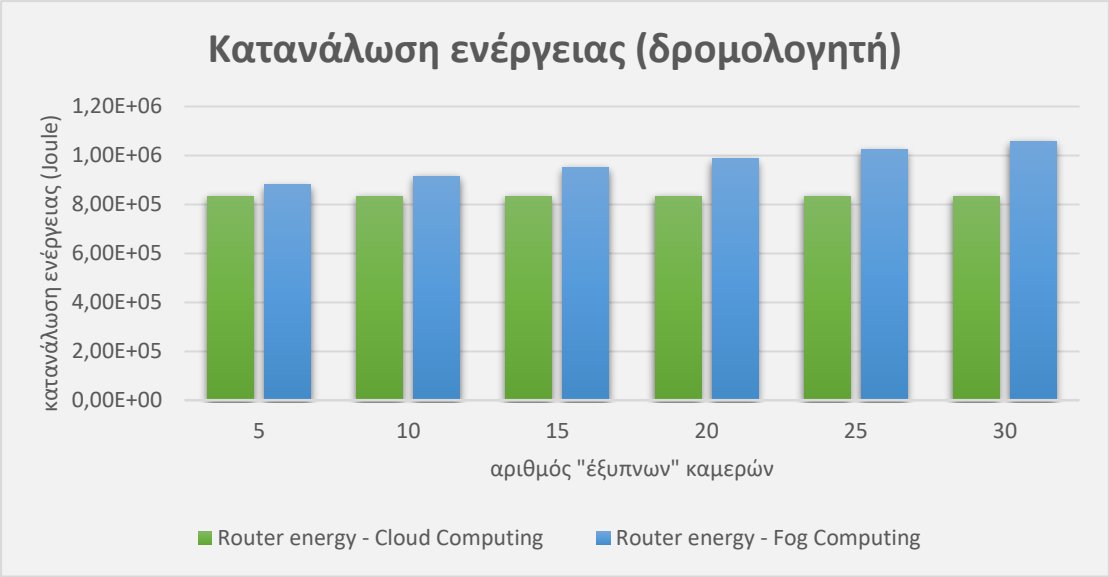
Εικόνα 18. Χρόνος καθυστέρησης στο σύστημα «Έξυπνης» Παρακολούθησης.

Η Εικόνα 18 παρουσιάζει το συνολικό χρόνο καθυστέρησης που καταγράφηκε στις τέσσερις λειτουργικές μονάδες (Motion Detector, Object Detector, Object Tracker, Control PTZ) που συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα της «Έξυπνης» παρακολούθησης και υποβάλλουν συγκεκριμένη επεξεργασία στα δεδομένα που συλλέγουν. Παρατηρούμε ότι, οι χρόνοι καθυστέρησης κατά της εφαρμογή της Υπολογιστικής Ομίχλης είναι πολύ μικρότεροι συγκριτικά με την περίπτωση που εφαρμόζεται μόνο η τεχνολογία της Υπολογιστικής Νέφους. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι κατά την εφαρμογή μόνο της Υπολογιστικής Νέφους, όλα τα δεδομένα που συλλέγονται υποβάλλονται για ανάλυση και επεξεργασία αποκλειστικά στα κέντρα δεδομένα του σύννεφου. Στην αντίθετη περίπτωση, κατά την εφαρμογή της Υπολογιστικής Ομίχλης όλη η επεξεργασία και η ανάλυση πραγματοποιείται στις συσκευές ομίχλης, οι οποίες είναι πιο κοντά στα άκρα του δικτύου ενώ συγκεκριμένα δεδομένα μεταφέρονται στο σύννεφο για επεξεργασία σε περίπτωση που οι συσκευές ομίχλης δεν έχουν επαρκής πόρους για να χειριστούν όλη την πληροφορία που έχει συλλεχθεί. Επίσης, μετά την αύξηση των «έξυπνων» καμερών στις 25, υπάρχει μια απότομη αύξηση της καθυστέρησης. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι το φορτίο του δικτύου φτάνει στη μέγιστη χρήση με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ανταποκριθεί αποτελεσματικά το σύστημα και συνεπώς να μην μπορεί να χειριστεί τις καθυστερήσεις που προκύπτουν. Η επίτευξη μικρού χρόνου καθυστέρησης είναι αρκετά σημαντική καθώς η εφαρμογή θα ανταποκρίνεται καλύτερα και θα δίνει σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για επεξεργασία, συνεπώς θα λειτουργεί πιο γρήγορα.

7.1.3 Κατανάλωση Ενέργειας



Εικόνα 19. Κατανάλωση ενέργειας στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου.



Εικόνα 20. Κατανάλωση ενέργειας στο δρομολογητή.

Η Εικόνα 19 και η Εικόνα 20 παρουσιάζουν αντίστοιχα την κατανάλωση ενέργειας που υπέστη το κέντρο δεδομένων του σύννεφου κατά την εφαρμογή της Υπολογιστικής Νέφους και της Υπολογιστικής Ομίχλης καθώς και την ενέργεια που καταναλώνεται στον δρομολογητή, όπου στην περίπτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων μεταφέρεται εκεί. Η ενέργεια σηματοδοτεί την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται για να εκτελεστεί μια συγκεκριμένη εργασία. Παρατηρούμε ότι, η ενέργεια που καταναλώνεται στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου είναι μικρότερη κατά την εφαρμογή της Υπολογιστικής Ομίχλης και παραμένει σχετικά σταθερή όσο αυξάνεται ο αριθμός των «έξυπνων» καμερών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επεξεργασία των

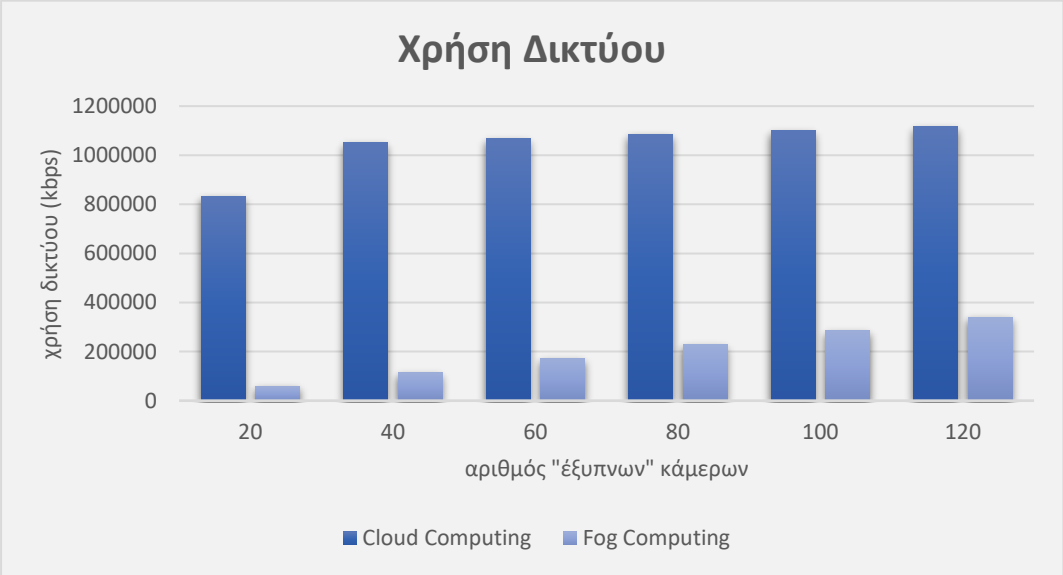
δεδομένων μεταφέρεται στις συσκευές ομίχλης, στη συγκεκριμένη περίπτωση στον δρομολογητή με αποτέλεσμα οι εργασίες που πρέπει να εκτελέσει το σύννεφο να περιορίζονται και να μειώνουν τα ποσοστά της ενέργειας που καταναλώνει. Ωστόσο, λόγω της μεταφοράς των λειτουργικών μονάδων στον δρομολογητή για να εκτελεστεί η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων, παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας όπως παρουσιάζεται από την Εικόνα 20 αυξάνεται αρκετά όσο μεγαλώνει ο αριθμός των «έξυπνων» καμερών που είναι τοποθετημένες στην περιοχή. Στην αντίθετη περίπτωση, η κατανάλωση ενέργειας κατά την Υπολογιστική Νέφους είναι λίγο μεγαλύτερη διότι όλη η επεξεργασία και η ανάλυση των πληροφορίων που συλλέγονται πραγματοποιείται μόνο στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου. Ενώ, η κατανάλωση ενέργειας στον δρομολογητή είναι αρκετά μεγαλύτερη αλλά μικρότερη σε σύγκριση με την Υπολογιστική Ομίχλης. Με τη χαμηλότερη κατανάλωση της ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί και καλύτερο λειτουργικό κόστος για τις εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

7.2 Σενάριο Χρήσης 2

Στην εφαρμογή του δεύτερου σεναρίου για τη σύγκριση των τεχνολογιών της Υπολογιστικής Νέφους και της Υπολογιστικής Ομίχλης στο σύστημα της «έξυπνης» παρακολούθησης θα αξιολογήσουμε το σύστημα αυξάνοντας τον αριθμό των έξυπνων καμερών σε 20, 40, 60, 80, 100 και 120 «έξυπνες» κάμερες επιβαρύνοντας με αυτόν τρόπο περισσότερο το σύστημα φτάνοντας σε ένα τελικό σημείο να πρέπει να διαχειριστεί έναν όγκο δεδομένων που συλλέγονται από 120 «έξυπνες» κάμερες.

Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν για να καταλήξουμε στο τελικό συμπέρασμα και στην σύγκριση των δύο τεχνολογιών, αφορούν το χρόνο καθυστέρησης , τη χρήση του δικτύου και την κατανάλωση ενέργειας που υπέστη κάθε συσκευή.

7.2.1 Χρήση Δικτύου

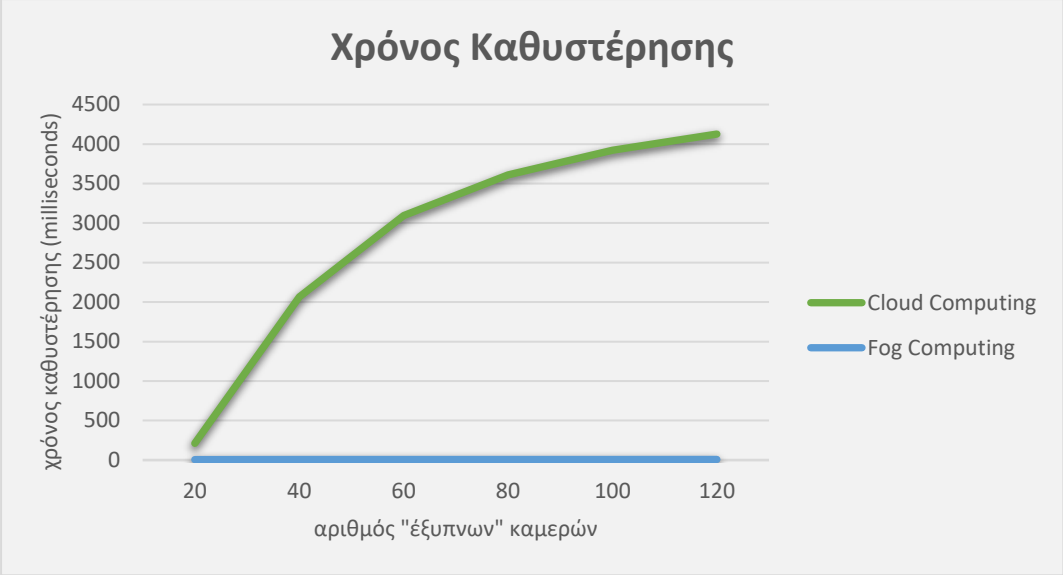


Εικόνα 21. Χρήση Δικτύου στο σύστημα «Έξυπνης» Παρακολούθησης

Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 20, η χρήση του δικτύου στην περίπτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης είναι σημαντικά χαμηλότερη σε σχέση με την Υπολογιστική Νέφους. Αυξάνοντας τον αριθμό των «έξυπνων» καμερών που συνδέονται στο δίκτυο αυξάνονται και οι τιμές στην

χρήση του δικτύου μεταξύ των δύο σεναρίων. Σε σχέση με το Σενάριο 1 η μέση χρήση του δικτύου που γίνεται στην περίπτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης είναι μεγαλύτερη προσεγγίζοντας την τιμή 198935 kbps. Στην περίπτωση μόνο της Υπολογιστικής Νέφους η μέση χρήση του δικτύου είναι 1040980,16 kbps η οποία είναι ακόμα μεγαλύτερη από τις τιμές που έφτανε στο Σενάριο 1. Αυτό που μπορούμε να συμπεράνουμε είναι ότι με την αύξηση του αριθμού των «έξυπνων» καμερών φτάνοντας στο σημείο να συνδέονται στο δίκτυο μέχρι και 120 «έξυπνες» κάμερες, η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης αποτελεί μια προτιμώμενη λύση καθώς μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα μεταφοράς και μετάδοσης των δεδομένων αποτρέποντας να παρουσιαστεί συμφόρηση στο δίκτυο έχοντας την δυνατότητα να διαχειριστεί ένα μεγάλο όγκο δεδομένων που συλλέγονται από τις «έξυπνες» κάμερες και μεταφέρονται στα ανώτερα επίπεδα για περαιτέρω επεξεργασία.

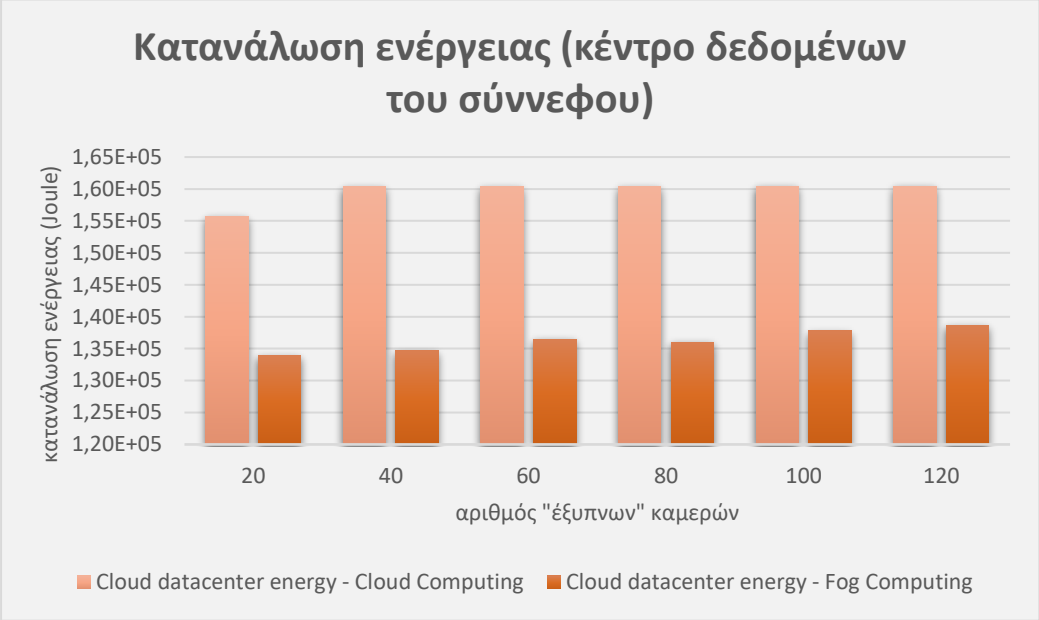
7.2.2 Χρόνος Καθυστέρησης



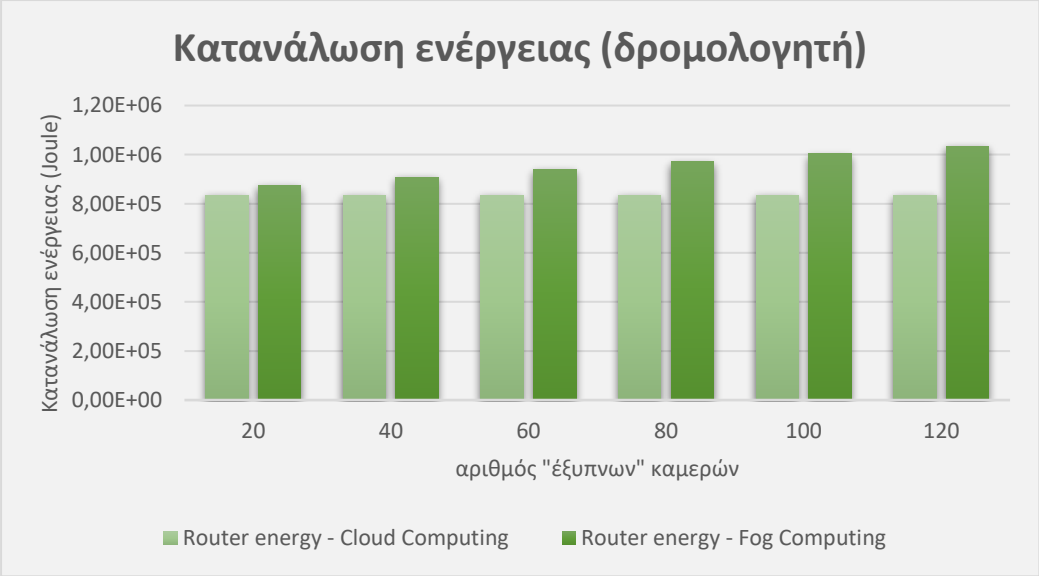
Εικόνα 22. Χρόνος καθυστέρησης στο σύστημα «Έξυπνης» Παρακολούθησης.

Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 21, ο χρόνος καθυστέρησης στην περίπτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με την εφαρμογή μόνο της Υπολογιστικής Νέφους. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των «έξυπνων» καμερών, η καθυστέρηση στην περίπτωση της Υπολογιστικής Νέφους έχει ραγδαία αύξηση συγκριτικά με το Σενάριο 1. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο μεγάλο όγκο των δεδομένων που αποστέλλονται στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου για ανάλυση και επεξεργασία. Παρατηρούμε ότι, μετά την αύξηση των «έξυπνων» καμερών στις 60 ο χρόνος καθυστέρησης αρχίζει και πλησιάζει ακόμα μεγαλύτερες τιμές γεγονός που μπορεί να σηματοδοτήσει την καθυστέρηση κατά την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων. Όπως αναφέραμε, κατά την ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης, η καθυστέρηση είναι πολύ χαμηλότερη η οποία παραμένει κοντά στα 8 ms. Συνεπώς όταν η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται σε συσκευές ομίχλης οι οποίες είναι πιο κοντά στην άκρη του δικτύου, ο χρόνος καθυστέρησης παραμένει σχετικά χαμηλός.

7.3.3 Κατανάλωση Ενέργειας



Εικόνα 23. Κατανάλωση ενέργειας στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου.



Εικόνα 24. Κατανάλωση ενέργειας στο δρομολογητή.

Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 23 και στην Εικόνα 24, απεικονίζεται αντίστοιχα η κατανάλωση ενέργειας στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου και του δρομολογητή κατά την αύξηση του αριθμού των «έξυπνων» καμερών. Με την ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης, μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου, έχοντας μικρές αυξήσεις όσο αυξάνει ο αριθμός των «έξυπνων» καμερών. Στην περίπτωση όμως του δρομολογητή παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας με την ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης προσεγγίζει μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με την Υπολογιστική Νέφους καθώς όλη η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται εκεί. Στην περίπτωση που έχουμε μόνο την Υπολογιστική Νέφους η κατανάλωση στο κέντρο δεδομένων του σύννεφου

είναι πολύ μεγαλύτερη όπου μετά την αύξηση των «έξυπνων» καμερών στις 40 διατηρεί σχετικά σταθερές τιμές. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τις τελικές συσκευές μεταφέρονται αποκλειστικά στο σύννεφο για επεξεργασία με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο όγκος των δεδομένων που πρέπει να διαχειριστεί σπαταλώντας περισσότερη ενέργεια καθώς και εύρος ζώνης για να μεταφερθούν από τη μία άκρη του δικτύου στην άλλη. Με την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας μπορεί να παρέχει καλύτερης ποιότητας υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες.

Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα

8.1 Σύνοψη Συμπερασμάτων

Η Υπολογιστική Νέφους και το Διαδίκτυο των Αντικειμένων αποτελούν δύο πολύ σημαντικές και ταυτόχρονα πολύ διαφορετικές τεχνολογίες οι οποίες εξελίσσονται και αναπτύσσονται ανεξάρτητα με τα δικά τους χαρακτηριστικά, προσφέροντας ένα μεγάλο αριθμό υπηρεσιών και εφαρμογών, βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο την καθημερινή ζωή του ανθρώπου. Η Υπολογιστική Νέφους προσφέρει τη δυνατότητα παροχής αποθηκευτικού χώρου και πρόσβασης σε δεδομένα μέσω του Διαδικτύου ενώ το Διαδίκτυο των Αντικειμένων αποτελεί το δίκτυο μέσα από το οποίο μπορεί να επικοινωνεί ένας μεγάλος αριθμός συσκευών που είναι συνδεδεμένες σε αυτό και να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους. Η ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Νέφους στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων ήρθε να αντιμετωπίσει κάποια ζητήματα σχετικά με την επεξεργασία, την ανάλυση και την αποθήκευση των δεδομένων καθώς και την απόδοση των εφαρμογών. Παρόλο που αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο μοντέλο για την ανάπτυξη υπηρεσιών και την διαχείριση των δεδομένων απομακρυσμένα από οπουδήποτε και αν βρίσκεται ο χρήστης με την προϋπόθεση να υπάρχει σύνδεση στο Διαδίκτυο αντιμετωπίζει αρκετές προκλήσεις. Η επέκταση της Υπολογιστικής Νέφους με την ενσωμάτωση των τεχνολογιών της Υπολογιστικής των Άκρων και της Υπολογιστικής Ομίχλης κρίνεται αναγκαία καθώς τα δύο αυτά μοντέλα μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη αξιοπιστία, καλύτερη απόδοση των εφαρμογών και περισσότερη ασφάλεια στις υπηρεσίες των συσκευών που συλλέγουν δεδομένα και συνδέονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

Η Υπολογιστική των Άκρων και η Υπολογιστική Ομίχλης αποτελούν δύο πανομοιότυπές τεχνολογίες η οποίες ως στόχο δεν έχουν την αντικατάσταση αλλά την επέκταση της Υπολογιστικής Νέφους. Η Υπολογιστική των Άκρων αποτελεί ένα περιβάλλον όπου ο στόχος της είναι η μεταφορά όλων των υπολογιστικών διεργασιών που πραγματοποιούνται σε κέντρα δεδομένων του σύννεφου να μεταφερθούν σε κόμβους αιχμής, προκειμένου να εκτελούνται στην άκρη του δικτύου, προσφέροντας τη δυνατότητα στο τελικό χρήστη να συνδέεται απευθείας με το κοντινότερο δίκτυο. Στην άλλη πλευρά, η Υπολογιστική Ομίχλης προσπαθεί να μεταφέρει τις υπηρεσίες που προσφέρει η Υπολογιστική Νέφους σχετικά με τον υπολογισμό, την αποθήκευση, την επικοινωνία και την ανάλυση των δεδομένων μεταξύ των τελικών συσκευών και των διακομιστών του σύννεφου έτσι ώστε να βρίσκονται πιο κοντά στους τελικούς χρήστες, μειώνοντας το χρόνο μεταφοράς των δεδομένων. Λειτουργεί ως ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ των κέντρων δεδομένων του σύννεφου και των συσκευών – αισθητήρων που συνδέονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Ο σκοπός της είναι να μειώσει τα δεδομένα που μεταφέρονται στο σύννεφο για επεξεργασία, μεταφέροντας τα σε συσκευές που βρίσκονται κοντά στην άκρη του δικτύου, επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο τοπική επεξεργασία στις συσκευές αντί να σταλθεί όλο ο όγκος των δεδομένων που έχει συλλεχθεί στο σύννεφο. Η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιείται σε κόμβους ομίχλης, οι οποίοι βρίσκονται κοντά στις τελικές συσκευές. Ο κύριος στόχος των δύο αυτών τεχνολογιών είναι να επιτύχουν μείωση της καθυστέρησης στους χρόνους απόκρισης των συσκευών που συλλέγουν τα δεδομένα και της συμφόρησης που μπορεί να παρουσιαστεί στο δίκτυο λόγω της διαχείρισης μεγάλου όγκου πληροφοριών. Η διαφορά τους εντοπίζεται στον τρόπο με τον οποίο χειρίζονται και επεξεργάζονται τα δεδομένα. Η Υπολογιστική των Άκρων προσπαθεί να μεταφέρει όλες τις υπολογιστικές εργασίες στους αισθητήρες και στους ενεργοποιητές, οι οποίες συνδέονται στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων ενώ η Υπολογιστική Ομίχλης προσπαθεί να τις επεκτείνει κοντά στην άκρη του δικτύου αξιοποιώντας τους κόμβους ομίχλης.

Ο κύριος στόχος της μελέτης αυτής ήταν η ανάδειξη της Υπολογιστικής Ομίχλης η οποία μπορεί να προσφέρει πιο αποδοτικές υπηρεσίες στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων σε σύγκριση με την Υπολογιστική Νέφους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήσαμε έναν προσομοιωτή για την μοντελοποίηση ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Ομίχλης, το iFogSim. Το εργαλείο αυτό αποτελεί μια επέκταση του CloudSim, το οποίο με τη σειρά του αποτελεί έναν προσομοιωτή για την ανάπτυξη ενός περιβάλλοντος Υπολογιστικής Νέφους, με το iFogSim να προσθέτει κάποιες κλάσεις που θα μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη της Υπολογιστικής Ομίχλης. Μέσα από το εργαλείο του iFogSim, έχουν βρει εφαρμογή αρκετά παραδείγματα του πραγματικού κόσμου με κύριο στόχο την εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με την χρήση του δικτύου που παρουσιάζεται σε ένα «έξυπνο» σύστημα, την κατανάλωση ενέργειας των συσκευών που συμπεριλαμβάνονται στην τοπολογία του και την καθυστέρηση που εντοπίζεται στους χρόνους απόκρισης των συσκευών αυτών.

Για τη σύγκριση των δύο αυτών τεχνολογιών και της ανάδειξης της Υπολογιστικής Ομίχλης ως πιο αποτελεσματική για την παροχή υπηρεσιών στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων βασιστήκαμε στο σύστημα της «έξυπνης» παρακολούθησης με τη χρήση καμερών, το οποίο προσφέρεται μέσω του ίδιου του εργαλείου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανέδειξαν την Υπολογιστική Ομίχλης πιο αποτελεσματική σε σχέση με την εφαρμογή μόνο της Υπολογιστικής Νέφους, εξάγοντας μικρότερους χρόνους και κάνοντας την εφαρμογή να λειτουργεί πιο γρήγορα και αποτελεσματικά. Βασιζόμενοι στο θεωρητικό υπόβαθρο που αναλύσαμε και στη διεξαγωγή συμπερασμάτων μέσα από την υλοποίηση που πραγματοποιήθηκε, η έρευνα μας ανέδειξε τελικά την επέκταση της Υπολογιστικής Νέφους και της ενσωμάτωση της Υπολογιστικής Ομίχλης σε αυτή, κρίσιμη και αναγκαία, με τα «έξυπνα» συστήματα να μπορούν να ανταποκριθούν πιο αποτελεσματικά και προσφέροντας υψηλότερου επίπεδου υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες.

8.2 Μελλοντική Έρευνα

Η Υπολογιστική Ομίχλης όπως αναλύσαμε στην παρούσα εργασία είναι ένα μοντέλο το οποίο εκτελεί τους υπολογισμούς και την επεξεργασία των δεδομένων σε συσκευές κοντά στην άκρη του δικτύου, μειώνοντας τον όγκο των δεδομένων που μεταφέρονται στο σύννεφο για εξ' ολοκλήρου επεξεργασία. Αποτελεί ένα πεδίο έρευνας τόσο για ακαδημαϊκούς όσο και για επιχειρηματικούς σκοπούς. Παρόλο που αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία ως η επέκταση της Υπολογιστικής Νέφους για την καλύτερη λειτουργία των εφαρμογών και των συστημάτων, υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει μελλοντικά προκειμένου να μπορεί να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο. Κάποιες μελλοντικές κατευθύνεις που μπορούν να συζητηθούν για την Υπολογιστική Ομίχλης σχετίζονται με την επεκτασιμότητα της Υπολογιστικής Ομίχλης σύμφωνα με την οποία η ομίχλη θα πρέπει να μπορεί να καθορίσει πότε γίνεται η βέλτιστη χρήση των πόρων με βάση τον αριθμό των χρηστών που στέλνουν αιτήματα για διάφορες υπηρεσίες, τον τύπο της υπηρεσίας που παρέχει καθώς και τους διαθέσιμους πόρους. Ένα ακόμα ζήτημα έχει να κάνει με τις εφαρμογές που μπορούν να βασίζονται στην Υπολογιστική Ομίχλης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία όπως έχουμε ήδη αναλύσει αποτελεί ένα μεσαίο λογισμικό προκειμένου να παρέχει την καλύτερη δυνατή απόδοση σε εφαρμογές καθώς και διάφορες υπηρεσίες. Η Υπολογιστική Ομίχλης θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από ένα σύνολο ολοκληρωμένων εφαρμογών όπως συμβαίνει με την Υπολογιστική Νέφους με τη διάφορα ότι το σύννεφο δεν θα εμπλέκεται καθόλου. Μια ακόμη πρόκληση έχει να κάνει με την ασφάλεια των δεδομένων κατά την μεταφορά και την αποθήκευση τους. Δεδομένα τα οποία σχετίζομαι με προσωπικές πληροφορίες ή με την τοποθεσία κάποιου χρήστη πρέπει να παραμένουν ασφαλή. Το πεδίο

της έρευνας πρέπει να στραφεί γύρω από αλγορίθμους οι οποίοι θα μπορούν να παρέχουν τη μέγιστη προστασία σχετικά με τα δεδομένα που είτε μεταφέρονται είτε αποθηκεύονται τοπικά ή στα κέντρα δεδομένων του σύννεφου. Η αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με την Υπολογιστική Ομίχλης μπορούν να την καταστήσουν στο μέλλον μια πολλά υποσχόμενη και βιώσιμη λύση για υπηρεσίες οι οποίες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις.

Βιβλιογραφία

[1] Aaqib Rashid, Amit Chaturvedi. "Cloud Computing Characteristics and Services: A Brief Review". International Journal of Computer Sciences and Engineering, Vol.7, Issue 2, Febuary 2019.

[2] Sether Ayob. "Cloud Computing Benefits". Article in SSRN Electronic Journal, January 2016.

[3] Colin Ting Si Xue, Felicia Tiong Wee Xin. "Benefits and Challenges of the Adoption of Cloud Computing in Business". International Journal on Cloud Computing: Services and Architecture (IJCCSA) Vol. 6, No. 6, December 2016.

[4] Peter Mell, Timothy Grance. "The NIST Definition of Cloud Computing". NIST Special Publication 800-145, September 2011.

[5] Jie Lin, Wei Yu, Nan Zhang, Xinyu Yang, Hanlin Zhang and Wei Zhao. "A Survey on Internet of Things: Architecture,Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications". IEEE Internet Of Things Journal, VOL. 4, NO. 5, October 2017.

[6] Lu Tan, Neng Wang. "Future Internet: The Internet of Things". Third (3rd) International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010.

[7] Diego Mendez, Ioannis Papapanagiotou, Baijian Yang. "Internet of Things: Survey on Security and Privacy". Purdue University, 10 July 2017.

[8] Mauro Conti, Ali Dehghantanha, Katrin Franke, Steve Watson. "Internet of Things Security and Forensics: Challenges and Opportunities". Future Generation Computer Systems Journal, 2018.

[9] Sachchidanand Singh, Nirmala Singh. "Internet of Things(IoT): Security Challenges, Business Opportunities & Reference Architecture for E-commerce". IEEE Publication 2015.

[10] Mohd Rozaini Abd Rahim, Rozeha A. Rashid, Ahmad M. Rateb, Mohd Adib Sarijari, Ahmad Shahidan Abdullah, Abdul Hadi Fikri Abdul Hamid, Hamdan Sayuti, and Norsheila Fisal. "Service-Oriented Architecture for IoT Home Area Networking in 5G". Research gate publication, Chapter September 2018.

[11] Pallavi Sethi and Smruti R. Sarangi. "Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications". Journal of Electrical and Computer Engineering, Volume 2017.

[12] Rwan Mahmoud, Tasneem Yousuf, Fadi Aloul, Imran Zualkernan. "Internet of Things (IoT) Security: Current Status, Challenges and Prospective Measures". The 10th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions, Department of Computer Science & Engineering, American University of Sharjah, 2015.

[13] Muhammad Bilal. "A Review of Internet of Things Architecture, Technologies and Analysis Smartphone-based Attacks Against 3D printers". Department of Computer Science, Zhejiang University Hangzhou, China, 2017.

[14] Wikipedia, Radio Frequency Identification (RFID), accessed March 2021, https://el.wikipedia.org/wiki/RFID

[15] Wikipedia, Wireless Sensor Networks (WSN), accessed March 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network

[16] Wikipedia, Ραβδωτός Κώδικας (Barcode), accessed March 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Barcode.

[17] Wikipedia, IEEE 802.15.4, accessed March 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4.

[18] Wikipedia, Low -Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN), accessed March 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN.

[19] Wikipedia, Internet Protocol version 6 (IPv6), accessed March 2021, https://el.wikipedia.org/wiki/IPv6.

[20] Wikipedia, Multicast DNS (mDNS), accessed March 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Multicast_DNS.

[21] Wikipedia, Information security, accessed March 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Information_security.

[22] Wikipedia, Denial-of-Service attack (DoS attack), accessed March 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Denial-of-service_attack

[23] Wikipedia, Spoofing attack, accessed March 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Spoofing_attack.

[24] Yih-Chun Hu, Adrian Perrig, David B. Johnson. "Wormhole Attacks in Wireless Networks". IEEE Journal on selected areas in communications, Vol. 24, No. 2, February 2006.

[25] Wikipedia, Man in the Middle attack, accessed March 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Man-in-the-middle_attack.

[26] Surbhi Gupta Abhishek Singhal Akanksha Kapoor. "A Literature Survey on Social Engineering Attacks: Phishing Attack". International Conference on Computing, Communication and Automation, Department of CSE Amity University Uttar Pradesh Noida, India, 2016.

[27] Hany F. Atlam, Ahmed Alenezi, Abdulrahman Alharthi, Robert J. Walters, and Gary B. Wills. "Integration of Cloud Computing with Internet of Things: Challenges and Open Issues". IEEE International Conference on Internet of Things, 2017.

[28] Alessio Botta, Walter de Donato, Valerio Persico, Antonio Pescape. "Integration of Cloud computing and Internet of Things: A survey". Future Generation Computer Systems 56, Vol. 684–700, 2016.

[29] George W. Kibirige, Camilius Sanga. "A Survey on Detection of Sinkhole Attack in Wireless Sensor Network". Department of Informatics Sokoine University of Agriculture, SUA, Morogoro, Tanzania, 2015.

[30] Prahlada Rao B. B, Payal Saluja, Neetu Sharma, Ankit Mittal, Shivay Veer Sharma. "Cloud Computing for Internet of Things & Sensing Based Applications". IEEE Journal, Sixth International Conference on Sensing Technology, 2012.

[31] Abdelaziz Amara korba, Mehdi Nafaa, Salim Ghanemi. "Survey of Routing Attacks and Countermeasures in Mobile Ad Hoc Networks". 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation, 2013.

[32] Wikipedia, Ηλεκτρονικό «Ψάρεμα» (Phising), accessed March 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Phishing.

[33] Weisong Shi, Jie Cao, Quan Zhang, Youhuizi Li, and Lanyu Xu. "Edge Computing: Vision and Challenges". IEEE Internet Of Things Journal, Vol. 3, No. 5, October 2016.

[34] Nasir Abbas, Yan Zhang, Amir Taherkordi, Tor Skeie. "Mobile Edge Computing: A Survey". IEEE Internet Of Things Journal, Vol. 5, No. 1, February 2018.

[35] Najmul Hassan, Saira Gillani, Ejaz Ahmed, Ibrar Yaqoob, and Muhammad Imran. "The Role of Edge Computing in Internet of Things". IEEE Magazine, 2018.

[36] He Li, Kaoru Ota, and Mianxiong Dong. "Learning IoT in Edge: Deep Learning for the Internet of Things with Edge Computing". IEEE Network, January 2018.

[37] Volkan Gezer, Jumyung Um, Martin Ruskowski. “An Extensible Edge Computing Architecture: Definition, Requirements and Enablers”. German Research Center for Artificial Intelligence, Conference Paper , November 2017.

[38] Wei Yu, Fan Liang, Xiafoei He, William Grant Hatcher, Chao Lu, Jie Lin, Xinyu Yang. “A Survey on the Edge Computing for the Internet of Things”. U.S. National Science Foundation under Grant CNS by the University System of Maryland Wilson, IEEE Special Section On Mobile Edge Computing, Vol. 6, 2018.

[39] Koustabh Dolui, Soumya Kanti Datta. “Comparison of Edge Computing Implementations: Fog Computing, Cloudlet and Mobile Edge Computing”. IEEE, 2017.

[40] LF Edge, Edge Computing Architecture, accessed April 2021, https://www.lfedge.org/2020/03/05/edge-computing-architecture-and-use-cases/

[41] Yuyi Mao, Changsheng You, Jun Zhang, Kaibin Huang and Khaled B. Letaief. “A Survey on Mobile Edge Computing: The Communication Perspective”. IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 19, No. 4, 2017.

[42] European Telecommunications Standards Institute – ETSI, Ορισμός Υπολογιστικής των Άκρων, accessed April 2021, https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing.

[43] Harshit Gupta, Amir Vahid Dastjerdi, Soumya K. Ghosh and Rajkumar Buyya. “iFogSim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, Edge and Fog computing environments”. Softw Pract Exper. 2017.

[44] Dario Sabella, Alessandro Vaillant, Pekka Kuure, Uwe Rauschenbach, Fabio Giust. “Mobile Edge Computing Architecture: The role of MEC in the Internet of Things”. Article in IEEE Consumer Electronics Magazine, October 2016.

[45] Kamran Sattar Awaisi , Assad Abbas , Samee U. Khan , Redowan Mahmud and Rajkumar Buyya. “Simulating Fog Computing Applications using iFogSim Toolkit”.

[46] Mithun Mukherjee, Lei Shu and Di Wang. “Survey of Fog Computing: Fundamental, Network Applications, and Research Challenges”. IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 20, No. 3, Third Quarter 2018.

[47] Ranesh Kumar Naha, Saurabh Garg, Dimitrios Georgakopoulos, Prem Prakash Jayaraman, Longxiang Gao, Yong Xiang and Rajiv Ranjan. “Fog Computing: Survey of Trends, Architectures, Requirements, and Research Directions”. IEEE Magazine, August 22, 2018.

[48] Ashkan Yousefpour, Caleb Fung, Tam Nguyen, Krishna Kadiyala, Fatemeh Jalali, Amirreza Niakanlahiji, Jian Kong, Jason P. Jue. "All ones need to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey”. Journal of System Architecture, September 2019.

[49] Redowan Mahmud, Ramamohanarao Kotagiri and Rajkumar Buyya. “Fog Computing: A Taxonomy, Survey and Future Directions”. ArXiv, 21 October 2017.

[50] Shubha Brata Nath, Harshit Gupta, Sandip Chakraborty and Soumya K Ghosh. “A Survey of Fog Computing and Communication: Current Researches and Future Directions”. ArXiv, 12 April 2018.

[51] Pengfei Hua, Sahraoui Dhelima, Huansheng Ninga, and Tie Qiud. “Survey on fog computing: architecture, key technologies, applications and open issues”. Journal of Network and Computer Applications, Vol. 98, No. 27-42, 2017.

[52] Rida Zojaj Naeem, Saman Bashir, Muhammad Faisal Amjad, Haider Abbas and Hammad Afzal. “Fog computing in internet of things: Practical applications and future directions”. Peer-to-Peer Networking and Applications, 2019.

[53] Mithun Mukherjee, Rakesh Matam, Lei Shu, Leandros Maglaras, Mohamed Amine Ferrag, Nikumani Choudhury and Vikas Kumar. "Security and Privacy in Fog Computing: Challenges". IEEE Magazine, September 6, 2017.

[54] Michaela Iorga, Larry Feldman, Robert Barton, Michael J. Martin, Nedim Goren and Charif Mahmoudi. "Fog Computing Conceptual Model". Recommendations of the National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 500-325, 2018.

[55] N. R. Shetty, L. M. Patnaik , H. C. Nagaraj, Prasad Naik Hamsavath and N. Nalini Editors. "Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications". Advances in Intelligent Systems and Computing, Volume 1, 2018.

[56] Jianbing Ni, Kuan Zhang, Xiaodong Lin and Xuemin (Sherman) Shen. "Securing Fog Computing for Internet of Things Applications: Challenges and Solutions". IEEE Magazine, Vol.20, No.1, 2018.

[57] Vinod Pand, Chetan Marlech and Sangramsing Kayte. "A Review- Fog Computing and Its Role in the Internet of Things". Article in International Journal of Engineering Research and Applications, November 2016.

[58]Wikpedia, Σύστημα Υπολογιστικής Νέφους, accessed April 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing.

[59] Sciencedirect, Elastic Computing, accessed April 2021, https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/elastic-computing.

[60] Hany F. Atlam, Robert J. Walters and Gary B. Wills. "Fog Computing and the Internet of Things: A Review". Big Data and Cognitive Computing, 2018.

[61] Anand Paul, Hameed Pinjari, Won-Hwa Hong, Hyun Cheol Seo and Seungmin Rho. "Fog Computing-Based IoT for Health Monitoring System". Hindawi, Journal of Sensors, Volume 2018.

[62] Redowan Mahmud and Rajkumar Buyya. "Modelling and Simulation of Fog and Edge Computing Environments using iFogSim Toolkit". Fog and Edge Computing: Principles and Paradigms, Chapter 17/ Modelling and Simulation of Fog and Edge, 2019.

[63] GitHub, Πηγαίος Κώδικας iFogSim, accessed May 2021, https://github.com/Cloudslab/iFogSim.