



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Ασύρματες τεχνολογίες IEEE 802.11ah σε
συστήματα “Διαδικτύου των Αντικειμένων”
(Internet of Things)**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΒΕΝΙΤΣΑΝΟΠΟΥΛΟ ΙΩΑΝΝΗ

ΑΛΟΥΣΙ ΛΟΥΙΖ

(ΑΕΜ: 2759 , 2898)

Επιβλέπων : Βέργαδος Δημήτριος

Αναπληρωτής Καθηγητής , Πρόεδρος του Τμήματος

Καστοριά Οκτώβριος - 2023 (παρουσίασης της εργασίας)

Η παρούσα σελίδα σκοπίμως παραμένει λευκή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Ασύρματες τεχνολογίες IEEE 802.11ah σε
συστήματα “Διαδικτύου των Αντικειμένων”
(Internet of Things)**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

ΒΕΝΙΤΣΑΝΟΠΟΥΛΟ ΙΩΑΝΝΗ, ΑΛΟΥΣΙ ΛΟΥΙΖ

(ΑΕΜ: 2759 , 2898)

Επιβλέπων : Βέργαδος Δημήτριος

Αναπληρωτής Καθηγητής , Πρόεδρος του Τμήματος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 25/10/2023

.....
Βέργαδος Δημήτριος
Αναπληρωτής
Καθηγητής, Πρόεδρος
του Τμήματος

.....
Δημόκας Νικόλαος
Επίκουρος Καθηγητής

.....
Βαρδάκας Ιωάννης
Αναπληρωτής
Καθηγητής

Καστοριά Οκτώβιος – 2023

Copyright © 2023 – **BENITΣΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ , ΑΛΟΥΣΙ ΛΟΥΙΖ**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Ως συγγραφέας της παρούσας εργασίας δηλώνω πως η παρούσα εργασία δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και δεν περιέχει υλικό από μη αναφερόμενες πηγές.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Θετικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας υπό την επίβλεψη του Καθ'. Δρ. Δημήτριος Βεγάδος.

Πρώτα από όλα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας κ. Δημήτριο Βέργαδο που μου έδωσε αυτή την ευκαιρία και μας εμπιστεύτηκε να μελετήσουμε αυτό το πολύ ενδιαφέρον θέμα. Θα θέλαμε επίσης να τον ευχαριστήσουμε για την καθοδήγησή του σε όλη την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας και για το ενδιαφέρον του όχι μόνο για την ολοκλήρωση της αλλά και για εμάς προσωπικά. Ο τρόπος που αντιμετωπίζει τα προβλήματα που προκύπτουν σε όλα τα στάδια της εργασίας του, η συμπεριφορά του ως μηχανικός πληροφορικής και η γενικότερη συμπεριφορά του ως άνθρωπο, η συνεχής υποστήριξη και ενθάρρυνση του, τον προικίζουν με μεγάλο θαυμασμό και σεβασμό. Κατάφερε να μας μεταφέρει τις αξίες της συνεργασίας και της προσωπικής βελτίωσης με απώτερο στόχο την επίτευξη ενός κοινού στόχου, ενώ κερδίσαμε σημαντικά εφόδια για την περαιτέρω πορεία μας ως μηχανικοί πληροφορικής.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστίσουμε τις οικογενένειες μας για την αμερίστη συμπαράσταση και υποστήριξη τους τόσο κατά την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας αλλά και της όλης διάρκειας των προπτυχιακών μας σπουδών.

Περίληψη

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, ή αλλιώς IoT, είναι μια συνεχής παρουσία στην καθημερινότητά μας. Η διαδικασία του να είσαι έξυπνος, ειδικά η δημοφιλής επιλογή έξυπνων συσκευών, το αποδεικνύει αυτό. Συνολικά, ο κόσμος διανύει μια περίοδο κατά την οποία η τεχνολογία IoT και τα αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα συζητούνται συχνά τα τελευταία χρόνια.

Σε αυτό το άρθρο, γίνεται αναφορά στο Internet of Things. Το πρώτο κεφάλαιο εισάγει τον ορισμό, την εμφάνιση και τα χαρακτηριστικά του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Επίσης στο μοντέλο σύνδεσής του. Και τέλος η εφαρμογή του.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρει το IEEE 802.11. Περιγράφει την οικογένεια προτύπων IEEE και αναφέρεται σε όλες τις υποδιαιρέσεις της. Όσον αφορά την ασφάλεια που παρέχουν στο δίκτυο και τον τρόπο εφαρμογής της στο Wi-Fi. Τέλος, ανατρέξαμε στο συγκεκριμένο πρότυπο IEEE 802.11ah για περισσότερες λεπτομέρειες.

Λέξεις Κλειδιά: Διαδίκτυο των Πραγμάτων, έξυπνες συσκευές, IEEE 802.11 ah, Wi-Fi

Abstract

The Internet of Things, or IoT, is often a part of our everyday lives. The process of being smart, especially the popular choice of smart devices, proves this. In recent years, the entire world has been going through a period where IoT technology and self-driving cars are often discussed.

This article refers to the Internet of Things. In the first chapter, we mentioned the definition, origin and characteristics of IoT. Also, in its connection model. And finally, its application.

IEEE 802.11 is mentioned in the second chapter. A series of IEEE standards is proposed by reference to each of its subdivisions. The security they provide to the network and how it applies to Wi-Fi. Finally, refer to the specific IEEE 802.11ah standard for more details.

Key Words: *Internet of Things, smart devices, IEEE 802.11 ah, Wi-Fi*

Πίνακας Περιεχομένων

Λίστα Εικόνων	vi
1. Εισαγωγή στο IoT	1
1.1 Τι είναι το Internet of Things	3
1.2 Ορισμοί του Internet of Things	3
1.3 Μοντέλα Επικοινωνίας	5
1.3.1 Μοντέλο Device to Device	6
1.3.3 Μοντέλο Device to Gateway	8
1.3.4 Μοντέλο Back End Data Sharing	9
1.4 Η Αρχιτεκτονική του Internet of Things	10
1.5 Οι εφαρμογές του Internet of Things	15
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΙΕΕΕ	25
2.1 ΠΡΟΤΥΠΑ ΤΟΥ ΙΕΕΕ 802.11	27
2.2 ΑΣΦΑΛΕΙΑ	30
2.3 Wi-Fi	32
2.4 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΙΕΕΕ 802.11 ah	33
4. NS3	36
4.1 Προσομοίωση	36
4.2 Είδη προσομοιωτών	38
4.3 Προσομοίωση / εξομοίωση	38
4.4 Προσομοιωτές δικτύων	39
4.5 Ιστορική αναδρομή του NS	42
5. AH Visualizer	44
5.1 Δυνατότητες	45
5.2 Επισκόπηση Αρχιτεκτονικής	45
5.3 Συμπέρασμα	47
5.4 Μελλοντική δουλειά	47
6. Σενάριο κώδικα	48

6.1 Μοντέλα καναλιών	49
6.2 Κινητικότητα και τοποθεσία κόμβων	50
6.3 Διαχείριση ισχύος.....	51
6.4 Συγχρονισμός.....	53
6.5 Multi-AP και MeshSupport	54
6.6 Συνύπαρξη και Παρεμβολή	55
6.7 Μοντέλα κινήσεις και Εφαρμογές	56
7. Παράμετροι Ενότητας.....	58
7.1 Πειραματικό κομμάτι.....	59
Συμπεράσματα.....	69
Βιβλιογραφία	77
Παράρτημα Κώδικα	79

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Το διαδίκτυο των Πραγμάτων (Χρήστες και περιοχές εφαρμογής) (JayavardhanaGubbi, 2013).....	2
Εικόνα 2: Παραδείγματα IoT βάσει διαφόρων πυλώνων (L. Atzori, A. Iera, G. Morabito,2010)	4
Εικόνα3: DeviceToDevice(Juliet Odii, Sep 2016)	6
Εικόνα4: DeviceToCloud (Juliet Odii, Sep 2016).....	7
Εικόνα5: DeviceToGateway (Juliet Odii, Sep 2016).....	8
Εικόνα6: BackEndDataSharing (Juliet Odii,Sep 2016).....	10
Εικόνα 7: Γενική τεχνική επισκόπηση του IoT(ITU-T-Y.2060, 2016).....	11
Εικόνα 8: Τεχνολογική αρχιτεκτονική IoT .(Keyur K. Patel, Sunil M Patel 2016).....	13
Εικόνα 9: Μια μικρή ιδέα για την έξυπνη πόλη.(ECOLIFE8 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2018)	16
Εικόνα 10: Οι εφαρμογές για τα έξυπνα σπίτια και κτίρια (Nadia Oukrich, Apr 2019) ...	18
Εικόνα 11: Η εφαρμογή στην υγεία. (WHOMay 2020).....	20
Εικόνα 12: Η εφαρμογή στονβιομηχανικό τομέα. (RajivJuly 2022)	21
Εικόνα 13: Το έξυπνο περιβάλλον.(LindaRaftree, April 2016)	23
Εικόνα 14: Το έξυπνο περιβάλλον. (MohsenGuizani, Oct 2016).....	25
Εικόνα15: IEEE-logo (ieee802.org).....	25
Εικόνα 16:Το πρότυπο 802.11 και οι υποκατηγορίες του (gizbyte.wordpress.com, Sep 2013).....	30
Εικόνα 17: Η ασφάλεια WEP (snabaynetworking.com)	31
Εικόνα 18: Η τεχνολογία του IEEE 802.11ah (NthatisiHlapisi, Feb 2021)	33
Εικόνα 19: Η προσομοίωση είναι ένα μοντέλο που μιμείται τη λειτουργία ενός υπάρχοντος ή προτεινόμενου συστήματος (www.fill.co.at)	37
Εικόνα 20: Διάφορα μεταξύ "Συνεχών" και "Διακριτών"προσομοιωτών (Helal, 2008) ..	38
Εικόνα 21: Προσομοίωση και εξομοίωση (Gavitron, 2019)	39

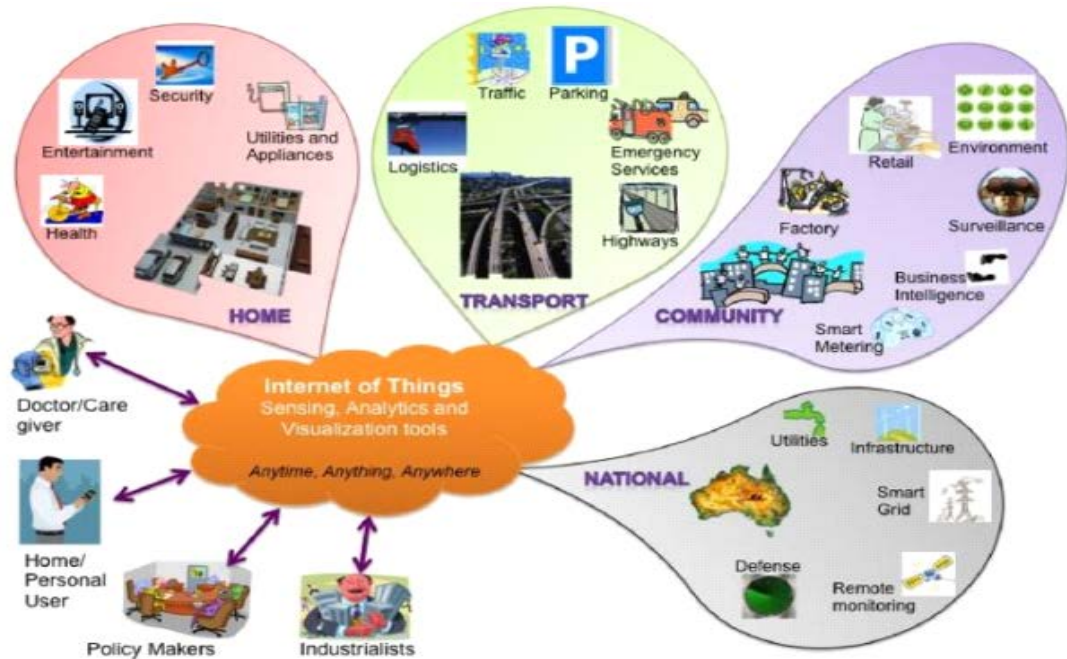
Εικόνα 22: Το QEMU είναι ένας εξομοιωτής μηχανής που μπορεί να εκτελέσει λειτουργικά συστήματα και προγράμματα για ένα μηχάνημα σε διαφορετικό μηχάνημα.(www.qemu.org).....	39
Εικόνα 23: Διάφοροι προσομοιωτές δικτύων (networksimulationtools.com)	40
Εικόνα 24: www.nsnam.org.....	42
Εικόνα 25: Web Visualization Tool (Amina Seferagic, Jun 2018).....	44
Εικόνα 26: Αλγόριθμος 1 (imec-idlab, Sep 2018)	45
Εικόνα 27: Δομή του προγράμματος του ahVisualizer: στοιχεία και κλάσεις (AminaSeferagic, Jun 2018).....	46
Εικόνα 28: https://www.ugent.be/ea/idlab/en	48
Εικόνα 29: Αρχείο RAW.....	59
Εικόνα 30: 25 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz	60
Εικόνα 31: 50 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz	61
Εικόνα 32: 75 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz	63
Εικόνα 33: 100 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz	64
Εικόνα 34: 200 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz	65
Εικόνα 35: 500 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz	67

1. Εισαγωγή στο IoT

Οι περισσότεροι άνθρωποι σήμερα έχουν συσκευές που συνδέονται απευθείας στο διαδίκτυο, όπως προσωπικούς υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα. Η βάση της επικοινωνίας είναι η επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων και των μηχανών. Στο εγγύς μέλλον όλα τα αντικείμενα θα μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Αυτό διευκολύνει τους ανθρώπους να γίνουν πιο παραγοντικοί και να απομυθοποιηθούν, το μέλλον δεν αφορά άτομα που μιλούν μεταξύ τους ή άτομα που έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες, αλλά μηχανές που μπορούν μιλήσουν σε άλλα μηχανήματα για λογαριασμό των ανθρώπων.

Το διαδίκτυο σταδιακά έχει γίνει πιο διαδεδομένο τα τελευταία χρόνια, εξυπηρετώντας περισσότερους ανθρώπους από ποτέ. Καθώς το κόστος των ηλεκτρονικών συσκευών συνεχίζει να μειώνεται, καθίσταται δυνατή την επέκταση της εμβέλειας του Διαδικτύου σε νέα ύψη. Για παράδειγμα, μια μικρή ηλεκτρονική συσκευή που διευκολύνει την καθημερινή ζωή ενός ατόμου μπορεί τώρα να χρησιμοποιηθεί για σύνδεση στον διαδικτυακό κόσμο (*Ning, Hu, 2012*).

Οι μικρές ηλεκτρονικές συσκευές γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Κυβερνοφυσικά ή ενσωματωμένα συστήματα που αποτελούνται από συστήματα και στοιχεία που επεξεργάζονται δεδομένα και υποστηρίζουν την ασύρματη επικοινωνία ονομάζονται έξυπνες συσκευές.



Εικόνα 1: Το διαδίκτυο των Πραγμάτων (Χρήστες και περιοχές εφαρμογής) (JayavardhanaGubbi, 2013).

Πολλά ενσωματωμένα συστήματα είναι συνδεδεμένα στο Διαδίκτυο, αλλά το αναμενόμενο μέγεθος είναι δισεκατομμύρια ή και τρισεκατομμύρια αντικείμενα, υπάρχουν νέα τεχνικά και κοινωνικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Μερικά παραδείγματα αυτών των θεμάτων είναι: αυθεντική αναγνώριση ενός έξυπνου αντικειμένου, αυτόνομη διαχείριση και αυτοοργάνωση δικτύων έξυπνων αντικειμένων, διάγνωση και συντήρηση, γνώση συγκεκριμένης συμπεριφοράς και παραβίαση της ιδιωτικής ζωής.

Επιπλέον, γνωρίζοντας ότι ένα αυτόνομο ευφύες αντικείμενο με πρόσβαση σε μια βάση γνώσεων ενός συγκεκριμένου επιστημονικού πεδίου μπορεί και θα έχει δυνατότητες όπως η λογική σκέψη να προσανατολιστεί σε αυτό το πεδίο. Ένα αντικείμενο θεωρείται έξυπνο εάν μπορεί να κατανοήσει και να ανταποκριθεί σε ενέργειες, πολιτικές και διαδικασίες (Kortuemetal., 2010).

IoT (Internet of Things)

1.1 Τι είναι το Internet of Things

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων ενσωματωμένο με ηλεκτρονικά συστήματα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο που επιτρέπουν σε αυτά τα αντικείμενα να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Το IoT επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο των συσκευών μέσω ενός δικτύου υπολογιστικών συστημάτων. Αυτό ανοίγει πραγματικές ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις, επιτρέποντάς τους να κάνουν καλύτερη χρήση των συσκευών και των συστημάτων τους. Αυτό καθιστά αυτές τις συσκευές πιο αποτελεσματικές, ακριβείς και λιγότερο δαπανηρές.

Εκτός από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση συσκευών όπως έξυπνα σπίτια και οχήματα, το IoT βασίζεται επίσης σε συσκευές που στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα. Κάθε αντικείμενο στον Ιστό αναγνωρίζεται μεμονωμένα και μπορεί να λειτουργήσει τόσο αυτόνομα όσο και σε συνεργασία με την υπόλοιπη υποδομή Ιστού.

1.2 Ορισμοί του Internet of Things

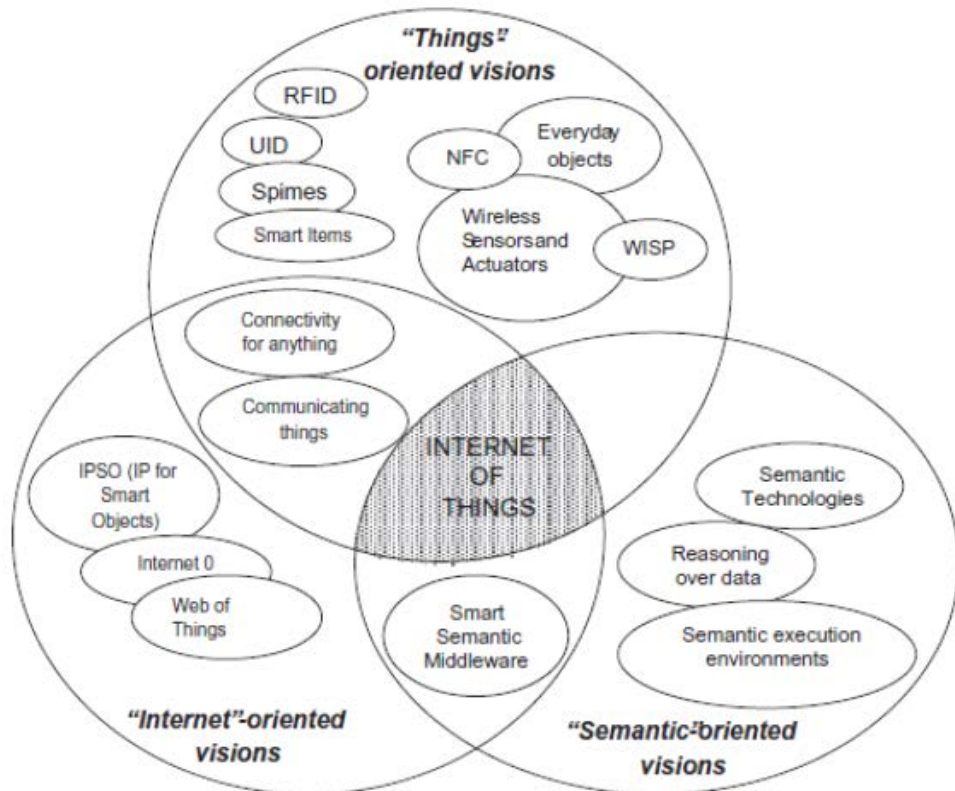
Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι η διασύνδεση των αντικειμένων, η οποία καθιστά δυνατό τον έλεγχο και την παρακολούθησή τους από απόσταση (*Zhang, YuandZhai, 2011*). Η εταιρεία θα έχει μοναδικά σχέδια που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους για την επίτευξη κοινών στόχων. Το Radio-Frequency Identification (RFID) σημαίνει Αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων και αναφέρεται στην τεχνολογία επισήμανσης αντικειμένων με μοναδικά αναγνωριστικά ή "ετικέτες RFID" (*Comptonetal., 2009*).

Η ευρεία ανάπτυξη της RFID την έχει καταστήσει μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες σήμερα. Τα αντικείμενα είναι πράγματα που εμπλέκονται επί του παρόντος ή δυνητικά σε ενεργές επιχειρηματικές, πληροφορίες και κοινωνικές διαδικασίες, όπου μπορούν να επικοινωνούν και να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον, ανταλλάσσοντας δεδομένα και πληροφορίες που ανιχνεύονται από το περιβάλλον (*Alberti, Singh, 2013*).

Τα αντικείμενα μπορούν επίσης να αντιδρούν αυτόνομα σε παγκόσμιες εκδηλώσεις του πραγματικού κόσμου και μπορούν να δημιουργήσουν υπηρεσίες (ή να παρέχουν υποστήριξη) χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση ή ορισμένες φορές με την συνδρομή της.

Η εκπαίδευση, η υγειονομική περίθαλψη, η δημόσια ασφάλεια, τα ακίνητα, οι μεταφορές και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας χρησιμοποιούν τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών για να τις καταστήσουν πιο ευαίσθητοποιημένες, δια δραστικές και αποτελεσματικές (*Gubbietal., 2012*).

Εστιάζοντας στον χρήστη και χωρίς να περιορίζεται κάποιος σε κανένα τυπικό πρωτόκολλο επικοινωνίας. Αυτό θα επιτρέψει στους προγραμματιστές να αναπτύσσουν και να διορθώνουν εφαρμογές πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες τεχνολογίες αιχμής ανά πάσα στιγμή. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων αναφέρεται στη διασύνδεση των συσκευών ανίχνευσης και ενεργοποίησης που επιτρέπουν την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των πλατφόρμων. Αυτό επιτρέπει την ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών και καθιστά το έξυπνο περιβάλλον πιο αποδοτικό και αποτελεσματικό.



Εικόνα 2: Παραδείγματα IoT βάσει διαφόρων πυλώνων (L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, 2010)

Το Things Oriented Vision χρησιμοποιείται επίσης για τον εντοπισμό συσκευών με χρήση αισθητήρων και τη χρήση τεχνολογίας RFID. Κάθε αντικείμενο προσδιορίζεται μοναδικά χρησιμοποιώντας την προδιαγραφή Ηλεκτρονικού Κωδικού Προϊόντος (EPC). Θα έχουμε ένα όραμα για τα Αντικείμενα που χρησιμοποιούν αισθητήρες, δίκτυο και τεχνολογία RFID.

Το Internet-Oriented Vision χρησιμοποιεί ένα δίκτυο που κάνει τα έξυπνα αντικείμενα να συνδέονται. Τα αντικείμενα πρέπει να βρίσκεται σε θέση να συμμορφώνονται με τα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων IP.

Τα δεδομένα πρέπει να αντιμετωπίζονται και να καταθέτονται σε επεξεργασία με τρόπο που να τα καθιστά εύκολα κατανοητά. Υπάρχουν πολλά δεδομένα σε αυτό το αρχείο. Για να το κατανοήσουμε, πρέπει να το αναλύσουμε σε μεμονωμένα κομμάτια και μετά να το ερμηνεύσουμε. Τα μη επεξεργασμένα δεδομένα πρέπει να αντιμετωπίζονται και να υποβάλλονται σε επεξεργασία με κατανοητό τρόπο για καλύτερη αναπαράσταση και κατανόηση. Ο σκοπός αυτής της διεργασίας είναι να απεικόνιση τα διάφορα στάδια που εμπλέκονται στην ανάλυση δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της προ επεξεργασίας δεδομένων, του καθαρισμού δεδομένων, της ανάλυσης δεδομένων και της αναφοράς. Θα συζητήσουμε επίσης τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για τη πρόοδο της ορθότητας και της αποτελεσματικότητας της ανάλυσης δεδομένων.

1.3 Μοντέλα Επικοινωνίας

Υπάρχουν διάφοροι τύποι τεχνολογίας IoT που μπορούν να διακριθούν σε δύο ογκώδη κατηγορίες: σε αυτές που αξιοποιούν φυσικά αντικείμενα ως αισθητήρες και εκείνα που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές συσκευές για τη συλλογή δεδομένων. Η πρώτη κατηγορία σχετίζεται με το μοντέλο διασύνδεσης και το δεύτερο είδος σχετίζεται με το πρότυπο αναφοράς IoT και τα στρώματά του. Είναι επωφελής να σκεφτούμε πώς σχετίζονται και επικοινωνούν οι συσκευές IoT όσον αφορά τα πρότυπα επικοινωνίας. Τον Μάρτιο του 2015, η Επιτροπή Αρχιτεκτονικής Διαδικτύου ανέθεσε ένα έγγραφο καθοδήγησης για την έξυπνη αρχιτεκτονική Διαδικτύου των Πραγμάτων. Αυτό το έγγραφο περιγράφει τον τρόπο επικοινωνίας με έξυπνα αντικείμενα χρησιμοποιώντας τέσσερα κοινά μοντέλα επικοινωνίας.

Στην συνέχεια της ενότητας, παρουσιάζονται τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του εκάστοτε πρότυπου.

1.3.1 Μοντέλο Device to Device

Ο πρώτος τύπος μοντέλου επικοινωνίας από συσκευή σε συσκευή είναι το μοντέλο που μπορεί να συνδέσει απευθείας δύο ή περισσότερες συσκευές. Αυτός είναι ο πιο κοινός τύπος μοντέλου επικοινωνίας συσκευής-συσκευής, επειδή είναι πιο αξιόπιστος και είναι εύκολο να ρυθμιστεί. Αυτά τα gadget μπορούν να επικοινωνούν με άλλες gadget σε πολλούς τύπους δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων IP και του Διαδικτύου, όταν συνδέουμε τις συσκευές μας μέσω πρωτοκόλλων όπως Bluetooth, Z-Wave ή ZigBee, είμαστε σε θέση να επικοινωνούμε μεταξύ μας, όπως διατυπώνεται και στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 1.3**).



Εικόνα3: Device to Device (Juliet Odii, Sep 2016)

Το Device-to-Device επιτρέπει σε δύο gadget να επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Αυτό είναι χρήσιμο για την ανταλλαγή μηνυμάτων ή εντολών για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Αυτό το πρότυπο επικοινωνίας μεταχειρίζεται εκτενώς σε εφαρμογές όπως τα συστήματα οικιακής αυτοματοποίησης και συχνότερα χρησιμοποιεί μικρού μεγέθους πακέτα πληροφοριών για την διασύνδεση μεταξύ συσκευών με χαμηλούς ρυθμούς στοιχείων. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί συσκευές που σχετίζονται μεταξύ τους μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας. Οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ποικίλες μεθόδους, όπως Bluetooth, Wi-Fi και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Το δίκτυο επικοινωνίας μπορεί να παρέχει ένα ασφαλές περιβάλλον για την επικοινωνία, έτσι ώστε τα δεδομένα να μπορούν να αποστέλλονται και να λαμβάνονται χωρίς να υποκλαπούν. Αυτές οι συσκευές συνήθως σχετίζονται άμεσα ανάμεσα τους και συχνά διαθέτουν Προ εγκατεστημένη ασφάλεια, αλλά μεταχειρίζονται επίσης πρότυπα στοιχείων για ειδικές συσκευές που πρέπει να αναπτυχθούν από τον

κατασκευαστή. Είναι σημαντικό για τους κατασκευαστές συσκευών να επενδύσουν σε εργασίες ανάπτυξης για την εφαρμογή συσκευών με συγκεκριμένες μορφές δεδομένων, αντί να χρησιμοποιούν τυποποιημένες μορφές δεδομένων που είναι ανοιχτές σε ερμηνεία από όλους. Ο χρήστης συχνά πρέπει να επιλέξει μια ομάδα συσκευών που διαχειρίζονται ένα ίδιο τύπο επικοινωνίας, καθώς το μοντέλο συσκευής σε συσκευή δεν είναι συμβατό.

Φυσικά, στις μέρες μας τα παραπάνω δεν ισχύουν πια αφού έχουν δημιουργηθεί πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα για τη διασύνδεση πολλαπλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Ορισμένες από τις εταιρείες που αναφέρονται στο OpenHab συμμετέχουν επίσης στην ανάπτυξη της τεχνολογίας.

1.3.2 Μοντέλο DevicetoCloud

Σε μοντέλα επικοινωνίας όπως από συσκευή σε σύννεφο, οι συσκευές IoT μπορούν να συνδεθούν απευθείας σε διαδικτυακές υπηρεσίες cloud για ανταλλαγή δεδομένων και διαχείριση της κυκλοφορίας μηνυμάτων. Αυτή η προσέγγιση αξιοποιεί τους υπάρχοντες μηχανισμούς επικοινωνίας, όπως ενσύρματες συνδέσεις Ethernet και Wi-Fi για να δημιουργήσει συνδεσιμότητα μεταξύ συσκευών και δικτύων IP, αυτό θα συνδεθεί τελικά στην υπηρεσία cloud. όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα(Εικόνα 1.4).



Εικόνα4: DevicetoCloud (Juliet Odii, Sep 2016)

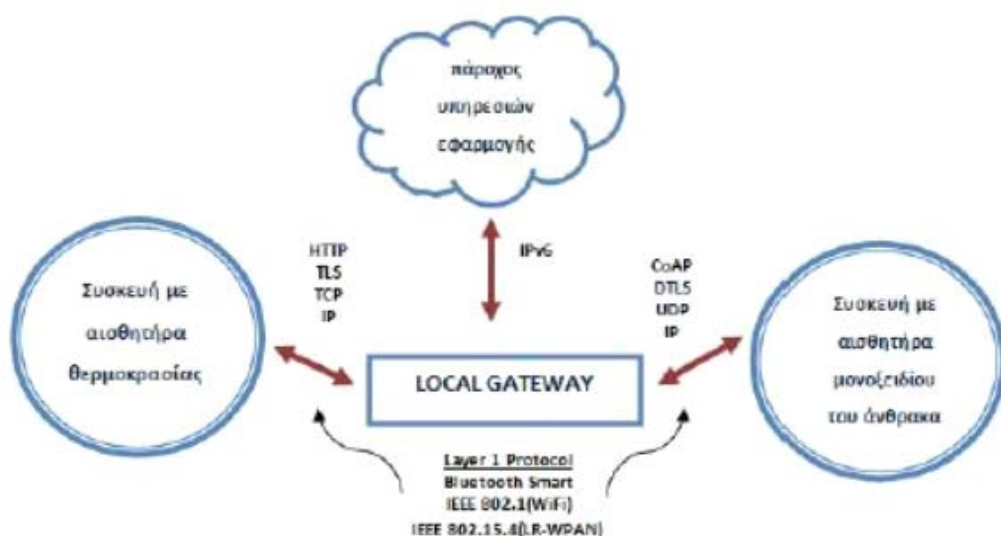
Ορισμένες δημοφιλείς συσκευές IoT για καταναλωτές χρησιμοποιούν αυτό το μοντέλο επικοινωνίας. Σε περίπτωση που ένας θερμοστάτης εντόπιζε ότι η θερμοκρασία στο σπίτι γίνεται πολύ υψηλή, θα έστειλε

ειδοποίηση σε βάση δεδομένων cloud όπου τα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστεί εάν η θερμοκρασία στο σπίτι είναι πολύ υψηλή για άνεση.

Αυτή η σύνδεση cloud σας επιτρέπει να έχετε πρόσβαση στον θερμοστάτη σας εξ αποστάσεως μέσω του smartphone ή του διαδικτύου και υποστηρίζει επίσης αναβαθμίσεις λογισμικού. Η τηλεόραση συνδέεται στο Διαδίκτυο για τη διαβίβαση πληροφοριών στη Samsung για ανάλυση και για την ενεργοποίηση της διαδραστικής ταυτοποίησης φωνής. Σε αυτές τις υποθέσεις, το μοντέλο device-to-cloud παρέχει διευκόλυνση στους χρήστες. Μερικές φορές, ο μηχανισμός και οι υπηρεσίες cloud προέρχονται από τον ίδιο χορηγό. Ο κάτοχος ή ο User μιας συσκευής μπορεί να κλειδωθεί σε μια ορισμένη υπηρεσία cloud, η οποία περιορίζει ή αποτρέπει τη χρήση εναλλακτικών υπηρεσιών cloud.

1.3.3 Μοντέλο Device to Gateway

Το τρίτο μοντέλο είναι μια πύλη σε επίπεδο συσκευής σε εφαρμογή, όπου η συσκευή IoT διασυνδέεται μέσω μιας παροχής ALG για να γίνει σύνδεση με την υπηρεσία cloud. Το μοντέλο Device-to-Gateway παρέχει έναν τρόπο για τις συσκευές να επικοινωνούν με το cloud και προσφέρει ασφάλεια και άλλες υπηρεσίες, όπως μετάφραση δεδομένων ή πρωτοκόλλου, σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 1.5**).



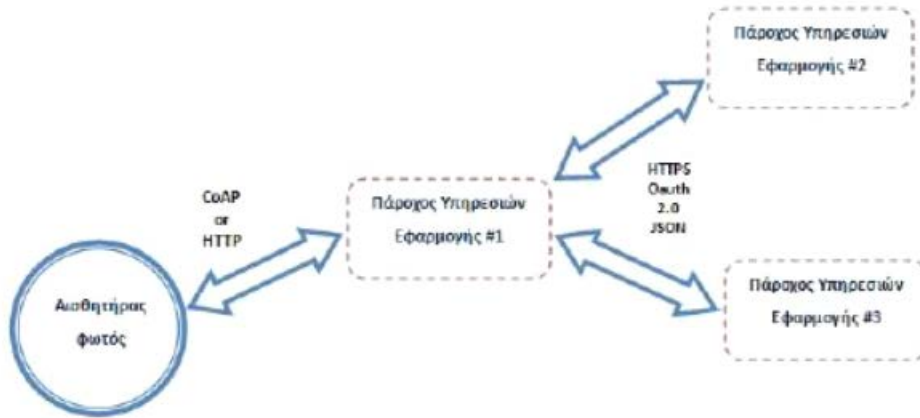
Εικόνα5: Device to Gateway (Juliet Odii, Sep 2016)

Αυτό είναι ένα μοντέλο που είναι κοινό σε καταναλωτικές συσκευές. Ορισμένα τηλέφωνα που κάνουν χρήση αυτό το μοντέλο επικοινωνίας είναι τα smartphones, τα οποία μπορούν να επικοινωνούν με συσκευές IoT και να μεταβιβάζουν πληροφορίες σε μια λειτουργία του cloud. Αυτό είναι ένα κοινό μοντέλο που χρησιμοποιείται σε καταναλωτικά αγαθά, όπως προσωπικοί ιχνηλάτες γυμναστικής. Οι κόμβοι επιτρέπουν τη σύνδεση συσκευών στο cloud, αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση συσκευών από διαφορετικές υπηρεσίες IoT. Αυτό το υπόδειγμα επικοινωνίας γίνεται χρήση για την σύνθεση νέων έξυπνων συσκευών σε ένα υπάρχον σύστημα επικοινωνίας. Αυτή η προσέγγιση έχει ορισμένα μειονεκτήματα: Η συνεχής ανάπτυξη του λογισμικού συστήματος και εφαρμογών καθιστά δύσκολη και δαπανηρή την παρακολούθηση. Οι κόμβοι επιτρέπουν τη σύνδεση συσκευών στο cloud, αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση συσκευών από διαφορετικές υπηρεσίες IoT.

1.3.4 Μοντέλο Backend DataSharing

Το backend μοντέλο κοινής χρήσης δεδομένων επιτρέπει στους χρήστες να αναλύουν και να εξάγουν δεδομένα από υπηρεσίες cloud και να συνδυάζουν δεδομένα από άλλες πηγές. Στο μοντέλο Device-to-Cloud, τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων η οποία καταγράφει πληροφορίες για κάθε αισθητήρα ή σύστημα IoT. Η αρχιτεκτονική Back-End-Data-Sharing επιτρέπει στους χρήστες να μετακινούν τα δεδομένα τους σε συσκευές IoT χωρίς την ανησυχία για τα δεδομένα ή για το που αποθηκεύονται στις συσκευές. Στο μοντέλο Device-to-Cloud, κάθε αισθητήρας ή σύστημα IoT αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων που βασίζεται σε σύννεφο. Η αρχιτεκτονική Back-End-Data-Sharing σας

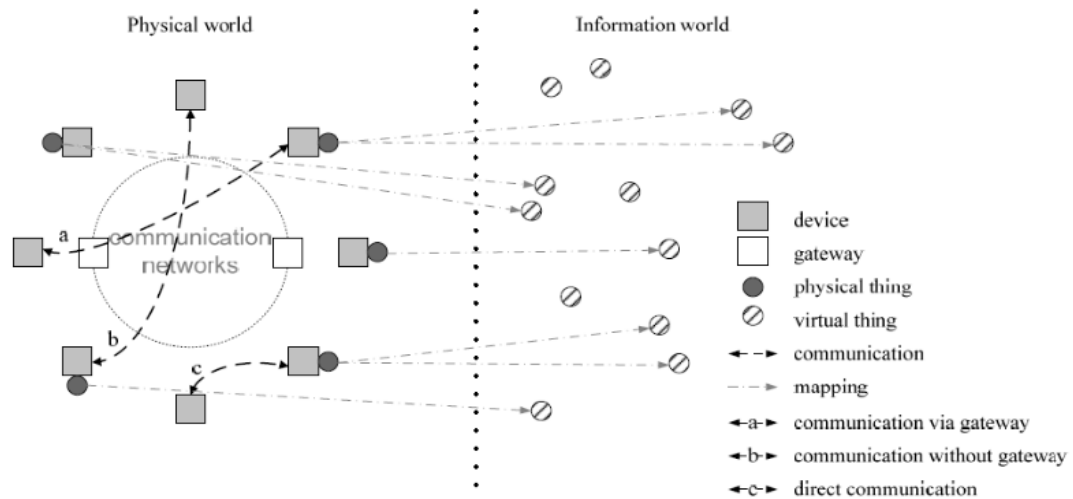
επιτρέπει να μετακινείτε τα δεδομένα σας κατά την ανταλλαγή συσκευών IoT χωρίς ανησυχία για απώλεια ή κλοπή των δεδομένων.



Εικόνα6: BackEndDataSharing (Juliet Odii, Sep 2016)

1.4 Η Αρχιτεκτονική του Internet of Things

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι μια τεχνολογία που βρίσκεται ακόμη στο στάδιο του σχεδιασμού. Είναι ακόμα υπό υπολογισμό και γίνονται προτάσεις στην αρχιτεκτονική. Αν και θέλουμε να δώσουμε μια γενική περιγραφή της αρχιτεκτονικής και των επιμέρους στοιχείων, δεν θα μπορούσαμε να το κάνουμε επειδή υπάρχουν πάρα πολλές πληροφορίες. Θα δούμε μια τεχνική επίδειξη του τρόπου με τον οποίο το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ζωής μας. Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί όπως αναφέρεται η περιγραφή στο *(ITU-T-Y.2060, 2016)*.



Εικόνα 7: Γενική τεχνική επισκόπηση του IoT (ITU-T-Y.2060, 2016)

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται δύο διασυνδεδεμένοι τομείς. Ο πρώτος τομέας αναφέρεται στον πραγματικό κόσμο, που περιλαμβάνει πραγματικά αντικείμενα και συσκευές, ενώ ο δεύτερος τομέας αφορά τον κόσμο της πληροφορίας, ο οποίος είναι εικονικός. Στον πραγματικό κόσμο, οι τοποθεσίες δικτύου που συνδέουν τα αντικείμενα μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για την αναπαράσταση εικονικών αντικειμένων στον εικονικό κόσμο. Ωστόσο, οι εικονικοί αυτοί κόσμοι μπορούν να υπάρχουν ανεξάρτητα από την ύπαρξη φυσικών αντικειμένων και συσκευών.

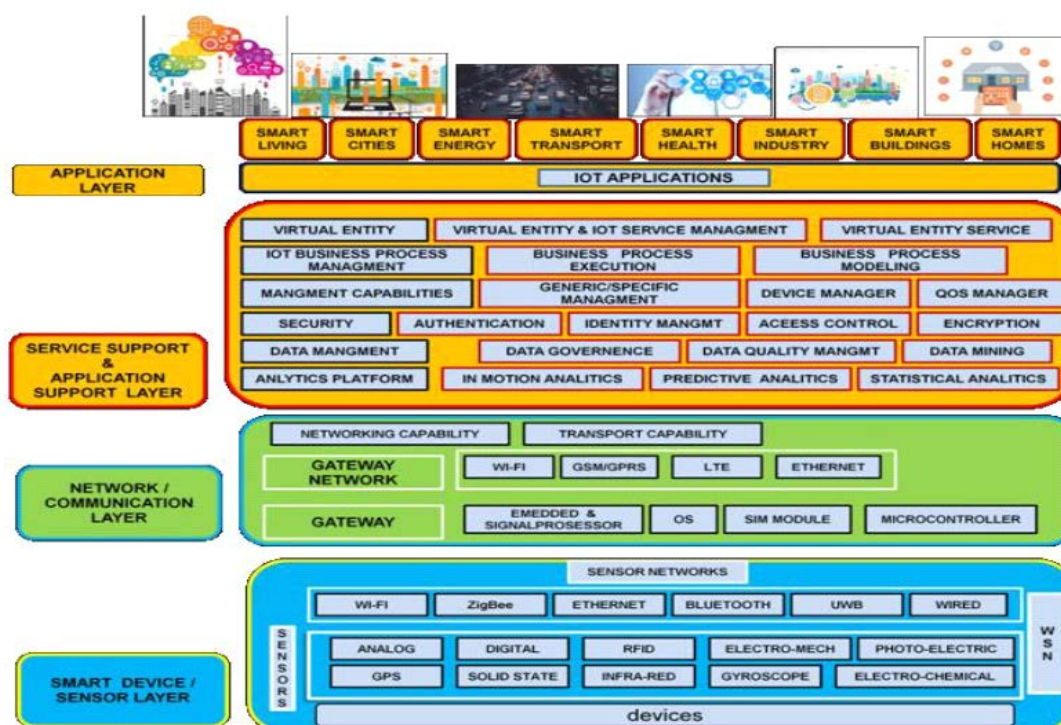
Το δίκτυο που συνδέει αυτούς τους δύο τομείς είναι ένα μεγάλο διασυνδεδεμένο δίκτυο.

Στους κύκλους μπορούμε να δούμε διάφορα αντικείμενα, όπως ανθρώπους, μηχανές και άλλα. Τα γκριζα τετράγωνα αναπαριστούν συσκευές που επιτρέπουν τη μεταφορά αντικειμένων, όπως αυτοκίνητα, και διαθέτουν δυνατότητες επικοινωνίας και ανίχνευσης, καθώς και δυνατότητες συλλογής, αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων. Αυτές οι συσκευές μπορούν να συλλέξουν διάφορες μορφές πληροφοριών και να τις αποστείλουν στο δίκτυο για περαιτέρω επεξεργασία. Επιπλέον, ορισμένες

από αυτές τις συσκευές μπορούν να εκτελέσουν αυτοματοποιημένες εργασίες ανάλογα με τις πληροφορίες που λαμβάνουν ως είσοδο.

Οι συσκευές που απαιτούνται για να συμμετάσχουν στον κόσμο του IoT ονομάζονται συσκευές IoT. Οι αντικειμενικές επικοινωνίες μεταξύ των συσκευών μπορούν να πραγματοποιηθούν με τρεις τρόπους: άμεση επικοινωνία μέσω φυσικής σύνδεσης μεταξύ τους (δηλαδή απευθείας επικοινωνία-γ), επικοινωνία χωρίς πύλη μέσω κοινού δικτύου (δηλαδή επικοινωνία χωρίς πύλη-β) και έμμεση επικοινωνία μέσω πύλης δικτύου ή μεσολαβητή ταχυδρόμου (δηλαδή επικοινωνία μέσω διαμεσολαβητή-α). Μπορεί επίσης να υπάρχουν συνδυαστικά σενάρια που συνδυάζουν την ανθρώπινη και την ηλεκτρονική επικοινωνία. Ο τρόπος β είναι ο πιο δημοφιλής τρόπος για επέκταση, καθώς είναι ο πιο αποτελεσματικός και γρήγορος τρόπος για να προσθέσετε περισσότερες συσκευές στο σύστημα. Απλώς απαιτείται μια σύνδεση στο δίκτυο, και από εκεί και πέρα οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν με άλλες συσκευές.

Το μοντέλο αναφοράς για το Internet of Things αποτελεί ένα σύστημα που χρησιμοποιεί μια κοινή υποδομή δικτύου για να συνδέει συσκευές και συστήματα. Οι συσκευές που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο μπορεί να είναι διάφορες, όπως αισθητήρες, συσκευές και αυτοκίνητα. Το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα να μεταδίδονται δεδομένα μεταξύ των συσκευών και των συστημάτων, δίνοντας τη δυνατότητα τόσο για αυτοματοποίηση όσο και για συνεργασία μεταξύ των συσκευών. Μια απεικόνιση αυτού του μοντέλου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (**Patel et al., 2016**).



Εικόνα 8: Τεχνολογική αρχιτεκτονική IoT .(Keyur K. Patel, Sunil M Patel 2016)

Η παραπάνω εικόνα δείχνει πώς το κατώτερο επίπεδο μπορεί να θεωρηθεί ως μοντέλο του πραγματικού κόσμου, ενώ το ανώτερο επίπεδο μπορεί να θεωρηθεί ως μοντέλο του εικονικού κόσμου. Για κάθε επίπεδο αποτυπώνονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και το κόστος. (Pateletal., 2016) (ITU-T-Y.2060, 2016).

- **Device Layer (επίπεδο συσκευών):** Το χαμηλότερο επίπεδο στο δίκτυο είναι το επίπεδο της συσκευής. Το επίπεδο συλλογής δεδομένων και συνδεσιμότητας που απαιτείται για να γίνει ένα αντικείμενο προσβάσιμο στο Διαδίκτυο ενώ αυτό είναι πραγματικό αντικείμενο. Οι αισθητήρες είναι ικανοί να μετρούν τη θερμοκρασία, την ποιότητα του αέρα, την ταχύτητα, την υγρασία, την πίεση, τη ροή, την κίνηση, τον ηλεκτρισμό και πολλά άλλα.

- **Network Layer (επίπεδο δικτύου):** Το δίκτυο προσφέρει συνδεσιμότητα για πρόσβαση σε υπηρεσίες και μεταφορά εφαρμογών καθώς και πληροφορίες που σχετίζονται με τη διαχείριση και τον έλεγχο του δικτύου. Ένα δίκτυο με υψηλές αποδόσεις είναι απαραίτητο για τη διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων που θα χρειαστεί να αποθηκευτούν και να επεξεργαστούν. Πρέπει να βρούμε τρόπους να εξυπηρετήσουμε ένα ευρύτερο φάσμα υπηρεσιών και εφαρμογών IOT.

- **Service support and application support layer (επίπεδο υποστήριξης υπηρεσιών και εφαρμογών):** Αυτό το στρώμα είναι ένα προκαταρκτικό στρώμα για τις τελικές εφαρμογές που θα εφαρμοστούν στο επόμενο στρώμα. Αυτό το επίπεδο παρέχει τις βασικές δυνατότητες που χρησιμοποιούνται από όλες τις εφαρμογές. Όταν ένα σύστημα σχεδιάζεται με εξειδικευμένες δυνατότητες, μπορεί να εξυπηρετήσει διαφορετικές εφαρμογές σε διαφορετικά επίπεδα εξειδίκευσης. Το επίπεδο είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της κυκλοφορίας του δικτύου. Ορισμένες από τις πληροφορίες απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία, η οποία μπορεί να απαιτεί δρομολόγηση σε άλλα συστήματα. Οι κρίσιμες εφαρμογές απαιτούν άμεση απόκριση και προτεραιότητα επεξεργασίας έναντι άλλων εφαρμογών. Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο όλων των ροών δεδομένων στο σύστημα, την εφαρμογή κανόνων προτεραιότητας και δρομολόγησης και την αποτελεσματικότερη εκτέλεση άλλων εργασιών.

- **Application Layers (επίπεδο εφαρμογών):** Το ανώτερο στρώμα του οικοδομήματος αποτελείται από τις εφαρμογές και την υποδομή IoT. Αυτά τα λογισμικά μπορούν να κάνουν ορισμένες εργασίες και

μπορούμε να πούμε ότι είναι οι καλύτερες επιλογές για το τελικό προϊόν.

1.5 Οι εφαρμογές του Internet of Things

Το IoT είναι μια νέα τεχνολογία που υπόσχεται πολλά οφέλη για την ανθρωπότητα, κάνοντας τη ζωή ευκολότερη, ασφαλέστερη και πιο έξυπνη. Εντοπίζεται πληθώρα εφαρμογών και παρακάτω παρουσιάζονται σε κατηγορίες ως εξής:

- **Παραδείγματα εφαρμογών του Internet of Things** για τη δημιουργία έξυπνων πόλεων. Η χρήση εφαρμογών έξυπνων πόλεων αποτελεί μία από τις βέλτιστες λύσεις για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες, υπερπληθυσμένες και μη πράσινες πόλεις. Σύμφωνα με μια έρευνα που διενεργήθηκε από τον Rick [7], αναμένεται ότι η αγορά των έξυπνων πόλεων θα φτάσει τα δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2025, γεγονός που θα τραβήξει το ενδιαφέρον πολλών προγραμματιστών του IoT. Η εφαρμογή των έξυπνων πόλεων βοηθά τους ανθρώπους να αντιμετωπίσουν κάποια από τα μεγαλύτερα προβλήματα της εποχής μας. Αρκετές μεγάλες πόλεις, όπως η Σεούλ, η Νέα Υόρκη, το Τόκιο, η Σαγκάη και η Σιγκαπούρη, έχουν ήδη υλοποιήσει έξυπνα έργα. Οι πόλεις του μέλλοντος μπορούμε να πούμε ότι θα είναι οι έξυπνες πόλεις, καθώς η καινοτομία στον τομέα αυτό συνεχώς αυξάνεται στην εποχή μας. Με την εισαγωγή της τεχνολογίας IoT, είναι πλέον δυνατή η ανάπτυξη έξυπνων πόλεων. Η δημιουργία αυτών των πόλεων απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και υποστήριξη από τις κυβερνήσεις και τους πολίτες για την ενσωμάτωση της IoT σε όλες τις πτυχές τους. Η χρήση της τεχνολογίας IoT μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση των πόλεων σε πολλαπλά επίπεδα. Μερικά παραδείγματα εφαρμογών περιλαμβάνουν

έξυπνα συστήματα πάρκινγκ, βελτιωμένη υγεία της πόλης, καταγραφή θορύβου, διαχείριση κυκλοφορίας, ανίχνευση συσκευών κινητής τηλεφωνίας, έξυπνος φωτισμός και διαχείριση απορριμμάτων. Αν αντιμετωπίζετε οποιοδήποτε από αυτά τα προβλήματα, υπάρχουν διάφορες λύσεις που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε. Μπορείτε να εξετάσετε τη χρήση συστημάτων ανίχνευσης έξυπνων τηλεφώνων ή τη χρήση έξυπνων δρόμων και συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων. Για παράδειγμα, στην Ινδία, κατασκευάζεται η πρώτη ινδική έξυπνη πόλη κοντά στην πρωτεύουσα Γκαντιναγκάρ του Γκουτζαράτ.

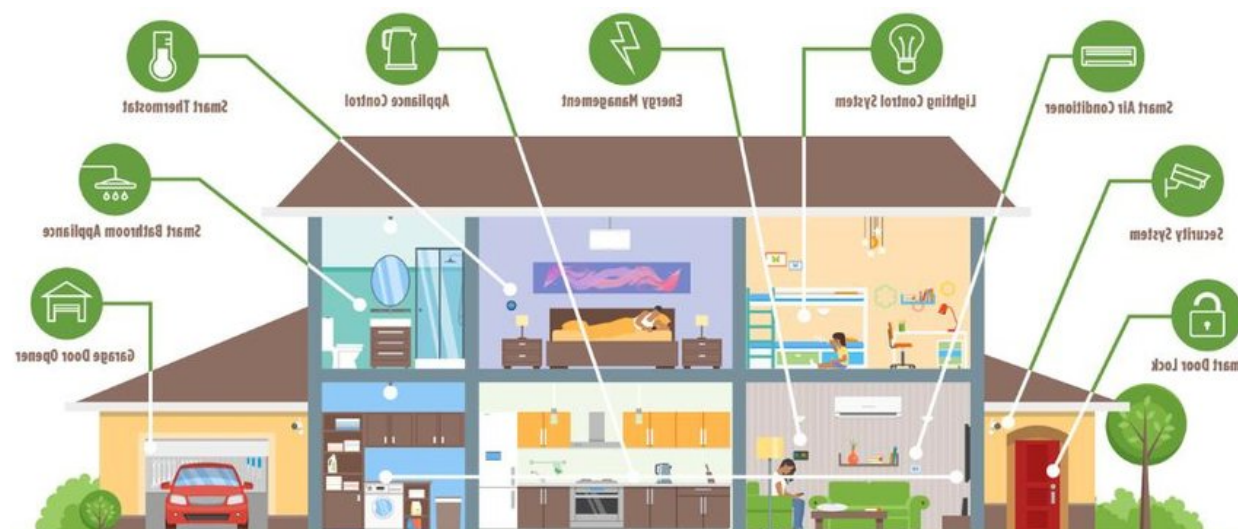


Εικόνα 9: Μια μικρή ιδέα για την έξυπνη πόλη.(ECOLIFE8 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2018)

- **Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων** για την αυτοματοποίηση λειτουργιών σε κτίρια. Το IoT επιτρέπει τον εύκολο και κεντρικό έλεγχο όλων των συσκευών στο σπίτι, δημιουργώντας έναν εύκολο και κεντρικό τρόπο διαχείρισης τους. Μέσω της πλατφόρμας IoT, οι άνθρωποι μπορούν να μετρούν την κατανάλωση

ενέργειας και νερού, βοηθώντας τους να κατανοήσουν πώς χρησιμοποιούν τους πόρους και πώς μπορούν να εξοικονομήσουν αυτούς τους πόρους στο μέλλον. Αυτό το σύστημα ανοίγει νέους ορίζοντες στην αυτοματοποίηση λειτουργιών σε κτήρια.

Οι τεχνολογίες Wi-Fi γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς για τα συστήματα οικιακού αυτοματισμού, καθώς επιτρέπουν στις συσκευές να συνδεθούν στο διαδίκτυο. Η σύνδεση συνήθως παρέχεται μέσω Wi-Fi, το οποίο αρχίζει να γίνεται σταθερό κομμάτι του οικιακού δικτύου IP, καθώς οι άνθρωποι χρησιμοποιούν περισσότερες φορητές συσκευές για πρόσβαση στο διαδίκτυο. Μέσω της δικτύωσης, οι συσκευές μπορούν να ελέγχονται από απόσταση. Ταυτόχρονα, οι καταναλωτές έχουν πρόσβαση σε φορητές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα, για τον έλεγχο των συνδεδεμένων συσκευών στο δίκτυο. Και οι δύο τύποι συσκευών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πύλες για εφαρμογές IoT. Πολλές εταιρείες εξετάζουν τη δυνατότητα σύνδεσης του αυτοματισμού κτιρίων με άλλες πλατφόρμες όπως οι πλατφόρμες παρακολούθησης ψυχαγωγίας, υγειονομικής περίθαλψης, ενέργειας και οι ασύρματοι αισθητήρες στο σπίτι και το δομημένο περιβάλλον. Με τον όρο "Διαδίκτυο των Πραγμάτων", τα σπίτια και τα κτίρια μπορούν να ενσωματώσουν πολλές έξυπνες συσκευές και αντικείμενα, αλλά οι πιο δημοφιλείς εφαρμογές είναι ο έξυπνος φωτισμός, οι έξυπνοι αισθητήρες κλιματισμού και ο έλεγχος της κεντρικής θέρμανσης.

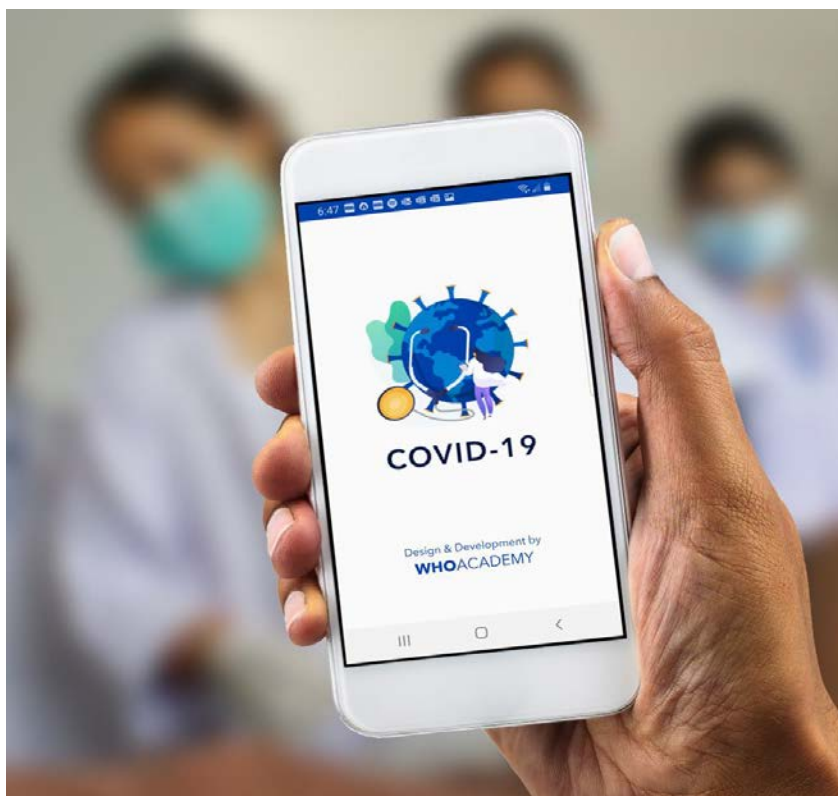


Εικόνα 10: Οι εφαρμογές για τα έξυπνα σπίτια και κτίρια (Nadia Oukrich, Apr 2019)

- **Εφαρμογές του Internet of Things στη βιομηχανία της υγείας.** Το Internet of Things έχει αναμφισβήτητα μεγάλη αξία στον τομέα της υγείας. Με τη χρήση της τεχνολογίας IoT, μπορούν να υλοποιηθούν πολλές εφαρμογές, όπως η ανίχνευση πτώσης, η διατήρηση της σωστής θερμοκρασίας στα ιατρικά ψυγεία για να αποφεύγονται οι ανεπιθύμητες διακυμάνσεις στην ποιότητα των φαρμάκων, η παρακολούθηση της υγείας αθλητών, η επίβλεψη των ασθενών, η μέτρηση της υπερϊώδους ακτινοβολίας και πολλά άλλα σημαντικά ζητήματα που σχετίζονται με την υγεία. Η χρήση αυτών των εφαρμογών βοηθά τους ανθρώπους να ζουν πιο ευτυχισμένα, ελαχιστοποιώντας τα ιατρικά προβλήματα που ενδέχεται να αντιμετωπίσουν. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα που αναφέραμε προηγουμένως είναι η ανίχνευση πτώσης, η οποία μπορεί να βοηθήσει τους ηλικιωμένους ή τα άτομα με ειδικές ανάγκες που ζουν μόνοι, παρέχοντας άμεση βοήθεια σε περίπτωση ανάγκης. Επιπλέον, οι ηλικιωμένοι ή άτομα με ειδικές ανάγκες μπορεί να έχουν ευαισθησία στον ήλιο και να πρέπει να αποφεύγουν την έκθεση στην υπερϊώδη ακτινοβολία (UV) του ήλιου. Το IoT μπορεί να βοηθήσει στη

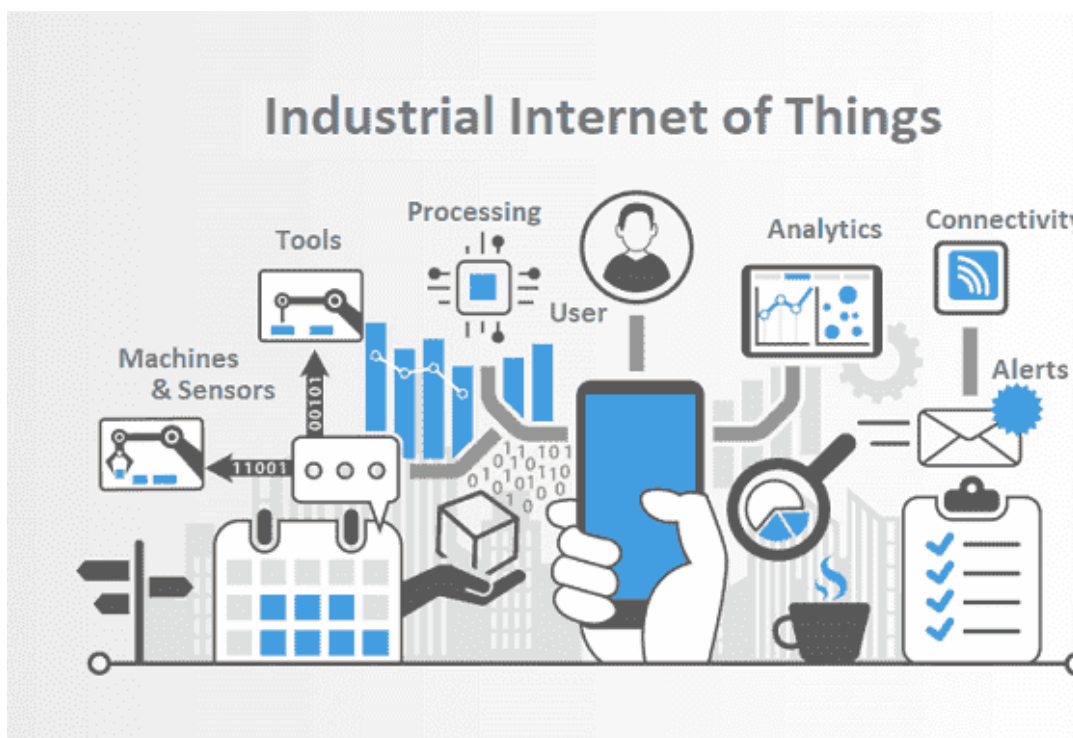
μέτρηση της υπεριώδους ακτινοβολίας και να παρέχει πληροφορίες για το εάν η έκθεση στον ήλιο είναι ασφαλής ή αντικειμενικά επιβλαβής για την υγεία τους. Αυτό θα βοηθήσει τους ανθρώπους να ζουν υγιή και ασφαλής ζωές.

Οι ασθενείς που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση της υγείας τους μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση τεχνολογιών παρακολούθησης IoT. Η χρήση έξυπνων αισθητήρων υγείας μπορεί να συλλέγει και να αναλύσει πληροφορίες για τους ασθενείς, καθώς και να αποθηκεύσει τα δεδομένα στο cloud. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να σταλούν ασύρματα στους γιατρούς για ανάλυση και επανεξέταση (Niewolny, 2013). Η τεχνολογία IoT μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα της φροντίδας και να μειώσει το κόστος της περίθαλψης αντικαθιστώντας τους επαγγελματίες υγείας που πρέπει να παρακολουθούν τα ζωτικά σημεία των ασθενών με μια αυτοματοποιημένη διαδικασία (Champerlin, 2016). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του κόστους της παραδοσιακής φροντίδας και της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, παρέχοντας παράλληλα βελτιωμένη περίθαλψη.



Εικόνα 11: Η εφαρμογή στην υγεία. (WHOMay 2020)

Υπάρχουν πολλοί άνθρωποι που αντιμετωπίζουν προβλήματα υγείας λόγω έλλειψης αποτελεσματικών εργαλείων παρακολούθησης. Ωστόσο, η χρήση ασύρματων τεχνολογιών παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των ασθενών σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι τεχνολογικές λύσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ασφαλή συλλογή δεδομένων υγείας από διάφορους αισθητήρες και την εφαρμογή σύνθετων αλγορίθμων για την ανάλυση τους. Στη συνέχεια, μπορούν να μοιραστούν ασύρματα με επαγγελματίες υγείας για τη λήψη κατάλληλων συστάσεων για την υγεία του ασθενούς (Mohammed & Ahmed, 2017). Αυτό θα εξασφαλίσει την αποτελεσματική παρακολούθηση της υγείας και τη θεραπεία των ασθενών.



Εικόνα 12: Η εφαρμογή στον βιομηχανικό τομέα. (Rajiv July 2022)

- **Εφαρμογές τεχνολογίας ΙοΤ στον κλάδο των οχημάτων** Τα αυτοκίνητα αναπτύσσονται διαρκώς και έχουν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν ψηφιακές πληροφορίες με επιχειρήσεις, οργανισμούς, υποδομές και άλλα αντικείμενα, καθιστώντας τα πιο έξυπνα και τελικά αυτόνομα. Η διαδικασία ανάπτυξης της τεχνολογίας αυτοοδηγούμενων αυτοκινήτων έχει προχωρήσει σε διάφορες φάσεις, από την αυτοματοποιημένη στην αυτόνομη και τελικά στη μη επανδρωμένη διαδικασία. Πιθανότατα, οι περισσότεροι από τους ανθρώπους που ζουν σήμερα θα ζήσουν την εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας, ενώ μερικοί μπορεί να μην προλάβουν να βιώσουν όλες τις φάσεις της.

Η ανάπτυξη των μεταφορών αποτελεί ένδειξη της ανάπτυξης μιας χώρας. Για να διατηρήσετε ασφαλές το δίκτυό σας, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε μια εφαρμογή παρακολούθησης και ειδοποίησης

κυκλοφορίας. Η έννοια της έξυπνης μεταφοράς και κινητικότητας βασίζεται στη χρήση τεχνολογιών που βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, επιτρέποντάς τους να συλλέγουν και να χρησιμοποιούν πόρους με έξυπνο τρόπο (**Mirzabeiki, 2010**).

Η διαδικασία επιλογής διαδρομής ξεκινά όταν ο χρήστης καθορίζει την επιθυμητή διαδρομή και στη συνέχεια, επισημαίνει κάποια σημεία ως ανωμαλίες στην εφαρμογή του smartphone. Η έξυπνη μεταφορά περιλαμβάνει την ανάλυση της πιθανής ζήτησης και των πιθανών ζητημάτων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αυτήν τη ζήτηση. Η δρομολόγηση και ο έλεγχος ταχύτητας των οχημάτων αποτελούν κομμάτι των ελέγχων μεταφοράς, οι οποίοι είναι στενά συνδεδεμένοι με τον τρόπο σύνδεσης των οχημάτων (επικοινωνία V2X) και διέποντας από τη διάδοση πολλαπλών τεχνολογιών. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να επιτευχθεί ένα ασφαλές και αποτελεσματικό σύστημα μεταφοράς.

Το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στον τομέα των μεταφορών, όπως στα ηλεκτρικά οχήματα, κάτι που μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους των καυσίμων και των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Πολλές χώρες ενδιαφέρονται για συστήματα παρακολούθησης της απόδοσης των μπαταριών ιόντων λιθίου (Li-ion) σε ηλεκτρικά οχήματα. Αυτό το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να ανιχνεύει τις λειτουργίες της μπαταρίας κατά τη διάρκεια ρεαλιστικών συνθηκών οδήγησης, προκειμένου ο οδηγός να είναι ενήμερος για την τρέχουσα κατάσταση. Η εφαρμογή περιλαμβάνει μια σειρά βασικών λειτουργιών, όπως οι δοκιμές δυναμικής απόδοσης της μπαταρίας ιόντων λιθίου (Li-ion) και η απομακρυσμένη παρακολούθηση και διόρθωση σφαλμάτων OnLine, που θα μπορούσαν να μειώσουν το κόστος συντήρησης (**Chatzimilioudis et al., 2011**).

- **Η ποιότητα του περιβάλλοντος** μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ζωή μας και την υγεία μας, ανεξάρτητα από το αν είμαστε άνθρωποι, ζώα ή φυτά. Πολλές έρευνες έχουν αναλυθεί για την επίλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως η διαχείριση των απορριμμάτων και η μείωση των βιομηχανικών εκπομπών. Σε αυτό το πλαίσιο, η επίλυση των ανθρωπογενών προβλημάτων που καταστρέφουν το περιβάλλον είναι ουσιαστική (Bhattacharjee & Bera, 2014).

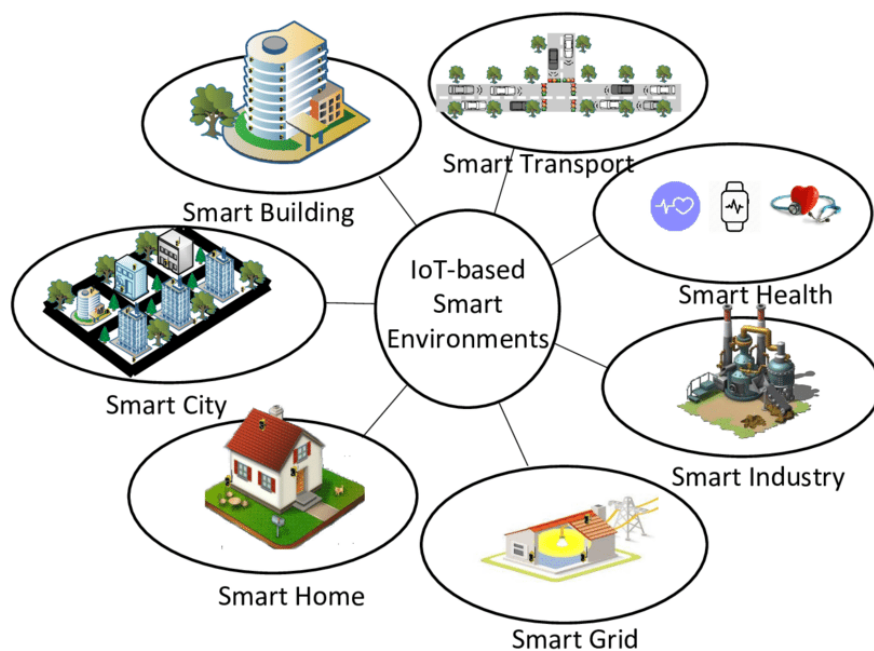


Εικόνα 13: Το έξυπνο περιβάλλον.(LindaRaftree, April 2016)

Απαιτείται η χρήση νέων τεχνολογιών και μεθόδων παρακολούθησης και διαχείρισης του περιβάλλοντος, καθώς η παρακολούθηση αυτού είναι ουσιαστική για την αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασής του και για τη λήψη σωστών αποφάσεων που βασίζονται σε δεδομένα που συλλέγονται από τα συστήματα παρακολούθησης. Επιπλέον, η διαχείριση του περιβάλλοντος είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική χρήση των

πόρων και την μείωση των αποβλήτων που προκύπτουν από εργοστάσια και οχήματα. Η παρακολούθηση και η διαχείριση των αποβλήτων μπορεί να βοηθήσει τους περιβαλλοντικούς φορείς και τις κυβερνήσεις να επιβάλουν πρότυπα υγιεινής για την προστασία της υγείας των ανθρώπων και του περιβάλλοντος, καθώς και να μειώσουν την πιθανότητα φυσικών καταστροφών **(Jianget et al., 2009)**.

Μια τεχνολογία που συμβάλλει στη βελτίωση του περιβάλλοντος είναι το έξυπνο περιβάλλον. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και την αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως η ρύπανση των υδάτων και του αέρα, η παρακολούθηση καιρικών φαινομένων και της ακτινοβολίας, η διαχείριση απορριμμάτων και η αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών. Η ενοποίηση έξυπνων περιβαλλοντικών συσκευών με την τεχνολογία του Internet of Things (IoT) μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό και την παρακολούθηση περιβαλλοντικών αντικειμένων, προσφέροντας πιθανά οφέλη για την επίτευξη ενός πράσινου κόσμου και μιας βιώσιμης ζωής **(Dlodlo, 2012)**. Αυτή η τεχνολογία αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για την προστασία του περιβάλλοντος και την προαγωγή μιας βιώσιμης ανάπτυξης.



Εικόνα 14: Το έξυπνο περιβάλλον. (MohsenGuizani, Oct 2016)

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΙΕΕΕ



Εικόνα15: IEEE-logo (ieee802.org)

Το IEEE 802.11 είναι μια σημαντική οικογένεια προτύπων του IEEE για ασύρματα δίκτυα τοπικής εμβέλειας (WLAN). Αυτή η οικογένεια προτύπων δημιουργήθηκε για να επεκτείνει το 802.3 Ethernet, το πιο διαδεδομένο ενσύρματο πρωτόκολλο δικτύωσης υπολογιστών, ώστε να λειτουργεί στη ζώνη ασύρματης σύνδεσης. Αυτά τα πρότυπα, γνωστά ως WiFi, είναι διεθνώς αναγνωρισμένα ως το πρότυπο "WiFi", καθώς η WiFi Alliance, μια οργάνωση που είναι ανεξάρτητη από το IEEE, παρέχει πιστοποίηση για προϊόντα που συμμορφώνονται με την προδιαγραφή 802.11. Αυτό το σύνολο πρωτοκόλλων αποτελεί το βιομηχανικό πρότυπο για ασύρματα δίκτυα τοπικής εμβέλειας.

Τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLAN) που χρησιμοποιούν το πρότυπο IEEE 802.11 b/g/n μπορούν να εκπέμπουν σε συχνότητες 2,4 GHz.

Ο όρος "WiFi" χρησιμοποιείται συχνά για να αναφέρεται στα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής γενικότερα. Οι κύριες εφαρμογές του WLAN είναι η ασύρματη πρόσβαση στο Διαδίκτυο, η φωνητική επικοινωνία μέσω Διαδικτύου (VoIP) και η σύνδεση μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών. Επίσης, το πρωτόκολλο IEEE 802.11 χρησιμοποιείται σε φορητές συσκευές για τη μεταφορά φωτογραφιών από ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές σε υπολογιστές για επεξεργασία και εκτύπωση.

Το αρχικό πρωτόκολλο 802.11 καθιερώθηκε το 1997 και δεν χρησιμοποιείται πλέον στις μέρες μας. Αυτό το πρότυπο καθόριζε ρυθμό μετάδοσης στα 1 Mbit/s ή 2 Mbit/s και επιλεγόταν από τρεις διαφορετικές τεχνολογίες στο φυσικό επίπεδο:

- Λειτουργία υπέρυθρης ακτινοβολίας (infrared) στα 1 Mbit/s,
- Τεχνολογία Frequency-hopping spread spectrum (FHSS) μελειτουργίαστα 1-2 Mbit/s,
- Τεχνολογία Direct sequence spread spectrum (DSSS) μελειτουργίαστα 1-2 Mbit/s.

Οι μόνες δύο τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται τις μικροκομματικές ζώνες ISM στα 2,4 GHz είναι οι φούρνοι μικροκυμάτων και οι κεραίες. Παρά τις πολλές δυνατότητες που προσφερόταν από το αρχικό πρότυπο, δεν συνέβαλε στην βελτίωση της λειτουργικότητας.

Το DSSS είναι μια τροποποιημένη έκδοση του 802.11 που έγινε πιο δημοφιλής από το 802.11b το 1999 και αύξησε τον ρυθμό μετάδοσης στα 11 Mbit/s. Μετά τη δημοσίευση του 802.11b, η ευρεία υιοθέτηση των δικτύων 802.11 έγινε δυνατή. Σε εκείνη την εποχή, η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης δεν ήταν ακόμη αρκετά ώριμη και δεν υπήρχε πρότυπο για ασύρματα τοπικά δίκτυα υπολογιστών. Επιπλέον, δεν υπήρχαν αντίστοιχες εμπορικές εφαρμογές καθώς η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης δεν ήταν ακόμη ευρέως αποδεκτή.

Η τεχνολογία 802.11 προσφέρει δύο τρόπους λειτουργίας: το peer-to-peer, όπου οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς τη χρήση ενός κεντρικού σταθμού βάσης, και το σημείο πρόσβασης, όπου ο κεντρικός κόμβος του τοπικού δικτύου συνδέεται με τον κορμό του ενσύρματου

δικτύου. Στο πρώτο σενάριο, η πρόσβαση σε ένα κοινό μέσο (ελεύθερος χώρος) υπόκειται σε ένα κατανεμημένο πρωτόκολλο, όπως το CSMA, και αυτό ονομάζεται ad hoc WLAN.

Όλα τα πρωτόκολλα 802.11x μοιράζονται ένα κοινό επίπεδο MAC και διαφέρουν μόνο στο επίπεδο φυσικών μέσων που χρησιμοποιούν. Το επίπεδο LLC είναι το ίδιο καθιερωμένο πρωτόκολλο 802.3 γενικής χρήσης, το οποίο χρησιμοποιείται στο Ethernet και σε περισσότερα ενσύρματα LAN. Αυτό επιτρέπει στις συνδέσεις WLAN 802.11 να προχωρήσουν απευθείας στο Διαδίκτυο ή σε άλλο WAN/Internet που χρησιμοποιούν IP ως πρωτόκολλο δικτύου χωρίς μετάφραση. Στο 802.11, το πιο σημαντικό πρωτόκολλο MAC είναι το DCF, το οποίο βασίζεται στη μέθοδο CSMA/CA. Στα δομημένα WLAN, χρησιμοποιείται επίσης το πρωτόκολλο PCF πάνω από το DCF, το οποίο προσφέρει τερματικά χωρίς ανταγωνισμό και συγκρούσεις όταν χρειάζονται πρόσβαση στο κοινό μέσο.

Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων στο πρωτόκολλο 802.11 εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των κόμβων. Όσο πιο μακριά βρίσκεται μια ασύρματη συσκευή από ένα σημείο πρόσβασης, τόσο πιο αργή είναι η ταχύτητα. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιεί τον τύπο διαμόρφωσης CSMA/CA, ο οποίος περιορίζει την ταχύτητα του φυσικού επιπέδου και κατά συνέπεια την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Στην πράξη, οι ταχύτητες αυτές επιτυγχάνονται μόνο σπάνια. Στα μικτά δίκτυα b και g, η απόδοση αρχικά μπορεί να είναι χαμηλότερη αλλά μπορεί να βελτιωθεί στη συνέχεια, καθώς οι πελάτες εκπέμπουν στο δίκτυο.

2.1 Πρότυπα του IEEE 802.11

- **IEEE802.11:** Αυτό το πρότυπο εφαρμόζεται σε ασύρματα τοπικά δίκτυα και επιτρέπει μεταδόσεις με ταχύτητες έως και 2Mbps, χρησιμοποιώντας τη συχνότητα 2,4GHz [12].
- **IEEE802.11a:** Το πρότυπο αυτό δημιουργήθηκε το 1999 και χρησιμοποιεί το ίδιο πρωτόκολλο επιπέδου δεδομένων και τη μορφή πλαισίου με το αρχικό πρότυπο. Ωστόσο, η διεπαφή του αέρα (φυσικό στρώμα) είναι διαφορετική και λειτουργεί στη ζώνη των 5GHz. Με αυτό το πρότυπο επιτυγχάνονται ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων έως 54Mbit/s. Έχει ευρεία παγκόσμια εφαρμογή, ειδικά σε εταιρικούς χώρους εργασίας [12].

- **802.11b:** Το πρότυπο 802.11b επιτυγχάνει μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης 11 Mbps και χρησιμοποιεί την ίδια μέθοδο πρόσβασης μέσου με το αρχικό πρότυπο 802.11a. Εμφανίστηκε στην αγορά στις αρχές της δεκαετίας του 2000 ως μια άμεση επέκταση της τεχνικής διαμόρφωσης του αρχικού προτύπου. Το 802.11b έγινε η οριστική τεχνολογία ασύρματου LAN καθώς απέδωσε σημαντικά καλύτερα από το αρχικό πρότυπο και ήταν πολύ φθηνότερο στην αγορά. Ωστόσο, πολλές συσκευές που χρησιμοποιούν αυτό το εύρος συχνοτήτων είναι πιθανό να έχουν παρεμβολές από άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν το ίδιο εύρος συχνοτήτων. [12]
- **802.11g:** Το πρότυπο 802.11g εισήχθη το 2003 και ισχύει για τη ζώνη εκπομπής 2,4 GHz. Τα τηλέφωνα που χρησιμοποιούν αυτό το πρότυπο έχουν μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης bit 54 Mbit/s χωρίς Forward Error Correction (FEC) και μέση απόδοση 22 Mbit/s. Η αποδοχή του προτύπου 802.11g ήταν άμεση στην αγορά, καθώς υπήρχε αυξημένη ανάγκη για υψηλότερες ταχύτητες και χαμηλότερο κόστος κατασκευής. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν το πρότυπο 802.11g είναι επιρρεπείς σε παρεμβολές από άλλα προϊόντα στη ζώνη των 2,4 GHz [12].
- **802.11-ma:** Το συγκεκριμένο πρότυπο του IEEE 802.11, γνωστό ως 802.11g, δημιουργήθηκε το 2003 από την ομάδα εργασίας Tgma. Η ομάδα επιφορτίστηκε με την αναβάθμιση των πολλών τροποποιήσεων στην έκδοση του 1999 του προτύπου 802.11. Το REVma ή το 802.11ma, όπως ονομάστηκε, δημιούργησαν ένα ενιαίο έγγραφο που συγχώνευσε 8 τροποποιήσεις. Μετά την έγκριση στις 8 Μαρτίου 2007, το 802.11REVma μετονομάστηκε σε πρότυπο βασικής βάσης IEEE 802.11-2007 [12]
- **802.11n:** Το πρότυπο 802.11n χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές για να βελτιώσει την απόδοση της ασύρματης δικτύωσης σε ζώνες 2,4 GHz και 5 GHz. Ωστόσο, η υποστήριξη για τις ζώνες 5 GHz μπορεί να μην είναι διαθέσιμη σε όλες τις συσκευές. Οι ταχύτητες μπορεί να κυμαίνονται από 54 Mbps έως 600 Mbps. Η τροπολογία για το πρότυπο 802.11n εγκρίθηκε από το IEEE και δημοσιεύθηκε τον Οκτώβριο του 2009 [12].
- **802.11ac:** Το παρακάτω κείμενο αποτελεί μια περιγραφή του προτύπου IEEE 802.11, μια παραλλαγή του 802.11n που δημοσιεύτηκε τον Δεκέμβριο του 2013. Η εν λόγω παραλλαγή περιλαμβάνει αρκετές αλλαγές σε σχέση με το 802.11n, όπως

ευρύτερα κανάλια στη ζώνη των 5 GHz (80 ή 160 MHz έναντι 40 MHz), περισσότερες χωρικές ροές (έως οκτώ έναντι τεσσάρων), διαμόρφωση υψηλότερης τάξης (έως 256-QAM έναντι 64-QAM) και προσθήκη της τεχνολογίας MIMO πολλαπλών χρηστών (MU-MIMO). Από τον Οκτώβριο του 2013, η high-end υλοποίηση υποστηρίζει κανάλια 80 MHz, τρεις χωρικές ροές και 256-QAM με ταχύτητες δεδομένων έως και 433,3 Mbit/s ανά χωρική ροή, για συνολικά 1300 Mbit/s σε κανάλια 80 MHz και 256-QAM στη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz [12].

- **802.11ad:** Αυτή η προδιαγραφή αντιπροσωπεύει μια τροποποίηση που καθορίζει ένα νέο φυσικό επίπεδο για τα δίκτυα 802.11, το οποίο λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 60 GHz mmWave. Αυτή η ζώνη συχνοτήτων διαθέτει σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά διάδοσης σε σχέση με τις ζώνες συχνοτήτων 2,4 GHz και 5 GHz στις οποίες λειτουργούν τα δίκτυα Wi-Fi. Τα προϊόντα που εφαρμόζουν το πρότυπο 802.11ad είναι διαθέσιμα στην αγορά υπό την επωνυμία WiGig. Το 802.11ad παρέχει μέγιστο ρυθμό μεταφοράς 7 Gbit/s [12].
- **802.11af:** Το συγκεκριμένο πρότυπο χρησιμοποιεί τη ραδιοφωνική τεχνολογία για τη μετάδοση σε αχρησιμοποίητα τηλεοπτικά κανάλια, με το πρότυπο να λαμβάνει μέτρα για τον περιορισμό των παρεμβολών για πρωτεύοντες χρήστες, όπως η αναλογική τηλεόραση, η ψηφιακή τηλεόραση και τα ασύρματα μικρόφωνα. Τα σημεία πρόσβασης και οι σταθμοί καθορίζουν τη θέση τους χρησιμοποιώντας ένα δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης όπως το GPS και χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο για την αναζήτηση μιας βάσης δεδομένων γεωγραφικής κατανομής (GDB) που παρέχεται από μια περιφερειακή ρυθμιστική υπηρεσία για να ανακαλύψει ποια κανάλια συχνότητας είναι διαθέσιμα για χρήση σε δεδομένη χρονική στιγμή και θέση [12].
- **802.11ah:** καθιερώθηκε το 2017 και περιγράφει ένα σύστημα WLAN που μπορεί να λειτουργήσει σε ζώνες συχνοτήτων χωρίς αδειοδότηση 1 GHz. Επειδή τα φάσματα χαμηλής συχνότητας διαδίδονται ευνοϊκά, το 802.11ah προσφέρει βελτιωμένη εμβέλεια συγκριτικά με τα συμβατικά δίκτυα 802.11 WLAN που λειτουργούν στις ζώνες 2,4 GHz και 5 GHz. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς, όπως δίκτυα αισθητήρων μεγάλης κλίμακας, hotspot εκτεταμένης εμβέλειας και εξωτερικά Wi-Fi για εκφόρτωση κυψελοειδούς κυκλοφορίας, ενώ το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι σχετικά

περιορισμένο. Στόχος του πρωτοκόλλου είναι να είναι ανταγωνιστικό σε ό,τι αφορά την κατανάλωση ισχύος με το Bluetooth, επιτρέποντας ταυτόχρονα τη λειτουργία σε πολύ μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων [12].

- **802.11ax:** είναι ένα πρότυπο που αντικαθιστά το προηγούμενο πρότυπο 802.11ac και στοχεύει στη βελτίωση της απόδοσης των δικτύων WLAN. Αυτή τη στιγμή βρίσκεται υπό ανάπτυξη με στόχο την παροχή τετραπλάσιας απόδοσης του 802.11ac στο επίπεδο χρήστη, ενώ επιτυγχάνει μόνο 37% υψηλότερους ονομαστικούς ρυθμούς δεδομένων στο επίπεδο PHY. Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιεί στρατηγικές όπως η τεχνολογία MIMO και η συγχρονισμένη πολλαπλή πρόσβαση για να βελτιώσει την απόδοση των δικτύων WLAN σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα χρηστών και υψηλή κίνηση δεδομένων.



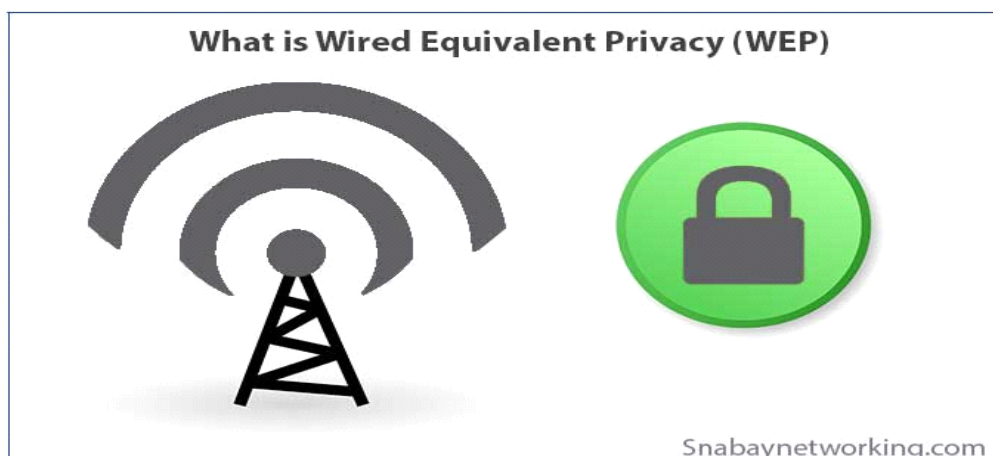
Εικόνα 16: Το πρότυπο 802.11 και οι υποκατηγορίες του (gizbyte.wordpress.com, Sep 2013)

2.2 Ασφάλεια

Μια ομάδα ερευνητών από το UC Berkeley εντόπισε ορισμένες αδυναμίες στον μηχανισμό ασφαλείας του πρωτοκόλλου 802.11 Wired Equivalent Privacy, που εισήχθη αρχικά στο πρότυπο 802.11. Αυτές οι

αδυναμίες θα μπορούσαν να επιτρέψουν σε εισβολείς να παρακολουθήσουν την κυκλοφορία δεδομένων, να την αποκρυπτογραφήσουν, ακόμα και να την εκμεταλλευτούν. Στη συνέχεια, ο Adam Stubblefield και η AT&T ανέφεραν την πρώτη επιτυχημένη επίθεση σε αυτό το πρωτόκολλο, κατά την οποία κατάφεραν να αποκτήσουν μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο.

Η ομάδα εργασίας της IEEE έχει αναλάβει την ανάπτυξη νέων λύσεων ασφαλείας 802.11i, οι οποίες υπόσχονται να προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με τις υφιστάμενες λύσεις ασφαλείας 802.11. Για να βελτιωθεί η ασφάλεια των δικτύων Wi-Fi, η Wi-Fi Alliance ανακοίνωσε την ενδιάμεση προδιαγραφή Wi-Fi Protected Access (WPA). Η πιο πρόσφατη πιστοποιημένη έκδοση του προτύπου, το IEEE 802.11i (που είναι επίσης γνωστό ως WPA2), χρησιμοποιεί τον κρυπτογράφο Advanced Encryption Standard (AES) αντί για τον κρυπτογράφο RC4 που χρησιμοποιείται στο WEP. Για το σπίτι ή τον καταναλωτή, συνιστάται η χρήση του WPA2 με προ-κοινόχρηστο κλειδί AES. Για επαγγελματικά περιβάλλοντα, συνιστάται η χρήση ενός κρυπτογραφημένου δικτύου με το πρωτόκολλο ασφαλείας WPA2, σε συνδυασμό με ένα διακομιστή ελέγχου ταυτότητας RADIUS. Τον Ιανουάριο του 2005, η IEEE δημιούργησε μια επιπλέον ομάδα για την προστασία των καρτέ διαχείρισης και εκπομπής που είχαν αποσταλεί προηγουμένως χωρίς εγγύηση.



Εικόνα 17: Η ασφάλεια WEP (snabaynetworking.com)

Τον Δεκέμβριο του 2011, αποκαλύφθηκε μια ευπάθεια που επηρεάζει ορισμένους δρομολογητές που χρησιμοποιούν τη δυνατότητα Wi-Fi Protected Setup (WPS). Αυτή η ευπάθεια επιτρέπει σε επιτιθέμενους να αποκτήσουν πρόσβαση στο δρομολογητή και να διακινδυνέψουν τα δεδομένα του. Μπορεί ένας εισβολέας εντός της εμβέλειας ενός ασύρματου δρομολογητή να εκμεταλλευτεί ένα ελάττωμα του λογισμικού για να αποκτήσει πρόσβαση στον κωδικό 802.11i και το PIN του δρομολογητή. Αυτό θα μπορούσε να τους επιτρέψει να κλέψουν δεδομένα ή να αποκτήσουν πρόσβαση στο δίκτυο μέσα σε λίγες ώρες. Η Apple ανακοίνωσε ότι το λειτουργικό της σύστημα για κινητά iOS 8 θα αποτρέψει την επιτήρηση λιανικής μεταδίδοντας τακτικά μοναδικά αναγνωριστικά (διευθύνσεις MAC) για να αποτρέψει την επιτήρηση λιανικής.

2.3 Wi-Fi

Η ασύρματη τεχνολογία Wi-Fi χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια για τη σύνδεση συσκευών σε μια τοπική περιοχή. Συγκεκριμένα, συσκευές όπως προσωπικοί υπολογιστές, κονσόλες βιντεοπαιχνιδιών, smartphone, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, tablet's, smart TV, ψηφιακές συσκευές αναπαραγωγής ήχου και σύγχρονοι εκτυπωτές μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο Wi-Fi.

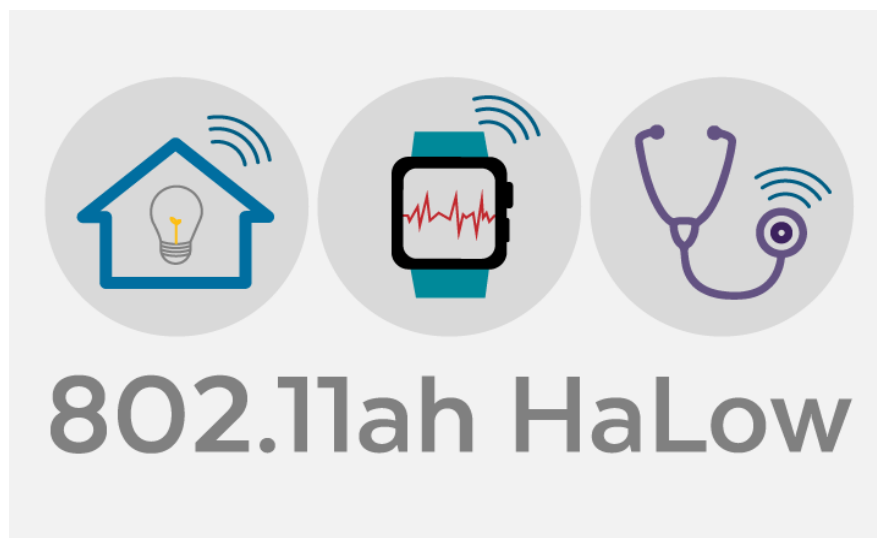
Οι συσκευές αυτές μπορούν να συνδεθούν στο Διαδίκτυο χρησιμοποιώντας WLAN και σημεία πρόσβασης. Τα σημεία πρόσβασης, ή hotspots, έχουν μια εμβέλεια περίπου 21 μέτρων σε εσωτερικούς χώρους και ακόμη μεγαλύτερη σε εξωτερικούς χώρους. Επιπλέον, το Hotspot Umbrella προσφέρει πολλαπλά επικαλυπτόμενα hotspots, επιτρέποντας στους χρήστες να συνδεθούν σε πολλές τοποθεσίες. Η ασύρματη τεχνολογία Wi-Fi λειτουργεί συνήθως στις ζώνες ραδιοφώνου 2,4 GHz UHF και 5,8 GHz SHF ISM. Οποιοσδήποτε βρίσκεται εντός της εμβέλειας του ασύρματου δρομολογητή μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο Wi-Fi. Ωστόσο, λόγω της λειτουργίας του, το Wi-Fi είναι ευάλωτο σε διάφορες μορφές επιθέσεων και υποκλοπές, σε αντίθεση με τα ενσύρματα δίκτυα. [11]

Η τεχνολογία Wi-Fi Protected Access χρησιμοποιείται για να προστατεύσει τις πληροφορίες που μεταδίδονται μέσω ενός δικτύου Wi-Fi από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Αυτές οι λύσεις ασφαλείας είναι κατάλληλες για προσωπικά δίκτυα και επιχειρήσεις. Καθώς η ασφάλεια

αναβαθμίζεται συνεχώς, οι λειτουργίες ασφαλείας με Wi-Fi Protected Access συνεχίζουν να αναπτύσσονται με νέες πρακτικές και ισχυρότερες προστασίες. [11]

2.4 Τι είναι το IEEE 802.11 ah

Το πρότυπο 802.11ah αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει εφαρμογές που απαιτούν χαμηλό ρυθμό δεδομένων, περίπου 100 kb/s, και λειτουργούν σε συχνότητες κοντά στα 900 MHz. Επιπλέον, πρέπει να εξυπηρετεί αποστάσεις έως και 1 χιλιόμετρο σε ανοιχτούς χώρους.



Εικόνα 18: Η τεχνολογία του IEEE 802.11ah (NthatsiHlapisi, Feb 2021)

Η ομάδα που ανέπτυξε το πρωτόκολλο IEEE 802.11ah στόχευε στη δημιουργία ενός προτύπου που θα ικανοποιεί τις παραπάνω απαιτήσεις, διατηρώντας παράλληλα τη συμβατότητα με το ευρέως αποδεκτό πρότυπο 802.11. Τα επίπεδα PHY και MAC που προτείνονται βασίζονται στο πρότυπο 802.11ac, το οποίο επιδιώκει αυξημένη απόδοση μειώνοντας ορισμένα πλαίσια ελέγχου/διαχείρισης καθώς και το μήκος της κεφαλίδας MAC. Το πρωτόκολλο IEEE 802.11ah χρησιμοποιεί ασύρματες τεχνολογίες, όπως η OFDM, το MIMO και το DL MU-MIMO, για να επιτύχει τις απαιτούμενες επιδόσεις [10].

Το IEEE 802.11ah αποτελεί μια αξιόλογη τεχνολογία λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων της, όπως η ευκολία χρήσης σε εξωτερικούς χώρους και η αξιόπιστη διάδοση σε χαμηλές συχνότητες. Το IEEE

802.11ah είναι μια οικογένεια τεχνολογιών που βελτιώνουν την απόδοση και την ενεργειακή απόδοση των ασύρματων δικτύων. Επιπλέον, η χρήση της ασύρματης τεχνολογίας 802.11ah προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως βελτιωμένη σταθερότητα και υψηλότερες ταχύτητες [10]:

Η τεχνολογία IEEE 802.11ah προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως:

- Βελτιστοποίηση χαρακτηριστικών μετάδοσης συχνοτήτων κάτω του 1GHz
- Χρήση ζωνών συχνότητας ISM
- Κατανοητό και κατασκευασμένο από κατασκευαστές δικτύων
- Μεγαλύτερη εμβέλεια και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας λόγω χαρακτηριστικών της συχνότητας (κάτω του 1GHz)
- Εμπλουτισμός των ασύρματων συσκευών επικοινωνίας

Το IEEE 802.11ah μπορεί να χρησιμοποιηθεί για :

- **Οι αισθητήρες δικτύων:** Μπορούν να ανιχνεύσουν στοιχεία μέσω βραχυπρόθεσμων μεταδόσεων δεδομένων και συνήθως χρησιμοποιούν έξυπνους μετρητές για την παρακολούθηση φυσικού αερίου, νερού και ασύρματου ελέγχου συστημάτων διανομής ενέργειας. Η αυξημένη χρήση αισθητήρων σε χαμηλότερες συχνότητες επιτρέπει την κάλυψη μεγάλης περιοχής μέσω της τεχνολογίας one-hop.
- **Βελτιωμένη εμβέλεια Wi-Fi:** Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι οι τεχνολογίες εκπομπής έχουν αντίστοιχες επιδόσεις με το κυψελοειδές σύστημα που εκπέμπει από τον χρήστη. Κατά τον σχεδιασμό νέων ή αναβαθμισμένων δικτύων, πρέπει να ληφθεί υπόψη η φασματική απόδοση, η απόδοση και το φορτίο του συστήματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό κατά την προετοιμασία για μελλοντικές αναβαθμίσεις του δικτύου.

Αν και είναι εύκολο να επικεντρωθούμε στη μεγάλη κάλυψη που μπορεί να προσφέρει η εκφόρτωση, ορισμένοι ισχυρίζονται ότι τα υπάρχοντα πρότυπα ασύρματης σύνδεσης μπορούν να προσφέρουν καλύτερες υπηρεσίες στους χρήστες. Εάν το σύστημα δεν παρέχει αρκετά υψηλή απόδοση ή δεν προσφέρει πραγματική προστιθέμενη αξία στον τελικό

χρήστη, η εκφόρτωση ενδέχεται να μην επιτύχει τον στόχο της και οι χρήστες ίσως προτιμήσουν να χρησιμοποιήσουν μια υπάρχουσα λύση.

- **Machine to Machine επικοινωνία:** Το πρότυπο IEEE 802.11ah έχει αναγνωριστεί ως η βέλτιστη ασύρματη λύση επικοινωνίας για συσκευές Machine to Machine (M2M). Η ασύρματη τεχνολογία επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων απευθείας μεταξύ συσκευών χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Το πρότυπο IEEE 802.11ah εστιάζει στην ανάπτυξη εφαρμογών ανίχνευσης, καθώς οι τρέχουσες λύσεις έχουν σχεδιαστεί κυρίως για επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί οργανισμοί προτύπων M2M και το πρότυπο IEEE 802.11ah μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία μιας παγκόσμιας ασύρματης βάσης για πρότυπα M2M. Αυτό έχει ήδη θεωρηθεί από ορισμένους φορείς ως προπομπός του cloud. Στις εφαρμογές περιλαμβάνονται οι έξυπνοι μετρητές και οι αισθητήρες ασφαλείας που παρακολουθούν τη χρήση της ενέργειας. Το πρότυπο IEEE 802.11ah πρέπει να πληροί ορισμένες απαιτήσεις, όπως χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, υποστήριξη μεγάλου αριθμού συσκευών και επικοινωνίες μεγάλης περιοχής.
- **Αγροτικές επικοινωνίες:** Οι κάτοικοι των αγροτικών περιοχών έχουν συνδεθεί στο διαδίκτυο μέσω ασύρματης τεχνολογίας, γεγονός που έχει δημιουργήσει ανάγκη για ένα πρόγραμμα αποσύνδεσης. Η χρήση του φάσματος 1 GHz παρουσιάζει μεγάλες προοπτικές, καθώς είναι ευρύτερο από τις άλλες επιλογές φάσματος. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές που μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση της κοινωνίας και της οικονομίας. Παραδείγματα αυτών των εφαρμογών είναι η ηλεκτρονική υγεία και η ηλεκτρονική εκπαίδευση. Έχει υποστηριχθεί ότι αυτές οι εφαρμογές μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην κοινωνία και την οικονομία.

Μια άλλη πηγή του υπερβολικού overhead είναι τα beacons. Τα beacons στέλνονται περιοδικά από το Access point, το περιεχόμενό τους εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο το access point λειτουργεί και συνήθως στα δίκτυα 802.11g/n το μέγεθός τους μπορεί να υπερβαίνει τα 100 bytes. Για να ληφθεί από μακρινούς σταθμούς, τα beacons θα πρέπει να αποστέλλονται με την χαμηλότερη τιμή, η οποία είναι λιγότερο του 1Mbps στην περίπτωση του 802.11ah. Σε τόσο πολύ μικρές τιμές, ακόμα και δεκάδες από bytes που στέλνονται αρκετές φορές ανά δευτερόλεπτο καταλαμβάνουν σημαντικό ποσοστό του χρόνου του καναλιού.

Η ομάδα υλοποίησης πρωτοκόλλου χρησιμοποιεί δύο είδη beacons: πλήρεις και συντομευμένους. Τα πλήρη beacon χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, ενώ τα συντομευμένα beacons χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση και λήψη μικρών ποσοτήτων δεδομένων. Τα beacons στέλνουν τα συντομότερα δυνατά beacon πιο συχνά από τα πλήρη beacons και δεν περιλαμβάνουν μη βασικές ή μη επείγουσες πληροφορίες που μπορούν να ληφθούν από τακτικά beacons ή μετά από αίτηση. Σε αντίθεση με τα πλήρη beacons, τα συντομευμένα beacons δεν διαθέτουν μεγάλη διάρκεια μπαταρίας [10]:

- Τα beacons μεταδίδονται με broadcast, άρα δεν απαιτείται η διεύθυνση προορισμού.
- Δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται ο έλεγχος ακολουθίας, καθώς δεν παίζει κρίσιμο ρόλο.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα timestamp με μέγεθος 4 bytes αντί για 8, καθώς αρκεί για τον συγχρονισμό.

Μερικές πληροφορίες των beacon μπορούν να ανακτηθούν από τα short beacon. Οποιοσδήποτε νέες δυνατότητες ή αναβαθμίσεις στο σταθμό θα πρέπει να αναφέρονται στους σταθμούς μέσω συντομότερων beacon. Αυτό το πεδίο περιέχει μια τιμή 1-byte που αυξάνεται σε κάθε κρίσιμη αναβάθμιση. Ο σταθμός περιμένει ένα πλήρες beacon για να λάβει τις ενημερωμένες πληροφορίες πριν στείλει μια απάντηση.

Η αποθήκευση των δεδομένων είναι μια σημαντική περίπτωση χρήσης της τεχνολογίας 802.11ah, η εντοπισμός πύλης είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό. Γι' αυτό το λόγο, οι σύντομοι φάροι περιλαμβάνουν ένα προαιρετικό πεδίο επιλογών δικτύου πρόσβασης 1 byte, που υποδεικνύει εάν η πρόσβαση είναι δημόσια, ελεύθερη ή απαιτεί σύνδεση στο Διαδίκτυο. Όταν ένας σταθμός λαμβάνει ένα σύντομο beacon, μπορεί να αξιολογήσει εάν χρειάζεται πρόσβαση στο δίκτυο ή όχι.

3. NS3

3.1 Προσομοίωση

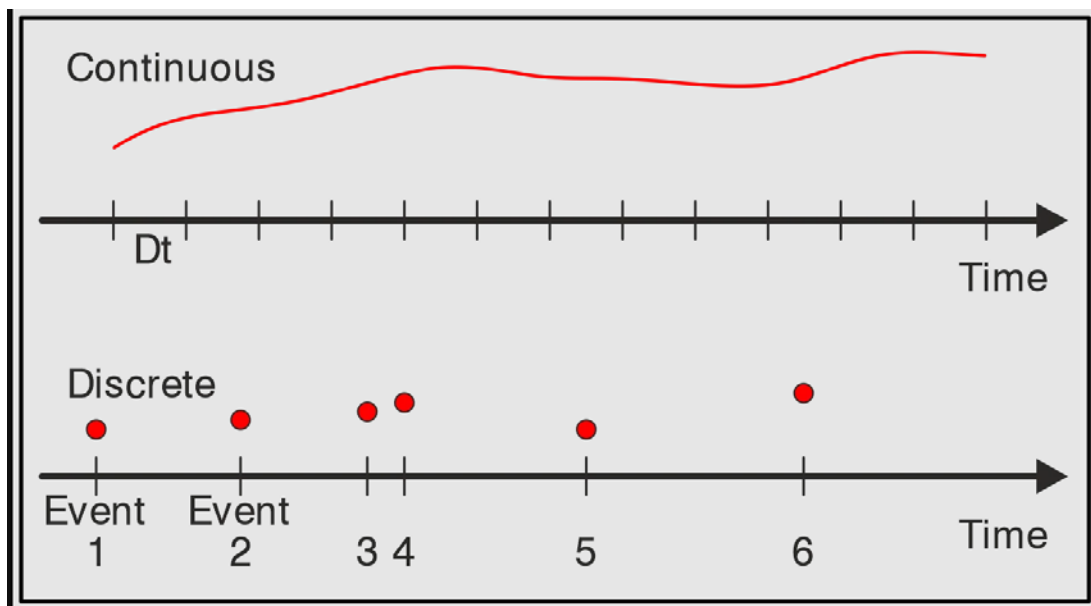


Εικόνα 19: Η προσομοίωση είναι ένα μοντέλο που μιμείται τη λειτουργία ενός υπάρχοντος ή προτεινόμενου συστήματος (www.fill.co.at)

Η κλασικός ορισμός της προσομοίωσης είναι "Η μίμηση της λειτουργίας ενός πραγματικού κόσμου διεργασία ή ενός συστήματος στο πέρασμα του χρόνου". Αυτός ο ορισμός παρέχει μια γενική περιγραφή της προσομοίωσης και ισχύει ακόμη και για φυσικές διεργασίες. Για παράδειγμα, οι προσομοιωτές αυτοκινήτων χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση οδηγών. Στην υπολογιστική προσομοίωση, αντίθετα, χρησιμοποιούνται υπολογιστικά μοντέλα για να μιμηθούν φαινόμενα και σενάρια του πραγματικού κόσμου. Η βασική ιδέα είναι να χρησιμοποιηθεί ένα απλοποιημένο μοντέλο για να μελετηθεί η συμπεριφορά ενός συστήματος του πραγματικού κόσμου, το οποίο ίσως δεν ήταν εφικτό να μοντελοποιηθεί απευθείας. Για παράδειγμα, οι προγνώσεις καιρού συχνά βασίζονται σε απλοποιημένα μοντέλα προσομοίωσης. Ορισμένα από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση σε υπολογιστή, χρησιμοποιούνται σε πεδία όπως τα υπολογιστικά δίκτυα, ο υπολογισμός στον νέφος (cloud computing) και ο παράλληλος υπολογισμός, και περισσότερα.

Οι πιο σημαντικοί προσομοιωτές είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση υπολογιστικών δικτύων, και το κύριο ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί αφορά την ανάγκη για προσομοίωση δικτύου. Παρόλο που η υλικοτεχνολογία έχει γίνει φθηνότερη, εξακολουθεί να αποτελεί πολυτέλεια για τους ερευνητές, ιδίως σε χώρες όπως η δική μας, όπου η απόκτηση κονδυλίων για έρευνα αποτελεί τεράστιο έργο. Επομένως, στα αρχικά στάδια της έρευνας, αντί να εξαρτώμαστε από υλικό, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εργαλεία προσομοίωσης για την ανάλυση δεδομένων. Αν τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την πραγματική υλοποίηση βασισμένη σε υλικό για την επαλήθευση.

3.2 Είδη προσομοιωτών

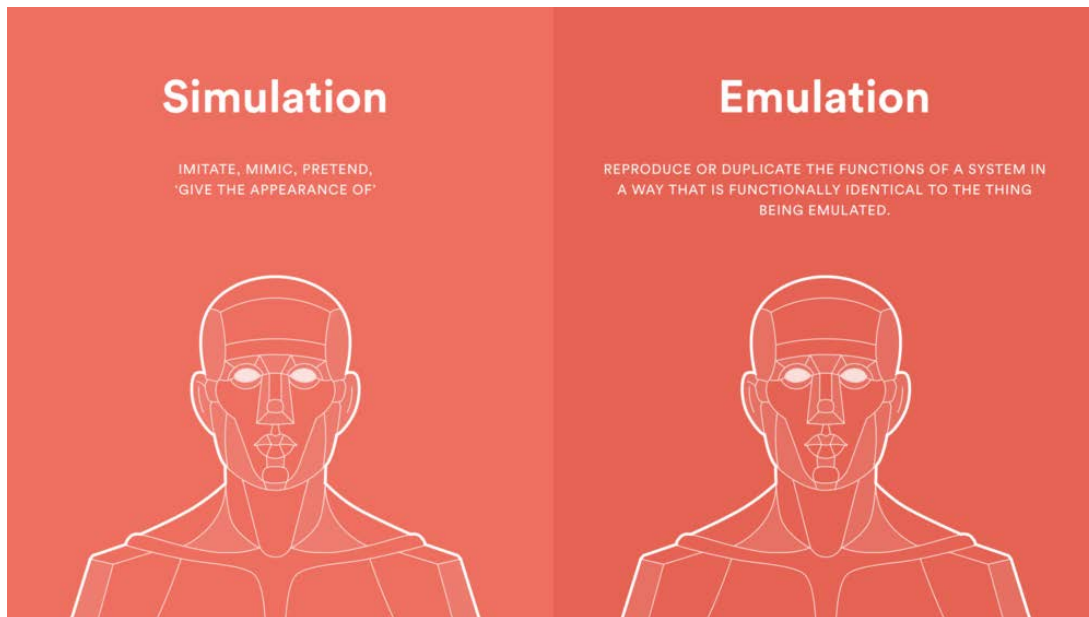


Εικόνα 20: Διάφορα μεταξύ "Συνεχών" και "Διακριτών" προσομοιωτών (Helal, 2008)

Οι υπολογιστικοί προσομοιωτές μπορούν να χωριστούν σε συνεχείς προσομοιωτές και προσομοιωτές διακριτών γεγονότων. Οι συνεχείς προσομοιωτές παρακολουθούν συνεχώς την ανταπόκριση των συστημάτων βάσει ενός συνόλου προκαθορισμένων συνθηκών. Συνήθως, αυτοί οι προσομοιωτές λειτουργούν με βάση μαθηματικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί με τη χρήση διαφορικών εξισώσεων. Ένα κλασικό παράδειγμα συνεχούς προσομοίωσης είναι οι εμπορικοί προσομοιωτές πτήσεων.

Οι προσομοιωτές διακριτών γεγονότων μοντελοποιούν τη λειτουργία ενός συστήματος ως μια διακριτή ακολουθία γεγονότων στο χρόνο. Έτσι, η συνολική λειτουργία ενός συστήματος που βασίζεται σε γεγονότα είναι βασισμένη σε ένα μοντέλο γεγονός/απόκρισης. Ένας προσομοιωτής διακριτών γεγονότων αλλάζει την εσωτερική του κατάσταση ανταποκρινόμενος σε κάποιο γεγονός που συμβαίνει στον χώρο προσομοίωσης. Ένα κοινό θέμα που κάνει κάθε προσομοιωτής διακριτών γεγονότων είναι ότι τίποτα δεν συμβαίνει μεταξύ δύο γεγονότων. Οι γεννήτριες ψευδοτυχαίων αριθμών συνήθως χρησιμοποιούν ένα μοντέλο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων.

3.3 Προσομοίωση / εξομοίωση



Εικόνα 21: Προσομοίωση και εξομοίωση (Gavitron, 2019)

Ένα άλλο σημείο που πρέπει να συζητηθεί είναι η διαφορά ανάμεσα σε προσομοίωση και εξομοίωση. Η εξομοίωση αφορά τη διαδικασία με την οποία ένα σύστημα καταστεί να συμπεριφέρεται όπως ένα άλλο σύστημα. Αυτό διαφέρει από τη διαδικασία της προσομοίωσης. Ένας εξομοιωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσει πραγματικές εργασίες ως αντικατάσταση της αρχικής συσκευής ή συστήματος, ενώ ένας προσομοιωτής χρησιμοποιείται κυρίως ως μοντέλο για ανάλυση.



Εικόνα 22: Το QEMU είναι ένας εξομοιωτής μηχανής που μπορεί να εκτελέσει λειτουργικά συστήματα και προγράμματα για ένα μηχάνημα σε διαφορετικό μηχάνημα. (www.qemu.org)

Για παράδειγμα, το QEMU είναι ένα εικονικό μηχάνημα στον οποίο εξομοιώνονται πραγματικοί επεξεργαστές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση αριθμητικών πράξεων όπως ένας κανονικός επεξεργαστής, ενώ ένας προσομοιωτής αυτοκινήτου χρησιμοποιείται απλώς για εκπαίδευση και όχι για το πραγματικό σκοπό της μεταφοράς.

3.4 Προσομοιωτές δικτύων



Εικόνα 23: Διάφοροι προσομοιωτές δικτύων (networksimulationtools.com)

Η προσομοίωση δικτύου αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία ένας υπολογιστικός δίκτυο μοντελοποιείται με τον εντοπισμό, την ανάλυση και την καταμέτρηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ διάφορων συσκευών δικτύου και λογισμικού. Αντί να χρησιμοποιεί πραγματικά δεδομένα, χρησιμοποιείται μαθηματική μοντελοποίηση για να μελετηθεί η συμπεριφορά ενός υπολογιστικού δικτύου.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα στο να γίνεται αυτό. Η συμπεριφορά του δικτύου κάτω από ακραίες συνθήκες μπορεί να αναλυθεί πολύ εύκολα χρησιμοποιώντας έναν προσομοιωτή. Για παράδειγμα, ας πάρουμε υπόψη έναν κόμβο (ένας όρος που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση δικτύου για να αναφέρεται σε έναν υπολογιστικό σύστημα) με κινητότητα σε ένα ασύρματο δίκτυο. Μέσω της προσομοίωσης, μπορούμε εύκολα να μελετήσουμε τη συμπεριφορά ενός κόμβου με υψηλή ταχύτητα. Σε ένα φυσικό δίκτυο, η επίτευξη υψηλής ταχύτητας για κινητούς κόμβους είναι μια πολύ δύσκολη διαδικασία, και η προσαρμογή της ταχύτητας των κινητών κόμβων για λόγους ανάλυσης είναι χρονοβόρα και δύσκολη.

Ένα άλλο σενάριο όπου η προσομοίωση γίνεται η φυσική επιλογή είναι όταν ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο είναι πολύ μεγάλος. Για παράδειγμα, αν θέλετε να μελετήσετε τη λειτουργία ενός δικτύου με, ας πούμε, 1000 κόμβους, τότε η προσομοίωση είναι η ιδανική επιλογή, τουλάχιστον μέχρι να είστε σίγουροι για τα αποτελέσματα. Οι προσομοιωτές είναι επίσης κατάλληλοι για την ανάλυση δικτύου εάν έχετε περιορισμένο

προϋπολογισμό, περιορισμένο χρόνο ή αν δεν είστε σίγουροι για την επιτυχία της προτεινόμενης μεθόδου ή πρωτοκόλλου.

Αν και η προηγούμενο παράγραφος αναφέρει μερικά παραδείγματα όπου η προσομοίωση δικτύου είναι αιτιολογημένη, μην υποθέτετε ότι η προσομοίωση δικτύου είναι μια εύκολη διαδικασία. Η προσομοίωση δικτύων είναι δύσκολη και η ανάπτυξη ενός προσομοιωτή δικτύου είναι μια σχεδόν αδύνατη εργασία, λέγοντας ότι η δημιουργία ενός δικτύου σε υλικό είναι πολύ καλύτερη από τη χρήση αυτών των προσομοιωτών. Επιπλέον, υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα δεδομένα που προέρχονται από ένα πραγματικό φυσικό δίκτυο μπορεί να μην συμφωνούν με τα αποτελέσματα που προέρχονται από τον προσομοιωτή. Παρά τη συζήτηση όλων των πολλών αρνητικών πτυχών των προσομοιωτών δικτύου, είναι εξαιρετικά χρήσιμα εργαλεία και όλοι οι ερευνητές θα πρέπει να εφοδιαστούν με αυτά τα ισχυρά μέσα.

Αν και η κλάση των προσομοιωτών ns είναι η πιο διαδεδομένη, υπάρχουν και άλλες επιλογές σε αυτόν τον τομέα. Υπάρχουν οι QualNet, NetSim, OMNeT++ κ.λπ., οι οποίοι είναι επίσης χρήσιμοι προσομοιωτές δικτύου. Αν υπάρχουν τόσο πολλές εναλλακτικές προσομοιωτές δικτύου, γιατί η κλάση ns είναι η πλέον ευρέως διαδεδομένη; Οι QualNet και NetSim είναι εμπορικά εργαλεία και δεν αντιμετωπίζουν το σημαντικό πρόβλημα της μείωσης του κόστους έρευνας, ενώ η κλάση ns προσομοιωτών είναι λογισμικό ανοικτού κώδικα που μπορεί να ληφθεί ελεύθερα από το διαδίκτυο. Το OMNeT++ είναι ελεύθερο λογισμικό, αλλά δεν είναι ένας πλήρης προσομοιωτής, αλλά ένα πλαίσιο προσομοίωσης. Έτσι, θα πρέπει να αναπτύξετε τα δικά σας αρθρώματα πριν από την προσομοίωση του δικτύου, κάτι που μπορεί να μην ενδιαφέρει πολλούς δυνητικούς χρήστες. Λαμβάνοντας υπόψη όλους αυτούς τους παράγοντες το ns είναι το καλύτερο εργαλείο για έναν ανερχόμενο ερευνητή στον τομέα των υπολογιστικών δικτύων.

3.5 Ιστορική αναδρομή του NS



Εικόνα 24: www.nsnam.org

Η ιστορία του NS (Network Simulator) ξεκινά το 1989 με την ανάπτυξη ενός προσομοιωτή με την ονομασία REAL. Ο REAL εξέχει ως σημαντική επιρροή στην αρχική έκδοση του NS, γνωστής ως ns-1, η οποία δημιουργήθηκε το 1995. Η ανάπτυξη του ns-1 βασίστηκε κυρίως στον προσομοιωτή REAL, παρόλο που αξίζει να σημειωθεί ότι το ns-1 δεν ήταν μια ακριβής αντιγραφή, αλλά μια παράγωγη εργασία. Το Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) διαδραμάτισε κρίσιμο ρόλο στην έναρξη της δημιουργίας του ns-1 και αργότερα έλαβε σημαντικές συνεισφορές από την Sun Microsystems και το Carnegie Mellon University.

Ο πυρήνας του συστήματος αναπτύχθηκε με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C++, ενώ το Tcl χρησιμοποιήθηκε για τη συγγραφή των σεναρίων προσομοίωσης. Το Tcl είναι μια γλώσσα σεναρίων που χρησιμοποιείται ως γλώσσα δεσμεύσεων για τη δημιουργία σεναρίων προσομοίωσης στο NS (Network Simulator). Προσφέρει το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης χρόνου, καθώς αποφεύγει την ανακατασκευή του πυρήνα του C++ κώδικα κάθε φορά που γίνεται μια μικρή τροποποίηση στο σενάριο προσομοίωσης. Αυτή η διγλωσσία αντιμετώπιζε μεγάλα οφέλη στις πρώτες εποχές όταν η ισχύς επεξεργασίας ήταν περιορισμένη.

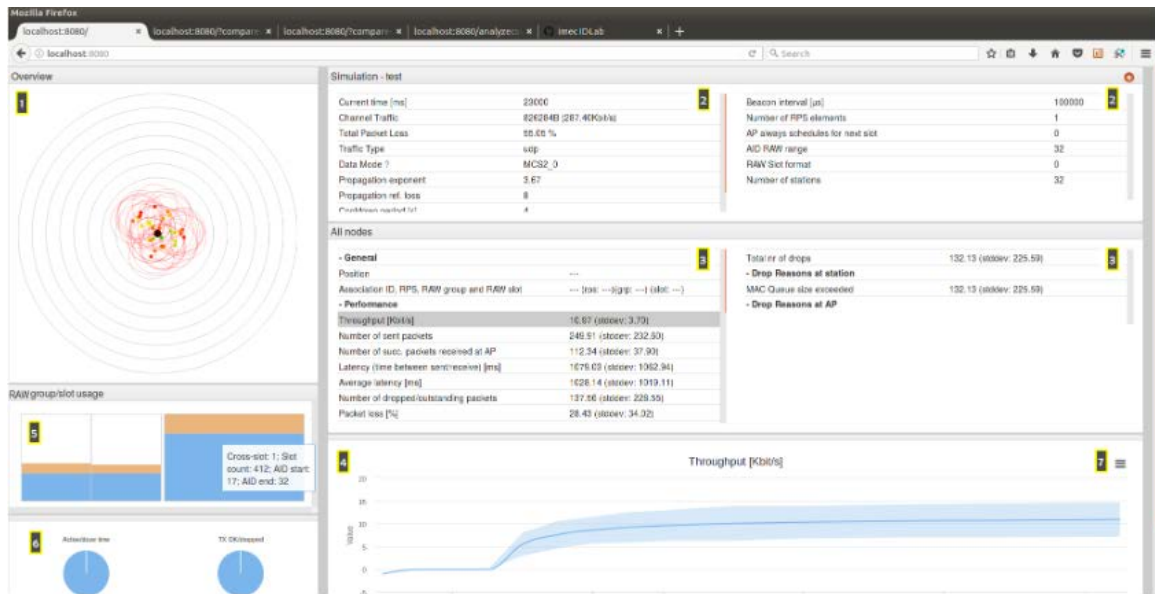
Ωστόσο, με την πρόοδο των επεξεργαστών που μετρούν τις ταχύτητές τους σε gigaFLOPS και teraFLOPS, αυτό το σύστημα διγλωσσίας δεν είναι πλέον απαραίτητο. Όσον αφορά τη δεύτερη έκδοση, ns-2, δόθηκε αρχικά στη διάθεση των ερευνητών το 1997. Η έκδοση ns-2 δεν ήταν σημαντικά διαφορετική από την ns-1. Ο πυρήνας της ns-2 αναπτύχθηκε επίσης σε C++ με πολλά από τα χαρακτηριστικά να προέρχονται άμεσα από την ns-1.

Μία σημαντική διαφορά ήταν ότι στην ns-2, η γλώσσα δεσμεύσεων ήταν η OTcl αντί της Tcl. Η OTcl είναι μια αντικειμενοστραφής διάλεκτος της Tcl που αναπτύχθηκε από το MIT. Παρά τις προκλήσεις που αντιμετώπισε, όπως η απότομη καμπύλη μάθησης και ο μεγάλος αριθμός σφαλμάτων, η ns2 άρχισε αμέσως να κερδίζει δημοτικότητα στις ερευνητικές κοινότητες παγκοσμίως.

Στη συνέχεια, η τρίτη έκδοση του προσομοιωτή δικτύων, ns-3, κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 2008. Η ανάπτυξη του ns-3 χρηματοδοτήθηκε από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστήμης των Ηνωμένων Πολιτειών (NSF) υπό την καθοδήγηση του Τομ Χέντερσον και της ομάδας του. Το ns-3 είναι ένας προσομοιωτής διακριτών γεγονότων, ελεύθερος και ανοικτού κώδικα. Λειτουργεί υπό την άδεια GNU GPLv2.

Η πιο πρόσφατη έκδοση του ns-3 είναι η ns-3.38, η οποία κυκλοφόρησε τον Μάρτιο του 2023. Αντίθετα από το ns-2, οι προγραμματιστές του ns-3 διασφαλίζουν συχνές και τακτικές ενημερώσεις. Σημειώνεται όμως ότι, παρά τη στενή σχέση μεταξύ ns-1 και ns-2, υπάρχει η παρανόηση ότι το ns-3 δεν διαφέρει σημαντικά από τις προηγούμενες εκδόσεις. Η απόφαση να ονομαστεί ο προσομοιωτής ns-3 φαίνεται να ήταν ακατάλληλη, καθώς ένα διαφορετικό όνομα θα μπορούσε να προσελκύσει ένα μεγαλύτερο κοινό για αυτό το κομψό λογισμικό.

4. ah Visualizer



Εικόνα25: Web Visualization Tool (Amina Seferagic, Jun 2018)

Καθώς η έρευνά μας για το IEEE 802.11ah απαιτεί εκτενείς προσομοιώσεις σε πολύ πυκνά δίκτυα (έως 8192 κόμβους) με διάφορες ρυθμίσεις PHY και MAC, χρειαζόμασταν έναν γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο για να συγκρίνουμε αρκετές προσομοιώσεις μεταξύ τους, να αναλύουμε έναν μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων και περιοδικά να τις παρακολουθούμε. Επειδή ούτε το NetAnim ούτε το PyViz παρέχουν πλήρη εικόνα του προσομοιωμένου δικτύου ούτε μετεπεξεργασία για ένα σύνολο προσομοιώσεων, αναπτύξαμε ένα νέο εργαλείο για να καλύψουμε τις ανάγκες μας - το ahVisualizer. Αυτό το εργαλείο χρησιμοποιεί το σύστημα ιχνογράφησης του ns-3 για να συλλέξει δεδομένα, προωθεί τα ιχνογραφημένα δεδομένα κάθε δευτερόλεπτο μέσω TCP σε ένα διακομιστή NodeJS που εξυπηρετεί πελάτες WebSocket με τα δεδομένα. Το ahVisualizer οπτικοποιεί προσομοιώσεις ns-3, προσφέρει εκτός σύνδεσης σύγκριση ενός συνόλου προσομοιώσεων και παρέχει μια διεπαφή για γρήγορη και εύκολη ανάλυση ενός μεγάλου αριθμού προσομοιώσεων. Οι τρεις προαναφερθείσες δυνατότητες του ahVisualizer περιγράφονται σε αυτήν την ενότητα, μαζί με τη συνολική δομή του προγράμματος.

4.1 Δυνατότητες

Το ahVisualizer υποστηρίζει αυτή τη στιγμή το ns-3 έκδοση 3.25 με 802.11ah Wi-Fi. Έχει ειδικά σχεδιαστεί για να προσομοιώνει τους μηχανισμούς TIMSegmentation και RAW στο επίπεδο MAC του 802.11ah. Επιπλέον, εμφανίζει την τοπολογία του δικτύου και παρουσιάζει γραφικά τις αλλαγές του χρόνου για πολλές μετρικές για κάθε κόμβο, καθώς και τις μέσες τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις όλων των μετρικών για ολόκληρο το δίκτυο.

4.2 Επισκόπηση Αρχιτεκτονικής

Το πρόγραμμα ahVisualizer αποτελείται από τρία συστατικά, συγκεκριμένα το στοιχείο ns-3, τον διακομιστή web NodeJS και την ιστοσελίδα. Τα τρία συστατικά, οι συνδέσεις τους και η επισκόπηση των νέων κλάσεων σε κάθε συστατικό παρουσιάζονται στην εικόνα 27. Ένα επαγγελματικό παράδειγμα της χρήσης του SimulationEventManager στην κύρια συνάρτηση του ns-3 παρουσιάζεται στον Αλγόριθμο 1.

Algorithm 1 High-level overview of main ()

```

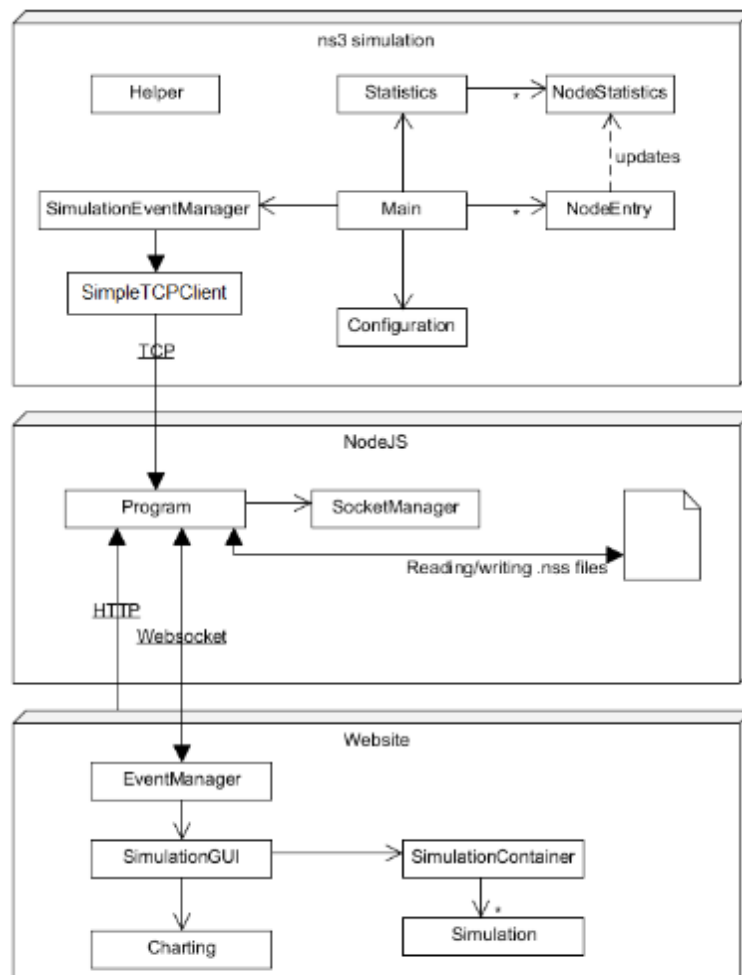
initialize Configuration, Statistics, SimulationEventManager;
SimulationEventManager.send(Configuration);
for node ∈ NodeContainer do
    n ← NodeEntry
    nodeEntryContainer ← nodeEntryContainer ∪ n
    connect trace sinks for n;
    n.position ← node.position
    SimulationEventManager.send(n.position)
end for
SimulationEventManager.send(AP.position)
loop
    for node ∈ NodeContainer do
        if node.isAssociated then
            SimulationEventManager.send(n.RawData)
        end if
    end for
    SimulationEventManager.send(Statistics)
end loop

```

Εικόνα 26: Αλγόριθμος 1 (imec-idlab, Sep 2018)

Στο στοιχείο ns-3, υλοποιήσαμε αρκετές νέες κλάσεις για να χειριστούμε τα ιχνογραφημένα δεδομένα με δομημένο τρόπο, να τα αποθηκεύσουμε και να τα στείλουμε στο ahVisualizer. Όλοι οι αναδυόμενοι αγωγοί ιχνογραφήσεων υλοποιούνται στην κλάση NodeEntry για να συλλέγουν τα ιχνογραφημένα δεδομένα. Είναι απαραίτητο να αντιστοιχίσουμε ένα παράδειγμα NodeEntry σε κάθε προσομοιωμένο κόμβο. Η κλάση NodeEntry αποθηκεύει τις βασικές

πληροφορίες του κόμβου που είναι σημαντικές για το ahVisualizer, όπως η θέση, ο AID, η κατάσταση συσχέτισης, ο μήκος της ουράς κ.λπ. Η κλάση NodeEntry επίσης ενημερώνει την κλάση NodeStatistics που αποθηκεύει όλες τις σχετικές πληροφορίες που μετρά ο σύστημα ιχνογράφησης για έναν κόμβο. Η κλάση Statistics περιέχει τις NodeStatistics κάθε κόμβου μαζί με άλλες γενικές πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο, όπως ο αριθμός των κόμβων και ο χρόνος όταν ολοκληρώνεται η συσχέτιση. Κάθε δευτερόλεπτο, στέλνεται ένα αντίγραφο των Statistics στον διακομιστή. Ο SimulationEventManager διαχειρίζεται τα γεγονότα της προσομοίωσης, τα αναγωγποιεί και μέσω του SimpleTCPClient καθιερώνει μια σύνδεση TCP με τον διακομιστή NodeJS και μεταφέρει τα δεδομένα στον διακομιστή.



Εικόνα 27: Δομή του προγράμματος του ahVisualizer: στοιχεία και κλάσεις (AminaSeferagic, Jun 2018)

4.3 Συμπέρασμα

Το ahVisualizer παρέχει διαδικτυακά περιβάλλοντα για (1) παρακολούθηση πραγματικού χρόνου των προσομοιώσεων, (2) εκτός σύνδεσης σύγκριση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων και (3) ανάλυση δεδομένων από μεγάλα σύνολα προσομοιώσεων. Ανακατευθύνει τα ανιχνευμένα δεδομένα από μια προσομοίωση ns-3 σε έναν διακομιστή ιστού, που τα αποθηκεύει για μετεπεξεργασία και τα ανακατευθύνει στον πελάτη ιστού για οπτικοποίηση. Με μόνο λίγα κλικ, το ahVisualizer μπορεί να σχεδιάσει οποιοδήποτε επιθυμητό διάγραμμα αποτελούμενο από δεδομένα που έχουν ληφθεί από τις προσομοιώσεις. Αυτό το εργαλείο αποφεύγει την ανάγκη για ανάλυση εξόδου προσομοίωσης εντελώς, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα σφαλμάτων ανάλυσης που μπορεί να εμφανιστούν κάθε φορά που διεξάγεται μια νέα πειραματική διαδικασία ns-3 και λαμβάνεται μια νέα και διαφορετική έξοδος προσομοίωσης που χρειάζεται να αναλυθεί.

4.4 Μελλοντική δουλειά

Αν και το ahVisualizer καθιστά την παρακολούθηση και ανάλυση των προσομοιώσεων ns-3 σημαντικά πιο γρήγορη και ευκολότερη, το εργαλείο είναι ειδικά σχεδιασμένο για το αντίστοιχο IEEE 802.11ah module, επομένως έχει πολύ περιορισμένη χρήση. Σκοπεύουμε να γενικεύσουμε αυτό το εργαλείο ώστε να υποστηρίζει οποιαδήποτε προσομοίωση ns-3. Καθώς βασίζεται στο σύστημα ιχνηλάτησης, οι περισσότερες από τις υπάρχουσες λειτουργίες θα μπορούσαν να γενικευθούν. Με την επέκταση της κλάσης Node στο ns-3 για να αποθηκεύει τα επιθυμητά NodeStatistics, τη συστηματική οργάνωση των επιθυμητών trace-sinks στην κλάση NodeEntry, την ελαφρά γενίκευση των γεγονότων SimulationEventManager και τον σχεδιασμό της ιστοσελίδας, θα παρέχονταν ένα ευέλικτο και κλιμακούμενο εργαλείο για την παρακολούθηση και ανάλυση ζωντανών δεδομένων σε προσομοιώσεις ns-3.

5. Σενάριο κώδικα

Σε αυτή την πτυχιακή θα χρησιμοποιήσουμε τον κώδικα που αναπτύχθηκε παγκόσμια από πολλούς ερευνητές και οργανισμούς, ένας από αυτούς είναι το IMEC-IDLab.



Εικόνα 28: <https://www.ugent.be/ea/idlab/en>

Το IMEC-IDLab είναι ευρέως αναγνωρισμένο για την ειδίκευσή του σε διάφορους τομείς, όπως η ασύρματη επικοινωνία, το δίκτυο, το Internet των πραγμάτων (IoT) και η επιστήμη των δεδομένων. Είναι γνωστό για την πραγματοποίηση τόσο θεμελιώδους όσο και εφαρμοσμένης έρευνας, με στόχο την αντιμετώπιση πραγματικών προκλήσεων και την προώθηση της τεχνολογικής προόδου.

Στο πλαίσιο της ασύρματης επικοινωνίας και του δικτύου, το IMEC-IDLab έχει συνεισφέρει σημαντικά στην ανάπτυξη και την τυποποίηση ασύρματων τεχνολογιών, όπως ο IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLow), το LoRaWAN και το 5G. Η έρευνά του περιλαμβάνει καινοτόμα πρωτόκολλα δικτύωσης, διαχείριση πόρων, βελτιστοποίηση δικτύου και αξιολόγηση επίδοσης.

Το IMEC-IDLab εξειδικεύεται επίσης στην επιστήμη και την ανάλυση δεδομένων, με εστίαση στην ανάκτηση πληροφοριών από μεγάλες συλλογές δεδομένων. Αναπτύσσει αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και εξερευνά προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων. Η έρευνά του σε αυτόν τον τομέα εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς, όπως έξυπνες πόλεις, βιομηχανική αυτοματοποίηση και εξατομικευμένη υγεία.

Η συνεργασία και η κοινή κατανομή γνώσης αποτελούν ουσιαστικό μέρος της προσέγγισης του IMEC-IDLab. Συμμετέχει ενεργά σε συνεργατικά ερευνητικά προγράμματα τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Επιπλέον, συνεργάζεται στενά με εταιρικούς εταίρους της βιομηχανίας για να διασφαλίσει την πρακτική σημαντικότητα και τη

μεταφορά της τεχνολογίας σε πραγματικές εφαρμογές. Τα αποτελέσματα της έρευνάς του συμβάλλουν σε επιστημονικές δημοσιεύσεις, επίδειξη τεχνολογίας και ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων και υπηρεσιών.

Συνολικά, το IMEC-IDLab κατέχει μία κορυφαία θέση εντός του IMEC ως ερευνητικός οργανισμός που αφιερώνεται στην προώθηση της γνώσης και της καινοτομίας στους τομείς της ασύρματης επικοινωνίας, του δικτύου και της επιστήμης των δεδομένων.

5.1 Μοντέλα καναλιών

Στο πλαίσιο του κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, τα μοντέλα καναλιού αναφέρονται σε μαθηματικές αναπαραστάσεις ή μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση ασύρματων καναλιών επικοινωνίας στον προσομοιωτή δικτύου NS-3. Αυτά τα μοντέλα καναλιού καθορίζουν πώς διαδίδονται τα ασύρματα σήματα, λαμβάνοντας υπόψη την απώλεια πορείας, τη σκίαση, την πολλαπλή προσκύμματα απόσβεση, τις παρεμβολές και άλλες επιπτώσεις που συμβαίνουν κατά τη διάδραση των σημάτων στο προσομοιωμένο περιβάλλον.

Τα μοντέλα καναλιού είναι κρίσιμα για την ακριβή αναπαράσταση της συμπεριφοράς πραγματικών ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας μέσα στην προσομοίωση. Αυτά λαμβάνουν υπόψη πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του δικτύου, όπως απώλεια πορείας, σκίαση, πολλαπλή προσκύμματα απόσβεση, παρεμβολές και θόρυβο.

Ο κώδικας IEEE-802.11ah-ns-3 παρέχει ποικίλα μοντέλα καναλιού που οι ερευνητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να προσομοιώσουν διάφορα ασύρματα περιβάλλοντα και σενάρια. Αυτά τα μοντέλα καναλιού αναπαριστούν τα χαρακτηριστικά του πρότυπου ασύρματου IEEE 802.11ah, όπως η συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων (υπο-1 GHz), η διάδοση σήματος και οι καναλικές συνθήκες που σχετίζονται με την επικοινωνία χαμηλής κατανάλωσης ισχύος και μεγάλου εύρους.

Η επιλογή του μοντέλου καναλιού εξαρτάται από τους στόχους της έρευνας και το περιβάλλον που προσομοιώνεται. Οι ερευνητές μπορούν να επιλέξουν και να προσαρμόσουν το κατάλληλο μοντέλο καναλιού που παρέχεται από τον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3 για να προσομοιώσουν διάφορες καναλικές συνθήκες και να αξιολογήσουν την επίδρασή τους στις μετρήσεις απόδοσης του δικτύου, όπως η ποιότητα του σήματος, ο ρυθμός μετάδοσης και η αξιοπιστία της σύνδεσης.

5.2 Κινητικότητα και τοποθεσία κόμβων

Η κινητικότητα (Mobility) και η τοποθέτηση κόμβων (Node Placement) είναι δύο σημαντικά στοιχεία στην προσομοίωση ασύρματων δικτύων που συνεισφέρουν στη ρεαλιστική αναπαράσταση των πραγματικών συνθηκών και συμπεριφοράς του δικτύου:

Κινητικότητα (Mobility):

- Η κινητικότητα αναφέρεται στην κίνηση των ασύρματων κόμβων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- Η κινητικότητα επιτρέπει την απεικόνιση της πραγματικής κίνησης των συσκευών στον εικονικό κόσμο της προσομοίωσης.
- Οι κόμβοι μπορούν να έχουν διάφορα μοτίβα κινητικότητας, όπως σταθερή θέση, τυχαία κίνηση, μοντέλα κίνησης βασισμένα σε σενάρια όπως οικιακό περιβάλλον, αστικό περιβάλλον κ.λπ.
- Η κινητικότητα επιτρέπει την αξιολόγηση της επίδρασης της κίνησης των κόμβων στην ασύρματη επικοινωνία, τον χρόνο καθυστέρησης, την αξιοπιστία και άλλες μετρικές απόδοσης.

Τοποθέτηση κόμβων (Node Placement):

- Η τοποθέτηση κόμβων αναφέρεται στην αρχική τοποθέτηση των ασύρματων κόμβων στον εικονικό χώρο της προσομοίωσης.
- Η τοποθέτηση των κόμβων μπορεί να είναι τυχαία, ομοιόμορφη ή βασισμένη σε προκαθορισμένα μοτίβα τοποθέτησης.
- Η τοποθέτηση κόμβων επηρεάζει την ασύρματη επικοινωνία, την κάλυψη του δικτύου, την αλληλεπίδραση μεταξύ των κόμβων και την εμφάνιση προβλημάτων όπως η σύγκρουση σημάτων.

- Με την τοποθέτηση κόμβων, μπορούμε να μελετήσουμε την απόδοση του δικτύου, να αξιολογήσουμε τις προτεινόμενες αρχιτεκτονικές και πρωτόκολλα και να αντλήσουμε συμπεράσματα για τη βέλτιστη τοποθέτηση των κόμβων.

Και οι δύο αυτές παράμετροι (κινητικότητα και τοποθέτηση κόμβων) συνεισφέρουν στη βελτίωση της αξιοπιστίας, της απόδοσης και της ρεαλιστικότητας των προσομοιώσεων ασύρματων δικτύων, επιτρέποντας στους ερευνητές να μελετήσουν και να αναλύσουν τη συμπεριφορά των δικτύων υπό διάφορες συνθήκες και σενάρια.

5.3 Διαχείριση Ισχύος

Η διαχείριση ισχύος παίζει έναν κρίσιμο ρόλο στα ασύρματα δίκτυα καθώς επηρεάζει απευθείας την ενεργειακή απόδοση, τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και τη συνολική απόδοση των δικτυακών συσκευών. Αυτό περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές και στρατηγικές, όπως:

1. Λειτουργίες εξοικονόμησης ισχύος: Ο κώδικας μπορεί να υλοποιεί διάφορες λειτουργίες εξοικονόμησης ισχύος, όπως οι λειτουργίες αδρανείας, ύπνου και απενεργοποίησης. Αυτές οι λειτουργίες επιτρέπουν στους κόμβους να εξοικονομούν ισχύ απενεργοποιώντας τα μη απαραίτητα μέρη των συσκευών όταν δεν πραγματοποιούν μεταδόσεις ή λήψεις δεδομένων.
2. Πολιτικές διαχείρισης ισχύος: Ο κώδικας μπορεί να ορίζει πολιτικές για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη διαχείριση ισχύος, όπως η αλλαγή μεταξύ διαφορετικών λειτουργικών καταστάσεων ανάλογα με τη δραστηριότητα του δικτύου, το φορτίο της κίνησης ή παραμέτρους που ορίζονται από τον χρήστη. Αυτές οι πολιτικές εξασφαλίζουν ότι οι μηχανισμοί εξοικονόμησης ισχύος εφαρμόζονται έξυπνα για να ισορροπήσουν την εξοικονόμηση ενέργειας με τις απαιτήσεις απόδοσης του δικτύου.
3. Δυναμική ρύθμιση ισχύος: Ο κώδικας μπορεί να περιλαμβάνει αλγόριθμους ή μηχανισμούς για τη δυναμική προσαρμογή της ισχύος μετάδοσης των κόμβων βάσει των πραγματικών συνθηκών του καναλιού, των επιπέδων παρεμβολών και της ποιότητας του σήματος. Μέσω της

βέλτιστης ρύθμισης των επιπέδων ισχύος, οι κόμβοι μπορούν να διατηρούν αξιόπιστη επικοινωνία ελαχιστοποιώντας τις παρεμβολές και την κατανάλωση ισχύος.

4. Μηχανισμοί ξεκίνησης: Οι τεχνικές διαχείρισης ισχύος μπορεί να περιλαμβάνουν μηχανισμούς ξεκίνησης που επιτρέπουν στους κόμβους να επανέλθουν αποτελεσματικά στην επικοινωνία μετά από περίοδο αδράνειας ή ύπνου. Αυτοί οι μηχανισμοί μπορούν να περιλαμβάνουν αυτόματη επανεκκίνηση, συγχρονισμό των ρολογιών των κόμβων ή αναγνώριση της περιοχής κάλυψης για αυτόματη αφύπνιση.
5. Μηχανισμοί ρύθμισης κατανάλωσης ενέργειας: Οι μηχανισμοί αυτοί αποσκοπούν στην προσαρμογή της κατανάλωσης ενέργειας των κόμβων βάσει των απαιτήσεων του δικτύου. Μπορεί να περιλαμβάνουν τη ρύθμιση της ισχύος μετάδοσης, την αναστολή ή τη μείωση της λειτουργίας κάποιων υποσυστημάτων, την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων ή την επιλογή συγκεκριμένων παραμέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτοί οι μηχανισμοί μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορα επίπεδα, από τον κόμβο μέχρι τον κεντρικό ελεγκτή του δικτύου.
6. Εξερεύνηση ενεργειακών πηγών: Η διαχείριση ισχύος μπορεί να συμπεριλαμβάνει εξερεύνηση και χρήση εναλλακτικών ενεργειακών πηγών για τη λειτουργία των ασύρματων κόμβων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση ηλιακής ενέργειας, πυρηνικών μπαταριών, ρεύματος από κινητήρες ή άλλων μορφών εναλλακτικής ενέργειας. Η εξερεύνηση και αξιοποίηση αυτών των ενεργειακών πηγών μπορεί να συμβάλει στη μείωση της εξάρτησης από τις παραδοσιακές μπαταρίες και να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής των κόμβων.

Αυτές οι τεχνικές και στρατηγικές για τη διαχείριση ισχύος συμβάλλουν στη βελτίωση της απόδοσης, της διάρκειας ζωής της μπαταρίας και της ενεργειακής αποδοτικότητας των ασύρματων δικτύων.

5.4 Συγχρονισμός

Στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, ο συγχρονισμός διαδραματίζει ένα κρίσιμο ρόλο στο να εξασφαλίζει αποτελεσματικό συντονισμό και ακρίβεια χρονισμού μεταξύ των κόμβων του δικτύου:

1. Ένα από τα κύρια στοιχεία του συγχρονισμού είναι η επίτευξη συγχρονισμού Ελέγχου Πρόσβασης στο Κανάλι (MAC). Αυτό περιλαμβάνει την εφαρμογή μηχανισμών που επιτρέπουν στους κόμβους να γνωρίζουν το πρόγραμμα πρόσβασης στο μέσο του δικτύου. Συγχρονίζοντας το χρονισμό τους με αυτό το πρόγραμμα, οι κόμβοι μπορούν να αποκτήσουν αποτελεσματική πρόσβαση στο δίκτυο, αποφεύγοντας τις συγκρούσεις και μεγιστοποιώντας τη συνολική ροή.
2. Ο κώδικας επίσης περιλαμβάνει την επίτευξη συγχρονισμού μέσω μηχανισμού αναμετάδοσης επιγραμμίσεων (beacon). Σε αυτήν την προσέγγιση, συγκεκριμένοι κόμβοι λειτουργούν ως αναμεταδότες επιγραμμίσεων που μεταδίδουν κατά διαστήματα επιγραμμίσεις συγχρονισμού. Οι υπόλοιποι κόμβοι συγχρονίζουν τους τοπικούς χρονομετρητές και τις παραμέτρους χρονισμού τους με βάση αυτές τις επιγραμμίσεις. Αυτός ο συγχρονισμός είναι ουσιώδης για τη διατήρηση ακριβούς χρονισμού σε όλο το δίκτυο, λειτουργώντας ως αναφορά για όλους τους κόμβους.
3. Για να ληφθούν υπόψη οι αποκλίσεις ρολογιού και οι καθυστερήσεις αποστολής, ο κώδικας περιλαμβάνει αλγόριθμους για προσαρμογές χρονισμού. Αυτές οι προσαρμογές αντισταθμίζουν τις διακυμάνσεις στην ακρίβεια του ρολογιού και τις καθυστερήσεις αποστολής, διασφαλίζοντας ότι οι κόμβοι διατηρούν ακριβή συγχρονισμό ακόμη και κατά τη διάρκεια μακροχρόνιας λειτουργίας.
4. Επιπλέον, ο κώδικας αποσκοπεί στην επίτευξη συγχρονισμού σε όλο το δίκτυο, επιτρέποντας σε όλους τους κόμβους να έχουν μια συνεπή κατανόηση του χρονισμού και του προγράμματος του δικτύου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τον συντονισμό δράσεων που απαιτούν τη

συμμετοχή πολλαπλών κόμβων, όπως οι πολυαναπτυξιακές επικοινωνίες ή οι κατανεμημένοι πρωτόκολλα δικτύου.

5. Ο κώδικας μπορεί να περιλαμβάνει επίσης συγκεκριμένα πρωτόκολλα συγχρονισμού, όπως η Λειτουργία Χρονισμού (TSF) που καθορίζεται στο πρότυπο IEEE 802.11. Αυτά τα πρωτόκολλα καθορίζουν τους κανόνες και τις διαδικασίες για την επίτευξη και διατήρηση του συγχρονισμού, ιδίως σε δυναμικές συνθήκες δικτύου.

Με την επίτευξη συγχρονισμού μεταξύ των κόμβων, ο κώδικας IEEE-802.11ah-ns-3 επιτρέπει αποτελεσματική και αξιόπιστη επικοινωνία. Μειώνει τις παρεμβολές, βελτιώνει την εκχώρηση πόρων και υποστηρίζει διάφορες λειτουργίες δικτύου, όπως διαχείριση ισχύος, πρόσβαση στο κανάλι και συντονισμός σε επίπεδο δικτύου. Ο συγχρονισμός εξασφαλίζει ότι όλοι οι κόμβοι λειτουργούν αρμονικά, συνεισφέροντας στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης και αξιοπιστίας του δικτύου.

5.5 Multi-AP και MeshSupport

Στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, οι όροι "Multi-AP" και "Mesh Support" αναφέρονται σε δύο σημαντικές δυνατότητες που σχετίζονται με την ασύρματη επικοινωνία:

1. Multi-AP (Πολλαπλοί Σημεία Πρόσβασης):

Η υποστήριξη πολλαπλών σημείων πρόσβασης (Multi-AP) αναφέρεται στη δυνατότητα ενός δικτύου να χρησιμοποιεί πολλαπλά σημεία πρόσβασης για να παρέχει ασύρματη συνδεσιμότητα σε κινητές συσκευές. Αυτό επιτρέπει στο δίκτυο να καλύπτει μεγαλύτερες περιοχές και να παρέχει καλύτερη κάλυψη και απόδοση, καθώς οι χρήστες μπορούν να συνδεθούν με το πλησιέστερο ή το πιο κατάλληλο σημείο πρόσβασης.

Στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, η υποστήριξη Multi-AP σημαίνει ότι οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να λειτουργούν ως πολλαπλά σημεία πρόσβασης, επιτρέποντας στους χρήστες να συνδεθούν και να

επικοινωνήσουν με το δίκτυο από πολλές θέσεις και σημεία. Αυτή η δυνατότητα επεκτείνει την κάλυψη και την ευελιξία του δικτύου, παρέχοντας αξιόπιστη και υψηλής απόδοσης ασύρματη συνδεσιμότητα σε περισσότερους χρήστες.

2. Mesh Support (Υποστήριξη Δικτύου Πλέγματος):

Η υποστήριξη δικτύου πλέγματος (Mesh Support) αναφέρεται στη δυνατότητα δημιουργίας και λειτουργίας ενός ασύρματου δικτύου με πολλαπλούς κόμβους που είναι αλληλο-συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο πλέγματος συνεργάζονται για να δρομολογήσουν και να μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ τους, δημιουργώντας ένα αυτοοργανωμένο και ευέλικτο δίκτυο.

Στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, η υποστήριξη δικτύου πλέγματος σημαίνει ότι οι κόμβοι μπορούν να συνδεθούν και να συνεργαστούν μεταξύ τους για τη δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου πλέγματος. Αυτό επιτρέπει την ευέλικτη δρομολόγηση και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των κόμβων, παρέχοντας αξιόπιστη ασύρματη συνδεσιμότητα σε ευρύτερες περιοχές και επιτρέποντας την επέκταση του δικτύου με νέους κόμβους.

Συνολικά, η υποστήριξη Multi-AP και Mesh Support στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3 παρέχει ευελιξία, κάλυψη και αξιοπιστία στην ασύρματη επικοινωνία, επιτρέποντας τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ πολλών σημείων πρόσβασης και δικτύων κόμβων.

5.6 Συνύπαρξη και Παρεμβολή

Στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, οι όροι "Coexistence" (Συνύπαρξη) και "Interference" (Παρεμβολή) αναφέρονται σε δύο σημαντικές έννοιες που σχετίζονται με την ασύρματη επικοινωνία:

1 Συνύπαρξη:

Η συνύπαρξη αναφέρεται στην ικανότητα διαφορετικών ασύρματων δικτύων να λειτουργούν μαζί στον ίδιο χώρο και στον ίδιο εύρος ζώνης χωρίς να προκαλούν αναστατώσεις ή παρεμβολές μεταξύ τους. Η καλή συνύπαρξη είναι σημαντική για να διατηρηθεί η αξιοπιστία και η απόδοση

των δικτύων, καθώς αποτρέπει την αλληλεπίδραση και τις συγκρούσεις μεταξύ των συσκευών.

Στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, η συνύπαρξη αναφέρεται στην υποστήριξη διαφορετικών ασύρματων δικτύων να λειτουργούν μαζί στο ίδιο περιβάλλον. Ο κώδικας αναπτύσσει μηχανισμούς και αλγορίθμους για τη διαχείριση της συνύπαρξης, ώστε τα διάφορα δίκτυα να μπορούν να συνυπάρχουν σε ένα κοινό περιβάλλον χωρίς να προκαλούν παρεμβολές ή απώλεια απόδοσης.

2 Παρεμβολή:

Η παρεμβολή αναφέρεται στο φαινόμενο όπου το σήμα ενός ασύρματου δικτύου επηρεάζεται από την παρουσία άλλων σημάτων ή πηγών που λειτουργούν στον ίδιο χώρο ή στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Η παρεμβολή μπορεί να προκαλέσει απώλεια ποιότητας σήματος, μείωση της ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων και αύξηση των σφαλμάτων συστήματος.

Στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, η παρεμβολή αναφέρεται στην ανάλυση και διαχείριση της παρεμβολής μεταξύ των διαφορετικών ασύρματων συσκευών. Ο κώδικας προσφέρει μηχανισμούς για την ελαχιστοποίηση της παρεμβολής, τον προγραμματισμό και την ανάθεση των πόρων στις συσκευές, καθώς και την ανάλυση της επίδρασης της παρεμβολής στην απόδοση του δικτύου.

5.7 Μοντέλα κινήσεις και Εφαρμογές

Στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, οι όροι "Μοντέλα Κίνησης" και "Εφαρμογές" αναφέρονται σε δύο σημαντικές έννοιες που σχετίζονται με την αναπαράσταση της κίνησης και την εφαρμογή του κώδικα σε διάφορες περιπτώσεις. Ας δούμε περισσότερες πληροφορίες για κάθε έννοια:

1 Μοντέλα Κίνησης:

Τα μοντέλα κίνησης αναφέρονται στις τεχνικές και τους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση και την αναπαράσταση της κίνησης των ασύρματων συσκευών σε ένα δίκτυο. Αυτά τα μοντέλα καθορίζουν τα πρότυπα και τις συμπεριφορές της κίνησης, όπως οι

μετακινήσεις, οι ταχύτητες, οι κατευθύνσεις και οι παράμετροι που επηρεάζουν την κίνηση των συσκευών.

Στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται μοντέλα κίνησης για την απεικόνιση της κίνησης των συσκευών στο δίκτυο. Αυτά τα μοντέλα καθορίζουν τη συμπεριφορά των κινούμενων συσκευών, παρέχοντας ρεαλιστικές πληροφορίες για την κίνηση, την αλληλεπίδραση και την επικοινωνία τους.

2 Εφαρμογές:

Οι εφαρμογές αναφέρονται στις διάφορες χρήσεις και σενάρια εφαρμογών που υποστηρίζονται από τον κώδικα. Οι εφαρμογές καθορίζουν τις λειτουργίες και τις επιδόσεις που αναμένονται από το δίκτυο, ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής που χρησιμοποιείται.

Στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3, οι εφαρμογές αποτελούν τα σενάρια χρήσης που προσομοιώνονται και αξιολογούνται στο δίκτυο. Αυτές οι εφαρμογές μπορεί να περιλαμβάνουν διάφορες περιπτώσεις χρήσης, όπως η μετάδοση δεδομένων, οι φωνητικές κλήσεις, οι αισθητήρες, οι κάμερες κ.λπ.

Συνολικά, οι μοντέλα κίνησης και οι εφαρμογές στον κώδικα IEEE-802.11ah-ns-3 αναφέρονται στην αναπαράσταση της κίνησης των συσκευών και τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο. Αυτές οι έννοιες είναι σημαντικές για την προσομοίωση, τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των ασύρματων δικτύων.

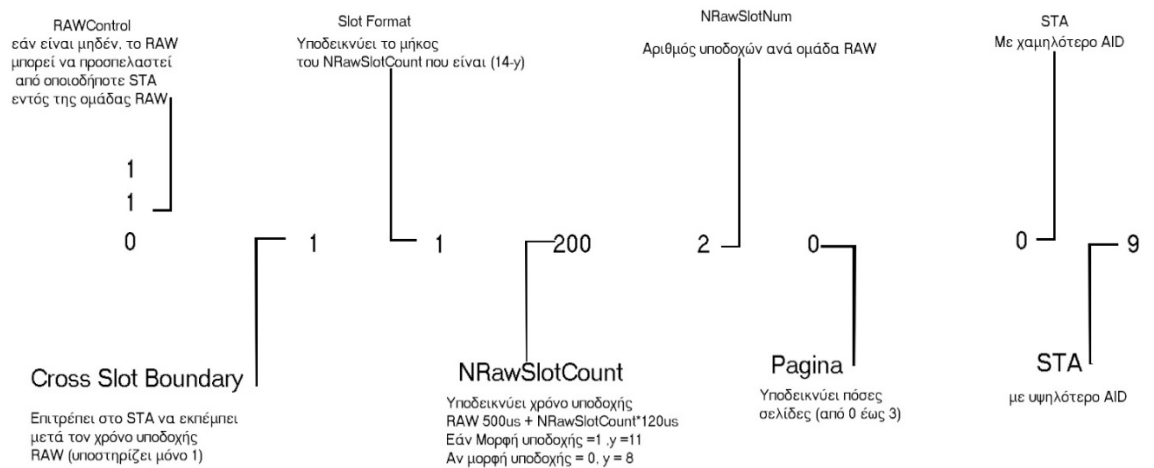
6. Παράμετροι Πειραμάτων

Μετά από την εγκατάσταση του κλώνου της IEEE χρησιμοποιούμε το αρχείο “Test” που στην διαδρομή “IEEE-802.11ah-ns-3/scratch/test/Configuration.h” μπορούμε να βρούμε το Configuration.h που εκεί πέρα θα βρούμε τους παραμέτρους/μεταβλητές που μπορούμε να αλλάξουμε όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1 : Ένας πίνακας με ορισμένες μεταβλητές, οι οποίες είναι προσβάσιμες για τροποποίηση στη λειτουργική μονάδα.

Μεταβλητή	Λειτουργία	Μεταβλητή	Λειτουργία
simulationTime	Χρόνος προσομοίωσης	Data rate	Ρυθμός μεταφοράς
payloadSize	Μέγεθος ωφέλιμου φορτίου	Band width	Εύρος ζώνης
BeaconInterval	Διάρκεια διαστήματος φάρου	Total traffic	Συνολικό όγκο κίνησης δεδομένων

Επειδή υπάρχουν παραλλαγές που μπορεί να επηρεάσουν τις τιμές στο αρχείο, αλλά δεν θα επηρεάσουν την λειτουργία του προσομοιωτή. Αυτές οι παράμετροι απαιτούν συγκεκριμένες ρυθμίσεις στα αντίστοιχα αρχεία, που δεν επιτρέπεται η τυχαία μορφοποίηση. Για παράδειγμα, είναι απαραίτητο να τροποποιήσετε τις ρυθμίσεις RAW μέσω του αρχείου "IEEE-802.11ah-ns-3/OptimalRawGroup/RawConfig-test.txt".

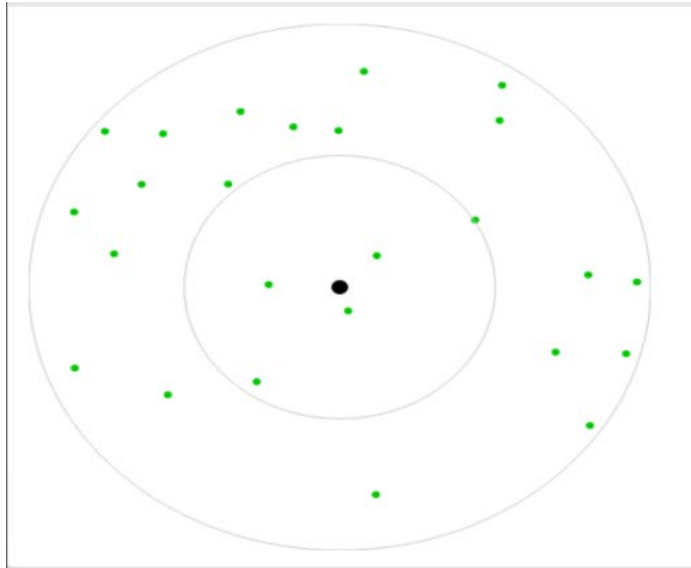


Εικόνα 29: Αρχείο RAW

6.1 Πειραματικό κομμάτι.

Πίνακας 2: 1 ΤΕΣΤ

Μεταβλητή	Τίμη	Μεταβλητή	Τίμη
Χρόνος	60 s	Συχνότητα	2.4 Ghz
Διάσημα Beacon	0.1 s	Μέγεθος πακέτου δεδομένων	100 bytes
Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	24 Mbps	Σταθμοί	25



Εικόνα 30: 25 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz

Σε αυτήν τη πρώτη δοκιμή, εξετάσαμε την απόδοση ενός δικτύου που αποτελείται από 25 σταθμούς που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz, με έναν μέσο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 24 Mbps. Αυτά είναι τα αποτελέσματα:

Αποστολή και Παράδοση Πακέτων: Στείλαμε συνολικά 161 πακέτα δεδομένων από τους 25 σταθμούς.

Πακέτα που Παραδόθηκαν: Όλα τα 161 απεσταλμένα πακέτα παραδόθηκαν επιτυχώς στον προορισμό τους, χωρίς να χαθεί κανένα.

Επιβεβαίωση (Echoed) Πακέτων: Το "echoed" αναφέρεται στη διαδικασία όπου τα πακέτα αποστέλλονται πίσω στον αποστολέα ως επιβεβαίωση ότι έχουν ληφθεί. Σε αυτήν την περίπτωση, όλα τα 161 πακέτα που απεστάλησαν αντηχήθηκαν, υποδεικνύοντας επιτυχείς μεταδόσεις.

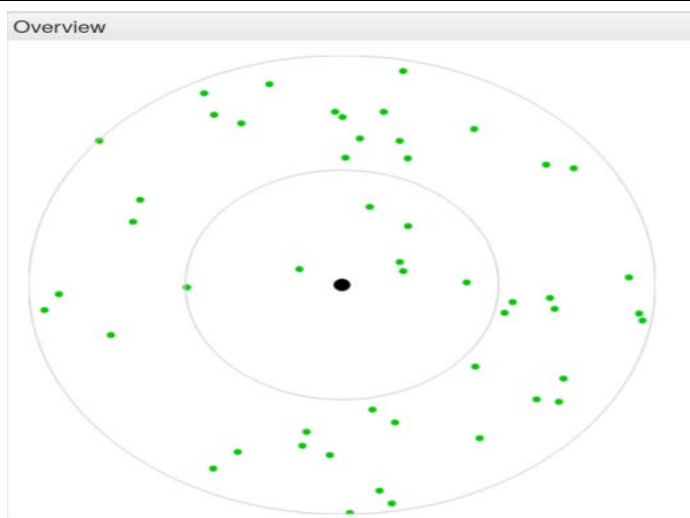
Ποσοστό Απώλειας Πακέτων: Δεν υπήρξαν απώλειες πακέτων κατά τη μετάδοση, με το ποσοστό απώλειας να είναι 0%.

Κατανάλωση Ενέργειας από τους Σταθμούς: Κάθε σταθμός κατανάλωσε περίπου 139.74 mJ ενέργειας κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Ρυθμός Αποστολής και Καθυστέρηση: Κάθε σταθμός απέστειλε συνολικά 6.20 πακέτα δεδομένων, με τον μέσο χρόνο καθυστέρησης μεταξύ της αποστολής και της λήψης ενός πακέτου να ανέρχεται σε 2.48 ms. Ο μέσος όρος των καθυστερήσεων για όλα τα πακέτα ήταν περίπου 2.54 ms.

Πίνακας 3: 2 ΤΕΣΤ

Μεταβλητή	Τίμη	Μεταβλητή	Τίμη
Χρόνος	60 s	Συχνότητα	2.4 Ghz
Διάστημα Beacon	0.1 s	Μέγεθος πακέτου δεδομένων	100 bytes
Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	24 Mbps	Σταθμοί	50



Εικόνα 31: 50 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz

Στο πλαίσιο αυτού του πειράματος, εξετάσαμε την απόδοση ενός δικτύου που αποτελείται από 50 σταθμούς λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz με έναν μέσο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 24 Mbps. Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν είναι τα εξής:

Αποστολή και Παράδοση Πακέτων: Στείλαμε συνολικά 311 πακέτα δεδομένων. Από αυτά, 310 παραδόθηκαν επιτυχώς στον προορισμό τους. Αυτό δείχνει ότι η πλειονότητα των πακέτων φτάνουν στον προορισμό τους χωρίς προβλήματα.

Απώλεια και Επιβεβαίωση Λήψης: Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι 1 πακέτο από τα 311 χάθηκε κατά την αποστολή. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε προβλήματα στη μετάδοση ή την παραλαβή. Συγχρόνως, 309 πακέτα αντηχήθηκαν, με τη χρήση διαδικασιών επιβεβαίωσης, για να επιβεβαιωθεί ότι έφτασαν σωστά.

Ποσοστό Απώλειας Πακέτων: Το ποσοστό απώλειας πακέτων ανέρχεται σε περίπου 0.643087% του συνολικού αριθμού των απεσταλμένων πακέτων. Αυτό είναι μια πολύ χαμηλή απώλεια, δεδομένης της μεγάλης ποσότητας πακέτων που μεταδόθηκαν.

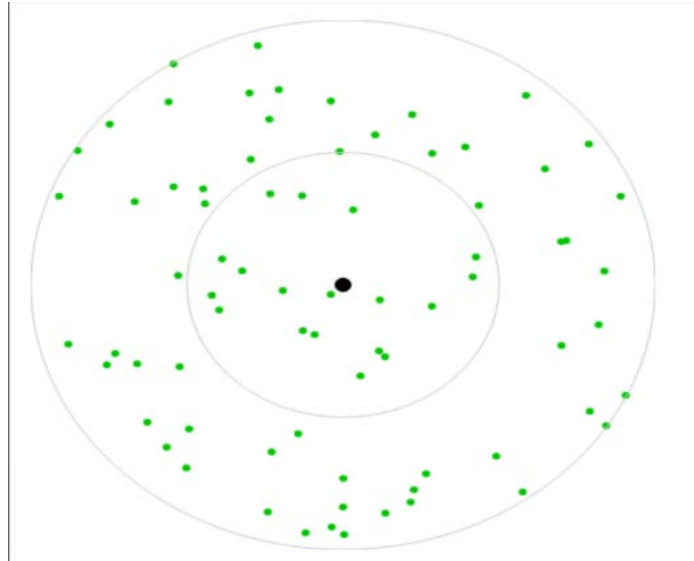
Κατανάλωση Ενέργειας από τους Σταθμούς: Κάθε σταθμός κατανάλωσε περίπου 139.68 mJ ενέργειας για την εκτέλεση του πειράματος.

Ρυθμός Αποστολής και Καθυστέρηση: Κάθε σταθμός απέστειλε συνολικά 6.08 πακέτα δεδομένων, και ο μέσος χρόνος καθυστέρησης μεταξύ αποστολής και λήψης ενός πακέτου ανέρχεται σε 2.54 ms. Ο μέσος όρος των καθυστερήσεων για όλα τα πακέτα είναι περίπου 2.04ms.

Αυτά τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι το δίκτυο με τους 50 σταθμούς λειτουργεί αποτελεσματικά, με χαμηλό ποσοστό απώλειας πακέτων και μικρές καθυστερήσεις, παρά τον μεγάλο αριθμό των συσκευών και τον περιορισμένο χώρο συχνότητας στα 2.4 GHz. Αυτά τα αποτελέσματα αποτελούν σημαντική πληροφορία για την αξιοπιστία και την απόδοση του δικτύου σας.

Figure 4 3 ΤΕΣΤ

Μεταβλητή	Τίμη	Μεταβλητή	Τίμη
Χρόνος	60 s	Συχνότητα	2.4Ghz
ΔιάσημαBeacon	0.1 s	Μέγεθος πακέτου δεδομένων	100 bytes
Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	24 Mbps	Σταθμοί	75



Εικόνα 32: 75 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz

Σε αυτό το πείραμα με 75 σταθμούς που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz και με μέσο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 24 Mbps, είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

TotalPacketSent (Συνολικά Απεσταλμένα Πακέτα): Στάλθηκαν συνολικά 458 πακέτα δεδομένων από τους 75 σταθμούς.

Πακέτα που Παραδόθηκαν: Όλα τα 458 απεσταλμένα πακέτα παραδόθηκαν επιτυχώς στον προορισμό τους, χωρίς να χαθεί κανένα.

Επιβεβαίωση (Echoed) Πακέτων: Το "echoed" αναφέρεται στη διαδικασία όπου τα πακέτα αποστέλλονται πίσω στον αποστολέα ως επιβεβαίωση ότι έχουν ληφθεί. Σε αυτήν την περίπτωση, όλα τα 458 πακέτα που απεστάλησαν αντηγήθηκαν, υποδεικνύοντας επιτυχείς μεταδόσεις.

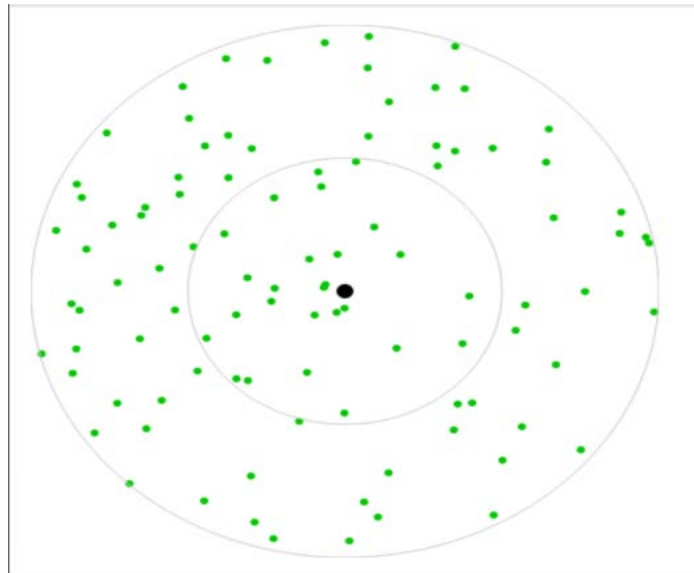
Ποσοστό Απώλειας Πακέτων: Δεν υπήρξαν απώλειες πακέτων κατά τη μετάδοση, με το ποσοστό απώλειας να είναι 0%.

Κατανάλωση Ενέργειας από τους Σταθμούς: Κάθε σταθμός κατανάλωσε περίπου 139.23 mJ ενέργειας κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Ρυθμός Αποστολής και Καθυστέρηση: Κάθε σταθμός απέστειλε συνολικά 6.07 πακέτα δεδομένων, με τον μέσο χρόνο καθυστέρησης μεταξύ της αποστολής και της λήψης ενός πακέτου να ανέρχεται σε 5.88 ms. Ο μέσος όρος των καθυστερήσεων για όλα τα πακέτα ήταν 7.56 ms.

Πίνακας 5 4 τεστ

Μεταβλητή	Τίμη	Μεταβλητή	Τίμη
Χρόνος	60 s	Συχνότητα	2.4 Ghz
Διάστημα Beacon	0.1 s	Μέγεθος πακέτου δεδομένων	100 bytes
Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	24 Mbps	Σταθμοί	100



Εικόνα 33: 100 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz

Σε αυτό το πείραμα με 100 σταθμούς που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz και με μέσο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 24 Mbps, είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Συνολικά Απεσταλμένα Πακέτα: Συνολικά, απεστάλησαν 612 πακέτα δεδομένων από τους 100 σταθμούς.

Πακέτα που Παραδόθηκαν: Από τα 612 απεσταλμένα πακέτα, μόνο 605 παραδόθηκαν με επιτυχία στον προορισμό τους. Τα 7 πακέτα χάθηκαν κατά τη μετάδοση.

Επιβεβαίωση (Echoed) Πακέτων: Όλα τα 605 πακέτα που απεστάλησαν αντηγήθηκαν, πράγμα που σημαίνει ότι οι αποστολές ήταν επιτυχείς.

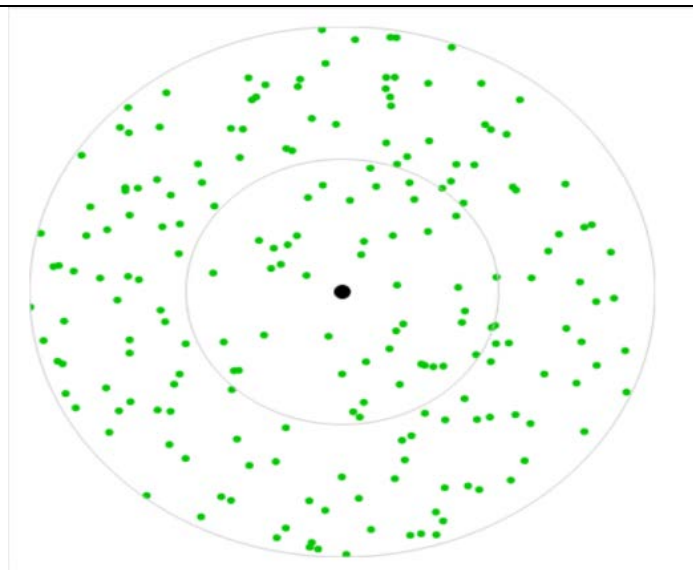
Ποσοστό Απώλειας Πακέτων: Το ποσοστό απώλειας πακέτων είναι 1.14379%, καθώς τα 7 από τα 612 πακέτα δεν έφτασαν στον προορισμό τους. Αυτή είναι μια μικρή απώλεια, αλλά μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία του δικτύου.

Κατανάλωση Ενέργειας από τους Σταθμούς: Κάθε σταθμός κατανάλωσε περίπου 137.28 mJ ενέργειας κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Ρυθμός Αποστολής και Καθυστέρηση: Κάθε σταθμός απέστειλε συνολικά 6.03 πακέτα δεδομένων. Ο μέσος χρόνος καθυστέρησης μεταξύ της αποστολής και της λήψης ενός πακέτου ήταν 9.34 ms, ενώ ο μέσος όρος των καθυστερήσεων για όλα τα πακέτα ήταν 7.58 ms.

Πίνακας 6 5 ΤΕΣΤ

Μεταβλητή	Τίμη	Μεταβλητή	Τίμη
Χρόνος	60 s	Συχνότητα	2.4 Ghz
Διάσημα Beacon	0.1 s	Μέγεθος πακέτου δεδομένων	100 bytes
Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	24 Mbps	Σταθμοί	200



Εικόνα 34: 200 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz

Σε αυτό το πείραμα με 200 σταθμούς που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz και με μέσο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 24 Mbps, είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Συνολικά Απεσταλμένα Πακέτα: Συνολικά, απεστάλησαν 1205 πακέτα δεδομένων από τους 200 σταθμούς.

Πακέτα που Παραδόθηκαν: Από τα 1205 απεσταλμένα πακέτα, μόνο 1204 παραδόθηκαν με επιτυχία στον προορισμό τους. Ένα πακέτο χάθηκε κατά τη μετάδοση.

Επιβεβαίωση (Echoed) Πακέτων: Το "echoed" αναφέρεται στη διαδικασία όπου τα πακέτα αποστέλλονται πίσω στον αποστολέα ως επιβεβαίωση ότι έχουν ληφθεί. Σε αυτήν την περίπτωση, αναφέρετε ότι 505 πακέτα επιβεβαιώθηκαν.

Ποσοστό Απώλειας Πακέτων: Το ποσοστό απώλειας πακέτων είναι 26.91%, καθώς 655 από τα 1205 πακέτα χάθηκαν κατά τη μετάδοση. Αυτή είναι μια υψηλή απώλεια, και μπορεί να επηρεάσει σοβαρά την αξιοπιστία του δικτύου.

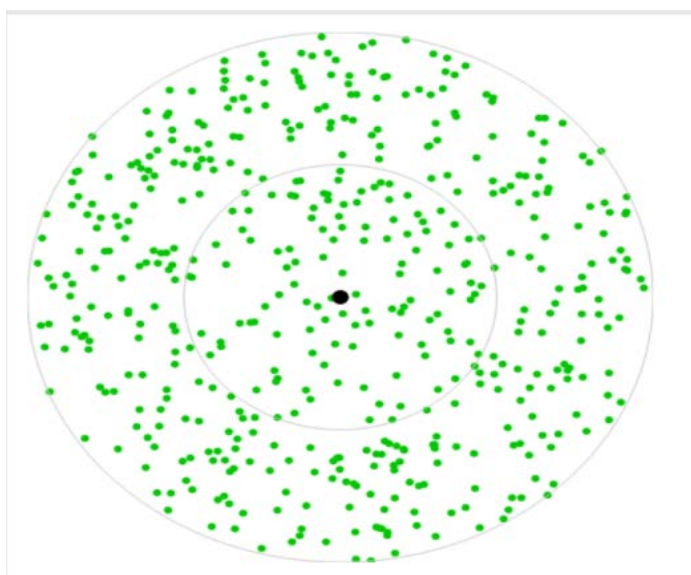
Κατανάλωση Ενέργειας από τους Σταθμούς: Κάθε σταθμός κατανάλωσε περίπου 133.57 mJ ενέργειας κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Ρυθμός Αποστολής και Καθυστέρηση: Κάθε σταθμός απέστειλε συνολικά 5.96 πακέτα δεδομένων. Ο μέσος χρόνος καθυστέρησης μεταξύ της αποστολής και της λήψης ενός πακέτου ήταν 9.17 ms, ενώ ο μέσος όρος των καθυστερήσεων για όλα τα πακέτα ήταν 9.82 ms.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι το δίκτυο σας αντιμετωπίζει σοβαρή απώλεια πακέτων (26.91%) και υψηλή καθυστέρηση (9.82 ms) κατά τη μετάδοση δεδομένων με 200 σταθμούς.

Πίνακας 7 6 ΤΕΣΤ

Μεταβλητή	Τίμη	Μεταβλητή	Τίμη
Χρόνος	60 s	Συχνότητα	2.4 Ghz
Διάσημα Beacon	0.1 s	Μέγεθος πακέτου δεδομένων	100 bytes
Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	24 Mbps	Σταθμοί	500



Εικόνα 35: 500 Σταθμοί 24Mbps 2.4Ghz

Σε αυτό το πείραμα με 500 σταθμούς που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz και με μέσο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 24 Mbps, είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Συνολικά Απεσταλμένα Πακέτα: Συνολικά, απεστάλησαν 2799 πακέτα δεδομένων από τους 500 σταθμούς.

Πακέτα που Παραδόθηκαν: Δυστυχώς, κανένα από τα 2799 πακέτα που απεστάλησαν δεν παραδόθηκε με επιτυχία. Όλα τα πακέτα χάθηκαν κατά τη μετάδοση.

Επιβεβαίωση (Echoed) Πακέτων: Σε αυτήν την περίπτωση, δεν αναφέρεται καμία επιβεβαίωση (echoed) πακέτων, πιθανώς λόγω της πλήρους απώλειας των πακέτων.

Ποσοστό Απώλειας Πακέτων: Το ποσοστό απώλειας πακέτων είναι 100%, καθώς όλα τα 2799 πακέτα χάθηκαν κατά τη μετάδοση. Αυτό σημαίνει ότι κανένα πακέτο δεν παραδόθηκε με επιτυχία.

Κατανάλωση Ενέργειας από τους Σταθμούς: Κάθε σταθμός κατανάλωσε περίπου 121.78 mJ ενέργειας κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Ρυθμός Αποστολής και Καθυστέρηση: Κάθε σταθμός απέστειλε συνολικά 5.46 πακέτα δεδομένων. Ο μέσος χρόνος καθυστέρησης μεταξύ της αποστολής και της λήψης ενός πακέτου ήταν 12.99 ms, ενώ ο μέσος όρος των καθυστερήσεων για όλα τα πακέτα ήταν 14.28 ms.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι το δίκτυο μας αντιμετωπίζει πολύ υψηλό ποσοστό απώλειας πακέτων (100%) και υψηλή καθυστέρηση (14.28 ms) κατά τη μετάδοση δεδομένων με 500 σταθμούς. Αυτή η απώλεια είναι πολύ υψηλή και δεν είναι κατάλληλη για πρακτικές επικοινωνίες δεδομένων

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, αυτή η διατριβή παρείχε μια ολοκληρωμένη εξερεύνηση του ασύρματου προτύπου 802.11ah, μια κομβική πρόοδο στην τεχνολογία ασύρματων επικοινωνιών προσαρμοσμένη στο Internet of Things (IoT). Μέσω μιας εις βάθος ανάλυσης των βασικών χαρακτηριστικών του, συμπεριλαμβανομένης της εκτεταμένης εμβέλειας, της ενεργειακής απόδοσης και της καταλληλότητας για εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης και χαμηλού ρυθμού δεδομένων, αυτή η εργασία έχει τονίσει τη μοναδική πρόταση αξίας του 802.11ah στην ανάπτυξη του IoT.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας είδαμε πώς στην σήμερον ημέρα, οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν συσκευές που συνδέονται στο Διαδίκτυο, όπως υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα. Στο μέλλον, αναμένεται να υπάρχει επικοινωνία ανάμεσα σε όλα τα αντικείμενα, δημιουργώντας έναν κόσμο όπου οι μηχανές θα μπορούν να επικοινωνούν ανεξάρτητα από τους ανθρώπους.

Αυτό αναμένεται να αυξήσει την παραγωγικότητα και να επιτρέψει στις μηχανές να επικοινωνούν με άλλες μηχανές για λογαριασμό των ανθρώπων.

Το Διαδίκτυο έχει διευρύνει την επιρροή του, καθώς το κόστος των ηλεκτρονικών συσκευών συνεχίζει να μειώνεται, και αυτό επιτρέπει την επέκταση του Διαδικτύου σε νέα ύψη.

Όπως επίσης αναφέρθηκε στο IEEE 802.11 που είναι μια σειρά προτύπων που αφορούν ασύρματα δίκτυα τοπικής εμβέλειας (WLAN), γνωστά ως WiFi. Δημιουργήθηκε για να επεκτείνει το Ethernet σε ασύρματα δίκτυα, επιτρέποντας την ασύρματη σύνδεση συσκευών. Τα πρότυπα 802.11 είναι διεθνώς αναγνωρισμένα και η τεχνολογία WiFi είναι η πιο διαδεδομένη για ασύρματες συνδέσεις.

Τα δίκτυα 802.11 λειτουργούν στις συχνότητες 2,4 GHz και 5 GHz και χρησιμοποιούνται για ασύρματη πρόσβαση στο Διαδίκτυο, φωνητική επικοινωνία, και σύνδεση μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών. Το πρωτόκολλο 802.11b άνοιξε τον δρόμο για την ευρεία υιοθέτηση των ασύρματων δικτύων καθώς αύξησε την ταχύτητα στα 11 Mbit/s.

Η τεχνολογία 802.11 χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο CSMA/CA για τον έλεγχο του μέσου και το πρότυπο IEEE 802.11x έχει διάφορες εκδόσεις που λειτουργούν στις συγκεκριμένες συχνότητες. Επίσης, υπάρχουν διάφοροι τύποι λειτουργίας, όπως το peer-to-peer και το σημείο πρόσβασης.

Παρουσιάσαμε τι είναι η προσομοίωση, είναι η δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου που μιμείται τη λειτουργία ενός πραγματικού συστήματος ή διεργασίας. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται για να κατανοήσουμε και να

αξιολογήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του χωρίς να χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε το πραγματικό σύστημα ή να διεξαγάγουμε ακριβές πειράματα. Αυτό χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, όπως η εκπαίδευση, η επιστημονική έρευνα και η ανάπτυξη τεχνολογίας, για να μελετήσει και να βελτιστοποιήσει συστήματα και διεργασίες.

Οι προσομοιώσεις που διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας το πλαίσιο ns-3, σε συνδυασμό με τις δυνατότητες διορατικής απεικόνισης του εργαλείου AhVisualizer, απέφεραν πολύτιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά απόδοσης των δικτύων 802.11ah. Ειδικότερα, η ικανότητα του πρωτοκόλλου να λειτουργεί σε ζώνες συχνοτήτων υπό GHz και να φιλοξενεί μεγάλο αριθμό κόμβων κατέδειξε την καταλληλότητά του για σενάρια με αυστηρές απαιτήσεις κάλυψης και συνδεσιμότητας.

Οπτικοποίησης: Μετατρέπει τα δεδομένα από τις προσομοιώσεις σε γραφικές παραστάσεις, όπως γραφήματα και διαγράμματα, προκειμένου να είναι ευκολότερη η αντίληψη των αποτελεσμάτων.

Σύγκριση: Σας επιτρέπει να συγκρίνετε αποτελέσματα από διάφορες προσομοιώσεις, βοηθώντας σας να ανιχνεύσετε τυχόν πρότυπα ή τάσεις στα δεδομένα.

Ανάλυσης: Παρέχει εργαλεία για την ανάλυση των προσομοιώσεων και την εξαγωγή στατιστικών πληροφοριών, όπως μέση τιμή και απόκλιση.

Ουσιαστικά, το ahVisualizer επιτρέπει στους ερευνητές να διερευνήσουν τη συμπεριφορά πολύπλοκων δικτύων χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις και να αναλύσουν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεών τους εύκολα και αποτελεσματικά.

Μελετώντας τα αριθμητικά αποτελέσματα από τα πειράματα , καταλήγουμε στα παρακάτω συμπεράσματα :

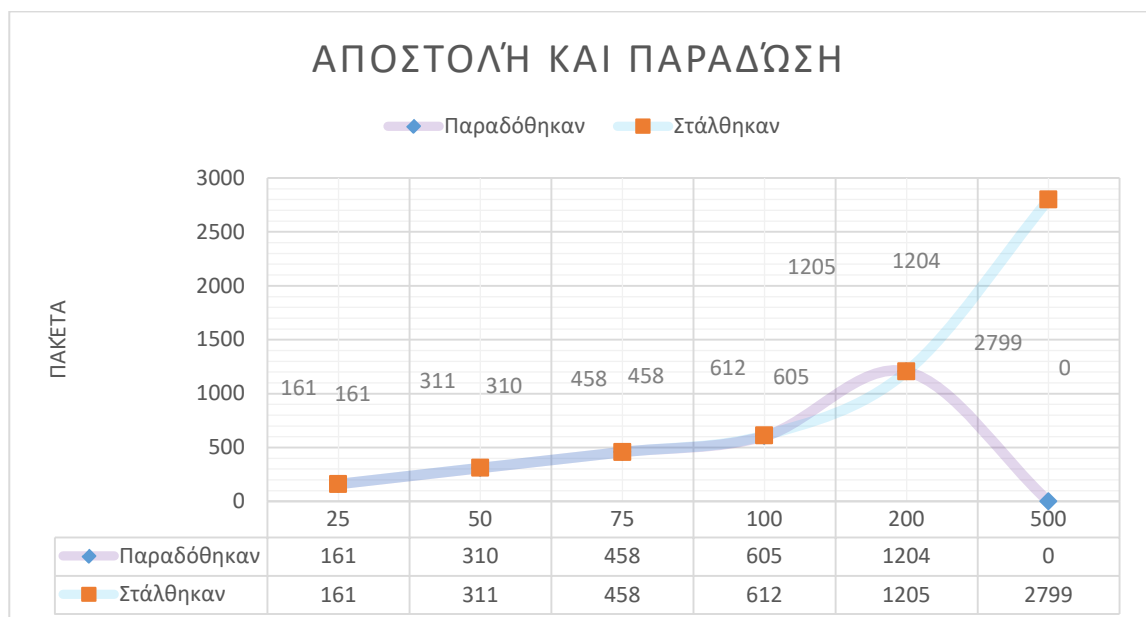
Το 802.11ah χρησιμοποιεί ζώνες εξαιρούνται από άδεια χρήσης 900MHz για να παρέχει δίκτυα Wi-Fi εκτεταμένες εμβέλειας, σε σύγκριση με τα συμβατικά δίκτυα Wi-Fi που λειτουργούν στις ζώνες 2.4 GHz και 5 GHz. Επίσης, επωφελείται από χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας επιτρέποντας τη δημιουργία μεγάλων ομάδων, σταθμών ή αισθητήρων που συνεργάζονται για να μοιράζονται σήματα, υποστηρίζοντας την έννοια του Διαδικτύου των πραγμάτων.

Μία από τις σημαντικές συνεισφορές αυτής της εργασίας έγκειται στη χρήση του εργαλείου AhVisualizer, ένα κρίσιμο στοιχείο που μας επέτρεψε να οπτικοποιήσουμε και να ερμηνεύσουμε αποτελεσματικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Αυτό το εργαλείο παρείχε μια διαισθητική διεπαφή για την ανατομή των περίπλοκων αλληλεπιδράσεων εντός του δικτύου, διευκολύνοντας τη βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας του πρωτοκόλλου.

Συμπερασματικά, αυτή η διατριβή παρουσίασε μια λεπτομερή ανάλυση του προσομοιωτή ns-3 σε συνδυασμό με το πρότυπο 802.11ah, δείχνοντας τις δυνατότητές του να φέρει επανάσταση στις επικοινωνίες IoT. Το εργαλείο AhVisualizer αποδείχθηκε ένα ανεκτίμητο πλεονέκτημα για την αποκάλυψη των περιπλοκών της συμπεριφοράς του δικτύου. Ελπίζουμε ότι αυτή η εργασία θα χρησιμεύσει ως σκαλοπάτι για μελλοντική έρευνα σε αυτόν τον τομέα, συμβάλλοντας τελικά στην πρόοδο των τεχνολογιών IoT.

Συμπεράσματα πειραμάτων.

Παρακάτω θα δούμε κάποια γραφήματα που αναλύουν την γενική εξέταση πακέτων και τον φόρτο και το πειραματικό κομμάτι.



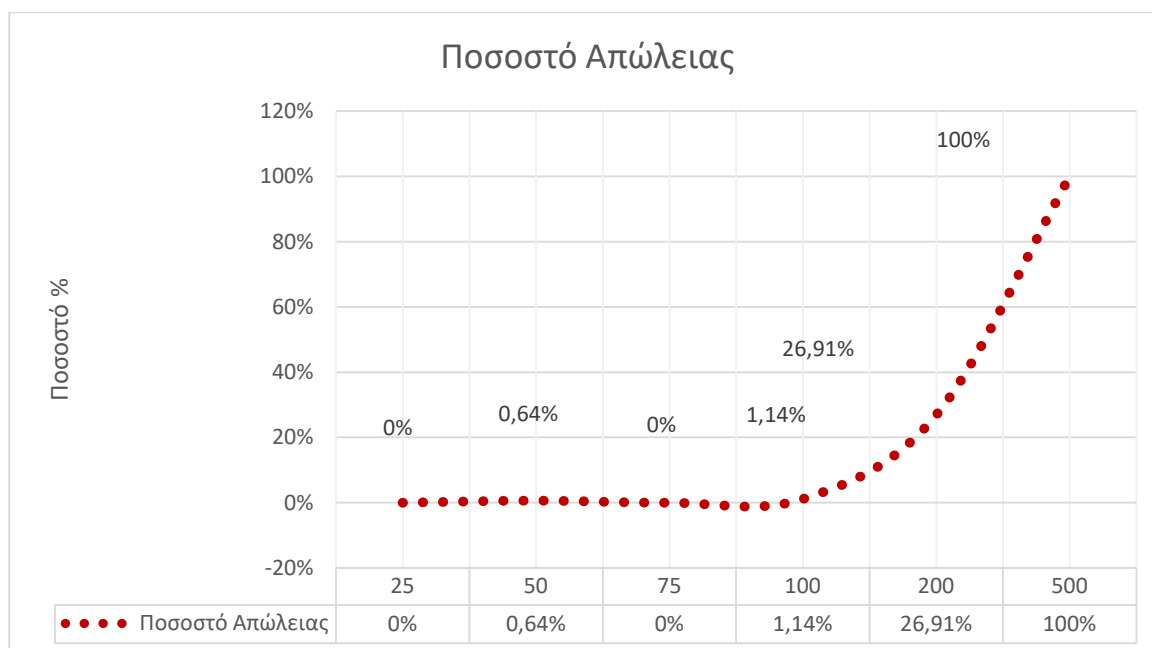
Βάσει των παρεχόμενων δεδομένων, παρατηρούμε μια σειρά ενδιαφέροντων τάσεων σχετικά με τη μετάδοση πακέτων σε δίκτυα με διαφορετικό αριθμό σταθμών.

Πρώτον, παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών από 25 σε 500, τόσο και τα πακέτα που αποστέλλονται αυξάνονται σημαντικά. Αυτό υποδεικνύει ότι το δίκτυο μπορεί να χειριστεί με επιτυχία μεγάλους αριθμούς σταθμών και μεγάλες φορτίες εργασίας.

Παράλληλα, παρατηρούμε περιπτώσεις, όπως με 200 και 500 σταθμούς, όπου το πλήθος των πακέτων που παραδόθηκαν είναι λιγότερο από αυτά που αποστάλθηκαν. Αυτό υποδεικνύει την πιθανότητα απωλειών πακέτων στο δίκτυο. Αυτές οι απώλειες μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως συνολική φόρτωση του δικτύου, ρυθμίσεις πρωτοκόλλου, ή σφάλματα στη μετάδοση.

Τέλος, σε μια περίπτωση με 500 σταθμούς, διαπιστώνουμε ότι αν και στάλθηκαν 2799 πακέτα, δεν παραδόθηκε κανένα πακέτο. Αυτό υποδεικνύει πώς το δίκτυο κατέρρευσε και δεν μπορούσε να ανταπεξέλθει της απαιτήσεως.

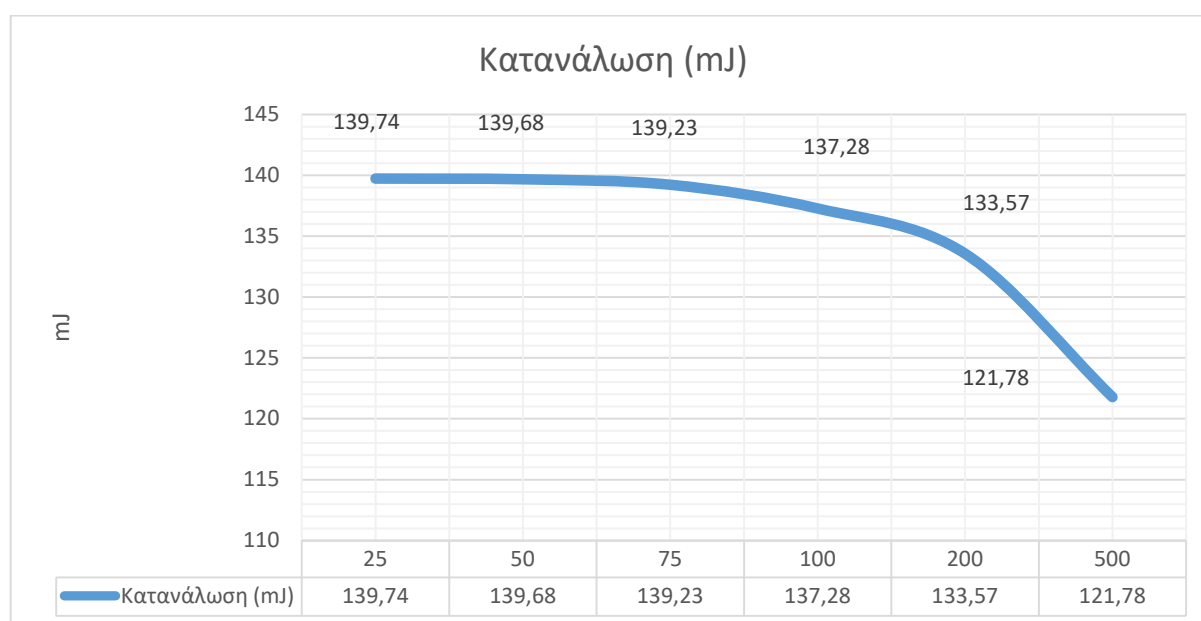
Συνοψίζοντας, παρατηρούμε ότι το δίκτυο εμφανίζει ανάλογη ανταπόκριση σε αυξημένη φόρτωση, αλλά υπάρχουν περιπτώσεις απωλειών πακέτων. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της βελτίωσης της αξιοπιστίας του δικτύου, ιδίως σε μεγάλα δίκτυα με πολλούς σταθμούς.



Από τα δεδομένα, παρατηρούμε ότι όταν ο αριθμός των σταθμών αυξάνεται, το ποσοστό απώλειας δεδομένων επίσης αυξάνεται. Αυτή η αύξηση του ποσοστού απώλειας μπορεί να αποδοθεί σε πολλούς παράγοντες. Ένας από αυτούς είναι η συνολική φόρτωση του δικτύου, δηλαδή ο όγκος της επικοινωνίας που διαχειρίζεται το δίκτυο. Με την αύξηση των σταθμών, η φόρτωση μπορεί να αυξηθεί σημαντικά, και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια δεδομένων.

Επιπλέον, η αύξηση του ποσοστού απώλειας σε πολύ υψηλά επίπεδα, καθώς ο αριθμός των σταθμών φτάνει τους 500, υποδηλώνει ότι το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο και ανέχεται τεχνικά προβλήματα. Σε αυτό το σημείο, το ποσοστό απώλειας φτάνει το 100%, πράγμα που σημαίνει ότι κανένα πακέτο δεν μπορεί να παραδοθεί.

Γενικά, αυτά τα δεδομένα αποτελούν ένα παράδειγμα του πώς ο αριθμός των συσκευών και η φόρτωση επηρεάζουν την απόδοση των δικτύων, με την ανάγκη για βελτιστοποίηση και εξελίξεις σε δίκτυα που αντιμετωπίζουν αυξημένο φόρτο.

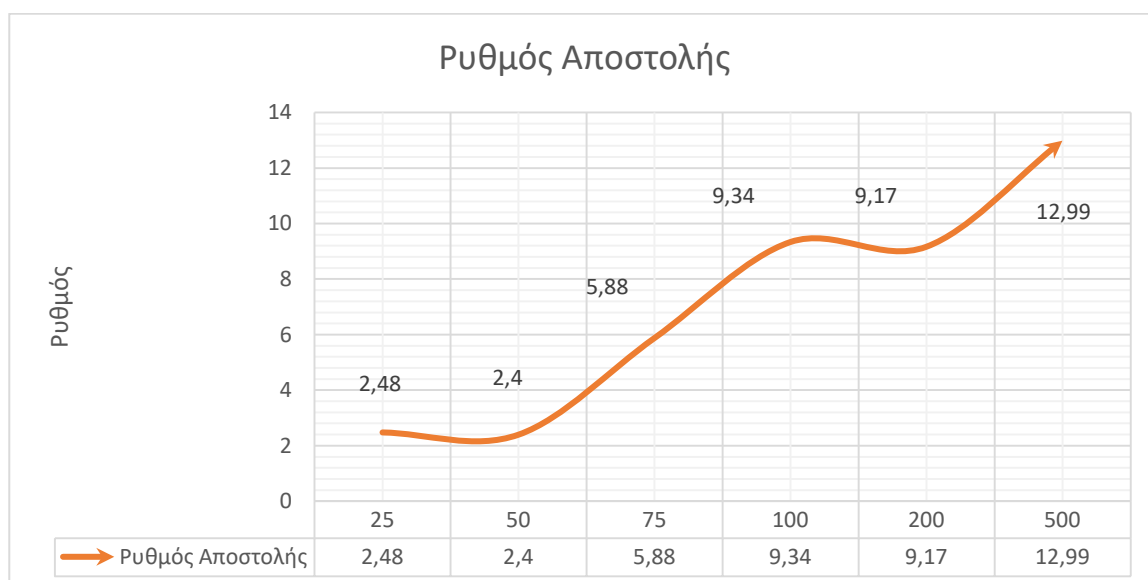


Βάσει των παραδεδομένων, παρατηρούμε μια σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών στο ασύρματο δίκτυο. Αυτό είναι ενδιαφέρον, διότι σημαίνει ότι τα μεγαλύτερα δίκτυα με περισσότερους σταθμούς μπορούν να λειτουργούν με πιο αποδοτικό τρόπο από άποψη ενέργειας ανά σταθμό.

Επιπλέον, παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται σημαντικά όταν ο αριθμός των σταθμών αυξάνεται από 100 σε 200 και από 200 σε 500. Αυτό υποδεικνύει ότι η αύξηση της κλίμακας του δικτύου, δηλαδή η προσθήκη περισσότερων σταθμών, μπορεί να οδηγήσει σε αισθητή μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Συνεπώς, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αύξηση του αριθμού των σταθμών σε ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο αποδοτική λειτουργία του δικτύου, εξοικονομώντας ενέργεια και επιτρέποντας τη μακροπρόθεσμη λειτουργία των συσκευών.

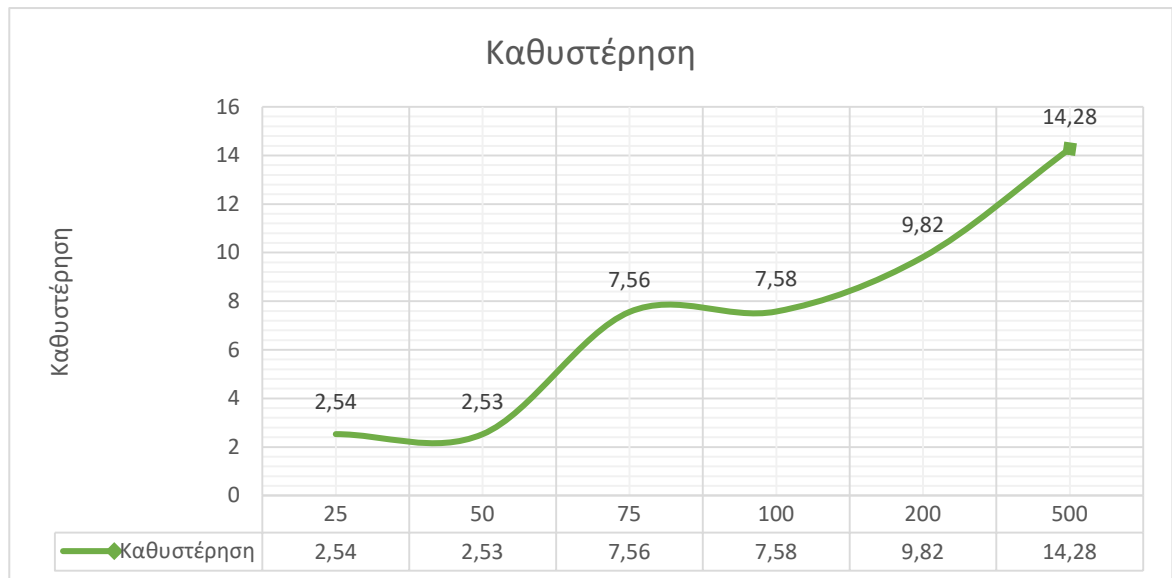
Τέλος, αυτά τα δεδομένα μας υποδεικνύουν ότι η ενεργειακή απόδοση του δικτύου μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την αύξηση του αριθμού των σταθμών και την αύξηση της κλίμακας του δικτύου. Αυτό έχει σημαντικές εφαρμογές στον τομέα των ασύρματων δικτύων, επιτρέποντας τη βελτίωση της απόδοσης και την αύξηση της διάρκειας ζωής των συσκευών με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Αυτό ανοίγει πολλές δυνατότητες για την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και βιώσιμων ασύρματων δικτύων στο μέλλον.



Βάσει των διαθέσιμων δεδομένων, μπορούμε να εξάγουμε σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τη σχέση μεταξύ των σταθμών και του ρυθμού αποστολής.

Πρώτον, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών, τόσο αυξάνεται και ο ρυθμός αποστολής. Αυτή η συσχέτιση είναι σαφής από τα δεδομένα και δείχνει ότι στο δίκτυο μας είναι πιο γρήγορη η μεταφορά δεδομένων όσο αυξάνονται οι σταθμοί.

Δεύτερον, παρατηρούμε ότι η σχέση αυτή δεν είναι γραμμική. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση του αριθμού των σταθμών δεν οδηγεί σε μια ίδια ποσοτική αύξηση του ρυθμού αποστολής. Αντιθέτως, παρατηρούμε μια μη γραμμική σχέση, όπου η αύξηση των σταθμών μπορεί να έχει διαφορετικές επιπτώσεις στον ρυθμό αποστολής, ανάλογα με την ποσότητα των σταθμών.



Βάσει των παρεχόμενων δεδομένων. Οι σταθμοί αυτοί παρουσιάζουν διάφορες μέσες καθυστερήσεις κατά τη μετάδοση των πακέτων. Ας εξετάσουμε τα συμπεράσματα που μπορούμε να βγάλουμε από αυτά τα δεδομένα:

Πρώτον, παρατηρούμε ότι η καθυστέρηση στο δίκτυο αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς περισσότεροι σταθμοί σημαίνουν περισσότερες διασυνδέσεις και ενδιάμεσους κόμβους που πρέπει να διασχίσουν τα πακέτα, οδηγώντας έτσι σε αυξημένη καθυστέρηση.

Δεύτερον, μπορούμε να συγκρίνουμε τις μέσες καθυστερήσεις μεταξύ των σταθμών. Για παράδειγμα, φαίνεται ότι ο σταθμός 25 έχει μικρότερη μέση καθυστέρηση από τον σταθμό 500. Αυτό υποδηλώνει ότι η μετάδοση πακέτων από τον σταθμό 25 είναι πιο γρήγορη σε σύγκριση με τον σταθμό 500.

Γράψτε Προτάσεις μελλοντικής επέκτασης της εργασίας σας

Η εργασία μας στο πλαίσιο του προτύπου 802.11ah και του Internet of Things (IoT) ανοίγει πολλές δυνατότητες για μελλοντική επέκταση και ανάπτυξη. Μπορούμε να εξετάσουμε αρκετές προοπτικές που ενδυναμώνουν ακόμη περισσότερο την εφαρμογή και τη σημασία αυτής της έρευνας.

Καταρχάς, μία από τις βασικές πτυχές που μπορούμε να εξετάσουμε είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στο πρότυπο 802.11ah. Προτείνουμε να επενδύσουμε στην έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνικών και αλγορίθμων που θα επιτρέπουν ακόμη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας για τις συσκευές που λειτουργούν με το πρότυπο αυτό. Αυτό είναι κρίσιμο για τη διατήρηση της βιωσιμότητας των συστημάτων IoT και την επέκτασή τους σε περισσότερες εφαρμογές.

Επίσης, προτείνουμε να εξερευνήσουμε τον τρόπο χρήσης του προτύπου 802.11ah σε νέες εφαρμογές του Internet of Things. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη σύνδεση και παρακολούθηση σενσόρων σε αγρούς για την παρακολούθηση των συνθηκών καλλιέργειας, τη χρήση σενσόρων υγείας για την παρακολούθηση της κατάστασης των ασθενών, και την αξιοποίηση του προτύπου για την έξυπνη διαχείριση της ενέργειας σε κτίρια.

Στον τομέα της ασφάλειας και του απορρήτου, προτείνουμε την ενσωμάτωση προηγμένων μηχανισμών κρυπτογράφησης και αυθεντικοποίησης για τη διασφάλιση των δεδομένων στα δίκτυα που βασίζονται στο 802.11ah. Αυτό είναι κρίσιμο για την προστασία της ευαισθητότητας των δεδομένων που μεταδίδονται σε εφαρμογές όπως η υγεία ή η ασφάλεια.

Επιπλέον, μπορούμε να εξετάσουμε τον τρόπο συνδυασμού του προτύπου 802.11ah με τεχνολογίες Edge Computing, για την επεξεργασία δεδομένων στον τοπικό επίπεδο. Αυτό βελτιώνει την απόκριση του συστήματος και επιτρέπει την παροχή πιο γρήγορων αποτελεσμάτων στις εφαρμογές IoT.

Βιβλιογραφία

[1] Ammar Rayes και Samer Salam, «Internet of Things from Hype to Reality The Road to Digitization »

[2] Μούρτου Αλεξία και Κυράνας Αναστάσιος , «Internet of Things», πτυχιακή εργασία, Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων, 2016.

[3] Keertikumar M., Shubham M., R.M. Banakar «Evolution of IoT in Smart Vehicles: An Overview », School of Electronics and Communication Engineering BVB Campus, KLE Technological University Hubli, India.

[4] i-tech4u.gr «Internet of Things σε απλά ελληνικά» Νοέμβριος 2014.

[5] Schneider Electric «IoT Business Report», 2016.

[6] Abbas Jamalipur, Marina Ruggieri, Homayoun Nikookar «Digitising the Industry – Internet of Things Connecting the Physical, Digital and Virtual Worlds» 2016, River Publishers.

[7] D. P Acharjya, M. Kalaiselvi «Internet of Things: Advances and Envisioned Applications», Springer International Publishing, 2017.

[8] Καστρινός Δημήτριος «Το Internet of Things και οι εφαρμογές του στην εφοδιαστική αλυσίδα και τα Logistics», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2018.

[9] Παπασταθοπούλου Αλεξάνδρα, «Internet of Things», Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Τμήμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Διπλωματική εργασία, Θεσσαλονίκη Φεβρουάριος 2017

[10] 802.11ah-2016 – IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks—Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 2: Sub 1 GHz License Exempt Operation.

[11] Tammy Parker (2013-09-02). "Wi-Fi preps for 900 MHz with 802.11ah". FierceWirelessTech.com. Retrieved 2014-06-25.

[12] "IEEE Standard for Information Technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 3: Enhancements for Very High Throughput to Support Chinese Millimeter Wave Frequency Bands (60 GHz and 45 GHz)". IEEE Std 802.11aj-2018. April 2018.

[13] Le Tian, Amina Sljivo, Serena Santi, Eli De Poorter, Jeroen Hoebeke, Jeroen Famaey. Extension of the IEEE 802.11ah NS-3 Simulation Module. Workshop on ns-3 (WNS3), 2018

[14] opensourceforu.com “An Introduction to ns-3” August 2015

[15] G. Carneiro, P. Fortuna, and M. Ricardo. 2009. FlowMonitor – a network monitor-

ing framework for the Network Simulator 3 (ns-3). In Proceedings of the Fourth International ICST Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools (VALUETOOLS '09). ACM, Pisa, Italy.

Παράρτημα Κώδικα

Ξεκινάμε με την εικονική μηχανή VirtualBox 7.0.8 με εγκατεστημένα LinuxUbuntu 18.04. Στην συνέχεια κάνουμε εγκατάσταση κάποια βασικά προγράμματα για να μπορούμε να υλοποιήσουμε την εργασία.

- Εγκατάσταση του ns-3 Simulator
- Εγκατάσταση του ahVisualizer

Εφόσον έχουμε εγκαταστήσει επιτυχώς τους κλώνους από το github,βρίσκουμε τους φακέλους που έχει γίνει η εγκατάσταση με δικαιώματα διαχειριστή για το ns3 (sudo su).

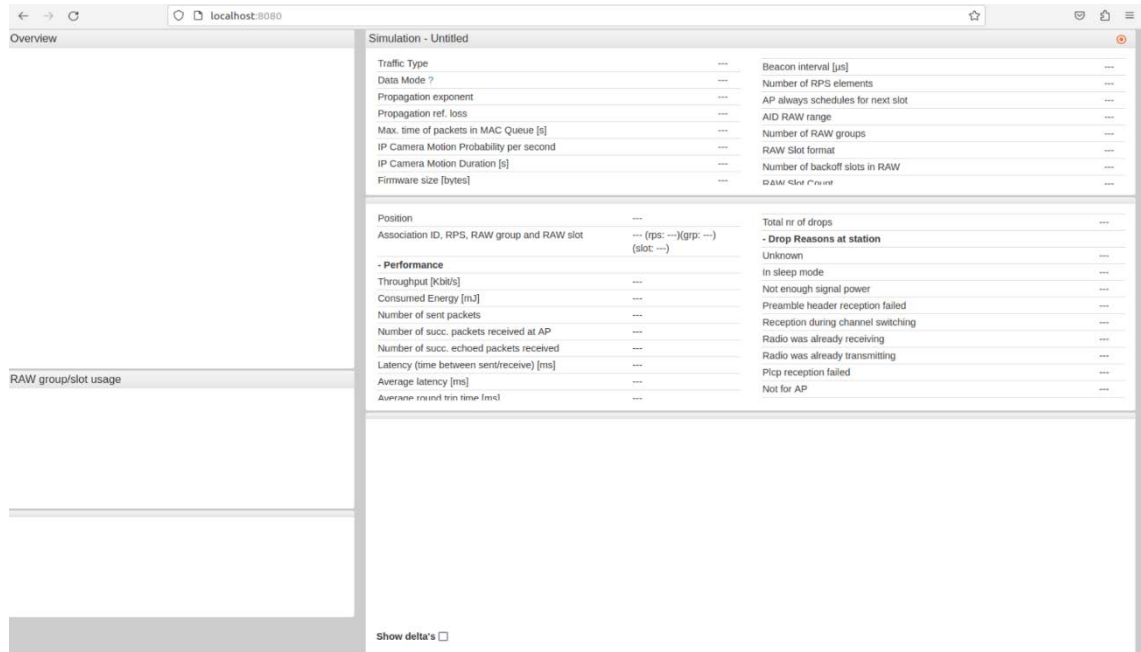
```
user@user-VirtualBox:~$ sudo su
[sudo] password for user:
root@user-VirtualBox:/home/user# ls
Desktop      Downloads      IEEE-802.11ah-ns-3  Pictures  Templates
Documents    examples.desktop  Music                Public    Videos
root@user-VirtualBox:/home/user# cd
root@user-VirtualBox:~# ls
ahVisualizer  IEEE-802.11ah-ns-3  snap
root@user-VirtualBox:~# cd IEEE-802.11ah-ns-3
```

Στην συνέχεια βρίσκουμε και το φάκελο του ahVisualizer για να έχουμε οπτικό πεδίο .

```
user@user-VirtualBox:~$ sudo su
[sudo] password for user:
root@user-VirtualBox:/home/user# cd
root@user-VirtualBox:~# ls
ahVisualizer  IEEE-802.11ah-ns-3  snap
root@user-VirtualBox:~# cd ahVisualizer
```

```
root@user-VirtualBox:~/ahVisualizer# cd forwardsocketdata
```

Επίσης,τρέχουμε από τον φάκελο forwardsocketdataτην εξής εντολή nodejs index.js για μας κάνει ένα LocalHost και να εξερευνήσουμε το ahVisualizer.



Ο κλώνος που κατεβάσαμε από το github έχει ήδη έτοιμα κάποια test που τα τρέξαμε και είδαμε πως δουλεύει το ns3. Εν συντομία φτιάξαμε κάποια δικά μας test που αντιστοιχούν σε 10 παραμέτρους.