



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Συνεργατική συλλογή δεδομένων στο
Διαδίκτυο των Πραγμάτων**

ΗΛΙΑΣ ΓΚΙΚΑΣ

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Κολομβάτσος

ΛΑΜΙΑ, 2021

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και για τις ευχάριστες στιγμές που μου προσέφεραν. Επίσης, ευχαριστώ όλους τους καθηγητές και τις καθηγήτριες για ό,τι μου δίδαξαν κατά τη διάρκεια της φοίτησης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	5
Abstract	6
1.Εισαγωγή	7
1.1 Παρουσίαση θέματος	7
1.2 Δομή πτυχιακής.....	7
2.Το διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).....	9
2.1 Ορισμός IoT.....	9
2.2 Πεδία εφαρμογής.....	9
2.2.1 Έξυπνη πόλη.....	10
2.2.2 Έξυπνο σπίτι.....	10
2.2.3 Άλλες εφαρμογές.....	10
2.3 Δυσκολίες και απαιτήσεις.....	11
2.3.1 Επεκτασιμότητα.....	12
2.3.2 Συμβατότητα.....	12
2.3.3 Διάρκεια ζωής.....	12
2.3.4 Προσωπικά δεδομένα και ασφάλεια	12
3. Χαρακτηριστικά του IoT.....	14
3.1 Αρχιτεκτονική	14
3.1.1 Επίπεδο αντίληψης.....	14
3.1.2 Επίπεδο δικτύου.....	15
3.1.3 Επίπεδο εφαρμογής.....	15
3.2 Κατηγορίες δικτύων.....	15
3.3 Τοπολογίες.....	16
3.3.1 Τοπολογία δακτυλίου.....	17
3.3.2 Τοπολογία αστέρι.....	17
3.3.3 Τοπολογία διαύλου.....	17
3.3.4 Τοπολογία δέντρου.....	17
3.3.5 Τοπολογία πλέγμα.....	17
3.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	18
3.4.1 LPWAN.....	18
3.4.2 Δίκτυα μικρής εμβέλειας.....	19
3.5 Cloud computing.....	20

3.6 Edge computing και Fog computing.....	21
4.Συλλογή δεδομένων στα WSNs.....	23
4.1 Γενικά για τα δεδομένα.....	23
4.2 WSN.....	24
4.3 Η κατανάλωση ενέργειας στα WSNs.....	24
4.4 Πρωτόκολλα για συλλογή δεδομένων στα WSNs.....	25
4.4.1 Ταξινόμηση.....	25
4.4.2 Δεδομενοκεντρικά πρωτόκολλα.....	27
4.4.3 Ιεραρχικά πρωτόκολλα.....	27
4.4.4 Location based πρωτόκολλα.....	29
5.Συνεργατική συλλογή δεδομένων.....	30
5.1 Συνεργασία στα WSNs.....	30
5.2 Συνεργατική συλλογή δεδομένων και περιπτώσεις εφαρμογής.....	31
5.2.1 Optimal clustering.....	31
5.2.2 Collaborative body sensor networks.....	32
5.2.3 Mobile Wireless Sensor Networks.....	32
5.2.4 Collaborative UAV-WSN.....	32
6.Μελέτη περίπτωσης και προσομοίωση με το CupCarbon Simulator.....	34
6.1 Περιγραφή εφαρμογής.....	34
6.2 Στόχοι.....	35
6.3 Το CupCarbon Simulator.....	36
6.4 Προσομοίωση δικτύου καμερών.....	38
6.4.1 Προτεινόμενη μέθοδος.....	38
6.4.2 Συμβατική προσέγγιση.....	43
7.Σύγκριση αποτελεσμάτων και τελικά συμπεράσματα.....	45
7.1 Παρουσίαση και σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο περιπτώσεων.....	45
7.1.1 Κατανάλωση ενέργειας.....	45
7.1.2 Βελτίωση δεδομένων.....	46
7.2 Συμπεράσματα και επίλογος.....	49
Πηγές εικόνων.....	50
Βιβλιογραφία.....	51

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις σύγχρονες κοινωνίες είναι σαφώς αδιαμφισβήτητη η αδιάκοπη πρόοδος της τεχνολογίας, που ως αποτέλεσμα έχει ραγδαίες εξελίξεις και καινοτομίες σε όλους τους τομείς της ζωής μας. Οι νέες αυτές τεχνολογίες αξιοποιούν πλήρως τις απεριόριστες δυνατότητες που προσφέρει το Διαδίκτυο. Εδώ προκύπτει ο όρος Internet of Things (Διαδίκτυο των Πραγμάτων) που αφορά συσκευές οι οποίες συνδέονται στο Διαδίκτυο, αλλά και με άλλες συσκευές, για να εκτελούν ποικίλες λειτουργίες.

Στην πτυχιακή αυτή, αρχικά γίνεται μια εισαγωγή για την παρουσίαση του θέματος. Μετά γίνεται λεπτομερής αναφορά των βασικών εννοιών που αφορούν το IoT και στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των συσκευών και κυρίως ο τρόπος λειτουργίας τους σχετικά με τη συλλογή δεδομένων.

Έπειτα, προτείνεται ένα πιθανό σενάριο λειτουργίας με εστίαση στην επικοινωνία μέσω συνεργασίας των συσκευών ώστε να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση στο σύστημα. Το προτεινόμενο σενάριο προσομοιώνεται στο CupCarbon όπου παρουσιάζονται ο τρόπος λειτουργίας του και τα αποτελέσματα.

Στο τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα με βάση τις δοκιμές που πραγματοποιήσαμε και σε σύγκριση με κλασικές μεθόδους.

ABSTRACT

In modern societies the constant advances in technology are undisputed and have as a result, rapid developments and innovations in all aspects of our lives. Those new technologies make the most of the possibilities that the Internet provides. This is how the term Internet of Things occurs and describes devices who connect to the Internet but also with other devices in order to perform a variety of functions.

In this thesis, at first we make an introduction in order to present our topic. Afterwards, we mention in detail, all the main concepts about IoT and then we present extensively the characteristics of the devices and how they function for the data collection process in particular.

Subsequently, we propose a scenario with focus on communication through collaboration between devices in order to achieve better efficiency in the system. The proposed scenario is simulated in CupCarbon where its function and its results are presented.

In the end, we present our deductions based on the tests we performed and we compare them with conventional methods.

1. Εισαγωγή

1.1 Παρουσίαση θέματος

Οι δυνατότητες που μας προσφέρει το IoT το έχουν αναδείξει ως μια από τις σημαντικότερες τεχνολογίες στις σύγχρονες κοινωνίες. Ένα σύστημα IoT μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς και να εξυπηρετήσει ένα πλήθος διαφορετικών αναγκών με τις λειτουργίες που εκτελούνται μέσα σε αυτό να ποικίλλουν ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής τους. Βέβαια, σε κάθε περίπτωση βασικός στόχος είναι η βέλτιστη επίδοση του συστήματος για την αντιμετώπιση του προβλήματος που μας απασχολεί ή την επίτευξη κάποιου στόχου. Παρά τα αδιαμφισβήτητα οφέλη του IoT και παρά τις ουτοπικές μας απαιτήσεις, υπάρχουν σαφώς προβλήματα και δυσκολίες στα συστήματα αυτά που χρήζουν αντιμετώπισης και γεννούν μια ανάγκη για διαρκείς μελέτες και μεθόδους με σκοπό τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών όπου αυτό είναι εφικτό.

Ένα κοινό χαρακτηριστικό σε όλα τα συστήματα IoT είναι η συλλογή δεδομένων από τις συσκευές που συμμετέχουν σε αυτό με τη χρήση κατάλληλων αισθητήρων. Στην παρούσα πτυχιακή σκοπός μας είναι η μελέτη των ζητημάτων που προκύπτουν κατά τη διαδικασία αυτή, καθώς και η παρουσίαση μιας περίπτωσης λειτουργίας με βελτιώσεις στην απόδοσή της. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγουμε να εστιάσουμε στο χαρακτηριστικό της συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων συσκευών στο IoT και στον τρόπο που μπορούμε να το εκμεταλλευτούμε για να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα. Τελικός στόχος είναι η συλλογή δεδομένων με μείωση στην κατανάλωση ενέργειας του συστήματος καθώς και η συγκέντρωση εύστοχων και χρήσιμων πληροφοριών.

1.2 Δομή πτυχιακής

Μετά την παρούσα εισαγωγή, στο Κεφάλαιο 2 θα παρουσιάσουμε αρχικά τους ορισμούς που περιγράφουν το IoT σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Επίσης θα αναφερθούμε στην αξιοποίηση του IoT από διάφορους φορείς της κοινωνίας και θα ασχοληθούμε με τις δυσκολίες που προκύπτουν μέσα σε αυτό.

Στο Κεφάλαιο 3 περιλαμβάνονται αναλυτικά όλα τα χαρακτηριστικά του IoT από την αρχιτεκτονική έως την επικοινωνία. Παρουσιάζουμε τα διάφορα είδη δικτύων που χρησιμοποιούνται στο IoT, καθώς και πληροφορίες για Cloud computing και Fog computing.

Το Κεφάλαιο 4 ασχολείται με τη διαδικασία της συλλογής των δεδομένων. Σε αυτό το

κεφάλαιο βλέπουμε διάφορες μεθόδους συλλογής δεδομένων αλλά και τα κόστη που προκύπτουν.

Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 5 θα ερευνήσουμε τη συλλογή δεδομένων από τη σκοπιά της συνεργασίας. Εξηγούμε τα οφέλη αυτής της συνεργατικής πρακτικής και αναλύουμε διάφορες περιπτώσεις εφαρμογής της.

Στο Κεφάλαιο 6 περιγράφουμε μια δικιά μας εφαρμογή που θέλουμε να προσομοιώσουμε για τη μελέτη της συνεργατικής συλλογής δεδομένων και των αποτελεσμάτων της. Παρουσιάζουμε λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά και τον τρόπο λειτουργίας του σεναρίου μας, αλλά και το εργαλείο με το οποίο θα γίνει η προσομοίωση. Υλοποιούμε την εφαρμογή μας αλλά και ένα απλό σενάριο και συλλέγουμε τα κατάλληλα αποτελέσματα.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 γίνεται σύγκριση των δεδομένων που προέκυψαν στο Κεφάλαιο 6. Με βάση αυτά τα δεδομένα αξιολογούμε την εφαρμογή μας και δίνουμε τις τελευταίες μας σκέψεις πάνω στο θέμα.

2. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων(IoT)

2.1 Ορισμός IoT

Ο όρος Internet of Things (IoT) γεννήθηκε πρώτη φορά το 1999 από τον Βρετανό Kevin Ashton ο οποίος το περιέγραψε ως αντικείμενα που επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ετικέτες RFID (Radio-Frequency Identification)[1]. Από τη σύλληψή του το IoT συνεχίζει αδιάκοπα να αναπτύσσεται μέχρι και σήμερα με ιλιγγιώδεις ταχύτητες, με τις εκτιμήσεις να μιλούν για δισεκατομμύρια διασυνδεδεμένες συσκευές ανά τον κόσμο[2]. Αν και είναι δύσκολο να προσδιορίσουμε με ακρίβεια όλα τα χαρακτηριστικά του IoT, ένας κοινός αποδεκτός ορισμός μπορεί να το περιγράψει ως ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων που διαθέτουν κυκλώματα, αισθητήρες και λογισμικό τα οποία μπορούν να αξιοποιήσουν για την καταγραφή πληροφοριών από το περιβάλλον και το διαμοιρασμό τους μέσω σύνδεσης με το Διαδίκτυο[3]. Οι συσκευές αυτές χαρακτηρίζονται ως «έξυπνες» λόγω της δυνατότητας που έχουν να λαμβάνουν και να εκτελούν εντολές ενώ επίσης μπορούν να ελέγχονται εξ αποστάσεως και να λειτουργούν ανεξάρτητα χωρίς άμεση ανθρώπινη επίβλεψη. Παραδείγματα συσκευών που συνήθως συμμετέχουν στο IoT είναι υπολογιστές, κινητά, τάμπλετ και τηλεοράσεις, που αποτελούν και τις πιο προφανείς περιπτώσεις έξυπνων συσκευών, αλλά με τη γενικότερη έννοια οποιαδήποτε συσκευή που μπορεί να συνδέεται σε ένα δίκτυο και να μεταφέρει πληροφορίες συγκαταλέγεται ως έξυπνη συσκευή (Techopedia).

2.2 Πεδία εφαρμογής



Εικόνα 1: Πεδία εφαρμογής IoT

Το IoT μπορεί να ενταχθεί σε πολλούς τομείς της κοινωνίας αλλά και γενικότερα της καθημερινότητάς μας προσφέροντας λειτουργίες και υπηρεσίες που διευκολύνουν και βελτιώνουν τη ζωή μας. Ας δούμε μερικές από τις σημαντικότερες περιπτώσεις εφαρμογής τέτοιων δομών.

2.2.1 Έξυπνη πόλη

Οι πόλεις, αν και υπήρχαν ανέκαθεν στον ανθρώπινο πολιτισμό, έχουν φτάσει σε επίπεδα ανάπτυξης που ξεπερνούν ό,τι ίσχυε τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία[4] εκτιμάται ότι μέχρι το 2030 πάνω από το 60% του πληθυσμού της Γης θα κατοικεί σε πόλεις. Αυτή η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού οδηγεί σε ανάγκη για νέες μεθόδους αποτελεσματικής διαχείρισης των υπηρεσιών και των διεργασιών μέσα στο αστικό περιβάλλον. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων μία «έξυπνη πόλη» χρησιμοποιεί την τεχνολογία του IoT. Πιο συγκεκριμένα, σε μια έξυπνη πόλη, με γνώμονα τους πολίτες συλλέγονται, αποθηκεύονται και αξιοποιούνται δεδομένα μέσω του δικτύου με στόχο τη διευκόλυνση και τη βελτίωση της ζωής τους σε τομείς όπως η μετακίνηση, η υγεία και η ασφάλεια βοηθώντας έτσι την θετική ανάπτυξη της πόλης συνολικά[5]. Η δομή μιας έξυπνης πόλης αποτελείται από τρία κύρια επίπεδα τα οποία είναι[6] το επίπεδο αντίληψης (perception ή sensing layer) στο οποίο γίνεται η συλλογή των δεδομένων από τους κατάλληλους αισθητήρες, το επίπεδο δικτύου (networking layer) όπου γίνεται η μεταφορά των πληροφοριών μέσω επικοινωνίας και το επίπεδο εφαρμογής (application layer) στο οποίο γίνεται η ανάλυση και αξιοποίηση των πληροφοριών που συλλέχθηκαν.

2.2.2 Έξυπνο σπίτι

Το IoT, με την τεράστια εξέλιξή του, ήταν αναπόφευκτο να εισχωρήσει και στο χώρο του σπιτιού μας. Το σπίτι γίνεται «έξυπνο» όταν οι κλασικές οικιακές συσκευές αποκτούν τη δυνατότητα να εκτελούν τις λειτουργίες τους αυτοματοποιημένα και να ελέγχονται εξ αποστάσεως. Το βασικό χαρακτηριστικό που διευκολύνει τη ζωή μέσα σε ένα έξυπνο σπίτι είναι η επικοινωνία μεταξύ όλων των συσκευών που επιτρέπει την πλήρη καταγραφή του χώρου εντός του σπιτιού με οφέλη στην ασφάλεια, την εξοικονόμηση ενέργειας και την άνεση των κατοίκων[7].

2.2.3 Άλλες εφαρμογές

Σημαντικός τομέας είναι η βιομηχανία, η οποία εισέρχεται σε μία νέα εποχή μέσω της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης (Industry 4.0). Μέσα στα πλαίσια αυτής, μιλάμε πλέον για

«έξυπνα εργοστάσια» που βασικός στόχος τους είναι η πλήρης αυτοματοποίηση της διαδικασίας παραγωγής με τη χρήση έξυπνων μηχανημάτων και συσκευών που επικοινωνούν μεταξύ τους[8]. Σε αυτό το νέο περιβάλλον επιτυγχάνεται μείωση στα κόστη παραγωγής αλλά και στο χρόνο, ενώ παράλληλα οι συνθήκες εργασίας γίνονται ασφαλέστερες για τα άτομα που εργάζονται εντός της βιομηχανικής ζώνης.

Οι «έξυπνες μετακινήσεις» είναι ένας όρος στενά συνδεδεμένος με τις έξυπνες πόλεις. Το βασικό αυτό κομμάτι της ζωής μέσα σε μια πόλη εξελίσσεται με την τεχνολογία να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων στις αστικές μετακινήσεις είτε αυτά είναι Ι.Χ. είτε είναι Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Μέσω αυτής της ιδιότητας μπορεί να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης ώστε οι άνθρωποι να μετακινούνται ευκολότερα και γρηγορότερα από το ένα μέρος στο άλλο, ενώ επίσης πολύ σημαντικό είναι το θέμα της μείωσης των ατυχημάτων σε μεγάλο βαθμό[9].

Στον τομέα της ιατρικής το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επέκταση των υπηρεσιών περίθαλψης. Με τις κατάλληλες έξυπνες συσκευές μπορεί να παρατηρείται συνεχόμενα και σε πραγματικό χρόνο η υγεία των ατόμων που το έχουν ανάγκη, ενώ παράλληλα να καταγράφονται πληροφορίες για την κατάστασή τους. Επίσης οι ασθενείς μπορούν να φορούν πάνω στο σώμα τους διάφορες συσκευές με αισθητήρες που θα συλλέγουν ένα πλήθος δεδομένων όπως θερμοκρασία σώματος, πίεση αίματος κτλπ. και θα χρησιμοποιούνται για την πρόληψη προβλημάτων υγείας[10].

Νέες μέθοδοι εμφανίζονται επίσης στη γεωργία μέσω του IoT. Με τις κατάλληλες συσκευές και τη χρήση αισθητήρων για τη καταγραφή του περιβάλλοντος, συγκεντρώνονται πληροφορίες που βοηθούν το έργο των γεωργών. Για παράδειγμα, η ανάλυση των περιβαλλοντικών συνθηκών προσφέρει ασφάλεια στη διαδικασία της καλλιέργειας ενώ με τη χρήση έξυπνων γεωργικών συσκευών αντιμετωπίζονται εγκαίρως πιθανά προβλήματα, όπως επιθέσεις από παράσιτα και άλλα ζώα. Πολύ σημαντικές επίσης είναι οι λύσεις που προσφέρει ένα τέτοιο σύστημα στην αποθήκευση των σιτηρών και την προστασία τους από κλοπές[11].

2.3 Δυσκολίες και απαιτήσεις

Γίνεται πλέον προφανής ο λόγος που χρησιμοποιούμε το IoT αφότου είδαμε τις ιδιότητες του και τα πολλά πλεονεκτήματα και βελτιώσεις που παρέχει σε διάφορους τομείς. Είναι όμως πολύ σημαντικό να αναφερθούμε και στις δυσκολίες που παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή του, και παίζουν καθοριστικό ρόλο στη δυνατότητα αξιοποίησής του.

2.3.1 Επεκτασιμότητα

Με την πάροδο του χρόνου ολοένα και περισσότερες συσκευές συμμετέχουν στα δίκτυα του IoT. Ως αποτέλεσμα έχουμε να αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό ο όγκος των δεδομένων που παράγονται. Για αυτά τα συνεχώς αυξανόμενα δεδομένα χρειάζεται η κατάλληλη επεξεργασία τους, που προϋποθέτει να υπάρχει η απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς, αλλά και επαρκής χώρος για την σωστή αποθήκευσή τους. Ένα τέτοιο σύστημα θα πρέπει να έχει από την αρχή της κατασκευής του την ευελιξία να εξυπηρετήσει μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών, ίσως μεγαλύτερο από τον αρχικά αναμενόμενο. Για το λόγο αυτό είναι πολύ βασικό στο σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος να λάβουμε υπόψη τους περιορισμούς αυτούς.

2.3.2 Συμβατότητα

Με τον μεγάλο αριθμό συσκευών στα δίκτυα IoT όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα ακόμα ζήτημα που γεννάται είναι ο τρόπος διασύνδεσης μεταξύ τους. Σε πολλές περιπτώσεις συστημάτων έχουμε ετερογενείς συσκευές που χρειάζεται να επικοινωνούν η μία με την άλλη για την εκτέλεση των λειτουργιών τους. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στο IoT χωρίς όμως να υπάρχει κάποιο καθολικό πρότυπο που να καλύπτει όλες τις περιπτώσεις εφαρμογής[Iot-now.com, 2020].

2.3.3 Διάρκεια ζωής

Μια από τις κυριότερες απαιτήσεις σε ένα δίκτυο IoT είναι να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής δηλαδή να συνεχίζει να λειτουργεί για το μέγιστο δυνατό χρονικό διάστημα. Σε πολλά συστήματα, οι συσκευές με αισθητήρες διαθέτουν περιορισμένη χωρητικότητα μπαταρίας και χρειάζεται να είναι ενεργές αδιάκοπα, ενώ παράλληλα οι διεργασίες τους καταναλώνουν πολλή ενέργεια. Η αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος γίνεται με τεχνικές διαχείρισης της κατανάλωσης ενέργειας για τη βέλτιστη απόδοση της μπαταρίας, όπως για παράδειγμα η επιλογή του κατάλληλου πρωτόκολλου δρομολόγησης για ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

2.3.4 Προσωπικά δεδομένα και Ασφάλεια

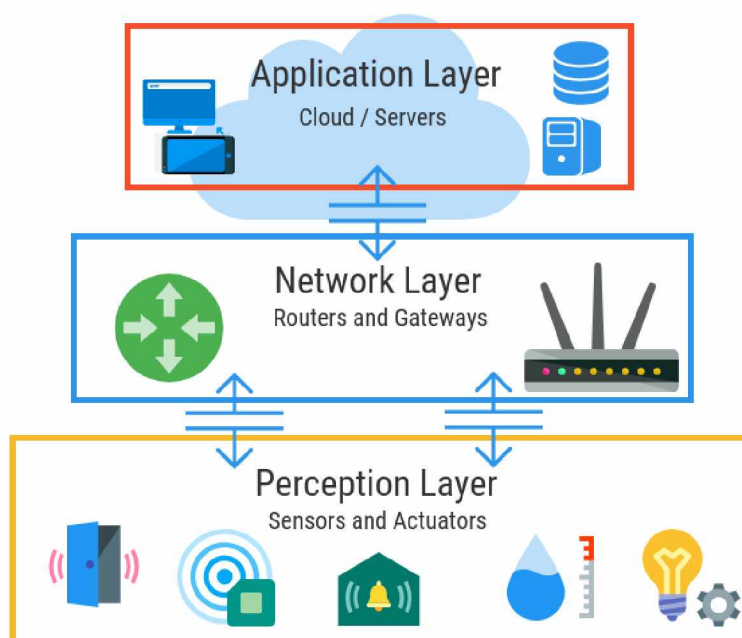
Η ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων των χρηστών και η προστασία των συσκευών από κυβερνοεπιθέσεις είναι ίσως τα μεγαλύτερα προβλήματα που παρουσιάζονται σε ένα σύστημα IoT. Η συλλογή, επεξεργασία και εκμετάλλευση δεδομένων με τη χρήση αισθητήρων μπορεί να έχει πολλά οφέλη όπως είδαμε. Το πρόβλημα παρουσιάζεται στο γεγονός ότι κατά τη λειτουργία του IoT μπορεί να συλλέγονται πολλά προσωπικά στοιχεία για έναν χρήστη

όπως στοιχεία επικοινωνίας, διευθύνσεις, πληροφορίες για την υγεία του ή για τα οικονομικά του, καθώς και πληροφορίες για τις δραστηριότητες και τις επιλογές του τόσο στο διαδικτυακό κόσμο όσο και στο φυσικό. Είναι προφανές πως για τα δεδομένα αυτά υπάρχει κίνδυνος να πέσουν σε λάθος χέρια μέσω υποκλοπών ή ακόμα να χρησιμοποιηθούν από εταιρείες και οργανισμούς για διαφορετικούς σκοπούς από αυτούς που αρχικά προορίζονταν[12]. Είναι απαραίτητο λοιπόν να υπάρχουν μηχανισμοί και νομοθεσίες που προστατεύουν και διασφαλίζουν την ιδιωτικότητα των ατόμων και την ακεραιότητα των πληροφοριών τους. Οι ίδιες οι συσκευές διαθέτουν συνήθως χαμηλό επίπεδο ασφάλειας και έτσι είναι ευάλωτες σε επιθέσεις από χάκερς. Οι επιθέσεις γίνονται είτε με χρήση κακόβουλων λογισμικών που μολύνουν τις συσκευές, είτε με την εκμετάλλευση της άγνοιας κινδύνου των χρηστών[13].

3. Χαρακτηριστικά του IoT

3.1 Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική με την οποία οργανώνεται ένα σύστημα του IoT αποτελείται από έναν αριθμό επιπέδων που ονομάζονται στρώματα ή στα αγγλικά layers. Σύμφωνα με την έρευνα των Kumar και Mallick[14], ανάλογα με την περίπτωση εφαρμογής που έχουμε ο αριθμός των επιπέδων ποικίλει, με περιπτώσεις τριών, πέντε, έξι και επτά επιπέδων. Το πιο βασικό και κοινώς αποδεκτό μοντέλο είναι αυτό που περιλαμβάνει τρία επίπεδα τα οποία είναι το επίπεδο αντίληψης (Perception layer), το επίπεδο δικτύου (Network layer), και το επίπεδο εφαρμογής (Application layer).



Εικόνα 2: Βασικά επίπεδα

3.1.1 Επίπεδο αντίληψης

Από το επίπεδο αντίληψης ή αλλιώς επίπεδο αισθητήρων, ξεκινάει η πορεία των δεδομένων μέσα σε ένα δίκτυο IoT. Σε αυτό το επίπεδο χρησιμοποιούνται τεχνολογίες που προσφέρουν τη δυνατότητα παρατήρησης και καταγραφής του περιβάλλοντος όπως διάφορα είδη αισθητήρων, κάμερες και RFID, δημιουργώντας έτσι μια διεπαφή του συστήματος με το φυσικό κόσμο[15]. Ρόλος του επιπέδου αντίληψης είναι η ανίχνευση και συλλογή δεδομένων, και στη συνέχεια η προώθησή τους στα επόμενα επίπεδα.

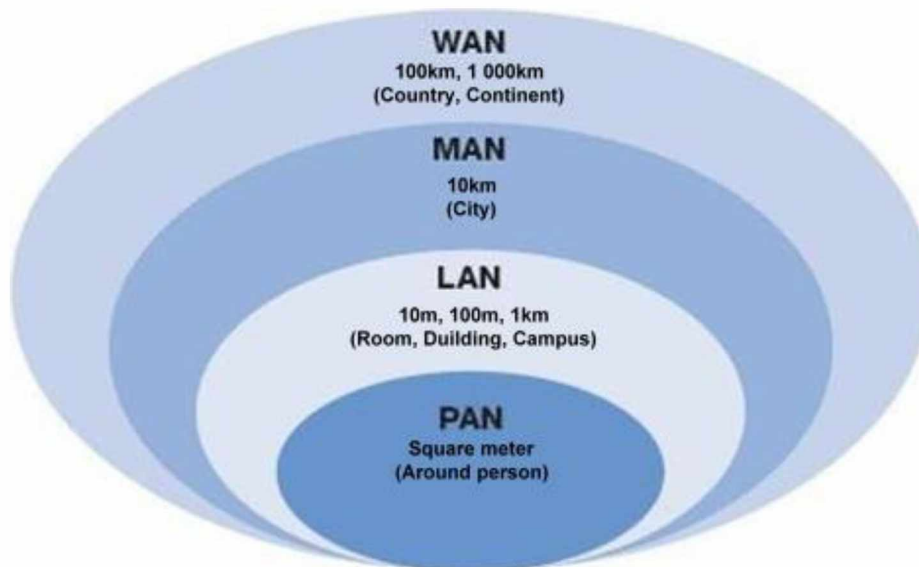
3.1.2 Επίπεδο δικτύου

Στο επίπεδο δικτύου γίνεται η διαδικασία επικοινωνίας μεταξύ των διάφορων συσκευών του IoT. Είναι υπεύθυνο για την σωστή και αποδοτική μεταφορά των δεδομένων από κόμβο σε κόμβο και για την επικοινωνία του συστήματος με το διαδίκτυο, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Το WiFi, το Bluetooth και το ZigBee είναι κάποιες από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τις λειτουργίες στο επίπεδο δικτύου[16].

3.1.3 Επίπεδο εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής διαχειρίζεται τα δεδομένα που έχουν προηγουμένως συλλεχθεί και έχουν υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία. Το επίπεδο αυτό προσφέρει μια διεπαφή στους χρήστες όπου είναι δυνατό να δουν το σύστημα στη συνολική του μορφή, ενώ μέσω εφαρμογών μπορούν να διαχειριστούν τους πόρους και τις λειτουργίες (internetofthingsagenda.techtarget.com, 2021).

3.2 Κατηγορίες δικτύων



Εικόνα 3: Τύποι δικτύων

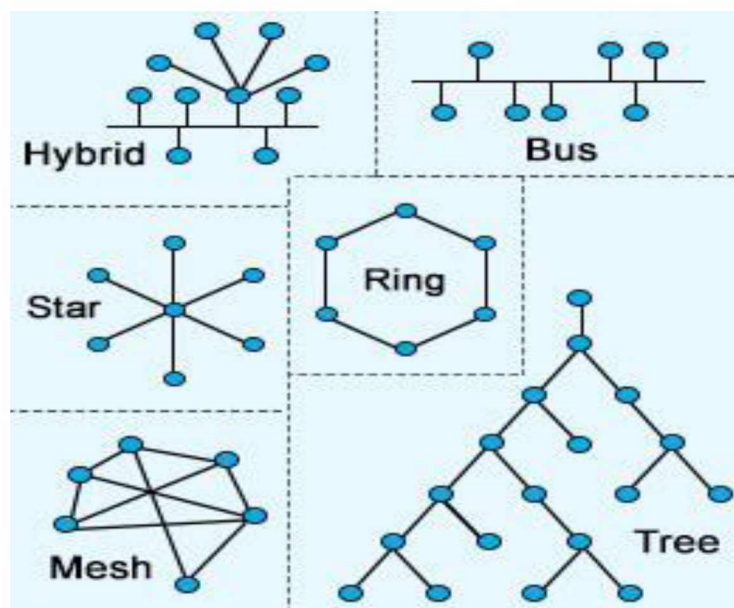
Όταν αναφερόμαστε σε δίκτυα συνήθως μιλάμε για δίκτυα υπολογιστών. Ως δίκτυο υπολογιστών θεωρείται η έννοια της σύνδεσης μεταξύ υπολογιστών που επιτρέπει την επικοινωνία και την ανταλλαγή πληροφοριών. Στα πλαίσια του IoT, τα δίκτυα περιλαμβάνουν όπως είδαμε μια ποικιλία διαφόρων έξυπνων συσκευών, που λειτουργούν όπως και οι υπολογιστές. Σε κάθε περίπτωση τα δίκτυα διακρίνονται σε τέσσερις βασικούς τύπους με τη

διάκριση να γίνεται με βάση το μέγεθός τους. Οι κατηγορίες σε αύξουσα σειρά ως προς το μέγεθος είναι: δίκτυο προσωπικού χώρου (Personal Area Network), τοπικό δίκτυο (Local Area Network), μητροπολιτικό δίκτυο (Metropolitan Area Network) και δίκτυο ευρείας περιοχής (Wide Area Network).

Για τα PANs οι αποστάσεις των συσκευών είναι λίγα μέτρα το πολύ και συνήθως πρόκειται για συσκευές που περιβάλλουν το άτομο. Στη συνέχεια, τα LANs καλύπτουν μικρές γεωγραφικές περιοχές και χώρους όπως ένα σπίτι, ένα κτίριο ή ένα εργοστάσιο. Τα MANs είναι ακόμα μεγαλύτερα και χρησιμοποιούνται για γεωγραφικές εκτάσεις χιλιομέτρων με τη δυνατότητα να καλύπτουν μια ολόκληρη πόλη. Τέλος τα WANs είναι ο μεγαλύτερος τύπος δικτύου και εφαρμόζονται για το εύρος μια ολόκληρης χώρας ή ακόμα και ηπείρου.

3.3 Τοπολογίες

Στα δίκτυα του IoT έχουμε πολλές συσκευές που πρέπει να συνεργαστούν μεταξύ τους. Ένας σημαντικός παράγοντας για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, είναι ο τρόπος με τον οποίο οι συσκευές οργανώνονται για τη σύνδεσή τους, είτε χωρικά είτε στο δίκτυο. Οι διάφοροι τρόποι κατανομής των συσκευών, ονομάζονται τοπολογίες. Υπάρχουν πολλές τοπολογίες διαθέσιμες και καθεμία επιλέγεται ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετεί. Για μερικές από τις πιο σημαντικές η σχηματική τους αναπαράσταση φαίνεται στην εικόνα 3, ενώ ο τρόπος σύνδεσης παρουσιάζεται παρακάτω με βάση την έρευνα των Sharma και Verma[17].



Εικόνα 4: Τοπολογίες

3.3.1 Τοπολογία δακτυλίου

Σε μια τοπολογία δακτυλίου (ring) οι κόμβοι διατάσσονται σε ένα σχήμα κύκλου όπου ο καθένας έχει δύο γείτονες με τους οποίους συνδέεται και οι πληροφορίες μεταδίδονται μεταξύ των γειτονικών κόμβων προς μία φορά μόνο. Το πρόβλημα στην τοπολογία αυτή είναι πως εάν χαθεί έστω και ένας από τους κόμβους οι πληροφορίες δε μπορούν να κινηθούν και επόμενος το σύστημα αποτυγχάνει.

3.3.2 Τοπολογία αστέρι

Στην τοπολογία αστέρι (star) υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος με τον οποίο συνδέονται όλοι οι κόμβοι του δικτύου. Δεν υπάρχουν άλλες συνδέσεις μεταξύ κόμβων και για την πραγματοποίηση της επικοινωνίας μεσολαβεί ο κεντρικός κόμβος από τον οποίο περνάνε τα μηνύματα και τα προωθεί στους κόμβους για τους οποίους προορίζονται. Αντίθετα με την προηγούμενη περίπτωση, η μη λειτουργία ενός κόμβου δε σημαίνει ότι όλο το σύστημα θα πάψει να λειτουργεί.

3.3.3 Τοπολογία διαύλου

Η τοπολογία διαύλου (bus) περιλαμβάνει έναν κοινό δεσμό μεταξύ όλων των κόμβων που επιτρέπει σε έναν κόμβο να επικοινωνεί εύκολα με οποιονδήποτε άλλον στο δίκτυο. Πρόκειται για απλή τοπολογία αλλά δε μπορεί να εφαρμοστεί όταν στο δίκτυο έχουμε μεγάλο αριθμό κόμβων.

3.3.4 Τοπολογία δέντρου

Η τοπολογία δέντρου (tree) είναι μια ιεραρχημένη δομή κόμβων με επίπεδα. Στα χαμηλότερα επίπεδα υπάρχουν οι απλοί κόμβοι και καθένας από αυτούς συνδέεται με έναν κόμβο του επόμενου επιπέδου ως παιδιά του, ενώ στο ανώτερο επίπεδο έχουμε έναν κεντρικό κόμβο που είναι η ρίζα του δέντρου που σχηματίζεται. Για την μετάδοση των μηνυμάτων, είναι πολύ βασικό να βρούμε τη συντομότερη διαδρομή στο δέντρο.

3.3.5 Τοπολογία πλέγμα

Στην τοπολογία πλέγμα (mesh) κάθε κόμβος συνδέεται με πολλούς άλλους. Η μεταφορά πληροφοριών μπορεί να γίνει μέσω πολλών διαδρομών καθώς όλοι οι κόμβοι μπορούν είτε να στέλνουν είτε να δέχονται μηνύματα. Το σημαντικό πλεονέκτημα του πλέγματος είναι ότι οι κόμβοι διαμοιράζονται το φόρτο του δικτύου. Επιπλέον υπάρχει αντοχή σε σφάλματα.

3.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Για τη λειτουργία ενός συστήματος IoT, απαιτείται από τις συσκευές μέσα σε αυτό να έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα, ανταλλάσσοντας μηνύματα και πληροφορίες. Όμως, μέσα σε ένα σύστημα συνήθως έχουμε πολλές συσκευές που πρέπει να συνδέονται ταυτόχρονα, ενώ επίσης υπάρχουν και πολλά προβλήματα που παρουσιάζονται στις έξυπνες συσκευές όπως η περιορισμένη ενέργεια ή το ελάχιστο εύρος μετάδοσης. Για την αντιμετώπιση όλων αυτών των ζητημάτων που καθιστούν δύσκολη την ανταλλαγή πληροφοριών, έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την ομαλή και ασφαλή αλληλεπίδραση μεταξύ των κόμβων του δικτύου ώστε να οργανώνεται η ροή των πληροφοριών και να επιτυγχάνεται ο σκοπός του εκάστοτε συστήματος. Στην ερευνά τους οι Al-Sarawi et al.[18] κατηγοριοποιούν τα πρωτόκολλα επικοινωνίας με βάση το εύρος των δικτύων στα οποία εφαρμόζονται. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται σε δύο κατηγορίες, τα δίκτυα ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN) και τα δίκτυα μικρής εμβέλειας (short range networks).

3.4.1 LPWAN

Σύμφωνα με τους Mekki et al.[19], τα LPWANs είναι ιδανικά για μετάδοση δεδομένων μεταξύ των συσκευών σε μεγάλες αποστάσεις, από 10 έως 40 χιλιόμετρα. Επίσης χαρακτηρίζονται από χαμηλή κατανάλωση και χαμηλά κόστη, αλλά δεν ενδείκνυνται για εφαρμογές που απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα LPWANs είναι το Sigfox, το Lora και το NB-IoT(Narrow band-IoT).

Το Sigfox χρησιμοποιεί τεχνολογία ραδιοεξοπλισμού Ultra Narrow Band (UNB) και λειτουργεί σε ελεύθερο φάσμα ζώνης (ISM)(www.sigfox.gr). Για τη λειτουργία του ζοδεύει ελάχιστη ενέργεια, ενώ κάθε μήνυμα που στέλνει μπορεί να έχει μέγιστο μέγεθος έως 12 bytes(netmoregroup.com). Κάποιοι τομείς εφαρμογής είναι τα έξυπνα αυτοκίνητα, η απομακρυσμένη παρακολούθηση και τα συστήματα ασφαλείας.

Η ονομασία LoRa προέρχεται από το Long Range και αναφέρεται στη μεγάλη εμβέλεια που προσφέρει, όπως ακριβώς και το Sigfox. Το LoRa αναπτύχθηκε από την LoRa Alliance όπως και το πρωτόκολλο δικτύου που χρησιμοποιεί, το LoRaWAN. Το πρωτόκολλο αυτό οργανώνεται σε τοπολογία αστέρα[20].

Ένα ακόμα πρωτόκολλο για LPWANs είναι το NB-IoT, το οποίο χρησιμοποιεί και αυτό narrow band όπως είναι προφανές και από την ονομασία του. Μπορεί να υποστηρίξει πολύ μεγάλο αριθμό συσκευών, ενώ αξιοσημείωτη είναι και η οικονομία ενέργειας που πετυχαίνει, καθώς μπορεί να εξασφαλίσει έως και δέκα χρόνια στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Επίσης

είναι ένα από τα λίγα πρωτόκολλα LPWAN που έχουν εφαρμογή σε κυψελοειδή IoT (i-scoop.eu).

3.4.2 Δίκτυα μικρής εμβέλειας

Αντίθετα με την προηγούμενη κατηγορία, τα δίκτυα μικρής εμβέλειας χρησιμοποιούνται για επικοινωνία σε κοντινές αποστάσεις και για πυκνή κατανομή συσκευών. Επίσης υπάρχει συχνή ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των συσκευών και των σταθμών βάσης στα δίκτυα αυτά. Ιδανικά πρωτόκολλα για περιορισμένη εμβέλεια είναι το ZigBee, το 6LoWPAN, το BLE, το Z-wave, το RFID και το NFC[18].

Το ZigBee είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που δημιουργήθηκε από την ZigBee Alliance με βάση το πρότυπο δικτύου IEEE802.15.4[18]. Εφαρμόζεται συνήθως για συσκευές με περιορισμένες απαιτήσεις λόγω της χαμηλής κατανάλωσης που προσφέρει. Το μέγιστο εύρος σύνδεσης μεταξύ κόμβων είναι τα 100 μέτρα (avsystem.com, 2019), ενώ οι τοπολογίες που υποστηρίζει είναι πλέγματος, αστέρα και δέντρου[18].

Το Z-wave είναι βασισμένο στο IEEE802.15.4 όπως και το Zigbee. Επιπλέον μοιάζουν στο ότι και το Z-wave εξυπηρετεί συσκευές με ελάχιστη ενέργεια και για μικρό εύρος αλλά, βασική διαφορά είναι ότι αντίθετα με το Zigbee, το Z-wave δε μπορεί να υποστηρίξει δίκτυα με πολύ μεγάλο αριθμό συσκευών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε τομείς όπως το έξυπνο σπίτι[18].

Το BLE (Bluetooth low energy) είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που συνδέει συσκευές με μικρή απόσταση σε προσωπικά δίκτυα (PAN) και λειτουργεί στο εύρος συχνότητας των 2.4GHz. Χρησιμοποιείται κυρίως για την επικοινωνία καθημερινών συσκευών, αλλά με τον ερχομό του Bluetooth 4.1 βρίσκει σημαντικές εφαρμογές στο IoT[21]. Βασίζεται σε δομή τύπου master – slave και σε κάθε κόμβο master μπορούν να συνδεθούν ταυτόχρονα έως 7 slaves[21].

Η ονομασία 6LoWPAN (IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks) αναφέρεται σε δίκτυα μικρού εύρους και χαμηλής ενέργειας όπως και το Zigbee. Η μεγάλη διαφορά είναι ότι το 6LoWPAN χρησιμοποιεί το ιντερνετικό πρωτόκολλο IPv6 για να δώσει διευθύνσεις IPv6 στις συσκευές επιτρέποντας έτσι τη σύνδεση τους στο διαδίκτυο με ευκολία και χωρίς την ανάγκη για περαιτέρω εξοπλισμό[18].

Τα RFID και NFC (Near field communication) χρησιμοποιούν τεχνολογίες ετικετών (tags). Και οι δύο τεχνολογίες εφαρμόζονται για δίκτυα με πολύ μικρές αποστάσεις. Αν και έχουν παρόμοιο τρόπο λειτουργίας, σημαντική διαφορά μεταξύ τους είναι ότι το RFID χρησιμοποιείται αποκλειστικά για ταυτοποίηση και παρακολούθηση σε τομείς όπως η υγεία

και η ασφάλεια, ενώ μέσω του NFC επιτυγχάνεται και αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των συνδεδεμένων συσκευών[18].

3.5 Cloud computing

Ο όρος υπολογιστικό νέφος (Cloud computing) περιγράφει ένα μοντέλο στο οποίο, υπολογιστικοί πόροι όπως δίκτυα, σέρβερς, εφαρμογές και αποθηκευτικός χώρος παρέχονται εύκολα και γρήγορα με τη μορφή υπηρεσιών, για οποιαδήποτε χρήση[22]. Με τις υπηρεσίες του cloud, ο χρήστης αρκεί να διαθέτει σύνδεση στο διαδίκτυο και έπειτα έχει στη διάθεση του μεγάλη υπολογιστική ισχύ και τα οφέλη της για εκμετάλλευση. Ο χρήστης δεν επιβαρύνεται με τη διαχείριση, την αποθήκευση και τη συντήρηση όλων αυτών των πόρων και η μόνη του υποχρέωση είναι να πληρώσει το κόστος των υπηρεσιών που χρησιμοποιεί[23]. Οι υπηρεσίες του υπολογιστικού νέφους χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες σύμφωνα με τους Aazam et al.[25]: Το λογισμικό ως υπηρεσία (Software as a service) περιγράφει τη χρήση εφαρμογών που παρέχονται μέσω του διαδικτύου, η πλατφόρμα ως υπηρεσία (Platform as a service) παρέχει στους χρήστες μια πλατφόρμα με όλα τα απαραίτητα εργαλεία και πόρους για να στήσουν τις δικές τους εφαρμογές, το δίκτυο ως υπηρεσία (Network as a service) που προσφέρει εικονικά δίκτυα στους χρήστες και την υποδομή ως υπηρεσία (Infrastructure as a service) που δανείζει υπολογιστική ισχύ για την εκτέλεση εργασιών αλλά και χώρο αποθήκευσης στο cloud. Ως πελάτης που δανείζεται υπηρεσίες μπορεί να είναι είτε ατομικοί χρήστες, είτε ολόκληρες εταιρίες και βιομηχανίες.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι η τεχνολογία του νέφους μπορεί να διευκολύνει σημαντικά τις εργασίες και να μειώσει τα κόστη. Αυτά ακριβώς τα χαρακτηριστικά είναι που το καθιστούν τόσο πολύτιμο για το IoT. Σε εφαρμογές του IoT όπως δίκτυα αισθητήρων, συλλέγεται ένας τεράστιος όγκος δεδομένων που ονομάζονται Μεγάλα δεδομένα (Big data)[24], και απαιτείται η επεξεργασία τους, αλλά και ο απαραίτητος χώρος για την αποθήκευσή τους. Οι συσκευές ενός συστήματος IoT δε μπορούν να πραγματοποιήσουν βαριά επεξεργασία ούτε διαθέτουν τον απαιτούμενο χώρο καθώς είναι απλές στην κατασκευή τους και με στόχο τη χαμηλή κατανάλωση[23]. Με την ένταξη του υπολογιστικού νέφους οι έξυπνες συσκευές έχουν τη δυνατότητα να «ανεβάζουν» τα δεδομένα τους μέσω του διαδικτύου και να χρησιμοποιούν τους πόρους του νέφους για τις ανάγκες τους.

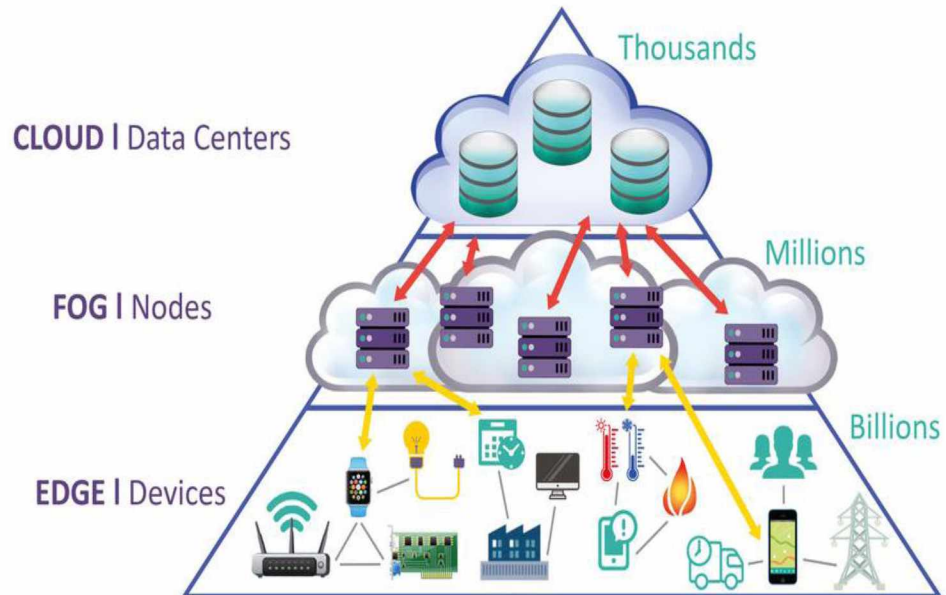
3.6 Edge computing και Fog computing

Όπως είδαμε προηγουμένως υπάρχουν πολλά προτερήματα στην ενσωμάτωση του νέφους στο IoT. Παρ' όλα αυτά, δεν αποτελεί πάντα ιδανική λύση για τις απαιτήσεις του συστήματος. Το υπολογιστικό νέφος προϋποθέτει την αποστολή των δεδομένων σε απομακρυσμένους servers, την επεξεργασία σε αυτούς και έπειτα την αποστολή πίσω στις συσκευές. Όμως, όταν για κάποιες εφαρμογές παράγονται πολλά δεδομένα και η άμεση επεξεργασία και διαθεσιμότητά τους είναι ζωτικής σημασίας (πχ. αυτοοδηγούμενα οχήματα, αεροπλάνα), τότε η συνεχής μετάδοσή τους από και προς το νέφος είναι μια διαδικασία που προκαλεί προβλήματα στη σωστή λειτουργία τους[25]. Σύμφωνα με τους Shi et al.[26] η χρήση του νέφους συναντά προκλήσεις στο περιορισμένο εύρος ζώνης για μετάδοση δεδομένων, που έχει ως αποτέλεσμα αύξηση στο λανθάνων χρόνο (latency) λόγω χαμηλής ταχύτητας μετάδοσης, αλλά και στο γεγονός ότι οι συσκευές του IoT δεν έχουν την απαραίτητη χωρητικότητα μπαταρίας για να καλύψουν συνεχείς και ενεργειακά απαιτητικές μεταδόσεις δεδομένων μεγάλου όγκου.

Μια διαφορετική προσέγγιση για την διαχείριση των δεδομένων προσφέρουν το edge computing (υπολογιστική άκρης) και το fog computing (υπολογιστική ομίχλης). Οι τεχνολογίες αυτές θυσιάζουν τις ανώτερες δυνατότητες του νέφους και αντίθετως, στοχεύουν στην επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων εντός του δικτύου χρησιμοποιώντας τους υπολογιστικούς πόρους που διαθέτουν οι συσκευές μέσα σε αυτό[26]. Πιο συγκεκριμένα, η επεξεργασία και η αποθήκευση γίνεται στην «άκρη» του δικτύου δηλαδή πιο κοντά στους τελικούς χρήστες οι οποίοι είναι και αυτοί που θα χρειαστούν τα δεδομένα, γλυτώνοντας έτσι παραπάνω μεταδόσεις και σπατάλη χρόνου και πόρων. Επιπλέον, εφόσον αναλαμβάνεται η δουλειά αυτή από κόμβους με μεγαλύτερα ενεργειακά αποθέματα και ισχύ, μειώνεται ο φόρτος για τις πιο αδύναμες συσκευές και συνεπώς η κατανάλωσή τους, αυξάνοντας έτσι τη συνολική διάρκεια ζωής του συστήματος[25].

Γενικά, οι όροι cloud computing και fog computing περιγράφουν παρόμοια χαρακτηριστικά και τρόπο λειτουργίας καθώς και στις δύο περιπτώσεις έχουμε τοπική διαχείριση των δεδομένων. Η κύρια διαφορά τους είναι σε ποιο σημείο του δικτύου πραγματοποιούνται οι διεργασίες. Με βάση τους Dului και Datta[27], στη περίπτωση του edge computing ως «άκρη» θεωρούνται οι συσκευές με αισθητήρες που εκτελούν τη συλλογή δεδομένων. Οι κόμβοι που αποτελούν σταθμούς βάσης συγκεντρώνουν τα δεδομένα αυτά, και έπειτα αξιοποιούν τους υπολογιστικούς τους πόρους και το χώρο αποθήκευσης που διαθέτουν. Στο fog computing, αξιοποιούνται κόμβοι που βρίσκονται ανάμεσα στο νέφος και στα end devices για να διαχειρίζονται τα δεδομένα[27]. Παραδείγματα τέτοιων συσκευών είναι πύλες

δικτύου και ασύρματοι δρομολογητές. Στην εικόνα 5 φαίνεται που βρίσκονται οι συσκευές του fog μέσα στο δίκτυο, και παρομοίως για τα υπόλοιπα μοντέλα.



Εικόνα 5: Cloud, Fog and edge

4. Συλλογή δεδομένων στα WSNs

4.1 Γενικά για τα δεδομένα

Αναμφίβολα, το σημαντικότερο κομμάτι στη λειτουργία των συσκευών του IoT, είναι η διαδικασία ανίχνευσης, καταγραφής και συλλογής των επιθυμητών δεδομένων, από το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται. Έπειτα τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται και αποθηκεύονται, ώστε να αξιοποιηθούν κατάλληλα για τις απαιτήσεις του εκάστοτε συστήματος. Η διαδικασία της συλλογής ξεκινάει από τα ειδικά εργαλεία τους αισθητήρες που έχουν δυνατότητα να αντιλαμβάνονται τις συνθήκες του περιβάλλοντος και να ανταποκρίνονται σε αυτές. Τα δεδομένα συγκεντρώνονται και επεξεργάζονται είτε τοπικά, είτε σε απομακρυσμένους server του νέφους στο οποίο στέλνονται με τη χρήση πυλών δικτύου (gateways) και στη συνέχεια, γίνονται διαθέσιμα στους χρήστες μέσω των συσκευών όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα. Τα δεδομένα συλλέγονται από μεγάλο αριθμό ετερογενών έξυπνων συσκευών του IoT και επομένως δεν έχουν όλα την ίδια φύση. Ο Shoemaker (toolbox.com, 2019) διακρίνει τρεις βασικές κατηγορίες:

Τα δεδομένα αυτοματοποίησης (automation data) όπως προδίδει η ονομασία χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποιημένη λειτουργία συσκευών και εφαρμογών με βάση τις πληροφορίες του περιβάλλοντος καθιστώντας αχρείαστη την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής είναι ο έξυπνος φωτισμός σε ένα σπίτι. Τα δεδομένα κατάστασης (status data) αποτελούν την πιο συχνή κατηγορία δεδομένων στο IoT. Πρόκειται για στατικά δεδομένα που συλλέγονται παθητικά από τις συσκευές και δεν έχουν άμεση χρήση όπως τα δεδομένα αυτοματοποίησης αλλά υπόκεινται σε περαιτέρω επεξεργασία ώστε να αξιοποιηθούν. Τέλος, τα δεδομένα τοποθεσίας (location data) αναφέρονται σε πληροφορίες για γεωγραφικές συντεταγμένες και εξυπηρετούν εφαρμογές εύρεσης τοποθεσίας ή παρακολούθησης πορείας για πρόσωπα, οχήματα και αντικείμενα

Σε κάθε περίπτωση, η λειτουργία των αισθητήρων πρέπει να γίνεται με το βέλτιστο τρόπο και για αυτό έχουν γίνει πολλές μελέτες για την ανάπτυξη αποδοτικών μεθόδων συλλογής δεδομένων. Διάφορες τέτοιες μεθόδους θα δούμε για την περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSNs) που είναι και η πιο συχνή εφαρμογή για δίκτυα του IoT. Υπάρχουν πολλά ζητήματα που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν λόγω των περιορισμών από τις συσκευές και τις δεσμεύσεις στην ενέργεια.

4.2 WSN

Μια εφαρμογή που αποτελεί υποσύνολο του IoT είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων ή στα αγγλικά Wireless Sensor Networks (WSNs). Πρόκειται για δίκτυα στα οποία ένας συνήθως μεγάλος αριθμός συσκευών τοποθετούνται σε μία περιοχή, και έπειτα συνδέονται και επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα, όπως προδίδει και το όνομα. Οι συσκευές που συνθέτουν το δίκτυο έχουν τη ικανότητα να συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον τους για την εξυπηρέτηση διαφόρων σκοπών, ανάλογα με το εκάστοτε πεδίο εφαρμογής. Συνήθη δεδομένα καταγραφής είναι οι καιρικές συνθήκες, η θερμοκρασία, οι συγκεντρώσεις αερίων και η ανίχνευση κίνησης.

Κάθε μία από τις συσκευές έχει το ρόλο ενός κόμβου στο σύστημα. Εξαρτήματα που διαθέτουν όλοι οι κόμβοι είναι αισθητήρες, ασύρματο πομποδέκτη και μπαταρία[28]. Εκτός από τους απλούς κόμβους, υπάρχουν επίσης ένας ή περισσότεροι κόμβοι-συλλέκτες (sink nodes) και σταθμοί βάσης (base station) στους οποίους στέλνονται τα δεδομένα που καταγράφονται από τους αισθητήρες. Ο ρόλος του σταθμού βάσης είναι να συγκεντρώνει τα δεδομένα από τους κόμβους και έπειτα να τα διαθέτει στους χρήστες για την για εκμετάλλευσή τους, συνήθως μέσω του διαδικτύου[29].

Τα WSN είναι πολύ χρήσιμα και με πολλές δυνατότητες και με αυτά θα ασχοληθούμε για τη μελέτη μας στη συγκεκριμένη εργασία. Βέβαια, υπάρχουν ζητήματα που προκύπτουν μέσα στα WSN. Πολύ βασικό κομμάτι είναι η ομαλή επικοινωνία μεταξύ των πολυάριθμων κόμβων. Επίσης για τις συσκευές αυτές τα αποθέματα ενέργειας είναι περιορισμένα και για αυτόν το λόγο είναι πολύ σημαντική η διαχείριση της μπαταρίας με αποδοτικό τρόπο. Για την αντιμετώπιση των δυσκολιών αυτών χρησιμοποιούμε τα κατάλληλα και πλέον αποδοτικά πρωτόκολλα για επικοινωνία, καθώς και τις κατάλληλες τοπολογίες. Οι έννοιες αυτές αναλύονται παρακάτω.

4.3 Η κατανάλωση ενέργειας στα WSNs

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των WSNs που δυσχεραίνει τη λειτουργία τους και περιορίζει τη συνολική διάρκεια ζωής τους είναι η ελάχιστη ενέργεια που διαθέτουν οι κόμβοι αισθητήρων. Λόγω του ότι λειτουργούν ασύρματα και διαθέτουν μια μπαταρία μικρής συνήθως χωρητικότητας, υπάρχει πάντα το θέμα της διαχείρισης της κατανάλωσης ενέργειας προς αντιμετώπιση.

Οι Ogbiti et al.[30] παρουσιάζουν το μοντέλο ενός τυπικού κόμβου αισθητήρα να περιλαμβάνει τέσσερα βασικά μέρη: τη μπαταρία, το εργαλείο του αισθητήρα που ανιχνεύει

τα δεδομένα, μια μονάδα επεξεργασίας δεδομένων και μια μονάδα που επιτρέπει την επικοινωνία του κόμβου. Φυσικά, όλα αυτά τα όργανα καταναλώνουν ενέργεια. Σύμφωνα με την ίδια εργασία[30] ισχύουν τα εξής για τις επιμέρους λειτουργίες: Για τον αισθητήρα ισχύει ότι η συμβολή του στην κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται από το πόσο συχνή είναι η ανίχνευση δεδομένων και ο περιορισμός της κατανάλωσης συνεπάγεται την αποφυγή της συνεχούς και αδιάκοπης καταγραφής δεδομένων. Η μονάδα επεξεργασίας αναλαμβάνει τη διαχείριση των πόρων και την εκτέλεση των απαραίτητων υπολογισμών με επιπτώσεις στη μπαταρία ανάλογες των υπολογιστικών απαιτήσεων. Η μονάδα επικοινωνίας εκτελεί τη μετάδοση και τη λήψη των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, η μονάδα επικοινωνίας ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης σε έναν κόμβο WSN. Σύμφωνα με τους Ibrahim et al.[31] σχεδόν το 80% της ενέργειας ενός κόμβου αφιερώνεται για ανταλλαγή δεδομένων. Για την εξοικονόμηση ενέργειας από τη βαριά αυτή διεργασία, συνίσταται ο περιορισμός των μεταδόσεων δεδομένων από τους κόμβους όσο είναι δυνατό, με την εφαρμογή μεθόδων τοπικής διαχείρισης των δεδομένων, όπως η περίπτωση του edge computing που είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Επίσης, σημαντικά οφέλη έχει και ο περιορισμός των αποστάσεων για την επικοινωνία, με την εφαρμογή κατάλληλης δρομολόγησης μεταξύ των κόμβων[30].

Ένα ακόμα ζήτημα που συνδέεται με την κατανάλωση ενέργειας για μεταδόσεις είναι ο μεγάλος όγκος δεδομένων σε ένα WSN. Σύμφωνα με τους Zhou et al.[32], πολλές φορές σε ένα WSN ενδέχεται να συλλέγεται πολύ μεγαλύτερος αριθμός δεδομένων από ότι χρειάζεται η εφαρμογή. Τα περισσότερα δεδομένα απαιτούν και περισσότερες μεταδόσεις, κάτι που αυξάνει το φόρτο του δικτύου και ξοδεύει σημαντικά ποσά ενέργειας όπως προαναφέρθηκε. Επιπλέον, τα πολυάριθμα δεδομένα δημιουργούν ένα ακόμη πρόβλημα που είναι ο πλεονασμός δεδομένων (data redundancy)[33], δηλαδή η ύπαρξη επαναλαμβανόμενων τιμών μεταξύ των καταγραφών από τους αισθητήρες. Η αντιμετώπιση του data redundancy στοχεύει στη μείωση των μεταδόσεων μέσω της μείωσης των περιττών δεδομένων που συγκεντρώνονται. Εν κατακλείδι, είναι πολύ σημαντικό σε ένα WSN να αποφεύγονται οι υπερβολικές μεταδόσεις όσο το δυνατό περισσότερο και να εστιάζουμε στη συλλογή ακριβέστερων δεδομένων.

4.4 Πρωτόκολλα για συλλογή δεδομένων στα WSNs

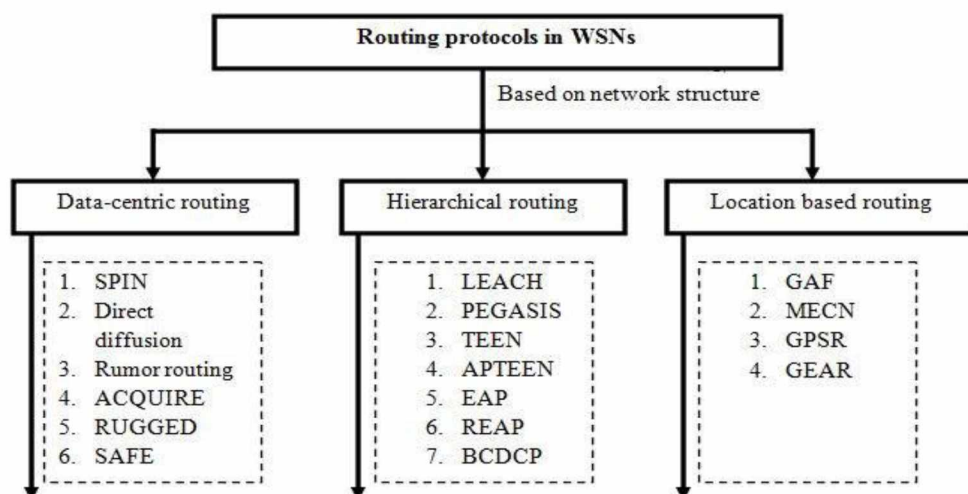
4.4.1 Ταξινόμηση

Για να επιτευχθεί η βέλτιστη ενεργειακή απόδοση σε ένα WSN, χρησιμοποιούνται κατάλληλα πρωτόκολλα δρομολόγησης των δεδομένων. Τα πρωτόκολλα αυτά κατατάσσονται

με βάση διάφορα γνωρίσματα στη μορφή και τη λειτουργία τους. Αν και υπάρχουν πολλές εκδοχές για την κατηγοριοποίηση των πρωτοκόλλων, οι Akkaya και Younis[34] αναφέρουν ότι στη πλειοψηφία τους, μπορούν να ενταχθούν σε μία από τις εξής κύριες κατηγορίες: δεδομενοκεντρικά πρωτόκολλα (data-centric), ιεραρχικά πρωτόκολλα (hierarchical) και με βάση την τοποθεσία (location based). Επιπλέον υπάρχουν και άλλες περιπτώσεις όπως πρωτόκολλα με στόχο την ποιότητα των υπηρεσιών (quality of service - QoS), επίπεδα (flat) πρωτόκολλα ή ακόμα και περιπτώσεις συνδυασμού σε υβριδικά πρωτόκολλα.

- Στα δεδομενοκεντρικά, τα δεδομένα έχουν ονομασίες που τα περιγράφουν και οι κόμβοι-συλλέκτες (sink nodes) αναλαμβάνουν να στέλνουν αιτήσεις (queries) στους κόμβους αισθητήρων για να ζητήσουν τα δεδομένα που χρειάζονται[35].
- Τα ιεραρχικά πρωτόκολλα χαρακτηρίζονται από την αρχιτεκτονική του δικτύου καθώς οργανώνουν τους κόμβους σε ομάδες που ονομάζονται clusters. Για κάθε cluster υπάρχει ένας κόμβος cluster head που έχει το ρόλο να συλλέγει τα δεδομένα των υπόλοιπων κόμβων της ομάδας και έπειτα τα προωθεί στο σταθμό βάσης[36]. Ενδιαφέρον έχουν και τα επίπεδα (flat) πρωτόκολλα που αποτελούν το αντίθετο των ιεραρχικών. Σε αυτά, όλοι οι κόμβοι θεωρούνται ίσοι μεταξύ τους και η μετάδοση των δεδομένων κάθε κόμβου γίνεται μέσω των υπολοίπων σε μορφή πολλαπλών βημάτων (multi hop)[35].
- Στα location based πρωτόκολλα τα δίκτυα αξιοποιούν τις συντεταγμένες κάθε κόμβου στο χώρο. Με τις πληροφορίες αυτές είναι δυνατό να υπολογιστούν οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων έτσι ώστε να υπάρξει δρομολόγηση με περιορισμένο κόστος[34].

Σημαντικά πρωτόκολλα που ανήκουν σε κάθε κατηγορία φαίνονται στην εικόνα 6.



Εικόνα 6: Κατάταξη πρωτοκόλλων δρομολόγησης

4.4.2 Δεδομενοκεντρικά πρωτόκολλα

➤ SPIN

Το SPIN (Sensor protocols for information via negotiation) είναι ένα δεδομενοκεντρικό μοντέλο δρομολόγησης στο οποίο, οι κόμβοι ονομάζουν τα δεδομένα τους με τη χρήση περιγραφών. Έπειτα, τα δεδομένα «διαφημίζονται» στους υπόλοιπους κόμβους και στέλνονται σε όσους τα ζητήσουν μέσω κατάλληλων μηνυμάτων[34]. Υπάρχουν τρία είδη μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται στο SPIN: το ADV για τη διαφήμιση των δεδομένων από έναν κόμβο, το REQ για να ζητήσει κάποια δεδομένα ένας κόμβος από έναν άλλο και το DATA που στέλνει τα δεδομένα που ζητήθηκαν[34]. Με αυτήν την επικοινωνία των κόμβων, αποφεύγονται τα περιττά δεδομένα και εξοικονομείται ενέργεια, μολονότι το πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι ότι το SPIN δε προσφέρει αξιοπιστία όταν η μεταφορά δεδομένων αφορά απομακρυσμένους μεταξύ τους κόμβους[34].

➤ Direct diffusion

Πρόκειται για μία ακόμα δεδομενοκεντρική προσέγγιση. Με το direct diffusion τα δεδομένα ονοματίζονται και σκοπός είναι να διαχυθούν στους κόμβους του δικτύου. Τα sink nodes αναλαμβάνουν να στέλνουν αιτήματα προς τους γειτονικούς κόμβους οι οποίοι λαμβάνουν τα δεδομένα και τα αποθηκεύουν. Στη συνέχεια, εάν τα δεδομένα των κόμβων ταιριάζουν με το αίτημα του sink τότε στέλνονται ως απάντηση[34]. Αντίθετα με το SPIN όπου οι κόμβοι στέλνουν πολλά μηνύματα μεταξύ τους, στην περίπτωση του data diffusion εφόσον το sink ζητάει τα δεδομένα από τους κόμβους, περιορίζονται οι παραπάνω μεταδόσεις και επομένως μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας.

➤ Rumor routing

Το rumor routing στοχεύει στη δημιουργία μονοπατιών για τα queries έτσι ώστε να μειώνονται οι μεταδόσεις στο δίκτυο. Για να το πετύχει αυτό χρησιμοποιούνται ειδικά μηνύματα με μεγάλη διάρκεια ζωής που ονομάζονται agents. Τα agents διασχίζουν το δίκτυο και δημιουργούν μονοπάτια με το ελάχιστο δυνατό αριθμό βημάτων (hops) προς τους ενδιαφερόμενος κόμβους, για την εξοικονόμηση ενέργειας[37].

4.4.3 Ιεραρχικά πρωτόκολλα

➤ LEACH

Το LEACH (Low-energy adaptive clustering hierarchy) είναι ένας πλήρως κατανεμημένος και ιεραρχικός αλγόριθμος δρομολόγησης. Διαχωρίζει το δίκτυο σε clusters στα οποία όλοι οι

κόμβοι που συμμετέχουν στέλνουν τα δεδομένα τους σε έναν cluster head για να τα μεταφέρει στο σταθμό βάσης[36]. Στο LEACH η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται τοπικά σε κάθε cluster[34]. Ο ρόλος του cluster head ξοδεύει πολλή ενέργεια και για το λόγο αυτό τα cluster head αλλάζουν, ώστε να διαμοιράζεται η κατανάλωση μεταξύ των κόμβων του δικτύου συνολικά. Τα cluster head επιλέγονται με τυχαίο τρόπο και η αλλαγή cluster head γίνεται μετά από κάθε χρονική περίοδο που ονομάζεται round[38].

➤ **PEGASIS**

Το ιεραρχικό πρωτόκολλο PEGASIS (Power efficient gathering in sensor information systems), είναι μια βελτίωση του LEACH[39]. Κατασκευάζει μια αλυσίδα με την εφαρμογή ενός greedy algorithm στην οποία συμμετέχουν όλοι οι κόμβοι του δικτύου[40]. Σε αυτήν την αλυσίδα κάθε κόμβος έχει δύο γειτονικούς κόμβους, έναν από τον οποίο μόνο λαμβάνει δεδομένα και έναν στον οποίο μόνο μεταδίδει δεδομένα και επίσης επιλέγεται ως leader (αρχηγός) ο κόμβος που βρίσκεται πιο κοντά στο σταθμό βάσης από τους υπόλοιπους[34]. Οι κόμβοι προωθούν τα δεδομένα τους μαζί με τα δεδομένα που λαμβάνουν μέχρι να φτάσουν στο leader. Επειδή ο leader αναλαμβάνει τη συγκέντρωση των δεδομένων και είναι ο μόνος κόμβος που μεταδίδει προς τον σταθμό βάσης, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας για τους υπόλοιπους κόμβους. Βέβαια ο φόρτος για τον leader είναι μεγάλος και έχει θέματα ενέργειας, ενώ υπάρχουν και καθυστερήσεις για απομακρυσμένους κόμβους[34].

➤ **TEEN**

Το TEEN (Threshold energy efficient sensor network) είναι ιεραρχικό πρωτόκολλο που επιτρέπει στα δίκτυα που το χρησιμοποιούν να μπορούν να αντιδρούν άμεσα σε αλλαγές του περιβάλλοντος[40]. Οργανώνεται σε clusters με τυχαία επιλογή cluster head όπως ακριβώς και το LEACH, αλλά εφαρμόζει μια δεδομενοκεντρική τεχνική[40]. Τα cluster heads στέλνουν δύο τιμές κατωφλιού (threshold) στους υπόλοιπους κόμβους, τη hard threshold value και τη soft threshold value και έπειτα, οι κόμβοι συγκρίνουν τα δεδομένα που συλλέγουν με αυτές τις τιμές και αντιδρούν ανάλογα με το αν ανήκουν στο ζητούμενο εύρος[40]. Ως αποτέλεσμα, περιορίζεται σημαντικά ο αριθμός των μεταδόσεων στο δίκτυο και μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας. Το TEEN δεν ενδείκνυται για εφαρμογές που απαιτούν συνεχή καταγραφή δεδομένων[34].

4.4.4 Location based πρωτόκολλα

➤ GAF

Στο GAF (Geographic Adaptive Fidelity), ως πρωτόκολλο που βασίζεται στην τοποθεσία, οι κόμβοι χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως το GPS για να προσδιορίζουν τη θέση τους αλλά και τη θέση των γειτονικών τους κόμβων[41]. Στόχος του GAF είναι η εξοικονόμηση ενέργειας με τον περιορισμό των μεταδόσεων μεταξύ κόμβων. Για να το επιτευχθεί αυτό, το δίκτυο χωρίζεται σε grids (πλέγματα) όπου κάθε grid περιέχει έναν αριθμό από κόμβους με βάση τη γεωγραφική τους θέση[39]. Οι κόμβοι που ανήκουν στα ίδια grids θεωρούνται ίσοι στις λειτουργίες τους και επομένως αρκεί να λειτουργεί μόνον ένας εξ αυτών. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν τρεις πιθανές καταστάσεις για τους κόμβους στο GAF. Αρχικά στη discovery state οι κόμβοι ενός grid ανταλλάσσουν μηνύματα και μέσω αυτής της διαδικασίας, επιλέγεται ένας κόμβος με την περισσότερη ενέργεια σε κάθε grid, που μπαίνει σε active state και εκτελεί την καταγραφή και αποστολή δεδομένων[41]. Οι υπόλοιποι κόμβοι του grid βρίσκονται σε sleeping state, δηλαδή δεν εκτελούν λειτουργίες και έτσι διατηρούν την ενέργειά τους[41]. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και έτσι οι καταστάσεις των κόμβων σε κάθε grid εναλλάσσονται για να διαμοιράζεται η κατανάλωση ενέργειας.

➤ GEAR

Το GEAR (Geographic and energy-aware routing) χρησιμοποιεί την ίδια μέθοδο διάχυσης των queries στους κόμβους που είδαμε στο direct diffusion. Η βελτιστοποίηση που προσφέρει το GEAR είναι ότι με τη χρήση των πληροφοριών γεωγραφικής τοποθεσίας, η διάχυση των δεδομένων γίνεται μόνο σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές του δικτύου και όχι σε όλο το εύρος του, με αποτέλεσμα να είναι πιο αποδοτικό από το direct diffusion[42].

5. Συνεργατική συλλογή δεδομένων

5.1 Συνεργασία στα WSNs

Τα WSNs εκπροσωπούν σε μεγάλο βαθμό τον τομέα του IoT χάρις τις δυνατότητες που προσφέρουν για την καταγραφή του φυσικού κόσμου και τη συλλογή δεδομένων από αυτόν. Η ανεξαρτησία ως προς τη λειτουργία τους, διότι δεν έχουν την ανάγκη για άμεση ανθρώπινη διαχείριση, τα καθιστά ιδανικά για χρήση σε πολλές περιστάσεις. Δυστυχώς, λόγω των αδύναμων συσκευών που αναπόφευκτα χρησιμοποιούν, παρουσιάζονται προβλήματα στο δίκτυο, με κύριο θέμα την ενέργεια του συστήματος. Με στόχο τις καλύτερες επιδόσεις υπάρχουν οι αλγόριθμοι που αναλύσαμε, οι οποίοι οργανώνουν το δίκτυο σε ωφέλιμες τοπολογίες ή διευκολύνουν τις μεταδόσεις των κόμβων με την εύρεση μονοπατιών για τα δεδομένα τους. Με βάση αυτές τις πρακτικές και αξιοποιώντας τη δυνατότητα των κόμβων να επικοινωνούν μεταξύ τους, προκύπτει μία έννοια που στην έρευνα των Li et al. αναφέρεται ως συνεργατικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Collaborative wireless sensor network - CWSN). Καθώς οι συσκευές στα WSNs διαθέτουν ελάχιστους πόρους όπως υπολογιστική ισχύ και ενέργεια, το CWSN στρέφεται προς μεθόδους που στοχεύουν στη συνεργασία των επιμέρους κόμβων για την διεκπεραίωση μιας διεργασίας. Η συνεργασία αυτή μπορεί να ερμηνευτεί ως ο διαμοιρασμός του φόρτου σε ολόκληρο το δίκτυο για την ανίχνευση των δεδομένων και την επεξεργασία τους, εκμεταλλεύοντας την κατανεμημένη δομή των WSNs[43]. Γενικότερα, στα CWSNs η συνεργασία μπορεί να βρει εφαρμογή σε όλα τα επίπεδα του δικτύου, όπως στις τοπολογίες ή σε αλγόριθμους επικοινωνίας, και να βελτιώσει όχι απλά μεμονωμένες διεργασίες αλλά και τη συνολική επίδοση του συστήματος καθώς και τη διάρκεια ζωής των συσκευών.

Ανάλογα με τις ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τη συνεργασία τους, τα CWSNs χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες[43]:

- Συνεργασία με βάση τη συμμετοχή (cooperation-based), όπου ο κάθε κόμβος συμμετέχει προς την επίτευξη του στόχου ανάλογα με το επίπεδο συνεισφοράς που μπορεί να διαθέσει.
- Ανταγωνιστική (competitive), στην οποία οι κόμβοι ανταγωνίζονται μεταξύ τους και συμμετέχουν στη συνεργασία με βάση τους πόρους που διαθέτουν.
- Με αυτο-οργάνωση (self-organization), για την οποία η συνεργασία των κόμβων καθορίζεται από τις μετρήσεις των αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο από το περιβάλλον.

Επιπλέον, οι εφαρμογές που υιοθετούν τις τεχνικές συνεργασίας των CSWNs

κατηγοριοποιούνται σε δύο περιπτώσεις[43]:

- WSN με βάση τη συνεργασία, που περιγράφουν την εφαρμογή μεθόδων συνεργασίας σε ένα WSN με στόχο την αντιμετώπιση των δυσκολιών που προκύπτουν και κατά συνέπεια τη βελτίωση του δικτύου.
- Συνεργασία με βάση τα WSNs, όπου ένα WSN χρησιμοποιείται με συνεργατικό τρόπο από εφαρμογές και συστήματα για την κατανομημένη φύση του καθώς και για τις δυνατότητες που διαθέτει.

5.2 Συνεργατική συλλογή δεδομένων και περιπτώσεις εφαρμογής

Είναι προφανές ότι τα WSNs έχουν σημαντικά οφέλη όταν οι κόμβοι και οι συσκευές που το απαρτίζουν εργάζονται συνεργατικά. Για το λόγο αυτό, οι τεχνολογίες που εφαρμόζουν τη συνεργασία, αναπτύσσονται ολοένα και περισσότερο και ενσωματώνονται σε όλες τις πτυχές της λειτουργίας ενός WSN και κατ' επέκταση του IoT. Οι καινοτομίες που προσφέρει αντιμετωπίζουν μόνιμα ζητήματα των WSNs. Ένα κοινό χαρακτηριστικό σε όλες τις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται κάποιο δίκτυο αισθητήρων είναι η συλλογή δεδομένων, που κατέχει αδιαμφισβήτητα πολύ σημαντικό ρόλο στη συνολική επίδοση του συστήματος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για την επίτευξη βέλτιστης συλλογής δεδομένων με συνεργατικό τρόπο σε διάφορους τομείς.

5.2.1 Optimal clustering

Μια εφαρμογή συνεργατικής συλλογής δεδομένων είναι το optimal clustering, δηλαδή ο βέλτιστος σχηματισμός cluster μέσα σε ένα WSN. Στη βιβλιογραφία οι Li et al.[44], παρουσιάζουν ένα τέτοιο μοντέλο για ένα δίκτυο αισθητήρων. Οι κόμβοι του συστήματος επικοινωνούν μεταξύ τους και χρησιμοποιούν έναν αλγόριθμο για να οργανωθούν σε clusters και να επιλέξουν τα κατάλληλα cluster heads που θα επιτρέπουν τη βέλτιστη μετάδοση των δεδομένων. Έπειτα, τα cluster heads συνδέονται με τη χρήση μιας ψευδο-καμπύλης Hilbert. Τα συνδεδεμένα cluster heads, συγκεντρώνουν τα δεδομένα των αισθητήρων και συνεργάζονται μεταξύ τους για να τα προωθήσουν στο σταθμό βάσης. Αυτή η τεχνική έχει ως αποτέλεσμα να κατανέμεται ο φόρτος των κόμβων και να περιορίζεται η κατανάλωση ενέργειας για μεταδόσεις.

5.2.2 Collaborative body sensor networks

Τα body sensor networks (δίκτυα αισθητήρων σώματος) αποτελούν μια εφαρμογή των WSNs σε τομείς με ανθρωποκεντρικό ενδιαφέρον όπως η παρακολούθηση της υγείας, ο αθλητισμός, τα διαδραστικά παιχνίδια και η επίβλεψη προσωπικού[45]. Περιλαμβάνουν ένα πλήθος από συσκευές που φοριούνται από τα άτομα πάνω στο σώμα τους και συλλέγουν δεδομένα τα οποία προσφέρουν πληροφορίες για την κατάστασή τους τη δεδομένη στιγμή, καθώς και για τις ενέργειές τους[45]. Σύμφωνα με την έρευνα των Boudargham et al.[46], τα BSNs μπορούν να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν τα δεδομένα τους για να ικανοποιήσουν αποτελεσματικότερα απαιτήσεις για ταυτόχρονη παρακολούθηση μεγάλου αριθμού ατόμων. Η έννοια αυτή ονομάζεται collaborative body sensor network (CBSN)[46] και είναι μια μέθοδος για την περαιτέρω αξιοποίηση των BSNs μέσω της συνεργασίας μεταξύ τέτοιων δικτύων.

5.2.3 Mobile Wireless Sensor Networks

Στις κλασικές περιπτώσεις των WSNs τα δίκτυα είναι στατικά, δηλαδή οι κόμβοι είτε είναι αισθητήρες είτε σταθμοί βάσης, παραμένουν στο ίδιο σημείο όπου τοποθετήθηκαν εξ αρχής χωρίς τη δυνατότητα να μετακινηθούν. Ως εναλλακτική προτείνονται τα mobile (κινητά) WSNs στα οποία οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να κινούνται στο χώρο προσφέροντας σημαντικές βελτιώσεις στην εξοικονόμηση ενέργειας του συστήματος και μείωση των χρονικών καθυστερήσεων για τις μεταδόσεις[47]. Σε ένα mobile WSN η συλλογή των δεδομένων μπορεί να γίνει πιο αποδοτική με τη χρήση κινητών sink nodes που διασχίζουν το δίκτυο και συλλέγουν τα δεδομένα των κόμβων αισθητήρα. Βέβαια, υπάρχουν περιορισμοί με βάση το μονοπάτι των sinks και το πρόβλημα που προκύπτει είναι η μη αποτελεσματική συλλογή δεδομένων για κόμβους που βρίσκονται σε απομακρυσμένο σημείο[48]. Σε αυτή την περίπτωση, οι Fu et al.[48] προτείνουν μια συνεργατική συλλογή δεδομένων για απομακρυσμένους κόμβους. Στη συγκεκριμένη μέθοδο, οι κόμβοι που δε μπορούν να στείλουν τα δεδομένα τους άμεσα στα sink, επικοινωνούν με γειτονικούς κόμβους και συνεργάζονται για να μεταφέρουν τα δεδομένα τους στα κινητά sink ώστε να συλλεχθούν.

5.2.4 Collaborative UAV-WSN

Με στόχο την κάλυψη μεγάλων περιοχών από WSNs μία μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί είναι η χρήση ιπτάμενων οχημάτων που ονομάζονται UAVs (unmanned aerial vehicle). Η ιδέα προκύπτει από τα κινητά sink που παρουσιάστηκαν προηγουμένως με τη διαφορά ότι, για την αντιμετώπιση των δυσκολιών που παρουσιάζονται λόγω περιορισμών στα

μονοπάτια που μπορούν να ακολουθήσουν τα κινητά sinks, προτείνεται η μεταφορά τους με UAVs στον εναέριο χώρο. Ο τρόπος λειτουργίας είναι επίσης παρόμοιος, με τους κόμβους να οργανώνονται σε clusters στο έδαφος και τα ιπτάμενα sink να κινούνται με συγκεκριμένο τρόπο ώστε να συλλέξουν τα δεδομένα από τα cluster heads[49]. Αν και επιτρέπουν την καταγραφή πολύ μεγάλων εκτάσεων, βασικό ρόλο παίζει το μονοπάτι των UAVs. Με τη συνεργασία μεταξύ του WSN στο έδαφος και των UAVs σχηματίζονται τα κατάλληλα clusters και καθορίζεται η πορεία που διαγράφουν τα UAVs με βάση τη βέλτιστη απόδοση ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή συλλογή δεδομένων αλλά και με τη λιγότερη κατανάλωση ενέργειας [49].

6. Μελέτη περίπτωσης και προσομοίωση με το CupCarbon simulator

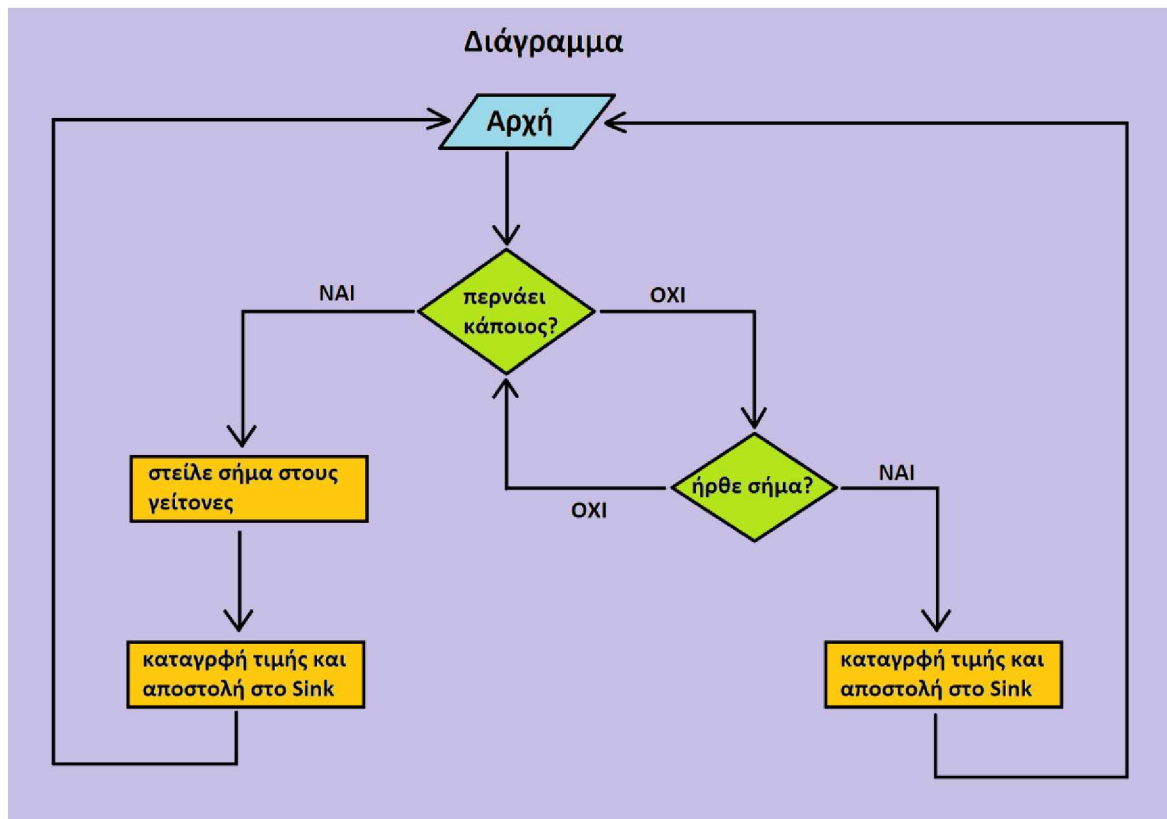
6.1 Περιγραφή εφαρμογής

Έχοντας δει και αναλύσει τα οφέλη της συνεργασίας των συσκευών στα πλαίσια του IoT, θα προτείνουμε μια περίπτωση εφαρμογής τέτοιας συνεργασίας. Μέσω του παραδείγματος που θα μελετήσουμε θέλουμε να εστιάσουμε στη διαδικασία της συλλογής δεδομένων με αποδοτικό τρόπο για ένα WSN. Για το λόγο αυτό επιλέγουμε ως εφαρμογή για μελέτη περίπτωσης ένα σύστημα παρακολούθησης και καταγραφής που χρησιμοποιεί έξυπνες κάμερες.

Υποθέτουμε ότι μας ενδιαφέρει η επίβλεψη κάποιας περιοχής και εγκαθιστούμε έναν αριθμό από κάμερες ώστε να γνωρίζουμε σε κάθε στιγμή εάν κάποιος εισέρχεται εντός αυτής και τη διασχίζει. Σε μία κλασική περίπτωση, θα είχαμε όλες τις κάμερες να λειτουργούν αδιάκοπα και να συλλέγουν οπτικό υλικό από το περιβάλλον το οποίο θα συγκεντρώνεται στα κατάλληλα sink για την μετέπειτα ανάλυσή του. Όμως, επειδή στόχος μας είναι η συνεργασία των συσκευών, το σύστημα που προτείνεται περιλαμβάνει έξυπνες κάμερες οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν τον περίγυρο τους και επιπλέον μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους στέλνοντας μηνύματα η μία στην άλλη. Επίσης οι συσκευές θα διαθέτουν και αισθητήρες κίνησης που ανιχνεύουν εάν κάποιος βρίσκεται εντός της εμβέλειάς τους.

Στην εφαρμογή αυτή, αρχικά καμία συσκευή δε θα συλλέγει δεδομένα μόνη της. Οι κάμερες θα χρησιμοποιούν μόνο τους αισθητήρες κίνησης μέχρι να εντοπίσουν κάποιον να περνάει. Όταν μια συσκευή αντιληφθεί κίνηση στην περιοχή της τότε μόνο ξεκινάει να συλλέγει δεδομένα η ίδια, και επίσης στέλνει ένα σήμα σε όλες τις γειτονικές συσκευές, δηλαδή σε απόσταση ένα hop. Όσες συσκευές λάβουν το σήμα θα καταγράψουν επίσης δεδομένα, διότι μία μόνο κάμερα συνήθως δεν μπορεί να παρακολουθήσει επαρκώς έναν στόχο από όλες τις πιθανές οπτικές γωνίες. Επομένως, όταν ένας περαστικός ανιχνεύεται από μία κάμερα τότε θα ενεργοποιείται η ίδια αλλά και όσες τον περιβάλλουν χωρικά και θα τον καταγράφουν. Οι υπόλοιπες πιο μακρινές συσκευές, δε θα εκτελούν αυτές τις διεργασίες αν δε πλησιάσει ο περαστικός ώστε να τον ανιχνεύσουν ή αν δε δεχθούν μήνυμα επιβεβαίωσης. Οι κάμερες παύουν ξανά να λειτουργούν όταν δε βρίσκεται πλέον κάποιος στο δικό τους οπτικό πεδίο ή σε κάποιας γειτονικής. Θα κατασκευάσουμε έναν κατάλληλο αλγόριθμο για την αναπαράσταση της λειτουργία των συσκευών όπως την περιγράψαμε. Τα βήματα του αλγορίθμου που ακολουθούν όλες οι κάμερες στο δίκτυο παρουσιάζεται στο διάγραμμα της

εικόνας 7.



Εικόνα 7: Διάγραμμα αλγορίθμου

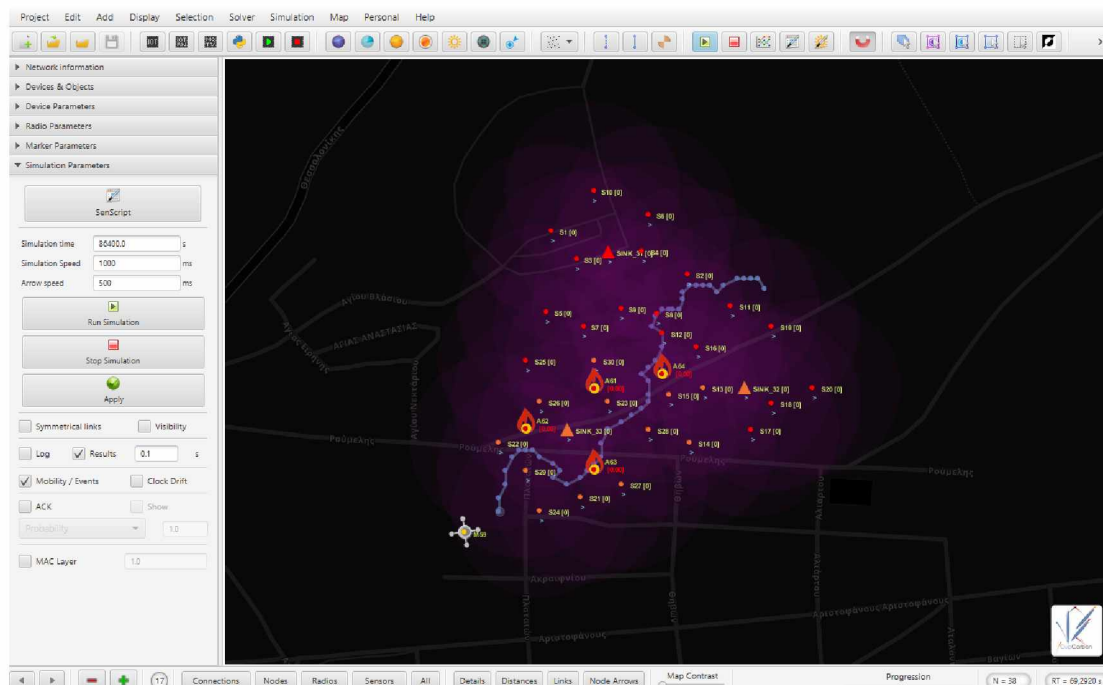
Ως αποτέλεσμα, όσο ο περαστικός προχωράει ενεργοποιούνται άλλες κάμερες στο δρόμο του και από όσες απομακρύνεται σταματούν να συλλέγουν δεδομένα. Πετυχαίνουμε έτσι την καταγραφή ατόμων σε όλο το εύρος της περιοχής που επιτηρούμε σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας μόνο όσες κάμερες χρειάζονται κάθε φορά και μόνο όταν υπάρχει κάποιος για να παρακολουθήσουν τις κινήσεις του.

6.2 Στόχοι

Η προτεινόμενη εφαρμογή στοχεύει να βελτιώσει την διαδικασία συλλογής δεδομένων ως προς τα ενεργειακά κόστη και αλλά και την ακρίβεια των δεδομένων. Αρχικά, με βάση όσα είδαμε στην ενότητα 4.3, γνωρίζουμε ότι οι μεταδώσεις των δεδομένων ευθύνονται για το σημαντικότερο ποσοστό απωλειών ενέργειας στη συνολική λειτουργία των συσκευών. Η περίπτωση ενός κυκλώματος καμερών προϋποθέτει συνεχή καταγραφή και υλικού όπως βίντεο και εικόνες που με τη σειρά τους πρέπει να σταλούν σε σταθμό βάσης. Αυτή η συνεχόμενη μετάδοση ξοδεύει πολύ γρήγορα την ενέργεια του συστήματος. Όταν όμως οι κάμερες λειτουργούν υπό προϋποθέσεις και συλλέγουν υλικό επιλεκτικά τότε χρησιμοποιούν

λιγότερους πόρους τόσο για τη λειτουργία της καταγραφής αλλά και για την αποστολή αυτών των δεδομένων. Επιπλέον, μία ακόμα βελτίωση που προκύπτει είναι ότι με την εφαρμογή αυτής της συνεργασίας μεταξύ των συσκευών, συλλέγουμε πιο εύστοχα δεδομένα καθώς είναι συγκεκριμένα για το σκοπό που θέλουμε εκείνη τη στιγμή, δηλαδή καταγραφή ατόμων που περνούν εντός της περιοχής. Ως αποτέλεσμα είναι ευκολότερο να αξιοποιήσουμε το υλικό που χρειαζόμαστε εφόσον τα δεδομένα που συγκεντρώνονται έχουν μικρότερο όγκο, και επίσης απαιτείται λιγότερος χώρος για την αποθήκευσή τους.

6.3 Το CupCarbon Simulator



Εικόνα 8: Το περιβάλλον του CupCarbon

Τα προγράμματα προσομοίωσης δικτύων χρησιμοποιούνται ώστε μέσω δοκιμών να κατανοήσουμε καλύτερα τα σενάρια που αναπτύσσουμε, αλλά και για την πρόβλεψη πιθανών ατελειών και την εκτίμηση της αποδοτικότητας. Υπάρχουν πολλά τέτοια προγράμματα όπως το NS-3, το NetSim, το TOSSIM και το Cooja simulator. Για την αναπαράσταση της περίπτωσης που μελετάμε και τη αξιολόγηση της λειτουργίας της, επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε το CupCarbon. Πρόκειται για έναν προσομοιωτή ασύρματων δικτύων αισθητήρων και εφαρμογών του IoT σε διάφορους τομείς, όπως οι έξυπνες πόλεις. Είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα και διατίθεται δωρεάν στην επίσημη ιστοσελίδα[50], ενώ στην εικόνα 8 φαίνεται το interface της εφαρμογής. Σε σχέση με άλλα προγράμματα, το CupCarbon εστιάζει κυρίως στο επίπεδο εφαρμογής (application layer) και στοχεύει στο σχεδιασμό

σεναρίων τόσο στον επιστημονικό όσο και στον εκπαιδευτικό τομέα, με τη δυνατότητα ρεαλιστικής απεικόνισης των WSNs για περιπτώσεις καταγραφής του περιβάλλοντος και συλλογής δεδομένων. Ένας ακόμα παράγοντας που κάνει το CupCarbon να ξεχωρίζει στον τομέα της οπτικής αναπαράστασης, είναι η χρήση του OpenStreetMap (OSM). Με το OSM παρέχεται ένας ακριβής χάρτης πάνω στον οποίο μπορούμε να στήσουμε το δίκτυο μας.

Ο χρήστης του CupCarbon διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό αντικείμενων που μπορεί να προσθέσει στην εργασία του για την προσομοίωση όλων των πτυχών του IoT:

- Κόμβους αισθητήρων που έχουν το ρόλο των έξυπνων συσκευών. Οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να ρυθμιστούν πλήρως ως προς την ενέργειά τους, την κατανάλωση και το εύρος δράσης τους, ενώ για την επικοινωνία τους προσφέρονται τρία πρωτόκολλα: το ZigBee, το LoRa και το WiFi. Έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν τιμές από τεχνητά γεγονότα καθώς και να αντιλαμβάνονται κίνηση. Για να καθορίσουμε τη λειτουργία τους, αναθέτουμε ένα script σε κάθε κόμβο. Τα scripts γράφονται σε SenScript, μία γλώσσα που περιλαμβάνει το CupCarbon και διαθέτει τις δικές τις εντολές. Μέσω των script οι κόμβοι μπορούν να εκτελούν τις εντολές διάφορων αλγορίθμων και να τους εφαρμόζουν στα δίκτυα που μελετάμε.
- Οι directional sensors είναι μια ειδική περίπτωση αισθητήρων οι οποίοι αντί για περιοχή ανίχνευσης με κυκλικό σχήμα, έχουν σχήμα κώνου του οποίου η θέση και το μέγεθος μπορούν να ρυθμιστούν. Ως αποτέλεσμα, οι συσκευές αυτές καταγράφουν προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση μόνο και όχι τα πάντα γύρω τους.
- Σταθμούς βάσης για τη συλλογή των δεδομένων. Λειτουργούν ακριβώς όπως και οι κόμβοι αισθητήρων και δέχονται τις ίδιες ρυθμίσεις. Η διαφορά τους είναι ότι οι σταθμοί βάσης αποτελούν τον τελικό προορισμό των δεδομένων μέσα στη προσομοίωση και επίσης διαθέτουν άπειρη χωρητικότητα μπαταρίας
- Αισθητήρες αερίων (Gas sensors) για την προσομοίωση φυσικών γεγονότων και περιβαλλοντικών συνθηκών. Τα αντικείμενα αυτά παράγουν τιμές τις οποίες ανιχνεύουν και καταγράφουν οι αισθητήρες όταν βρίσκονται εντός της εμβέλειάς τους και μπορούν να αναφέρονται σε θερμοκρασία, συγκεντρώσεις αερίων, επίπεδα υγρασίας κ.α. Ένα gas sensor μπορεί να είναι είτε στατικό είτε να κινείται στο χώρο. Για να παραχθούν οι τιμές χρησιμοποιείται η λειτουργία Natural Event generator που παρέχει το CupCarbon και επιτρέπει την παραγωγή αρχείων με αριθμητικά δεδομένα. Οι τιμές που προκύπτουν από το Natural Event generator ακολουθούν την κατανομή Gauss, αλλά είναι δυνατό να δημιουργήσουμε δικά μας dataset με διαφορετική μορφή. Έπειτα, αναθέτουμε το αρχείο τιμών στο gas sensor.

- Κινητές συσκευές (mobiles) για την προσομοίωση κινητών αντικειμένων του πραγματικού κόσμου όπως οχήματα. Οι κινητές συσκευές ακολουθούν ένα προκαθορισμένο μονοπάτι κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Με τη χρήση των marker μπορούμε να σχεδιάσουμε διάφορες διαδρομές πάνω στο χάρτη που στη συνέχεια μπορούν να αποθηκευτούν ως αρχεία GPS. Κάθε mobile χρειάζεται να του ανατεθεί ένα αρχείο GPS ώστε να μπορεί να κινηθεί.

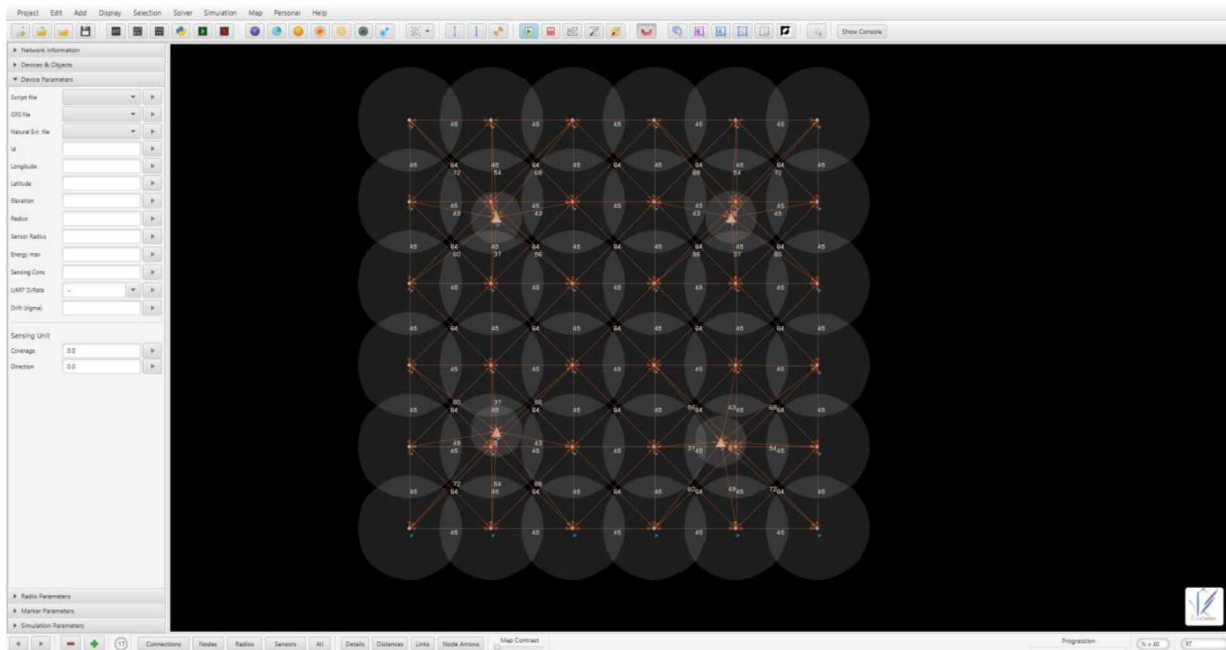
6.4 Προσομοίωση δικτύου καμερών

6.4.1 Προτεινόμενη μέθοδος

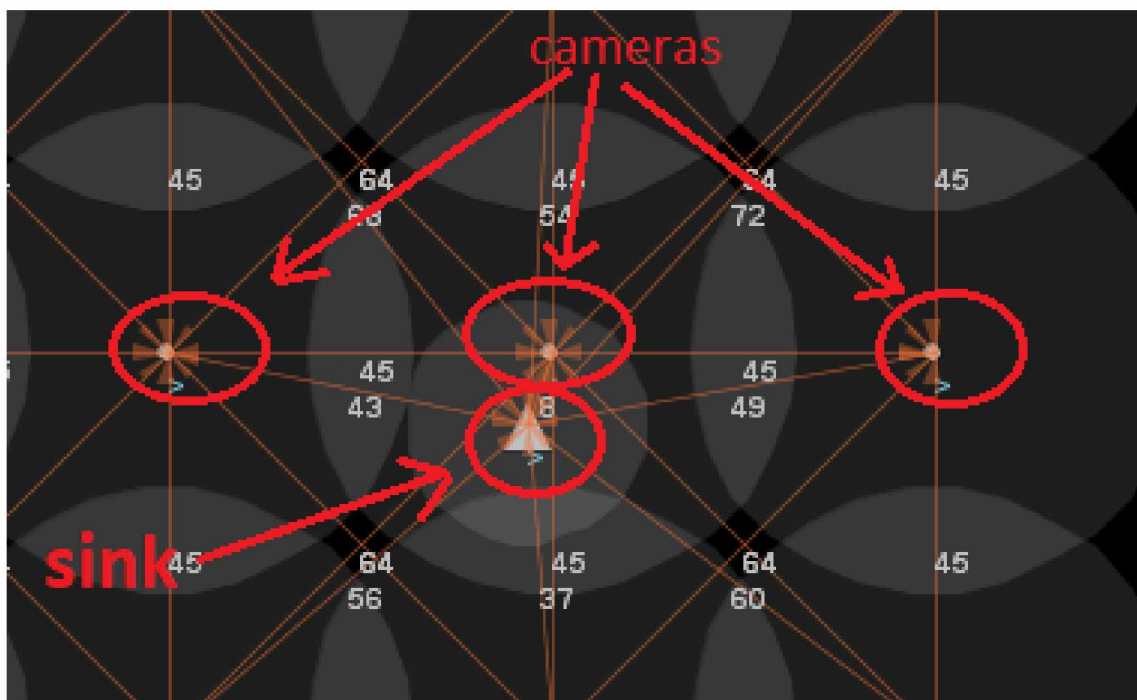
Θα στήσουμε το δίκτυο των καμερών στο CupCarbon ώστε να γίνει η μελέτη περίπτωσης του σεναρίου συνεργατικής συλλογής δεδομένων. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης θα χρησιμοποιήσουμε τα εξής:

- 36 sensor nodes, που θα είναι οι έξυπνες κάμερες
- 4 sinks, για τη συλλογή των δεδομένων
- 1 mobile, για την προσομοίωση κάποιου περαστικού

Μέσα στο δίκτυο θέλουμε οι κάμερες να συνδέονται μεταξύ τους ώστε να επιτρέπεται η επικοινωνία, ενώ ταυτόχρονα θέλουμε να παρέχουν και πλήρη κάλυψη μιας περιοχής. Για το λόγο αυτό επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε μια τοπολογία τύπου mesh (πλέγμα). Τοποθετούμε τις κάμερες σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους σχηματίζοντας ένα πλέγμα με σχήμα τετραγώνου που έχει έξι σειρές με έξι κόμβους η καθεμία. Στην τοπολογία αυτή, όλες οι κάμερες έχουν γείτονες σε απόσταση ένα hop με τους οποίους μπορούν να ανταλλάσσουν μηνύματα. Ανάλογα με τη θέση τους στο πλέγμα (γωνία, κέντρο κτλπ.), οι κάμερες έχουν από τρεις έως οκτώ γείτονες. Θεωρούμε ότι οι κόμβοι του δικτύου χωρίζονται σε τέσσερις ομάδες των εννιά κόμβων και αναθέτουμε ένα sink για κάθε ομάδα. Καθένα από τα sink συνδέεται με τις εννιά κάμερες της ομάδας του και δέχεται τα δεδομένα, τα οποία έπειτα καταγράφει και αποθηκεύει. Η εικόνα 9 παρουσιάζει την ολοκληρωμένη μορφή του δικτύου. Στην εικόνα 10 προσφέρεται μια πιο κοντινή ματιά στις συσκευές που αποτελούν το δίκτυο.



Εικόνα 9: Η τοπολογία του δικτύου



Εικόνα 10: Οι συσκευές

Έπειτα περνάμε στη διαμόρφωση των οντοτήτων που χρησιμοποιούμε. Καταρχάς, εφόσον το δίκτυό μας είναι WSN και έχουμε μικρές αποστάσεις μεταξύ των κόμβων, θα εφαρμόσουμε το πρωτόκολλο Zigbee στις συσκευές για την επικοινωνία τους. Επιπλέον, οι διάφοροι κόμβοι χρειάζονται και τα κατάλληλα script για τη λειτουργία τους. Για τις κάμερες εφαρμόζουμε τη μέθοδο που αναλύσαμε στην ενότητα 6.1 με βάση το διάγραμμα της εικόνας

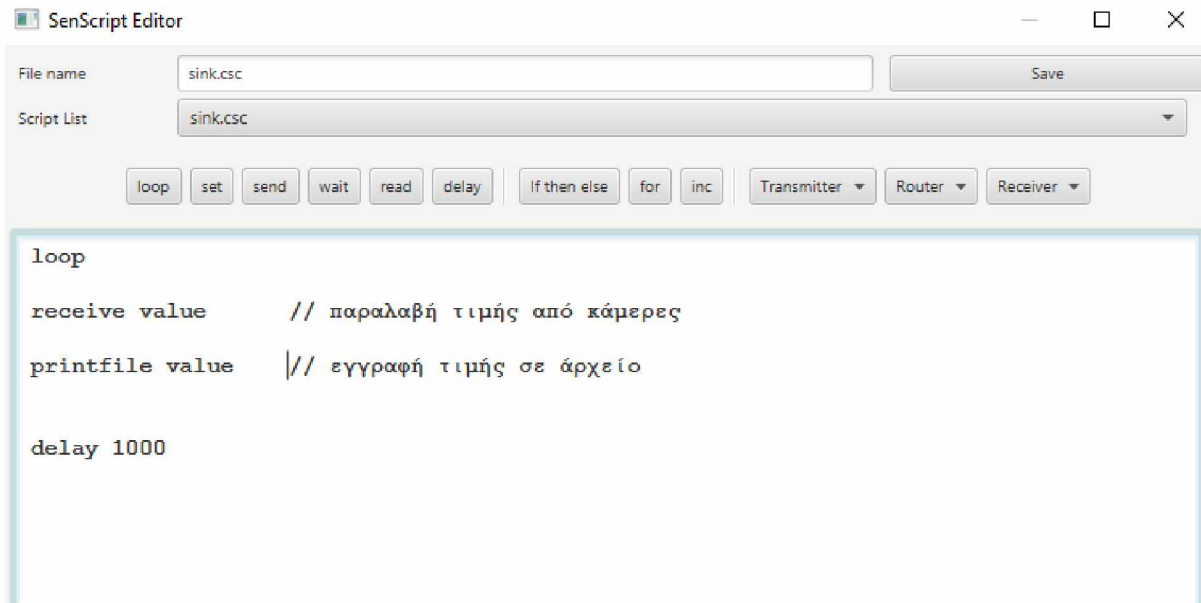
7, δηλαδή θέλουμε να παρατηρούν το περιβάλλον τους και να συλλέγουν δεδομένα μόνο όταν ανιχνεύσουν κίνηση ή ειδοποιηθούν από κάποιον γείτονα. Επειδή δε μπορούμε να προσομοιώσουμε το υλικό τύπου βίντεο (footage) που καταγράφουν συνήθως οι κάμερες, για χάρη της μελέτης μας υποθέτουμε ότι οι συγκεκριμένες συσκευές καταγράφουν το περιβάλλον βγάζοντας φωτογραφίες και όχι με βιντεοσκόπηση. Για να προσομοιώσουμε τις υποτιθέμενες φωτογραφίες οι κάμερες καταγράφουν τη χρονική στιγμή στο χρόνο της προσομοίωσης και αυτά τα χρονικά δεδομένα χρησιμοποιούνται ως φωτογραφίες στιγμιότυπα (snapshots) με βάση τη στιγμή που τραβήχτηκαν. Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά scripts για τις κάμερες. Τα script αυτά περιέχουν ακριβώς τις ίδιες εντολές με μόνη διαφορά μεταξύ τους το id του sink που χρησιμοποιούν οι εντολές για να στείλουν τα δεδομένα. Δηλαδή οι κάμερες της πρώτης ομάδας έχουν το script camera1.csc όπου η εντολή send έχει προορισμό την τιμή 1, δηλαδή το sink 1. Αντίστοιχα υπάρχουν τα script camera2.csc, camera3.csc και camera4.csc στα οποία αλλάζουν μόνο οι τιμές των id. Για τα sink εφαρμόζουμε ένα απλό script με βάση το οποίο δέχονται δεδομένα που τους στέλνονται και τα καταγράφουν. Το CupCarbon δημιουργεί ειδικά αρχεία για κάθε sink που κρατάνε τα δεδομένα που συλλέγονται σε κάθε εκτέλεση της προσομοίωσης. Ο κώδικας των scripts φαίνεται στις εικόνες 11 και 12, με τα κατάλληλα σχόλια για την επεξήγηση της κάθε εντολής που χρησιμοποιείται.

```

loop
getinfo m // ανίχνευση κίνησης από το περιβάλλον
pdata m a b c // ανάλυση δεδομένων
if(a!=0) // αν ανιχνευτεί ότι περνάει κάποιος
    set msg 1 // δημιουργία μηνύματος με τιμή 1
    send msg // αποστολή μηνύματος σε λειτουργία broadcast δηλαδή
            // προς όλους τους γείτονες
    time t //καταγραφή της χρονικής στιγμής με τη χρήση της εντολής time. Η χρονική στιγμή θεωρείται
            //η "φωτογραφία" που καταγράφει η κάμερα
    send t 1 // αποστολή τιμής στο sink. Η κάμερα στέλνει προς το sink 1,2,3, ή 4 ανάλογα με την ομάδα που ανήκει
else // εαν δεν ανιχνευτεί κίνηση
    wait 1000
    read signal // αναμονή για μήνυμα
    if(signal==1) // αν λάβει μήνυμα με τιμή 1
        time t //καταγραφή της χρονικής στιγμής με τη χρήση της εντολής time. Η χρονική στιγμή θεωρείται
                //η "φωτογραφία" που καταγράφει η κάμερα
        send t 1 // αποστολή τιμής στο sink. Η κάμερα στέλνει προς το sink 1,2,3, ή 4 ανάλογα με την ομάδα που ανήκει
    end
    obuffer // άδειασμα του buffer
end
delay 1000

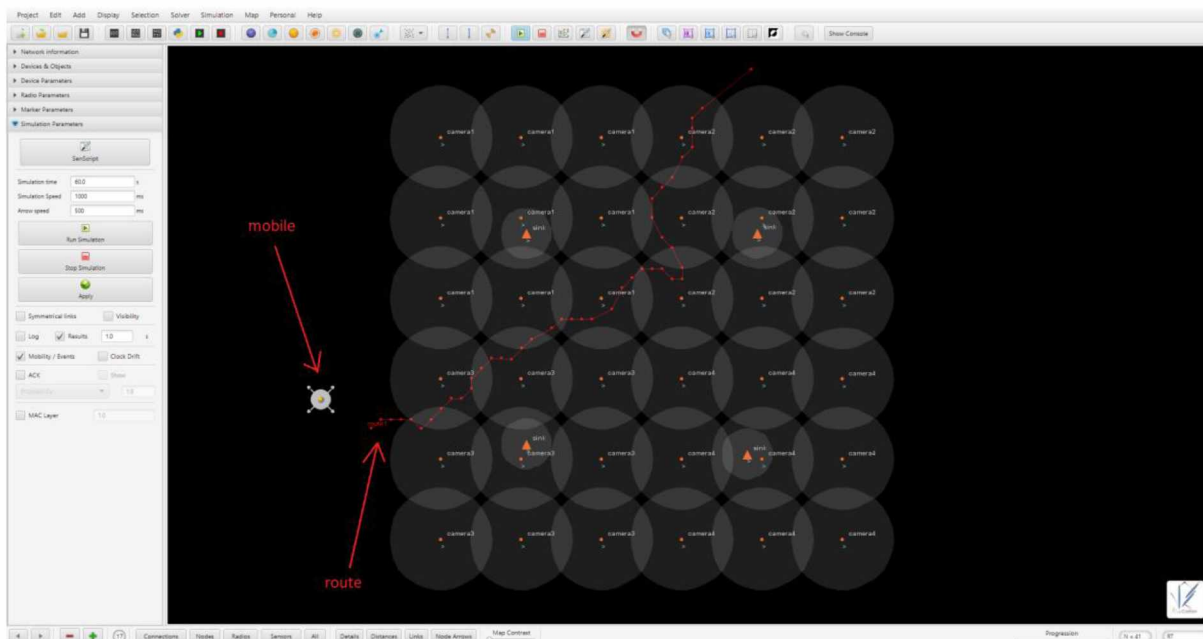
```

Εικόνα 11: Κώδικας για τις κάμερες



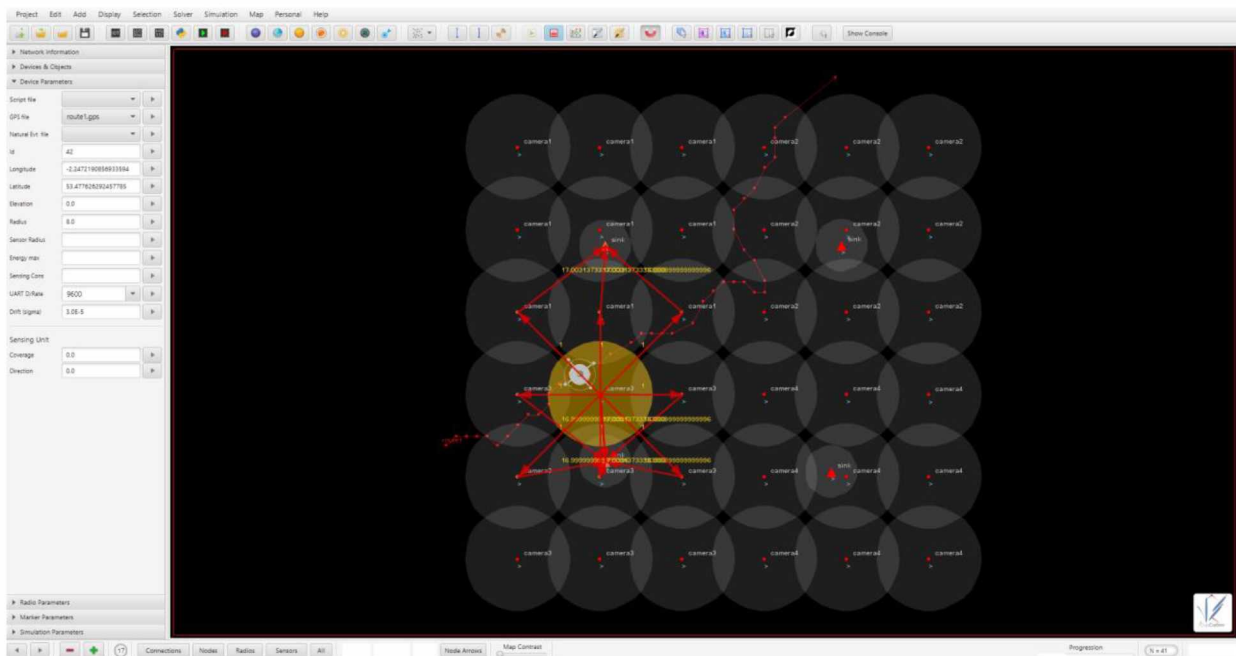
Εικόνα 12: Κώδικας για τα sink

Το τελευταίο που χρειαζόμαστε για το σενάριο μας, είναι η προσομοίωση κάποιου ατόμου που εισέρχεται στην περιοχή που επιτηρούν οι κάμερες. Για να το πετύχουμε αυτό, προσθέτουμε ένα αντικείμενο τύπου mobile. Θέλουμε την αλληλεπίδραση των καμερών με τον «περαστικό» οπότε σχεδιάζουμε μία διαδρομή (route) που περνάει μέσα από τις κάμερες και την αναθέτουμε στο mobile ως αρχείο GPS. Έτσι, έχουμε πλέον ολοκληρώσει το στήσιμο του σεναρίου μας όπως φαίνεται στην εικόνα 13.



Εικόνα 13: Το τελικό σχήμα της προσομοίωσης

Έχοντας προσθέσει όλα τα απαραίτητα, το επόμενο βήμα είναι να τρέξουμε την προσομοίωση. Πριν ξεκινήσουμε ρυθμίζουμε κάποιες παραμέτρους στην καρτέλα Simulation Parameters. Από εκεί, επιλέγουμε η διάρκεια της προσομοίωσης να είναι 60 δευτερόλεπτα. Επίσης θέτουμε την ταχύτητα προσομοίωσης στα 1000 ms (1 δευτερόλεπτο) και την ταχύτητα των βελών που οπτικοποιούν τις μεταδόσεις στα 500 ms. Επιπλέον, τσεκάρουμε δύο επιλογές. Η μία είναι το Mobility/Events, που χρειάζεται οπωσδήποτε για όλους τους κόμβους ώστε να λαμβάνουν υπόψιν τους κινητούς κόμβους. Η δεύτερη επιλογή είναι το Results και όταν είναι τσεκαρισμένο, το CupCarbon θα καταγράφει πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας του συστήματος κατά την προσομοίωση και θα τα αποθηκεύσει, για να είναι διαθέσιμα στον ερευνητή. Η περίοδος μεταξύ κάθε καταγραφής για τα results, επιλέγουμε να είναι 1 δευτερόλεπτο. Οι επιλογές αυτές φαίνονται πιο πάνω στην εικόνα 13. Για την έναρξη πατάμε το κουμπί Run Simulation. Σύμφωνα με το σενάριο, το mobile διασχίζει το δίκτυο και οι συσκευές οργανώνονται κατάλληλα ώστε να ενεργοποιούνται μόνο οι κάμερες που χρειάζονται κάθε φορά. Η εικόνα 14 είναι ένα στιγμιότυπο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης στο οποίο φαίνεται η λειτουργία των συσκευών. Η κάμερα που έχει ανιχνεύσει τον περαστικό, στέλνει το μήνυμα της σε όλους τους γύρω γείτονες όπως φαίνεται, και αυτοί στη συνέχεια στέλνουν τις καταγραφές τους στα κατάλληλα sinks.



Εικόνα 14: Στιγμιότυπο της προσομοίωσης

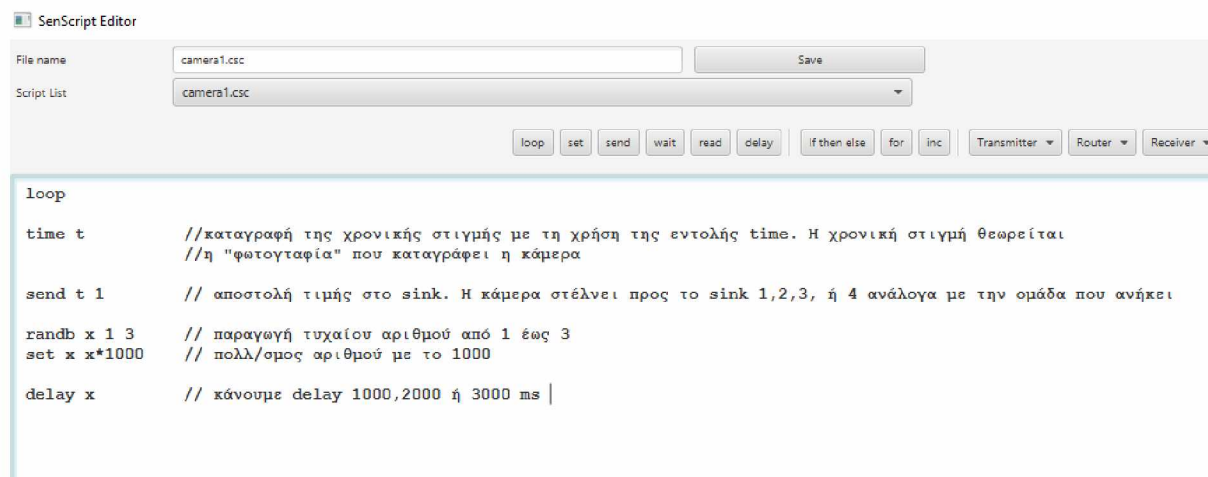
Μέσω αυτού του σεναρίου βλέπουμε ένα δίκτυο με συσκευές που συνεργάζονται για να φέρουν εις πέρας το στόχο τους. Καθ' όλη τη διάρκεια παραμονής του ατόμου εντός της περιοχής του δικτύου, οι κινήσεις του παρατηρούνται πλήρως από όλες τις γύρω οπτικές

γωνίες, αλλά χωρίς να επιβαρύνονται όλες οι κάμερες ταυτόχρονα.

6.4.2 Συμβατική προσέγγιση

Αφού παρουσιάσαμε την εκδοχή μας για το συνεργατικό δίκτυο καμερών, για να παρατηρήσουμε καλύτερα τα οφέλη του, θα χρειαστούμε ένα μέτρο σύγκρισης. Για αυτό το λόγο θα δημιουργήσουμε και μια δεύτερη περίπτωση προσομοίωσης παρόμοιου δικτύου, αλλά αυτή τη φορά με την εφαρμογή μιας κλασικής μεθόδου συλλογής δεδομένων.

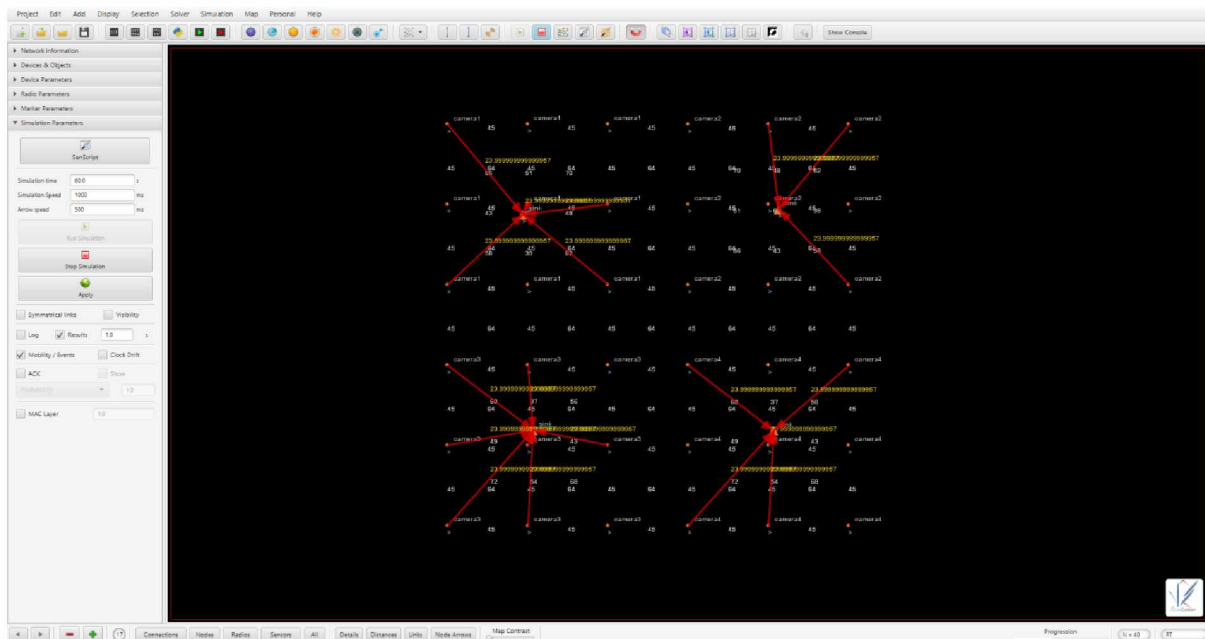
Συνήθως, οι κάμερες παρακολουθούν το περιβάλλον τους ανεξάρτητα η μία από την άλλη, και συλλέγουν οπτικά δεδομένα συνεχόμενα και χωρίς κριτήρια, επομένως δεν μας απασχολεί εάν συγκεκριμένα περνάει κάποιος ή όχι από την περιοχή που παρακολουθούμε. Έτσι δε χρειάζεται να προσθέσουμε mobile για να την προσομοιώση ατόμων, αλλά και οι κάμερες δε θα έχουν τη λειτουργία ανίχνευσης κίνησης. Επίσης οι κάμερες δε θα ανταλλάσσουν μηνύματα μεταξύ τους και θα επικοινωνούν μόνο με τα sinks στα οποία θα στέλνουν τα δεδομένα που καταγράφουν. Εκτός από αυτές τις αλλαγές που αφορούν τη συνεργατική και έξυπνη συλλογή δεδομένων που επιδιώξαμε στη πρώτη περίπτωση, για την υλοποίηση του σεναρίου θα χρησιμοποιήσουμε το ίδιο μοντέλο δικτύου όπως και πριν, δηλαδή 36 κόμβοι αισθητήρων και 4 sinks τοποθετημένα όπως είδαμε προηγουμένως στην εικόνα 9. Οι κόμβοι και σε αυτή τη περίπτωση θα καταγράφουν χρονικές στιγμές για να προσομοιώσουν φωτογραφικά στιγμιότυπα. Η βασική διαφορά είναι ότι απλά θα καταγράφουν περιοδικά τα δεδομένα και θα τα στέλνουν στο κατάλληλο sink. Για να μην υπάρχει θέμα συμφόρησης στο δίκτυο λόγω ταυτόχρονων μεταδόσεων, χρησιμοποιούμε ένα τυχαίο delay στους κόμβους μεταξύ των μεταδόσεων. Το script που χρησιμοποιούν οι κάμερες παρουσιάζεται στην εικόνα 15, ενώ τα sink έχουν το ίδιο script από την εικόνα 12.



```
SenScript Editor
File name: camera1.csc
Script List: camera1.csc
loop
time t //καταγραφή της χρονικής στιγμής με τη χρήση της εντολής time. Η χρονική στιγμή θεωρείται
//η "φωτογραφία" που καταγράφει η κάμερα
send t 1 // αποστολή τιμής στο sink. Η κάμερα στέλνει προς το sink 1,2,3, ή 4 ανάλογα με την ομάδα που ανήκει
randb x 1 3 // παραγωγή τυχαίου αριθμού από 1 έως 3
set x x*1000 // πολλαπλασιασμός αριθμού με το 1000
delay x // κάνουμε delay 1000,2000 ή 3000 ms |
```

Εικόνα 15: Κώδικας καμερών χωρίς συνεργασία

Στη συνέχεια, τρέχουμε ξανά την προσομοίωση για χρόνο 60 δευτερολέπτων. Στην εικόνα 16 φαίνεται ένα στιγμιότυπο από τη λειτουργία του δικτύου κατά τη συλλογή δεδομένων.



Εικόνα 16: Στιγμιότυπο δεύτερης προσομοίωσης

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή διακρίνονται πιο ξεκάθαρα οι τέσσερις ομάδες των καμερών. Επίσης είναι προφανές ότι όλες οι κάμερες εκτελούν την ενεργειακά απαιτητική μετάδοση δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Παρακάτω, θα δούμε εάν κάτι τέτοιο μας συμφέρει ή όχι.

7. Σύγκριση αποτελεσμάτων και τελικά συμπεράσματα

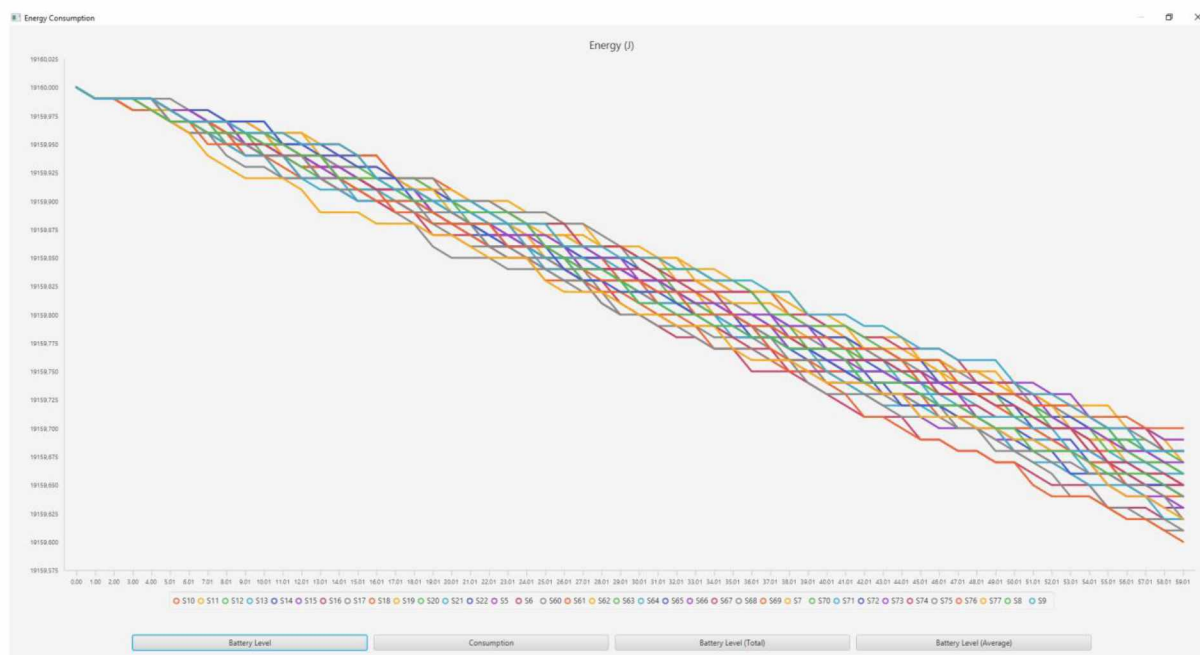
7.1 Παρουσίαση και σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο περιπτώσεων

Έχοντας αναπαραστήσει δύο διαφορετικές εκδοχές του ίδιου σεναρίου, κρίνεται αναγκαίο να τις αξιολογήσουμε. Ως εφαρμογή του IoT, τα χαρακτηριστικά που μας απασχολούν είναι η αποδοτικότητα και η ακρίβεια. Αρχικά, θα δούμε τα αποτελέσματα ως προς την ενεργειακή κατανάλωση. Χάρης τις λειτουργίες του CupCarbon, μπορούμε να καταγράψουμε αυτά τα στοιχεία για τις προσομοιώσεις μας. Η επιλογή Energy consumption παρουσιάζει τα δεδομένα αυτά σε δύο κατηγορίες: κατανάλωση ενέργειας και επίπεδο μπαταρίας, που αποτελούν δύο πλευρές του ίδιου νομίσματος για τα αποτελέσματα απλά από δύο διαφορετικές σκοπιές.

Το δεύτερο στοιχείο που έχει ενδιαφέρον να δούμε, είναι το πλήθος των δεδομένων που συλλέχτηκαν σε κάθε περίπτωση και κατά πόσο μειώνεται ο αριθμός αυτός με τη μέθοδο που προτείνουμε.

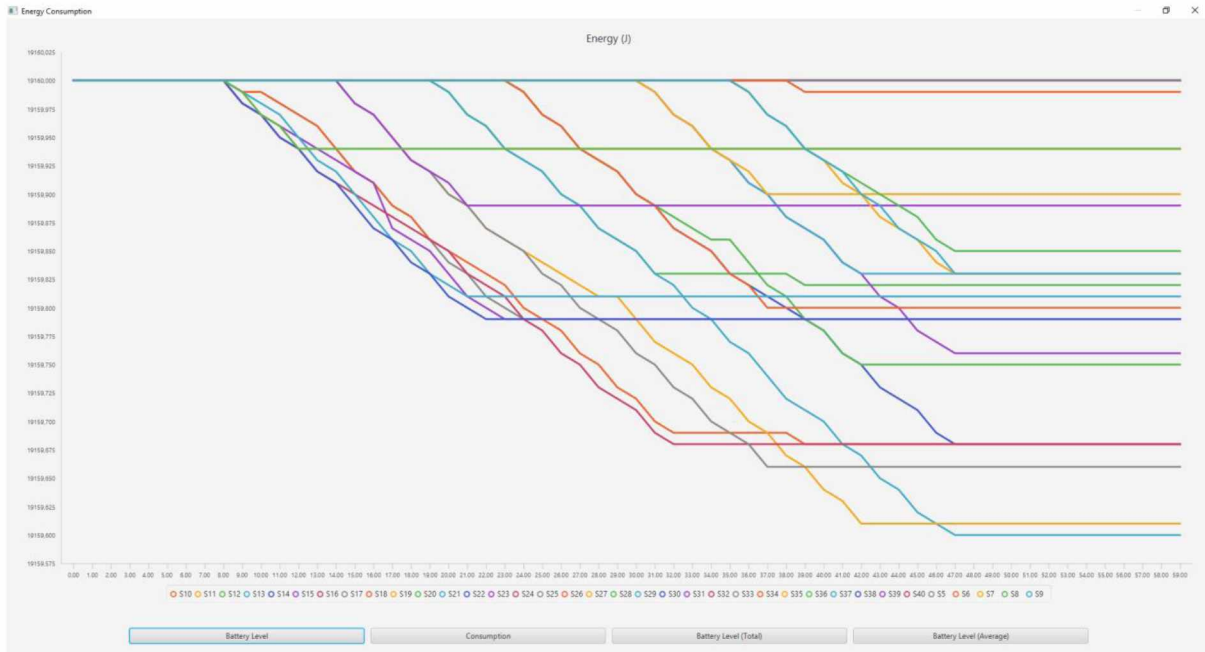
7.1.1 Κατανάλωση ενέργειας

Η εικόνα 17 από το CupCarbon, αφορά την συμβατική μέθοδο και παρουσιάζει την κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας στο σύστημα συνολικά, δηλαδή για κάθε έναν κόμβο. Ο κάθετος άξονας αναπαριστά το επίπεδο ενέργειας, ενώ ο οριζόντιος το χρόνο.



Εικόνα 17: Επίπεδα μπαταρίας συμβατικής μεθόδου

Για την προτεινόμενη εφαρμογή, τα αντίστοιχα επίπεδα μπαταρίας φαίνονται παρακάτω στην εικόνα 18.



Εικόνα 18: Επίπεδα μπαταρίας προτεινόμενης μεθόδου

Στην πρώτη περίπτωση, βλέπουμε την ενέργεια όλων των μπαταριών να μειώνεται συνεχόμενα με σταθερή καθοδική πορεία, κάτι που σημαίνει κατακόρυφη πτώση των ενεργειακών αποθεμάτων. Στη δεύτερη περίπτωση όμως, αν και υπάρχουν κόμβοι που ξοδεύουν ενέργεια για τη λειτουργία τους, είναι προφανές ότι πολλοί από αυτούς δεν ξοδεύουν καθόλου ενέργεια καθώς δε χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν καθόλου. Αντίθετα με πριν, ελάχιστες συσκευές έχουν την καθοδική πορεία που διέκρινε ολόκληρο το δίκτυο πριν. Πολύ σημαντικό επίσης είναι το γεγονός ότι ακόμα και για τους κόμβους που εργάζονται, οι γραμμές της μπαταρίας τους έπειτα από μία σύντομη πτώση καταλήγουν να οριζοντιώνονται. Αυτό στη προσομοίωση ερμηνεύεται ως την απομάκρυνση του ατόμου από τη συσκευή που έχει ως αποτέλεσμα την παύση της λειτουργίας. Επομένως δεν έχουμε κατανάλωση και η ενέργεια της κάμερας μένει σταθερή, όπως υποδηλώνει η οριζόντια κατεύθυνση των γραμμών.

7.1.2 Βελτίωση δεδομένων

Τα δεδομένα που συγκεντρώνονται είναι ο τελικός σκοπός ενός συστήματος IoT. Ο μεγάλος αριθμός δεδομένων συνεπάγεται και πιο έμπιστες μετρήσεις για τις περιπτώσεις εφαρμογής, όμως πολλά από αυτά τα δεδομένα συχνά είναι όμοια μεταξύ τους. Ακόμη και αν

τα πλεονάζοντα δεδομένα είναι χρήσιμα, μπορούμε να τα μειώσουμε όπου αυτό είναι δυνατό χωρίς να βλάψουμε την ακρίβεια των μετρήσεων. Επίσης τα δεδομένα χρειάζονται επεξεργασία και αποθήκευση οπότε, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι για μεγαλύτερο όγκο δεδομένων απαιτούνται περισσότεροι πόροι.

Στο CupCarbon, μετά από μία προσομοίωση μπορούμε να ελέγξουμε τα αρχεία των sinks που θα περιέχουν το σύνολο των δεδομένων που δέχτηκαν. Στην εικόνα 19 βλέπουμε τις τιμές που συγκεντρώθηκαν για τα τέσσερα sink του συμβατικού σεναρίου, ενώ στην εικόνα 20 τα δεδομένα των τεσσάρων αντίστοιχων sinks.

SINK_1	SINK_2	SINK_3	SINK_4
1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0
10	1.0	1.0	1.0
11	1.0	1.0	1.0
12	1.0	2.0	2.0
13	1.0	2.0	2.0
14	2.0	2.0	2.0
15	2.0	3.0	2.0
16	2.0	3.0	3.0
17	3.0	3.0	3.0
18	3.0	3.0	3.0
19	3.0	3.0	3.0
20	3.0	3.0	3.0
21	4.0	4.0	3.0
22	4.0	4.0	4.0
23	4.0	4.0	4.0
24	4.0	4.0	4.0
25	4.0	5.0	4.0
26	5.0	5.0	5.0
27	5.0	5.0	5.0
28	5.0	5.0	5.0
29	5.0	5.0	6.0
30	5.0	5.0	6.0
31	6.0	6.0	6.0
32	6.0	6.0	6.0
33	6.0	7.0	7.0
34	6.0	7.0	7.0
35	7.0	7.0	7.0
36	7.0	7.0	7.0
37	7.0	7.0	7.0
38	7.0	7.0	7.0
39	8.0	8.0	8.0
40	8.0	8.0	8.0
41	8.0	8.0	8.0
42	8.0	8.0	8.0
43	8.0	9.0	8.0
44	9.0	9.0	9.0
45	9.0	9.0	9.0
46	9.0	10.0	9.0
47	10.0	10.0	9.0
48	10.0	10.0	9.0
49	10.0	10.0	10.0
50	10.0	10.0	10.0
51	10.0	10.0	10.0
52	11.0	11.0	10.0
53	11.0	11.0	10.0
54	11.0	11.0	11.0
55	11.0	11.0	11.0
56	12.0	11.0	11.0
57	12.0	12.0	12.0
58	12.0	12.0	12.0
59	12.0	12.0	12.0
60	13.0	12.0	12.0
61			

Εικόνα 19: Περιεχόμενο sinks συμβατικής μεθόδου


```

SINK_1 | SINK_2 | SINK_3 | SINK_4
-----|-----|-----|-----
1 10.000000000000002 | 1 24.0 | 1 8.0 | 1 24.0
2 10.000000000000002 | 2 24.0 | 2 8.003137333333333 | 2 25.0
3 11.000000000000002 | 3 25.0 | 3 8.003137333333333 | 3 26.0
4 11.000000000000002 | 4 25.0 | 4 8.003137333333333 | 4 27.0
5 12.000000000000002 | 5 26.0 | 5 8.003137333333333 | 5 28.0
6 12.000000000000002 | 6 26.0 | 6 8.003137333333333 | 6 29.0
7 13.000000000000002 | 7 27.0 | 7 9.0 | 7 30.0
8 13.000000000000002 | 8 27.0 | 8 9.003137333333333 | 8 30.003137333333335
9 14.000000000000002 | 9 28.0 | 9 9.003137333333333 | 9 31.0
10 14.000000000000002 | 10 28.0 | 10 9.003137333333333 | 10 31.003137333333335
11 14.000000000000002 | 11 29.0 | 11 9.003137333333333 | 11 32.0
12 15.000000000000002 | 12 29.0 | 12 9.003137333333333 | 12 32.003137333333335
13 15.000000000000002 | 13 30.0 | 13 10.000000000000002 | 13 33.0
14 15.000000000000002 | 14 30.0 | 14 10.003137333333335 | 14 33.003137333333335
15 16.0 | 15 30.003137333333335 | 15 10.003137333333335 | 15 34.0
16 16.0 | 16 30.003137333333335 | 16 10.003137333333335 | 16 34.003137333333335
17 16.0 | 17 31.0 | 17 10.003137333333335 | 17 35.0
18 17.0 | 18 31.0 | 18 10.003137333333335 | 18 35.003137333333335
19 17.0 | 19 31.003137333333335 | 19 11.000000000000002 | 19 36.0
20 17.0 | 20 31.003137333333335 | 20 11.003137333333335 | 20 36.003137333333335
21 18.0 | 21 32.0 | 21 11.003137333333335 | 21 37.0
22 18.0 | 22 32.0 | 22 11.003137333333335 | 22
23 18.0 | 23 32.003137333333335 | 23 11.003137333333335 |
24 19.0 | 24 32.003137333333335 | 24 11.003137333333335 |
25 19.0 | 25 33.0 | 25 12.000000000000002 |
26 19.0 | 26 33.0 | 26 12.003137333333335 |
27 20.0 | 27 33.003137333333335 | 27 12.003137333333335 |
28 20.0 | 28 33.003137333333335 | 28 12.003137333333335 |
29 20.0 | 29 | 29 13.000000000000002 |
30 21.0 | 30 13.003137333333335 | 30 13.003137333333335 |
31 21.0 | 31 13.003137333333335 | 31 13.003137333333335 |
32 21.0 | 32 13.003137333333335 | 32 13.003137333333335 |
33 22.0 | 33 14.000000000000002 | 33 14.000000000000002 |
34 22.0 | 34 14.000000000000002 | 34 14.000000000000002 |
35 22.0 | 35 14.000000000000002 | 35 14.000000000000002 |
36 22.0 | 36 14.003137333333335 | 36 14.003137333333335 |
37 22.0 | 37 | 37 |
38 22.0 | 38 | 38 |
39 23.0 | 39 | 39 |
40 23.0 | 40 | 40 |
41 23.0 | 41 | 41 |
42 23.0 | 42 | 42 |
43 23.0 | 43 | 43 |

```

Εικόνα 20: Περιεχόμενο sinks προτεινόμενης μεθόδου

Οι αριθμητικές τιμές που υπάρχουν και στις δύο εικόνες, είναι χρονικές στιγμές μέσα στο χρόνο της κάθε προσομοίωσης. Επειδή δουλεύουμε με κάμερες που τραβάνε φωτογραφίες, θεωρούμε ότι κάθε μία από αυτές τις τιμές είναι ένα φωτογραφικό στιγμιότυπο του περιβάλλοντος. Για την πρώτη περίπτωση έχουμε 60 στοιχεία σε κάθε sink, δηλαδή 420 στοιχεία συνολικά. Η δεύτερη περίπτωση έχει 42 στοιχεία στο πρώτο sink, 28 στο δεύτερο, 36 στο τρίτο και 21 στο τέταρτο δηλαδή συνολικά 127 στοιχεία. Από αυτά τα νούμερα προκύπτει ότι στο δεύτερο σενάριο έχουμε περίπου 70% λιγότερα δεδομένα. Εκτός από τη διαφορά στον αριθμό τους, πρέπει να επισημάνουμε και την ακρίβεια αυτών των δεδομένων. Στη δεύτερη περίπτωση όλες οι καταγραφές γίνονται όταν υπάρχει άτομο, επομένως όλες οι «φωτογραφίες» μας αφορούν και είναι σημαντικές αφού θα περιέχουν το άτομο αυτό. Αντίθετα στο σύνολο της πρώτης περίπτωσης ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων είναι άχρηστα για την καταγραφή της περιοχής, διότι θα περιέχουν απλά στιγμιότυπα του περιβάλλοντος που δε μας δίνουν πληροφορίες για την ταυτότητα κάποιου περαστικού ούτε για τις κινήσεις του.

7.2 Συμπεράσματα και επίλογος

Το Internet of Things είναι πλέον ένας πολύ σημαντικός παράγοντας των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και αναγκών, παρά τις δυσκολίες που περιλαμβάνει. Αφού αναλύσαμε πολλά από τα χαρακτηριστικά του, επιλέξαμε μια μέθοδο για τη βελτίωση δικτύων IoT. Η μελέτη της συνεργατικής συλλογής δεδομένων προσφέρει πολύ σημαντικά οφέλη τα οποία αναλύσαμε και έπειτα επιχειρήσαμε να αναπαράγουμε για ερευνητικούς σκοπούς.

Το σενάριό που αναπτύξαμε για την υλοποίηση μιας συνεργασίας μεταξύ κόμβων, αφορούσε ένα δίκτυο καμερών που καταγράφουν δεδομένα έπειτα από επικοινωνία και προσομοιώθηκε στη συνέχεια με τη χρήση του CupCarbon. Συγκρίνοντάς το με τη κλασική εφαρμογή ενός τέτοιου δικτύου, συλλέξαμε αποτελέσματα για την απόδοσή τους. Για τα δεδομένα της κατανάλωσης ενέργειας προκύπτει ότι με την εφαρμογή έξυπνων μεθόδων συνεργασίας, μπορεί να μειωθεί ο φόρτος του δικτύου συνολικά και κατά συνέπεια να υπάρξει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, διότι οι συσκευές γνωρίζουν πότε αξίζει να συλλέξουν δεδομένα. Επίσης παρατηρώντας τα αρχεία των sinks είδαμε μια σημαντική διαφορά στον αριθμό των δεδομένων, που υποδηλώνει μια μεγαλύτερη ακρίβεια στις καταγραφές, αλλά και προσφέρει διευκόλυνση στη διαχείρισή τους. Παρόλο που φαίνεται η ανωτερότητα του συνεργατικού σεναρίου έναντι στη συμβατική περίπτωση, δε σημαίνει ότι δε υπάρχουν πιθανά ζητήματα. Για παράδειγμα, στο σενάριο που δημιουργήσαμε δε θα είναι πάντα ίση η κατανομή του φόρτου, καθώς εξαρτάται από το πλήθος των ατόμων που περνάνε και από το μονοπάτι που ακολουθούν. Επίσης για διαφορετικά δίκτυα χρειάζονται διαφορετικές μέθοδοι και αλγόριθμοι για την εφαρμογή της συνεργασίας. Τα προβλήματα αυτά και η βελτιστοποίησή τους αποτελούν ζητήματα για άλλη εργασία.

Εν κατακλείδι, η συνεργατική συλλογή δεδομένων αποτελεί μια ιδανική λύση για καλύτερες αποδόσεις των δικτύων και προσφέρει πραγματικά αποτελέσματα όπως είδαμε και από τη βιβλιογραφία αλλά και από το σενάριό μας. Βέβαια, δεν είναι παρά μία μόνο περίπτωση που ερευνάται για τον σκοπό αυτό, και καθώς το IoT συνεχίζει να αναπτύσσεται, αναζητούνται συνεχώς νέες τεχνολογίες που βελτιώνουν τις λειτουργίες του.

Πηγές εικόνων

Εικόνα 1: <https://vizah.ch/en/developing-iot-applications-best-technologies-and-tools-for-iot-developers/> 16/9/2021

Εικόνα 2: <https://www.netburner.com/learn/architectural-frameworks-in-the-iot-civilization/> 2019 28/9/2021

Εικόνα 3: <http://networking.layer-x.com/p050000-1.html> 28/9/2021

Εικόνα 4: <https://instrumentationtools.com/different-types-of-network-topologies/> 30/9/2021

Εικόνα 5: <https://leanbi.ch/en/blog/iot-and-predictive-analytics-fog-and-edge-computing-for-industries-versus-cloud-19-1-2018/> 6/10/2021

Εικόνα 6: Mundada, Dr.Monica. (2012). A Study On Energy Efficient Routing Protocols In Wireless Sensor Networks. International Journal of Distributed and Parallel systems. 3. 311-330. 10.5121/ijdps.2012.3326. 12/10/2021

Εικόνα 7: Σχεδιάστηκε στο Microsoft Paint από εμένα.

Εικόνες 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,18: Screenshot του CupCarbon από την οθόνη μου.

Εικόνες 19, 20: Screenshot του Notepad++ από την οθόνη μου.

Βιβλιογραφία

[1] Li, S., Xu, L.D. & Zhao, S. The internet of things: a survey. *Inf Syst Front* 17, 243–259 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>

[2] Berte Dan-Radu, 2018. "Defining the IoT," *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, Sciendo, vol. 12(1), pages 118-128, May

[3] Gokhale, Pradyumna & Bhat, Omkar & Bhat, Sagar. (2018). Introduction to IOT. 5. 41-44. 10.17148/IARJSET.2018.517

<https://www.techopedia.com/definition/31463/smart-device> 16/9/2021

[4] Gaur, Aditya & Scotney, Bryan & Parr, Gerard & McClean, Sally. (2015). Smart City Architecture and its Applications Based on IoT. *Procedia Computer Science*. 52. 1089-1094. 10.1016/j.procs.2015.05.122.

[5] Bawany, Narmeen & Shamsi, Jawwad. (2015). Smart City Architecture: Vision and Challenges. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 6. 10.14569/IJACSA.2015.061132.

[6] Su, Kehua & Li, Jie & Fu, Hongbo. (2011). Smart City and the Applications. 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control, ICECC 2011 - Proceedings. 1028-1031. 10.1109/ICECC.2011.6066743.

[7] Ricquebourg, Vincent & Menga, David & Durand, David & Marhic, Bruno & Delahoche, Laurent & Logé, Christophe. (2007). The Smart Home Concept : our immediate future. 2006 1st IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics, ICELIE. 23 - 28. 10.1109/ICELIE.2006.347206.

[8] Shrouf, F., Meré, J.B., & Miragliotta, G. (2014). Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 697-701.

[9] Dorothy J. Glancy, Sharing the Road: Smart Transportation Infrastructure, 41 Fordham Urb. L.J. 1617 (2014).

[10] Islam, S.M., Kwak, D., Kabir, M.H., Hossain, M., & Kwak, K. (2015). The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey. IEEE Access, 3, 678-708.

[11] Gondchawar, N., & Kawitkar, R. (2016). IoT based Smart Agriculture.

<https://www.iot-now.com/2020/06/03/103228-5-challenges-still-facing-the-internet-of-things/#compatibility> 22/9/2021

[12] Yang, Yuchen & Wu, Longfei & Yin, Guisheng & Li, Lijie & Zhao, Hongbin. (2017). A Survey on Security and Privacy Issues in Internet-of-Things. IEEE Internet of Things Journal. PP. 1-1. 10.1109/JIOT.2017.2694844.

[13] Tawalbeh, Loai & Muheidat, Fadi & Tawalbeh, Mais & Quwaider, Muhannad. (2020). IoT Privacy and Security: Challenges and Solutions. Applied Sciences. 10. 4102. 10.3390/app10124102.

[14] Manoj Kumar, Nallapaneni & Mallick, Pradeep Kumar. (2018). The Internet of Things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers. Procedia Computer Science. 132. 109-117. 10.1016/j.procs.2018.05.170.

[15] Zhong, Chang-Le & Zhu, Zhen & Huang, Ren-Gen. (2015). Study on the IOT Architecture and Gateway Technology. 196-199. 10.1109/DCABES.2015.56.

[16] Yousuf, Tasneem & Mahmoud, Rwan & Aloul, Fadi & Zualkernan, Imran. (2015). Internet of Things (IoT) Security: Current Status, Challenges and Countermeasures. International Journal for Information Security Research. 5. 608-616. 10.20533/ijisr.2042.4639.2015.0070.

<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/feature/Common-application-layer-protocols-in-IoT-explained> 27/9/2021

[17] Sharma, D. & Verma, Sandeep & Sharma, K.. (2013). Network topologies in wireless

sensor networks: A review. Int. J. Electron. Commun. Technol.. 4. 93-97.

[18] Sarawi, Shadi & Anbar, Mohammed & Alieyan, Kamal & Alzubaidi, Mahmood. (2017). Internet of Things (IoT) Communication Protocols : Review. 10.1109/ICITECH.2017.8079928.

[19] Mekki, Kais & Bajic, Eddy & Chaxel, Frédéric & Meyer, Fernand. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. 5. 1-7. 10.1016/j.ict.2017.12.005.

<https://www.sigfox.gr/#tech> 2/10/2021

<https://netmoregroup.com/sigfox-explained/> 2/10/2021

[20] Vejgaard, Benny & Lauridsen, Mads & Nguyen, Huan & Kovacs, Istvan & Mogensen, Preben & Sorensen, Mads. (2017). Coverage and Capacity Analysis of Sigfox, LoRa, GPRS, and NB-IoT. 1-5. 10.1109/VTCSpring.2017.8108666.

<https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/lpwan/nb-iot-narrowband-iot/> 2/10/2021

<https://www.avsystem.com/blog/iot-protocols-and-standards/> 3/10/2019

[21] Sofi, Mukhtar. (2016). Bluetooth Protocol in Internet of Things (IoT), Security Challenges and a Comparison with Wi-Fi Protocol: A Review. International Journal of Engineering Research and. V5. 10.17577/IJERTV5IS110266.

[22] Peter M. Mell and Timothy Grance. 2011. SP 800-145. The NIST Definition of Cloud Computing. Technical Report. National Institute of Standards & Technology, Gaithersburg, MD, USA.

[23] Aazam, Mohammad & Khan, Imran & Alsaffar, Aymen & Huh, Eui-nam. (2014). Cloud of Things: Integrating Internet of Things and cloud computing and the issues involved. 414-419. 10.1109/IBCAST.2014.6778179.

[24] Sowe, Sulayman K & Dong, Mianxiong & Kimata, Takashi & Zettsu, Koji. (2014). Managing Heterogeneous Sensor Data on a Big Data Platform: IoT Services for Data-intensive

Science. 10.13140/2.1.5183.6167.

[25] Yu, Wei & Liang, Fan & He, Xiaofei & Hatcher, William & Lu, Chao & Lin, Jie & Yang, Xinyu. (2017). A Survey on the Edge Computing for the Internet of Things. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2017.2778504.

[26] Shi, Weisong & Cao, Jie & Zhang, Quan & Li, Youhuizi & Xu, Lanyu. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. IEEE Internet of Things Journal. 3. 1-1. 10.1109/JIOT.2016.2579198.

[27] Dolui, Koustabh & Datta, Soumya Kanti. (2017). Comparison of edge computing implementations: Fog computing, cloudlet and mobile edge computing. 1-6. 10.1109/GIOTS.2017.8016213.

<https://www.toolbox.com/tech/iot/blogs/iot-data-how-to-collect-process-and-analyze-them-032619/> 11/10/2021

[28] Matin, Mohammad & Islam, Md. (2012). Overview of Wireless Sensor Network. 10.5772/49376.

[29] Mustapha Reda Senouci, Abdelhamid Mellouk, 1 - Wireless Sensor Networks, Editor(s): Mustapha Reda Senouci, Abdelhamid Mellouk, Deploying Wireless Sensor Networks, Elsevier, 2016, Pages 1-19, ISBN 9781785480997, <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-099-7.50001-5>.

[30] John, T & Ogbiti, & Ukwuoma, Henry & Danjuma, Salome & Ibrahim, Mohammed. (2016). Energy Consumption in Wireless Sensor Network.

[31] Ibrahim, Mohammad & Awang Nor, Shahrudin & Mahmuddin, Massudi. (2018). Data Redundancy Reduction in Wireless Sensor Network. Journal of Telecommunication. 10. 6.

[32] Zhou, Xi & Xue, Guangtao & Qian, Chen & Li, Minglu. (2009). Efficient Data Suppression for Wireless Sensor Networks. 599 - 606. 10.1109/ICPADS.2008.114.

- [33] Verma, Neetu & Singh, Dinesh. (2018). Data Redundancy Implications in Wireless Sensor Networks. *Procedia Computer Science*. 132. 1210-1217. 10.1016/j.procs.2018.05.036.
- [34] Akkaya, Kemal & Younis, Mohamed. (2005). A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks. *Ad Hoc Networks*. 3. 325-349. 10.1016/j.adhoc.2003.09.010.
- [35] A. W. Ali and Parmanand, "Energy efficiency in routing protocol and data collection approaches for WSN: A survey," *International Conference on Computing, Communication & Automation*, 2015, pp. 540-545, doi: 10.1109/CCAA.2015.7148437.
- [36] Guravaiah, Koppala & Kavitha, Arumugam & Velusamy, Rengaraj. (2020). Data Collection Protocols in Wireless Sensor Networks. 10.5772/intechopen.93659.
- [37] Ahtiainen, Aleksi. "Summary of Rumor Routing in Wireless Sensor Networks."
- [38] Agrawal, Chetan. (2014). A survey of data collection techniques in wireless sensor network
- [39] Bhushan, Bharat & Sahoo, Gadadhar. (2017). A comprehensive survey of secure and energy efficient routing protocols and data collection approaches in wireless sensor networks. 294-299. 10.1109/CSPC.2017.8305856.
- [40] A. R. Khan, N. Rakesh, A. Bansal and D. K. Chaudhary, "Comparative study of WSN Protocols (LEACH, PEGASIS and TEEN)," *2015 Third International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*, 2015, pp. 422-427, doi: 10.1109/ICIIP.2015.7414810.
- [41] Grover, Jitender & Sharma, Shikha & Sharma, Mohit. (2014). A Study of Geographic Adaptive Fidelity Routing Protocol in Wireless Sensor Network. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*. 16. 2278-661. 10.9790/0661-16548896.
- [42] Kumar, Arun & Shwe, Hnin & Wong, Kai & Chong, P.H.J.. (2017). Location-Based Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey. *Wireless Sensor Network*. 9. 25-72. 10.4236/wsn.2017.91003.

- [43] W. Li, J. Bao and W. Shen, "Collaborative wireless sensor networks: A survey," 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2011, pp. 2614-2619, doi: 10.1109/ICSMC.2011.6084070.
- [44] Li, Guorui & Chen, Haobo & Peng, Sancheng & Li, Xinguang & Wang, Cong & Yu, Shui & Yin, Pengfei. (2018). A Collaborative Data Collection Scheme Based on Optimal Clustering for Wireless Sensor Networks. *Sensors*. 18. 2487. 10.3390/s18082487.
- [45] Fortino, Giancarlo & Galzarano, Stefano & Gravina, Raffaele & Li, Wenfeng. (2014). A Framework for Collaborative Computing and Multi-Sensor Data Fusion in Body Sensor Networks. *Information Fusion*. 22. 10.1016/j.inffus.2014.03.005.
- [46] Boudargham, Nadine & Bou abdo, Jacques & Demerjian, Jacques & Guyeux, Christophe & Makhoul, Abdallah. (2018). Collaborative body sensor networks: Taxonomy and open challenges. 1-6. 10.1109/MENACOMM.2018.8371001.
- [47] Munir, Saad & Ren, Biao & Jiao, Weiwei & Wang, Bin & Xie, Dongliang & ma, Jian. (2007). Mobile Wireless Sensor Network: Architecture and Enabling Technologies for Ubiquitous Computing. 113-120. 10.1109/AINAW.2007.257.
- [48] Q. Fu, B. Banitalebi, L. Zhang and M. Beigl, "Energy-efficient collaborative data collection in mobile wireless sensor networks," 2013 47th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS), 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/CISS.2013.6624264.
- [49] Popescu, Dan & Dragana, Cristian & Stoican, Florin & Ichim, Loretta & Stamatescu, Grigore. (2018). A collaborative UAV-WSN network for monitoring large areas. *Sensors*. 18. 4202. 10.3390/s18124202.
- [50] <http://www.cupcarbon.com/>