

ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Τμήμα Πληροφορικής



Πτυχιακή Εργασία

Διάχυση Πληροφορίας σε Ασύρματα Περιβάλλοντα

Αικατερίνη Γεωργία Αλβανού

Αριθμός Μητρώου: Π2015168

Επιβλέπων: Αν. Καθηγητής Κωνσταντίνος Οικονόμου

Ιούνιος 2019

Επιβλέπων Καθηγητής

Κωνσταντίνος Οικονόμου, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Τριμελής Επιτροπή

Κωνσταντίνος Οικονόμου, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Μιχαήλ Στεφανιδάκης, Επίκουρος Καθηγητής,
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Θεόδωρος Ανδρόνικος, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Στην οικογένειά μου...

Περίληψη

Οι νέες τεχνολογικές επιτεύξεις τείνουν να γιγαντώνονται και να εκπλήσσουν με την πάροδο των ετών, γεγονός που συνεπάγεται τη δημιουργία ποικίλων και πολύπλοκων απαιτήσεων. Τα χρησιμοποιηθέντα συστήματα για παροχή διαφόρων ειδών υπηρεσιών προορίζονται για την ικανοποίηση ανθρώπινων αναγκών και επιθυμιών. Η ικανοποίηση αυτή οδεύει προς την αυτοματοποίηση, μια διαδικασία διόλου εύκολη.

Εμβαθύνοντας λίγο παραπάνω στο ζήτημα, είναι διακριτό το γεγονός ότι η καθημερινότητα των ανθρώπων κατακλύζεται από έξυπνες συσκευές και εργαλεία, ξεκινώντας από τα πιο μικρά σε μέγεθος και τα λιγότερο απαραίτητα για τη ζωή, όπως τηλέφωνα, τηλεοράσεις, ρολόγια, μέχρι και αυτά που είναι υψίστης σημασίας, όπως οι χώροι κατοικίας.

Το ερώτημα, όμως, που τίθεται είναι ποια η απόρροια όλων αυτών των εξελίξεων, σε προσωπικό, κοινωνικό, οικονομικό, περιβαλλοντικό και επιστημονικό επίπεδο. Εστιάζοντας στο τελευταίο, το μόνο βέβαιο είναι ότι το ενδιαφέρον όλων των ερευνητών στρέφεται στην εύρεση βέλτιστων λύσεων σε πολλούς τομείς και κατευθύνσεις.

Αναφορικά με τον τομέα των Δικτύων Υπολογιστών, ένα από τα κυριότερα αντικείμενα μελέτης είναι η διάχυση της πληροφορίας και συγκεκριμένα, ο τρόπος που μπορεί αυτή να επιτευχθεί με το λιγότερο δυνατό κόστος. Το κόστος σχετίζεται με τις απαιτήσεις σε υλιστικούς πόρους, σε χρονικά διαστήματα και σε ποσοστά ενέργειας.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί πολυάριθμοι μηχανισμοί για τη διάδοση και ανταλλαγή δεδομένων, μεταξύ των κόμβων που συντελούν ένα δίκτυο. Ανατρέχοντας στη σχετική βιβλιογραφία, φαίνεται ότι καθένας εξ αυτών διακρίνεται από κάποια θετικά και από κάποια αρνητικά χαρακτηριστικά, κάτι που κινείται στα πλαίσια του φυσιολογικού.

Εντούτοις, το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η διάχυση της πληροφορίας με τη βοήθεια της τεχνικής των τυχαίων περιπατητών. Η εν λόγω τεχνική μελετάται και αναλύεται σε βάθος και παράλληλα, εξετάζεται η απόδοσή της πειραματικά, γεγονός που αποτελεί και τη μεγαλύτερη συνεισφορά της έρευνας.

Ακριβολογώντας, η διεξαγωγή των πειραμάτων έχει πραγματοποιηθεί με την εγκαθίδρυση ενός πραγματικού ασύρματου δικτύου, οι κόμβοι του οποίου είναι τοποθετημένοι σε διάσπαρτα κτίρια του Ιονίου Πανεπιστημίου. Η επιλογή ελέγχου της απόδοσης σε ασύρματο – και όχι ενσύρματο – δίκτυο έχει να κάνει με το ότι αυτός ο τύπος δικτύων υπερσχύει και συναντάται σε περιβάλλοντα με υψηλό βαθμό αυτοματοποίησης, όπως αυτά που προαναφέρθηκαν.

Καθοριστικό ρόλο για την υλοποίηση αυτού του εγχειρήματος έχει διαδραματίσει ο εξοπλισμός, ο οποίος περιλαμβάνει Arduino Uno microcontroller board, Arduino Wireless SD Shield και XBee S2C Zigbee module με ασύρματη κεραία. Τα μέσα αυτά έχουν προτιμηθεί, χάριν στην απλότητα της χρήσης τους, στην καταλληλότητα τους σε διάφορα ερευνητικά πεδία και σκοπούς, καθώς και στο χαμηλό κόστος αγοράς τους.

Τα πειραματικά αποτελέσματα που προκύπτουν, τείνουν να συσχετίζονται σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό με τα θεωρητικά αποτελέσματα που έχουν προκύψει από πλήθος προσομοιώσεων. Αυτό επιβεβαιώνει την καταλληλότητα του χρησιμοποιηθέντος εξοπλισμού και την αποτελεσματικότητά του στην καταγραφή της συμπεριφοράς των τυχαίων περιπατητών. Ακόμη, τα παραγόμενα αποτελέσματα υποδεικνύουν πως αυτός ο μηχανισμός διάχυσης της πληροφορίας μπορεί να είναι αποδοτικός και να ολοκληρώνει το σκοπό του σε ασύρματα περιβάλλοντα, κυοφορώντας ελπίδες και για την εκπλήρωση των απαιτήσεων των έξυπνων συστημάτων, όπως αυτά που περιλαμβάνει ένα έξυπνο σπίτι.

Abstract

New technological achievements tend to grow and surprise over the years, which entails creating diverse and complex requirements. The systems used to provide different kinds of services are designed to meet human needs and desires. The ever-increasing levels of contentment have led to the undertaking of everyday automation, an endeavor not the least trouble-free.

Taking a closer look at this issue, evident is the fact that people's everyday life are influenced to a great extent by smart devices and tools, ranging from those small in size with less significant a role, such as phones, televisions, watches, all the way to those of vital importance, such as residential environments.

What one needs to ponder, however, is the consequences that such advancements entail on a personal, societal, economic, environmental and scientific level. Focusing on the latter, it is a certainly that the researchers' main point of interest is finding optimal solutions in various fields.

With regard to the area of Computer Networks, one of the leading subjects of study has been information dissemination and more specifically, the methods in which this can be achieved incurring the minimal cost. This cost is associated with requirements to material resources, time and energy levels.

Over time, multiple mechanisms have been proposed for the diffusion and exchange of data between the nodes that make up a network. Looking at the relevant literature, it would appear that each of them is distinguished by some positive and some negative characteristics, which is something to be expected.

Nevertheless, the subject of this work is the dissemination of information utilizing the technique of random walkers. This technique is studied and analyzed in depth, and its performance is examined experimentally, this being the most significant contribution of this research.

To be precise, the experiments were carried out with the establishment of a real

wireless network, the nodes of which are located in buildings scattered across the Ionian University campus. The decision of assessing performance on a wireless - not a wired - network is that this type of network is more prevalent and encountered in highly automated environments, such as those mentioned above.

A decisive role in the realization of this task has played the hardware that was selected, that being the Arduino Uno microcontroller board, the Arduino Wireless SD Shield and the XBee S2C Zigbee module with a wireless antenna. These tools are preferred because of the simplicity of their use, their suitability in various research fields and purposes, as well as their low purchase costs.

The experimental results that were obtained correspond to a very satisfactory degree with the theoretical results that have resulted from a number of simulations. This confirms the suitability of the equipment used and its effectiveness in evaluating the behavior of random walkers. Furthermore, the results derived indicate that this information dissemination mechanism can be efficient and fulfills its purpose in wireless environments, embodying hopes even for meeting the demands of intelligent systems, such as those found in a smart home.

Ευχαριστίες

Με την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας, ο κύκλος των προπτυχιακών σπουδών ολοκληρώνεται, γεγονός άκρως σημαντικό για την ατομική σταδιοδρομία. Κρίνω, λοιπόν, απαραίτητο να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν, καθ' όλη την διάρκεια ανάπτυξής της έως και την διεκπεραίωση της.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Κωνσταντίνο Οικονόμου που με τις πολύτιμες συμβουλές του και την καθοδήγησή του, με βοήθησε να φέρω εις πέρας αυτή την εργασία.

Εν συνεχεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα του Ιονίου Πανεπιστημίου, κύριο Κωνσταντίνο Σκιαδόπουλο και τον ακαδημαϊκό υπότροφο στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων κύριο Γεώργιο Τσουμάνη για τη συμβολή τους στην αντιμετώπιση όσων δυσχερειών προέκυψαν. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Αλέξανδρο, Κωνσταντίνο, Αστέριο, Σπύρο, Ανδρεάνα και Ευγενία για τις συμβουλές και την στήριξή τους.

Τέλος, η παρούσα εργασία υποστηρίχθηκε εν μέρει από το έργο «Πιλοτικό Σύστημα Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων Συγχρονισμένης Παρακολούθησης Κλιματολογικών και Εδαφολογικών Παραμέτρων σε Ελαιώνες», το οποίο υλοποιείται στο πλαίσιο του ΕΣΠΑ 2014-2020 - Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ιόνια Νησιά 2014-2020».

Περιεχόμενα

A´	Εισαγωγή	1
A´.1	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	3
A´.2	Συνεισφορά Εργασίας	7
A´.3	Δομή Εργασίας	7
B´	Έξυπνα Σπίτια και Διάχυση Πληροφορίας	9
B´.1	Δομικά Στοιχεία	9
B´.2	Δίκτυα Οικιακής Περιοχής	12
Γ´	Οι Τυχαίοι Περιπατητές στη Διάχυση Πληροφορίας	16
Γ´.1	Καθολική Μετάδοση Πληροφορίας	16
Γ´.2	Τρόπος Λειτουργίας των Random Walkers	17
Γ´.3	Μοντέλο Multiple Random Walkers	18
Γ´.4	Μοντέλο Replicated Random Walkers	19
Δ´	Περιγραφή Συστήματος	21
Δ´.1	Arduino Uno & Arduino Wireless SD Shield	21
Δ´.2	XBee S2C Zigbee Module	23
Δ´.2.1	Τύποι Κόμβων	23
Δ´.2.2	Το Πρωτόκολλο Zigbee	24
Δ´.2.3	Επίπεδα Zigbee	25
Δ´.2.4	Τύποι Λειτουργίας	25
Δ´.2.5	Εντολές AT	26

Ε΄	Αξιολόγηση Τυχαίων Περιπατητών σε Πραγματικό Ασύρματο Δίκτυο	29
Ε΄.1	Διάταξη του Δικτύου	29
Ε΄.2	Υλοποίηση Τυχαίων Περιπατητών	31
Ε΄.2.1	Αρχικοποίηση των Κόμβων του Δικτύου	32
Ε΄.2.2	Έναρξη της Κάλυψης του Δικτύου	33
Ε΄.2.3	Συλλογή Αποτελεσμάτων	34
Ε΄.3	Πειραματικά Αποτελέσματα	34
Γ΄	Σύνοψη και Συμπεράσματα	48
	Βιβλιογραφία	50
	Παραρτήματα	60
I	Διαχείριση Μηνυμάτων Σχετικών με Random Walkers	61
	Πίνακας Δημοσιεύσεων	63
	Γλωσσάρι Ξενικών Όρων	64
	Συμβολισμοί Μεγεθών	66
	Συντομογραφίες	67
	Ευρετήριο	68

Κατάλογος Σχημάτων

Δ'.1 Το σύστημα που περιγράφεται παραπάνω. Ξεκινώντας από κάτω, ένα Arduino Uno απεικονίζεται, μαζί με το breadboard του, ένα Arduino Wireless SD Shield και στην κορυφή, ένα XBee S2C Zigbee module με ασύρματη κεραία.	28
Ε'.1 Κόμβοι (κύκλοι) που απαρτίζουν την πανεπιστημιούπολη. Οι γραμμές αντιστοιχούν στους τοίχους των κτιρίων.	30
Ε'.2 Αριθμός της κατανομής των γειτόνων στο πραγματικό δίκτυο που βρίσκεται στα κτίρια του Ιονίου Πανεπιστημίου και στις προσομοιώσεις, με τους κόμβους να βρίσκονται στην ίδια θέση με το μοντέλο SRGG με $r_c = 0.300$ και $\gamma = 8$. Στον άξονα y βρίσκεται ο αριθμός των κόμβων που έχει τον αντίστοιχο αριθμό γειτόνων του άξονα x	32
Ε'.3 Πειραματικά και Αναλυτικά αποτελέσματα για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου για 2, 4, 8 random walkers (χρόνος σε αριθμό hops). . .	35
Ε'.4 Πειραματικά αποτελέσματα για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου για 1, 2, 4 και 8 random walkers (χρόνος σε milliseconds).	36
Ε'.5 Πειραματικά και Αναλυτικά αποτελέσματα για το χρόνο κάλυψης του πραγματικού δικτύου για 1, 2, 4 και 8 random walkers (χρόνος σε αριθμό hops).	37
Ε'.6 Πειραματικά αποτελέσματα για το χρόνο κάλυψης του πραγματικού δικτύου για 1, 2, 4 και 8 random walkers (χρόνος σε milliseconds). . . .	38
Ε'.7 Πειραματικά αποτελέσματα για το χρόνο κάλυψης του πραγματικού δικτύου, με τη χρήση 8 random walkers, καθώς και με το μηχανισμό του replication, ο οποίος ξεκινά με 1 random walker (χρόνος σε αριθμό hops).	39

Ε'.8 Πειραματικά αποτελέσματα για το χρόνο κάλυψης του πραγματικού δικτύου, με τη χρήση του μηχανισμού replication, ο οποίος ξεκινά με 1 random walker από δύο διαφορετικά σημεία εκκίνησης (χρόνος σε αριθμό hops).	40
Ε'.9 Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου με 1 random walker.	41
Ε'.10 Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου με 2 random walkers.	42
Ε'.11 Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου με 4 random walkers.	43
Ε'.12 Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου με 8 random walkers.	44
Ε'.13 Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου, με τη χρήση του μηχανισμού replication, ο οποίος ξεκινά με 1 random walker.	45
Ε'.14 Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου, με τη χρήση του μηχανισμού replication, ο οποίος ξεκινά με 2 random walkers.	46
Ε'.15 Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου, με τη χρήση του μηχανισμού replication, ο οποίος ξεκινά με 4 random walkers.	47

Κατάλογος Πινάκων

<i>Δ'.1 Προδιαγραφές Arduino Uno.</i>	22
<i>Δ'.2 Τα Επίπεδα Zigbee.</i>	26

Κεφάλαιο Α΄

Εισαγωγή

ΑΠΟ την απαρχή της ανθρώπινης ύπαρξης, ο άνθρωπος με τον ιδιαίτερα πολύπλοκο εγκέφαλό του, ο οποίος του προσδίδει ανεπτυγμένη διανοητική ικανότητα, διακατέχεται από την επιθυμία να επεξεργαστεί και να κατανοήσει το περιβάλλον του, αναζητώντας απαντήσεις σε διάφορα φαινόμενα και λύσεις σε ποικίλα εμπόδια. Με το πέρασμα των αιώνων, το ανθρώπινο είδος έχει αναπτύξει θεωρίες και τεχνικές, μέσω των οποίων το βιοτικό επίπεδο χαρακτηρίζεται από μία ανοδική πορεία. Διανύοντας τον 21^ο αιώνα, θα έλεγε κανείς πως σε θέση ισχύος βρίσκονται τα τεχνολογικά επιτεύγματα, τα οποία προσδίδουν πολυάριθμες δυνατότητες από τη σκοπιά της επικοινωνίας, της ψυχαγωγίας, της εκπαίδευσης και της υγείας. Ωστόσο, αυτή η ακμάζουσα τεχνολογική πρόοδος δημιουργεί παράλληλα νέες ανάγκες και απαιτήσεις, τόσο στην καθημερινή ζωή των ατόμων, όσο και στην επιστήμη της Πληροφορίας.

Κύριο πυλώνα της επιστήμης της Πληροφορίας αποτελεί ο τομέας των Δικτύων Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, ο οποίος δεν έχει μείνει ανεπηρέαστος από την προαναφερόμενη τεχνολογική εξέλιξη. Πιο συγκεκριμένα, η διαμόρφωση και διαχείριση δικτύων χαμηλού κόστους, αλλά υψηλών δυνατοτήτων γίνεται πραγματικότητα, ενώ άλλοτε φάνταζε σαν κάτι το αδύνατο. Τρανή απόδειξη αυτού αποτελεί το *Διαδίκτυο των Πραγμάτων*, ευρέως διαδεδομένο και ως Internet of Things (IoT) , το οποίο περιγράφει τη δυνατότητα διασύνδεσης ατόμων, μηχανών, οικιακών συσκευών, απλών αντικειμένων και διαδικασιών, ώστε μέσω της μεταξύ τους επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης, να επιτυγχάνεται ο αυτοματισμός και η ανταλλαγή δεδομένων, λειτουργίες που αντικατοπτρίζουν μια πληθώρα αυξανόμενων απαιτήσεων. Στις παραπάνω δυνατότητες, η εισαγωγή και η ενσωμάτωση της 5^{ης} γενιάς τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών (5G)

[1],[2],[3] φαίνεται να διαδραματίζει έναν ωφέλιμο για την καινοτομία του IoT ρόλο, διευκολύνοντας μια πληθώρα διαδικασιών.

Η διαρκής ανάπτυξη του IoT, μέσω της προσθήκης χρηστών και συσκευών, έχει επεκτείνει την παροχή υπηρεσιών σε ποικίλους κλάδους και κατευθύνσεις, μεταξύ των οποίων τα Έξυπνα Σπίτια ή Smart Homes, η μελέτη και εδραίωση των οποίων ευδοκιμούν και συναντούν ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον [4],[5],[6],[7]. Το ευρύτερο έξυπνο οικιακό περιβάλλον είναι εξοπλισμένο με ένα πλήθος συστημάτων και αισθητήρων, εγκατεστημένων κι εμφυτευμένων σε διάσπαρτα σημεία και καθημερινές συσκευές, με τις δεύτερες να επικοινωνούν ασύρματα [8], [9]. Απώτερος σκοπός είναι η ενίσχυση της άνεσης, της ευχαρίστησης και της ασφάλειας των ανθρώπων που πλαisiώνουν ένα σπίτι, με το μικρότερο δυνατό καταναλωτικό κόστος σε ενέργεια.

Στα πλαίσια της σωστής λειτουργικότητας και πλήρους αποδοτικότητας τέτοιου είδους συστημάτων, όπως αυτά των Έξυπνων Πόλεων, των Έξυπνων Σπιτιών, του Έξυπνου Τουρισμού, κ.ά., νέες τεχνολογίες βρίσκονται στο προσκήνιο και κερδίζουν έδαφος. Εξ' αυτών, αξιοσημείωτες είναι οι κεραίες XBee και τα Arduino boards που είναι δημοφιλή για τις προσιτές τους τιμές και την ευκολία χρήσης τους για πολυάριθμους σκοπούς [10], [11]. Ειδικότερα, ο συνδυασμός τους επιτρέπει την ανάπτυξη περίπλοκων και εξεζητημένων έργων, μεταξύ των οποίων η αυτοματοποίηση διαδικασιών, η οποία κυριαρχεί στον κλάδο του IoT.

Εγχειρήματα, όπως αυτό των έξυπνων σπιτιών, απαιτούν την εύρεση τεχνικών που προσφέρουν την μεγαλύτερη δυνατή μείωση του όγκου και του μεγέθους των μεταδιδόμενων δεδομένων, επιτρέποντας την απρόσκοπτη ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των μυριάδων συσκευών. Η διαδικασία διάχυσης της πληροφορίας σε αυτούς τους τύπους περιβαλλόντων επιτυγχάνεται συνήθως με τη συμβατική τεχνική της πλημμυρίδας ή flooding. Παρά ταύτα, αυτή η τεχνική συνεπάγεται μια ποικιλία προβλημάτων [12], μεταξύ των οποίων είναι ο μεγάλος αριθμός μεταδόσεων και το σημαντικό κόστος ενέργειας που αυτές απαιτούν. Λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτές είναι οι κύριες ανησυχίες στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων – ευρέως γνωστά ως Wireless Sensor Networks (WSNs) –, καθώς οι συσκευές είναι κυρίως τροφοδοτούμενες από μπαταρία, οι τυχαίοι περιπατητές ή αλλιώς random walkers έχουν μελετηθεί ως εναλλακτική λύση.

Ο μηχανισμός του random walker, παρά τον πιθανοτικό του χαρακτήρα, είναι ικανός να επισκέπτεται ή να καλύπτει ένα μεγάλο μέρος του δικτύου αρκετά γρήγορα στις περισσότερες περιπτώσεις. Είναι κατάλληλος για πληθώρα διαφορετικών τοπολογιών και περιβαλλόντων, ειδικά λόγω της απλότητας του και του μικρού αριθμού μηνυμάτων

που απαιτείται. Επιπλέον, το γεγονός ότι ένα δίκτυο μπορεί να απαρτίζεται από πολλούς τυχαίους περιπατητές (multiple random walkers) , ή ακόμα και η ικανότητά τους να δημιουργούν πανομοιότυπα των εαυτών τους (replicated random walkers) , συνιστά σημαντικό κέρδος στην απόδοση, όταν πρόκειται για το συνολικό χρόνο (χρόνος τερματισμού) που δαπανάται για να καλύψει ένα δίκτυο. Ο χρόνος κάλυψης, δηλαδή ο χρόνος στον οποίο ένας random walker επισκέφθηκε έναν κόμβο για πρώτη φορά ονομάζεται και covered time.

Α'.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ήδη από το 2006, οι συγγραφείς του [13] μελετούν τη διάδοση πληροφορίας σε διάχυτα συστήματα (pervasive systems), τα οποία περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση υπολογιστικών συστημάτων σε καθημερινά αντικείμενα και αποτελούν κομμάτι του τρόπου ζωής, στοχεύοντας στην ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών. Σε αυτά τα συστήματα, προκειμένου να υλοποιηθούν οι απαραίτητες εφαρμογές, η πληροφορία δρομολογείται από διαφόρων ειδών αισθητήρες με τελικό προορισμό τις συσκευές που αυτά περιλαμβάνουν. Για την επίτευξη αυτής της διαδικασίας, λοιπόν, οι συγγραφείς αξιολογούν την απόδοση αλγορίθμων gossiping σε σενάρια του πραγματικού κόσμου.

Προχωρώντας στο [14], παρουσιάζονται αναλυτικά διάφορες εφαρμογές έξυπνων δικτύων, οι οποίες επιτυγχάνονται, μέσω τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας, εξαιτίας της ευκολίας και του χαμηλού κόστους εγκατάστασης, της κινητικότητας και της καταλληλότητας τους για απομακρυσμένες εφαρμογές. Εκτός, όμως, της παρουσίασης, γίνεται λόγος και για τις προκλήσεις της κάθε τεχνολογίας ξεχωριστά.

Συμπληρωματική θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η έρευνα [15], η οποία επικεντρώνεται στις προκλήσεις από τις οποίες διακατέχονται οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας στα έξυπνα δίκτυα. Μεταξύ αυτών βρίσκονται η εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας και η βελτίωση της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο.

Όσον αφορά συγκεκριμένα τα έξυπνα σπίτια, το [16] υποστηρίζει ότι πολλά από τα συστήματα υπολογιστών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να ενσωματωθούν στα συστήματα των έξυπνων σπιτιών. Έτσι, εξηγεί το τρόπο λειτουργίας και εφαρμογής πολλών τεχνολογιών και εργαλείων στα έξυπνα οικιακά συστήματα.

Η συγγραφική ομάδα του Teng [17] περιστρέφεται γύρω από τη διαχείριση των διαφόρων υποσυστημάτων τους, μέσω μιας οικιακής πύλης (residential gateway), η οποία παρέχει υπηρεσίες οικιακής ασφάλειας, παρακολούθησης αποθεμάτων, διαχείρισης

εγκαταστάσεων και οικογενειακής φροντίδας σε ένα έξυπνο οικιακό περιβάλλον. Το σύστημα που προτείνεται, δοκιμάστηκε επιτυχώς στα πλαίσια εξομοίωσης, μέσω ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων Zigbee.

Στο [18] παρουσιάζεται μια εφαρμογή σχετική με το IoT και πιο συγκεκριμένα, με την διασύνδεση των έξυπνων σπιτιών. Καθορίζεται η αρχιτεκτονική αυτής, καθώς και ο τρόπος επίτευξης ασφαλούς και ισχυρής δικτύωσης μεταξύ μεμονωμένων σπιτιών. Από την άλλη, ο Baccelli [19] προσέγγισε το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και τα έξυπνα σπίτια, με βάση το Information Centric Networking (ICN), εξετάζοντας τα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις. Για την ακρίβεια, επικεντρώνεται σε ζητήματα, αναφορικά με τη βελτίωση των μηνυμάτων και της ενεργειακής απόδοσης.

Σε πιο πρόσφατη έρευνα [20], γίνεται λόγος για ένα σύστημα με δύο τύπους λειτουργίας, το οποίο στοχεύει στην παρακολούθηση και τον έλεγχο των οικιακών συσκευών. Στο πρώτο τύπο, γίνεται χρήση μιας εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα με εικονικούς διακόπτες, ενώ ο δεύτερος βασίζεται στη συζήτηση με εντολές χειμένου ή ήχου.

Συνεχίζοντας την επισκόπηση με τους random walkers, ο μηχανισμός τους έχει μελετηθεί εκτενώς στο παρελθόν σε γράφους και δίκτυα. Στην περίπτωση των γράφων, ο Lovász [21] περιγράφει με άκρως λεπτομερές τρόπο, τις διάφορες παραμέτρους, σχετικά με την απόδοση αυτού του μηχανισμού. Τέτοιες παράμετροι αφορούν το χρόνο εκκίνησης των random walkers, το χρόνο μετακίνησης τους και το χρόνο κάλυψης του δικτύου.

Καθοριστική θα μπορούσε να θεωρηθεί η έρευνα [22], η οποία τονίζει πως ο χρόνος κάλυψης – ουσιαστικά ο χρόνος που απαιτείται για την επίσκεψη σε κάθε κόμβο τουλάχιστον μία φορά – είναι ταχύτερος με multiple random walkers, συγκριτικά με τον ένα random walker, μελετώντας ένα ικανοποιητικό σύνολο γράφων. Την έρευνα αυτή έρχεται και συμπληρώσει η [23], παρέχοντας αυστηρότερα όρια για την ταχύτητα της κάλυψης που αποκτήθηκε από multiple random walkers.

Στο [24] κυριαρχεί η μελέτη των κανονικών γράφων (regular graphs) και πιο αναλυτικά, των ιδιοτήτων των multiple random walkers, εστιάζοντας κυρίως στο χρόνο κάλυψης, διερευνώντας παράλληλα και πιθανές τους χρήσεις. Εκτός αυτού, οι συγγραφείς του [25] προσεγγίζουν με έναν όχι τόσο παραδοσιακό τρόπο τη συγκεκριμένη τεχνική σε αυτούς τους γράφους, δείχνοντας ότι με αρκετά μεγάλη πιθανότητα ο χρόνος κάλυψής τους είναι $O(n \log n)$.

Στην κατηγορία των τυχαίων γεωμετρικών γράφων, οι συγγραφείς του [26] εξετάζουν την χρονική κάλυψη ενός δικτύου, η οποία είναι ταχύτερη με multiple random

walkers και συνάγουν ότι υπάρχει μια ελάχιστη ακτίνα συνδεσιμότητας για την οποία, ο χρόνος κάλυψης του δικτύου είναι βέλτιστος με μεγάλη πιθανότητα.

Με τα τρέχοντα τεχνολογικά δρώμενα και ειδικότερα, με την εμφάνιση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, οι random walkers μπήκαν ξανά στο προσκήνιο, ως μέσο διάδοσης πληροφοριών σε όλο το δίκτυο. Στο [27] γίνεται μια πλήρης ανάλυση της κάλυψης του δικτύου, σε σχέση με το χρόνο, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι είναι ανεξάρτητη από την πυκνότητα των συνδέσεων μεταξύ των κόμβων, διαμορφώνοντας αρκετές εξισώσεις, επιδεικνύοντας τη συμπεριφορά τους.

Σε θέματα που αφορούν τα δίκτυα 'peer-to-peer', η έρευνα [28], εντοπίζει περιπτώσεις όπου οι random walkers είναι πιο αποτελεσματικοί από το flooding, με βασικό τεχνικό συστατικό της προσέγγισής της, ένα αποτέλεσμα των στοχαστικών διαδικασιών που δείχνει ότι, τα δείγματα που λαμβάνονται από διαδοχικά βήματα ενός τυχαίου περιπάτου σε ένα γράφο μπορούν να επιτύχουν στατιστικές ιδιότητες παρόμοιες με αυτές των ανεξάρτητων δειγματοληψιών. Σε μια άλλη έρευνα των ίδιων συγγραφέων, οι μηχανισμοί του flooding και των random walkers συνδυάζονται για να προσεγγίσουν τα υβριδικά συστήματα αναζήτησης.

Στο ίδιο είδος δικτύων, οι Zhong και Shen [29] διερευνούν την αύξηση της απόδοσης, μέσω τυχαίων περιπάτων σε τεχνικές αναζήτησης, ενώ στο [30] αναφέρεται ότι η χρήση τους έχει ως αποτέλεσμα τη μετάδοση λιγότερων μηνυμάτων, μελετώντας παράλληλα, μέσω προσομοίωσης, διάφορες εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τη στρατηγική αναπαραγωγής δεδομένων και την τοπολογία ενός δικτύου.

Ένα διαδεδομένο χαρακτηριστικό των random walkers είναι η συχνή επανεξέταση/επανεπίσκεψη των ήδη καλυμμένων κόμβων. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να δυσχεράνει τη συνολική κάλυψη του δικτύου, αφού είναι αρκετά πιθανό, οι random walkers να μην επισκεφθούν ούτε μία φορά αρκετούς κόμβους. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου, έχουν προταθεί πολλοί μηχανισμοί. Επί παραδείγματι, στο [31], εξετάζεται μια μέθοδος για την κατευθυντική κίνηση, η οποία στοχεύει στη μεταφορά των walkers σε μια μακρινή γεωγραφική περιοχή του δικτύου, προκειμένου αυτοί να απομακρυνθούν από περιοχές κόμβων που έχουν ήδη καλυφθεί.

Ακόμα, στο [32] προτείνεται μια παρόμοια προσέγγιση, κατάλληλη για ασύρματα δίκτυα με ομοιόμορφη κατανομή, όπου οι walkers πετυχαίνουν μεγαλύτερα άλματα με την ενίσχυση του εύρους μετάδοσης ενός κόμβου, περιλαμβάνοντας ένα γείτονα πέρα του καθορισμένου πεδίου, με τη χρήση σχετικού αλγορίθμου.

Μια εναλλακτική πρόταση, μέσω της οποίας το προαναφερθέν ζήτημα αντιμετωπί-

ζεται, αφορά την αναπαραγωγή των random walkers. Η έρευνα [33] επικεντρώνεται στον μηχανισμό του replication, υποστηρίζοντας ότι μέσω αυτού επιτυγχάνεται μείωση του συνολικού αριθμού κινήσεων, μειώνοντας τον αριθμό των αρχικών επανεπισκέψεων στους ήδη καλυμμένους κόμβους. Συμπληρωματικά, στο [34] παρουσιάζεται ένας μηχανισμός αναζήτησης, ο οποίος μειώνει αποτελεσματικά τη χρονική καθυστέρηση, εξαιτίας των τυχαίων περιπάτων, χάριν στην ιδιότητα του self replication.

Επιπλέον, στο [35], η συγγραφική ομάδα ασχολείται με την διάδοση πληροφοριών, μέσω της χρήσης τυχαίων replications, προσφέροντας περισσότερες επιλογές για την επίτευξη αυτής, συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους. Ωστόσο, η ίδια ομάδα συγγραφέων σε άλλη έρευνα [36], εστιάζει στον ίδιο μηχανισμό, προτείνοντας και διερευνώντας 2 διαφορετικές πολιτικές, όπου η 1^η αφορά τη δημιουργία replicas, βάσει μιας εκθετικά φθίνουσας πιθανότητας, ενώ η 2^η, βάσει της τοπολογίας.

Περνώντας στα σύγχρονα δυναμικά δικτυακά περιβάλλοντα, στο [37] μελετάται η κάλυψη του δικτύου σε γεωμετρικούς τυχαίους γράφους διαφορετικών πυκνοτήτων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συμπίπτουν με προηγούμενες έρευνες [33] σε πλήρως συνδεδεμένες τοπολογίες, οι οποίες υποστηρίζονται από σχετικές προσομοιώσεις. Τα συμπεράσματά τους εξετάζονται περαιτέρω στο παρόν έγγραφο, ώστε να αξιολογηθεί πειραματικά η εγκυρότητά τους.

Μια σειρά από έρευνες, σχετικά με την υλοποίηση ασύρματων δικτύων αισθητήρων – και όχι μόνο – χρησιμοποιούν Arduino και XBee ως κύρια εργαλεία τους, συμπίπτοντας με το σύστημα που εφαρμόζεται στην παρούσα έρευνα. Στο [38] αναλύεται λεπτομερώς η διαδικασία δημιουργίας ενός συστήματος για τη μέτρηση της απόστασης στα πλαίσια των ορατών περιοχών, ενώ στην [39] αναλύεται ένας μηχανισμός για την απλή συγχώνευση δεδομένων σε μικροελεγχόμενους κόμβους αισθητήρων.

Το [40] επικεντρώνεται στην αύξηση της απόδοσης μιας τοπολογίας ομαδοποίησης, κατασκευάζοντας ένα σύστημα αισθητήρων, ενώ το [41] προτείνει μια αρχιτεκτονική για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, για πληροφορίες που σχετίζονται με το Internet of Mobile Things.

Στο [42] κύριο στόχο αποτελεί η αυτοματοποίηση του σπιτιού, μέσω ενός συστήματος με αισθητήρες κίνησης, του οποίου η λειτουργία στηρίζεται σε Arduino και XBee. Στο ίδιο μήκος κύματος κινείται και το [43], όπου προτείνεται ένα αυτοματοποιημένο σύστημα, το οποίο προσπαθεί να ενσωματωθεί με την εφαρμογή Android, με σκοπό τη διαλειτουργικότητα του δικτύου.

Εκ παραλλήλου, τα ίδια μέσα χρησιμοποιήθηκαν και στην έρευνα [44], της οποίας το

πεδίο μελέτης είναι αρκετά πρωτότυπο, μιας και αφορά τη μέτρηση των χαρακτηριστικών μιας αποτελεσματικής και πετυχημένης βολής με σφυρί, φανερώνοντας την πρακτική αξία και την προσαρμοστικότητα των Arduino και XBee σε αμέτρητες κατασκευές και ιδέες.

Α΄.2 Συνεισφορά Εργασίας

Στην παρούσα εργασία, οι επιδόσεις των random walkers εξετάζονται πειραματικά υπό ρεαλιστικές συνθήκες, αναπτύσσοντας ένα ασύρματο δίκτυο στα κτίρια της πανεπιστημιούπολης του Ιονίου Πανεπιστημίου. Πρόκειται για ένα ασύρματο δίκτυο που βασίζεται στην κεραία Zigbee για σκοπούς μέσου ελέγχου πρόσβασης, χρησιμοποιώντας ένα Arduino board. Το εν λόγω δίκτυο αποτελείται από 25 κόμβους διάσπαρτους μεταξύ των κτιρίων της πανεπιστημιούπολης.

Συγκεκριμένα, με την διεξαγωγή των πειραμάτων παρακολουθείται η κάλυψη του δικτύου (covered time), δηλαδή ο αριθμός των κόμβων που έχει επισκεφθεί ένας random walker, συναρτήσει του συνολικού αριθμού βημάτων (τα λεγόμενα hops), καθώς και της απαιτούμενης χρονικής περιόδου. Επιπρόσθετα, διερευνάται η περίπτωση multiple και replicated random walkers, έτσι ώστε να αξιοποιηθεί πλήρως το εύρος των δυνατοτήτων τους για την ταχύτερη κάλυψη του δικτύου. Τα παραγόμενα πειραματικά αποτελέσματα συμπίπτουν με τα προηγούμενα αναλυτικά αποτελέσματα προσομοιώσεων, παρέχοντας παράλληλα ένα σημείο αναφοράς για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα που απαιτείται σε ένα πραγματικό σενάριο.

Πρόκειται για μία έρευνα, της οποίας το μεγαλύτερο προτέρημα είναι η εφαρμογή ενός ευρέως διαδεδομένου μηχανισμού διάχυσης πληροφορίας σε ένα πραγματικό δίκτυο και όχι σε κάποιον προσομοιωτή. Τα τελικά αποτελέσματα υποδεικνύουν την καταλληλότητα του μηχανισμού ακόμη και σε έξυπνα ασύρματα περιβάλλοντα, τα οποία έχουν πυροδοτήσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων, εφόσον διέπουν την τρέχουσα καθημερινότητα.

Α΄.3 Δομή Εργασίας

Η συγκεκριμένη εργασία έχει κατανεμηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να εισάγει τον αναγνώστη σταδιακά στο κύριο πεδίο ενδιαφέροντός της, στοχεύοντας κυρίως στην όσο

το δυνατό βαθύτερη κατανόηση του αντικειμένου μελέτης. Για το λόγο αυτό, ακολουθεί το μοτίβο του παραγωγικού συλλογισμού, ξεκινώντας με πιο γενικές έννοιες και καταλήγοντας στις πιο ειδικές.

Πιο συγκεκριμένα, το Κεφάλαιο Β΄ εστιάζει στο ρόλο, τα χαρακτηριστικά και τις μεθόδους επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων στα έξυπνα σπίτια, ενώ το Κεφάλαιο Γ΄ παρέχει μια εκτενή περιγραφή της λειτουργίας των random walkers. Η αρχιτεκτονική του χρησιμοποιηθέντος συστήματος παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο Δ΄. Η αξιολόγηση της απόδοσης των random walkers ως τεχνική διάχυσης πληροφορίας, με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα αναλύεται στο Κεφάλαιο Ε΄ και, τέλος, τα συμπεράσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο Γ΄.

Κεφάλαιο Β΄

Έξυπνα Σπίτια και Διάχυση Πληροφορίας

Η νέα τάση της ανθρωπότητας κατευθύνει το ενδιαφέρον σε περιβάλλοντα υψηλών επιπέδων αυτοματοποίησης και απαιτήσεων. Τέτοια περιβάλλοντα θεωρούνται και τα έξυπνα σπίτια, τα οποία χαρακτηρίζονται από ακόμα υψηλότερες επικοινωνιακές ανάγκες. Το παρόν κεφάλαιο κάνει μια εκτενή αναφορά στις θεμελιώδεις αρχές διαμόρφωσης και λειτουργίας των έξυπνων σπιτιών.

Β΄.1 Δομικά Στοιχεία

Κάνοντας κανείς μια αναδρομή στη βιβλιογραφία και τα λεξικά, θα δει ότι τα έξυπνα σπίτια ορίζονται με παραπάνω από έναν τρόπους, από τους οποίους κάποιοι συμπίπτουν και κάποιοι διαφέρουν αρκετά. Με απλά λόγια, ένα έξυπνο σπίτι είναι ένας φυσικός χώρος, εξοπλισμένος με συστήματα προηγμένης τεχνολογίας, κατάλληλα για αυτοματοποίηση διαδικασιών, αποσκοπώντας στον καλύτερο και ορθότερο έλεγχο των λειτουργιών ενός κτιρίου [45]. Πιο συγκεκριμένα, ένα έξυπνο σπίτι μπορεί να διαθέτει συστήματα κλειδώματος, ασφαλείας, ιατρικής επιθεώρησης, καθαρισμού και ψυχαγωγίας, ποικίλους μετρητές και αισθητήρες, ηλεκτρικές συσκευές, συσκευές εκπομπής φωτός, θέρμανσης και εξαερισμού [46].

Ωστόσο, ένα κυρίαρχο ερώτημα, δεδομένου ότι τα έξυπνα σπίτια ευδοκιμούν τη τρέχουσα χρονική περίοδο, είναι ποιοι λόγοι ωθούν τα άτομα στην κατοίκησή τους. Πρωτίστως, οι εντατικοί ρυθμοί ζωής που επικρατούν, μετατρέπουν τον ελεύθερο χρόνο

σε πολυτέλεια, με συνέπεια το άτομο να αναζητά γρήγορες και έξυπνες λύσεις για ζητήματα της καθημερινότητάς του, όπως η μαγειρική, η θέρμανση, η καθαριότητα κ.ά. Για το λόγο αυτό, στρέφεται στη τεχνολογία και την αυτοματοποίηση που παρέχει ένα έξυπνο σπίτι.

Σημαντικός παράγοντας που τα έξυπνα σπίτια μονοπωλούν το ενδιαφέρον, είναι η εξυπηρέτηση και η εξομάλυνση των προβλημάτων των ευπαθών κοινωνικών ομάδων (ηλικιωμένοι, άτομα με ειδικές ανάγκες κτλ.) που αυτά προσφέρουν. Αυτή η μερίδα αντιμετωπίζει εμπόδια ακόμη και στην κάλυψη των βασικών αναγκών, για αυτό και προτιμά τα έξυπνα οικιακά περιβάλλοντα που τους παρέχουν υψηλότερα επίπεδα άνεσης και ευκολίας.

Εκτός των προαναφερθέντων, η διάδοση και απήχηση των έξυπνων σπιτιών φαίνεται να ενισχύεται, εξαιτίας των περιβαλλοντικών προβλημάτων που το ανθρώπινο είδος καλείται να αντιμετωπίσει. Τα ανεξέλεγκτα ποσοστά ρύπανσης και μόλυνσης κατευθύνουν τον άνθρωπο στην εύρεση νέων και λιγότερο κοστοβόρων λύσεων. Έτσι, τα έξυπνα σπίτια με την εξοικονόμηση ενέργειας που παρέχουν, αποτελούν μια διέξοδο.

Βεβαίως είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι τα έξυπνα σπίτια, όπως και όλες οι τεχνολογικές εφευρέσεις εμφανίζουν πλείστα όσα πλεονεκτήματα και ασφαλώς μειονεκτήματα. Μολονότι, είναι στην ατομική κρίση του καθενός σε ποια από τις δύο κατηγορίες θα εστιάσει.

- Πλεονεκτήματα έξυπνων σπιτιών

Άνεση: Τα έξυπνα σπίτια είναι αναμφίβολα πιο βολικά από τα παραδοσιακά. Όλα τα συστήματα μπορούν να αυτοματοποιηθούν και να ελεγχθούν, με στόχο την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών ανά πάσα στιγμή. Τρανό παράδειγμα αποτελεί η ρύθμιση της θερμοκρασίας, κατά τη διαδρομή του ατόμου προς το σπίτι.

Ασφάλεια: Τα έξυπνα σπίτια έχουν προηγμένα συστήματα ασφαλείας με διάφορες κάμερες, αισθητήρες κίνησης και άλλα προηγμένα εργαλεία που μπορούν να παρακολουθούνται εξ αποστάσεως είτε από τον ιδιοκτήτη του σπιτιού, είτε από μια εταιρεία ασφαλείας κατοικίας ή από το αστυνομικό τμήμα.

Εξοικονόμηση ενέργειας: Τα έξυπνα σπίτια παρέχουν εξοικονόμηση ενέργειας με δύο τρόπους. Κατ' αρχάς, είναι δυνατή η ρύθμιση του κλιματισμού και του φωτισμού σύμφωνα με τη χρήση των κατοίκων. Επιπλέον, οι περισσότερες

έξυπνες συσκευές έχουν την ικανότητα να αδρανοποιούνται, όταν δεν χρησιμοποιούνται.

Ευκολία: Τα έξυπνα σπίτια μπορούν να εξοπλιστούν με συστήματα φωνητικών εντολών, τα οποία καθορίζουν την ένταση του φωτός, το κλείδωμα θυρών και παραθύρων κ.ά., εξοικονομώντας χρόνο για τους κατοίκους.

- Μειονεκτήματα έξυπνων σπιτιών

Αρχική επένδυση: Σε σύγκριση με τη συμβατική οικιακή τεχνολογία, η έξυπνη απαιτεί υψηλότερες χρηματικές επενδύσεις, μιας και είναι νεωτεριστική και όχι ιδιαίτερα διαδεδομένη.

Σύνθετη διαμόρφωση και πλοήγηση συσκευών: Αν και ορισμένες από τις έξυπνες τεχνολογίες είναι απλές και έχουν διαισθητικές διεπαφές πλοήγησης, άλλες λειτουργούν με πολύ περίπλοκο τρόπο. Αυτό το γεγονός δυσχεραίνει άτομα που δεν είναι απόλυτα εξοικειωμένα με τη τεχνολογία.

Έλλειψη επικοινωνίας μεταξύ συσκευών: Υπάρχουν πολλές εταιρείες που εμπλέκονται στην παραγωγή έξυπνων οικιακών συσκευών. Οι συσκευές τους, όμως, δεν επικοινωνούν απαραίτητα μεταξύ τους. Παρόλο που πολλοί άνθρωποι θα προτιμούσαν να προγραμματίζουν όλες τις έξυπνες τεχνολογίες τους μεμιάς, ίσως χρειαστεί να χρησιμοποιήσουν διαφορετικές εφαρμογές ξεχωριστά για κάθε συσκευή. Σε αυτή την περίπτωση, η ευκολία δεν είναι τόσο προφανής.

Παραβίαση ασφάλειας και ιδιωτικότητας: Όλες οι συσκευές που ελέγχονται, μέσω του Διαδικτύου μπορούν ενδεχομένως να παραβιαστούν. Οι κακόβουλες δραστηριότητες ενδέχεται να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια του σπιτιού. Οι εισβολείς μπορούν να έχουν πρόσβαση στο χρονοδιάγραμμα εισόδου και εξόδου, να απενεργοποιήσουν το σύστημα ασφαλείας και να εισβάλλουν στο σπίτι. Δεδομένου ότι οι έξυπνες τεχνολογίες εξακολουθούν να αναπτύσσονται και η τέχνη του hacking εξελίσσεται συνεχώς, είναι δύσκολο να οριστεί με βεβαιότητα αν μπορούν να προστατεύσουν τους ιδιοκτήτες τους καλύτερα από τα παραδοσιακά συστήματα ασφαλείας.

Συνοψίζοντας, η απομακρυσμένη πρόσβαση, η ασφάλεια, η άνεση και η εξοικονόμηση ενέργειας, χρόνου και χρήματος έχουν καταστήσει τη μελέτη των έξυπνων σπιτιών άκρως ενδιαφέρουσα για την επιστημονική κοινότητα. Η βελτιστοποίηση των διαδικα-

σιών και των λειτουργιών, σε θέματα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των συσκευών έχει κεντρίσει τη προσοχή αυτής της εργασίας.

Β'.2 Δίκτυα Οικιακής Περιοχής

Η απόδοση του εγχειρήματος των έξυπνων σπιτιών και κατ' επέκταση η βελτίωση της ποιότητας ζωής, στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών, αλλά και την διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων συστημάτων και συσκευών. Πρόκειται για περίπλοκες διαδικασίες, η επίτευξη των οποίων γίνεται με τη βοήθεια ενός *Δικτύου Οικιακής Περιοχής* ή αλλιώς *Home Area Network (HAN)*.

Οι έξυπνες οικιακές συσκευές και συστήματα μπορεί να είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους ή με άλλα δίκτυα μέσω πολλών πρωτοκόλλων, όπως Bluetooth, WiFi, Z-Wave, ZigBee κ.λπ. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή αυτών των ασύρματων πρωτοκόλλων οικιακών αυτοματισμών για έλεγχο, διαχείριση και επικοινωνία [47].

• Πρωτόκολλο Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth αφορά την επικοινωνία πολύ μικρής εμβέλειας μεταξύ κινητών τηλεφώνων, ηλεκτρονικών υπολογιστών, προσωπικών ψηφιακών βοηθών και άλλων προσωπικών ή περιφερειακών συσκευών. Εξαιτίας της μικρής της εμβέλειας (περίπου 10 μέτρα) και του γεγονότος ότι οι συσκευές που επικοινωνούν εΐθισται να ανήκουν σε ένα άτομο ή μια ομάδα, κατατάσσεται μερικές φορές στα δίκτυα προσωπικής περιοχής (personal area network, PAN).

Ένα δίκτυο Bluetooth αποτελείται από μια συσκευή κυρίου (master) και μέχρι 7 συσκευές υπηρέτη (slave). Η επικοινωνία πραγματώνεται μεταξύ του κυρίου και ενός υπηρέτη, ενώ οι υπηρέτες δεν μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Παρόλα αυτά, μια συσκευή υπηρέτη μπορεί να είναι σταθμευμένη, με την έννοια της ρύθμισης σε μια ανενεργό κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ρεύματος.

Συγχρόνως, για να αντιμετωπίσει τις πιθανές παρεμβολές, χρησιμοποιεί τη συνεχή αλλαγή συχνότητας (frequency hopping) με 79 κανάλια (συχνότητες), χρησιμοποιώντας κάθε κανάλι για 625 μικρόμετρα τη φορά.

• Πρωτόκολλο WiFi

Το WiFi, γνωστό και ως πρότυπο 802.11 προορίζεται για περιορισμένες γεωγραφικές περιοχές, όπως οικίες, κτίρια γραφείων, πανεπιστημιούπολεις κ.ά. Ένας

κόμβος σε ένα τέτοιο δίκτυο είναι πιθανό να βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση από ορισμένους άλλους και να μην μπορεί να λαμβάνει τις μεταδόσεις τους, με αποτέλεσμα να προκύπτουν τα προβλήματα του *κρυμμένου κόμβου* και του *εκτεθειμένου κόμβου*.

Στην περίπτωση του 1^{ου}, δύο κόμβοι που δεν γνωρίζουν ο ένας την ύπαρξη του άλλου, μπορεί να μεταδώσουν ένα πλαίσιο ταυτόχρονα σε ένα τρίτο κόμβο, ο οποίος είναι εντός της εμβέλειάς τους και να δημιουργηθεί σύγκρουση. Όμως, οι δύο κόμβοι που μετέδωσαν, σε αντίθεση με ένα δίκτυο Ethernet, δεν γνωρίζουν για τη σύγκρουση αυτή.

Στην περίπτωση του 2^{ου}, γίνεται η υπόθεση ότι υπάρχουν 4 κόμβοι (Α, Β, Γ, Δ). Καθένας από τους κόμβους μπορεί να στείλει και να λάβει σήματα που φθάνουν μόνο στους κόμβους, οι οποίοι βρίσκονται αριστερά και δεξιά του. Για παράδειγμα, ο Β μπορεί να ανταλλάξει πλαίσια με τους Α και Γ, αλλά δεν μπορεί να φτάσει τον Δ. Αν, λοιπόν, ο Β στείλει δεδομένα στον Α, ο Γ θα γνωρίζει για την επικοινωνία αυτή, γιατί ακούει τη μετάδοση του Β και θα μπορεί να στείλει δεδομένα στον Δ, καθώς η μετάδοση αυτή δεν θα παρεμβληθεί με την ικανότητα του Α να λαμβάνει σήματα από τον Β.

Το 802.11 αντιμετωπίζει αυτά τα δύο προβλήματα με έναν αλγόριθμο που αποκαλείται *πολλαπλή πρόσβαση με αποφυγή συγκρούσεων* (multiple access with collision avoidance, MACA). Σύμφωνα με αυτόν, ο αποστολέας και ο παραλήπτης ανταλλάσσουν μεταξύ τους πλαίσια ελέγχου, προτού ο αποστολέας μεταδώσει στην πραγματικότητα οποιαδήποτε δεδομένα. Αυτή η ανταλλαγή ενημερώνει όλους τους κοντινούς κόμβους ότι πρόκειται να ξεκινήσει μια μετάδοση. Ο παραλήπτης στέλνει ένα μήνυμα επιβεβαίωσης στον αποστολέα, αφού λάβει επιτυχώς ένα πλαίσιο. Όλοι οι κόμβοι πρέπει να περιμένουν αυτό το μήνυμα πριν επιχειρήσουν να μεταδώσουν.

- **Πρωτόκολλο Z-Wave**

Το πρωτόκολλο Z-Wave είναι κατάλληλο για οικιακούς αυτοματισμούς και αποσκοπεί στην αξιόπιστη ανταλλαγή μικρού μεγέθους μηνυμάτων, αποτελούμενο από 5 επίπεδα: το φυσικό (PHY), το MAC και τα επίπεδα μεταφοράς, δρομολόγησης και εφαρμογής. Το επίπεδο MAC παρέχει μια τεχνική αποφυγής συγκρούσεων, κατά την οποία εάν κάποιο κανάλι δεν είναι διαθέσιμο, η προσπάθεια

μετάδοσης αναβάλλεται για μια τυχαία χρονική περίοδο [48].

Το Z-Wave ορίζει δύο τύπους συσκευών τους ελεγκτές (controllers) και τους σκλάβους (slaves). Οι ελεγκτές – όπως είναι φανερό και από το όνομά τους – ελέγχουν την εκάστοτε κατάσταση των σκλάβων (κατάσταση λειτουργίας, τρέχουσα θερμοκρασία) ή τους στέλνουν κάποια εντολή. Από την άλλη, οι σκλάβοι να απαντούν στα αιτήματα των ελεγκτών ή εκτελούν τις εντολές που τους ανατέθηκαν [48].

Αξίζει να σημειωθεί πως οι ελεγκτές διαθέτουν πίνακες δρομολόγησης που αντιπροσωπεύουν ολόκληρη την τοπολογία του δικτύου και όταν πρόκειται να στείλουν κάποιο πακέτο αναγράφουν από κοινού τις διευθύνσεις του αποστολέα και του παραλήπτη. Επίσης, οι σκλάβοι χρησιμοποιούνται κυρίως για την παρακολούθηση διαφόρων αισθητήρων [48].

• Πρωτόκολλο Zigbee

Η τεχνολογία Zigbee είναι νεότερη και έχει σχεδιαστεί για περιπτώσεις, όπου οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης είναι μικρές και η κατανάλωση ρεύματος πρέπει να είναι πολύ χαμηλή, ώστε η μπαταρία να χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάρκεια ζωής. Είναι απλή και φθηνή, σε σύγκριση με άλλες, κάτι που καθιστά εφικτή την ενσωμάτωσή της σε συσκευές. Δεδομένου ότι μεγάλο μέρος της παρούσας εργασίας στηρίχτηκε σε αυτή την τεχνολογία, ο τρόπος λειτουργίας της παρουσιάζεται λεπτομερώς σε επόμενο κεφάλαιο Δ'.2.2.

Οι πολυάριθμες υπηρεσίες που πρέπει να παραχθούν, ώστε να εκπληρώσουν τις ανθρώπινες επιθυμίες και ανάγκες, καθορίζουν τις απαιτήσεις επικοινωνίας, λειτουργίας, ανεξαρτησίας, ασφάλειας και ενεργειακής βελτιστοποίησης σε ένα HAN. Εστιάζοντας στο κομμάτι της επικοινωνίας, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί τι χρειάζεται για να εξασφαλιστεί μια αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών σε μια λειτουργική περιοχή.

Για την αύξηση της συνολικής απόδοσης, κρίνονται αρχικά απαραίτητες η πληρότητα και η διαλειτουργικότητα των συσκευών, οι οποίες πρέπει να περιλαμβάνουν ορισμένα κοινά πρότυπα, με στόχο την αμοιβαία αναγνώριση και τη συνεχή μεταφορά δεδομένων. Παράλληλα, οι συσκευές θα πρέπει να ρυθμίζουν και να διαμορφώνουν αυτόνομα κάποιες παραμέτρους για την ορθή τους συμπεριφορά, αλλά και να εγκαθιδρύουν την επικοινωνία με κοντινούς κόμβους αισθητήρων [49].

Καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει και η δυνατότητα της αυτοδιαχείρισης, με την έννοια ότι οι κόμβοι πρέπει να είναι ικανοί να αντιμετωπίζουν επικοινωνιακούς περιορισμούς και περιβαλλοντικές αλλαγές, δίχως την παρέμβαση του ανθρώπου. Τελευταίο, αλλά εξίσου σημαντικό είναι η ικανότητα των κόμβων να διατηρούν τη λειτουργία τους, παρά τις όποιες αντιξοότητες (π.χ. εξαντλημένες μπαταρίες), κάτι που αντικατοπτρίζει την ανθεκτικότητα του δικτύου [49].

Συγκεφαλαιώνοντας, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις προαναφερόμενες παραμέτρους για την αύξηση της απόδοσης ενός έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος, σε συνδυασμό δε, με τη συνεχή ανάπτυξη και επικράτηση του εγχειρήματος, η εν λόγω έρευνα έχει εστιάσει σε ένα σύστημα υψηλών προδιαγραφών και δυνατοτήτων, μελετώντας μια τεχνική διάδοσης και ανταλλαγής πληροφοριών, η οποία καλύπτει σε ικανοποιητικό βαθμό τις υπάρχουσες απαιτήσεις, φανερώνοντας την καταλληλότητα εφαρμογής της σε αυτό το είδος περιβάλλοντα.

Κεφάλαιο Γ΄

Οι Τυχαίοι Περιπατητές στη Διάχυση Πληροφορίας

Σ Ε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται με λεπτομέρεια τα χαρακτηριστικά και ο τρόπος λειτουργίας του μηχανισμού των random walkers. Αναλύονται πολλές πτυχές της θεωρίας πάνω στην οποία στηρίζεται, καθώς και τα πλεονεκτήματά του σε σύγκριση με παραδοσιακές τεχνικές διάχυσης της πληροφορίας σε δικτυακά περιβάλλοντα.

Γ΄.1 Καθολική Μετάδοση Πληροφορίας

Ένα μεγάλο εύρος επιστημονικών ερευνών εστιάζει στην εύρεση βέλτιστης λύσης, κατά την διαδικασία διάδοσης πληροφοριών μεταξύ των κόμβων που συντελούν ένα δεδομένο δίκτυο. Μια τεχνική που έχει μελετηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό είναι η *πλημμυρίδα*, γνωστή και ως *flooding*. Κατά το *flooding*, κάθε ένας από του κόμβους λειτουργεί και ως πομπός και ως δέκτης, προωθώντας ένα μήνυμα σε κάθε γείτονά του, εκτός από αυτόν από τον οποίο το έλαβε. Συμπερασματικά, το μήνυμα θα παραδοθεί τελικά σε όλα τα προσβάσιμα μέρη του δικτύου.

Εξαιτίας της μικρής της πολυπλοκότητας και της βεβαιότητας παράδοσης του μηνύματος που παρέχει, η συγκεκριμένη τεχνική προτιμάται. Ωστόσο, υστερεί από την άποψη του μεγάλου εύρους μηνυμάτων που ανταλλάσσονται, καθώς δημιουργούνται αρκετά διπλότυπα. Επίσης, είναι δυνατό τα μηνύματα να ‘κυκλοφορούν’ στο δικτυακό περιβάλλον ατέρμονα. Κατά συνέπεια, πολλές έρευνες στρέφουν το ενδιαφέρον τους

στην μελέτη άλλου είδους μηχανισμών, όπως είναι οι random walkers.

Γ'.2 Τρόπος Λειτουργίας των Random Walkers

Ένας τυχαίος περίπατος, γνωστός και ως *στοχαστική διαδικασία*, εισήχθη ως έννοια από τον Karl Pearson το 1905 και περιγράφει ένα μονοπάτι/διαδρομή που αποτελείται από μια σειρά τυχαίων βημάτων. Εφαρμόζεται σε ένα πλήθος επιστημονικών πεδίων, όπως η χημεία, η βιολογία, η επιστήμη των υπολογιστών, η βιοπληροφορική, η οικονομία, κ.ά. και η λειτουργία του εξετάζεται σε πολλές διαστάσεις. Στην απλούστερη όλων, στην μία διάσταση, η λογική ενός τυχαίου περιπάτου έχει ως εξής: από μία αρχική θέση x_0 επιλέγεται κατ' επανάληψη και με ίση πιθανότητα μια κατεύθυνση, είτε προς τα δεξιά, είτε προς τα αριστερά, με κάθε βήμα να είναι ανεξάρτητο από το προηγούμενο. Στην πρώτη περίπτωση, η θέση μεταβάλλεται σε $x_0 + 1$, ενώ στην δεύτερη σε $x_0 - 1$. Αν θεωρήσει κανείς ότι μια οντότητα είναι αυτή που κινείται στο χώρο, τότε θα μπορούσε να αναφερθεί σε αυτή ως *random walker*.

Μία παρεμφερής μέθοδος πραγματώνεται και στον κλάδο των Δικτύων Υπολογιστών. Για την ακρίβεια, από έναν αρχικό κόμβο n_0 ξεκινά ένας random walker και επιλέγει πιθανοτικά τον επόμενο γειτονικό κόμβο που θα επισκεφθεί, στον οποίο επιδιώκει να μεταδώσει κάποιο είδος πληροφορίας. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου η συγκεκριμένη πληροφορία να έχει διαδοθεί στο μεγαλύτερο μέρος, αν όχι σε ολόκληρο, το δίκτυο.

Αυτός ο πιθανοτικός χαρακτήρας είναι αποδοτικός για κόμβους, η λειτουργία των οποίων εξαρτάται από την διαθεσιμότητα ενέργειας, η οποία από στιγμή σε στιγμή αλλάζει, με αποτέλεσμα η λειτουργία των κόμβων να μπορεί να διακοπεί. Αυτός, λοιπόν, ο μηχανισμός αναμένεται να καλύψει πιθανώς όλο το δίκτυο, χρησιμοποιώντας σημαντικά λιγότερα μηνύματα (μια τυχαία κίνηση περιπατητή θεωρείται ως μήνυμα). Η μείωση του πλήθους των μηνυμάτων αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη διαθεσιμότητα ενέργειας [27].

Εντούτοις, ένας random walker απαιτεί αυξημένο χρόνο για να καλύψει το συνολικό δίκτυο, όμως αυτή η κάλυψη είναι ανεξάρτητη από την πυκνότητα των συνδέσεων του δικτύου. Σημαντική χρονική υστέρηση παρατηρείται μόνο στις οριακά αραιές τοπολογίες [27].

Συμπερασματικά, ο μηχανισμός αυτός στοχεύει στην κάλυψη ενός δικτύου με χαμηλότερο κόστος, με την έννοια του αριθμού των μηνυμάτων, τουλάχιστον σε σύγκριση με τους μηχανισμούς που βασίζονται στο ντετερμενιστικό flooding. Επιπλέον,

σε συγκεκριμένους τύπους δικτύων, όπως τα δίκτυα συγκομιδής ενέργειας [27], όπου μερικοί από τους κόμβους ενδέχεται μερικές φορές να απενεργοποιηθούν, οι τυχαίοι περιπατητές θα μπορούσαν να προτιμηθούν σε σχέση με το flooding, λόγω της εγγενούς ιδιότητάς τους στην επαναλαμβανόμενη επίσκεψη των κόμβων με την πάροδο του χρόνου.

Γ'.3 Μοντέλο Multiple Random Walkers

Ένας random walker ξεκινά από έναν κόμβο, ο οποίος ορίζεται ως 'εκακινητής' και στη συνέχεια επιλέγει τυχαία - όπως υποδηλώνει και το όνομά του - ένα γειτονικό κόμβο με απόσταση 1 hop. Ένας κόμβος που επισκεφθήκε ένας random walker αναφέρεται ως covered. Ένα δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει έναν random walker ή πολλαπλούς. Ο αριθμός των τυχαίων περιπατητών υποδηλώνεται με m , ενώ ο αριθμός των κόμβων του δικτύου που έχουν καλυφθεί από έναν random walker (δηλ. έχουν γίνει covered) κατά το χρόνο t δηλώνεται με $C_m(t)$.

Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης multiple random walkers είναι η ταχύτερη κάλυψη του δικτύου, τουλάχιστον για τις περισσότερες περιπτώσεις, όπως φαίνεται από τον Alon στο [22]. Συγκεκριμένα, η αύξηση του αριθμού τους, εφόσον αυτή δεν είναι σημαντικά μεγάλη (λογαριθμική), επιφέρει και γραμμική αύξηση στην ταχύτητα κάλυψης του δικτύου, κάτι που φαίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$C_m(t) = C_1(mt). \quad (\Gamma'.1)$$

Ακόμη, η εξίσωση (Γ'.2), όπως παρουσιάζεται στο [37], εκφράζει την κάλυψη του δικτύου $C_m(t)$ σε συνάρτηση με τον χρόνο, για την περίπτωση των τυχαίων γεωμετρικών γράφων (Random Geometric Graphs (RGGs)).

$$C_m(t) = N - (N - 1) \left(1 - \frac{m}{N} P(r_c)\right)^t, \quad (\Gamma'.2)$$

όπου το r_c δηλώνει την ακτίνα συνδεσιμότητας του RGG και το N τον αριθμό των κόμβων στο δίκτυο.

Στην περίπτωση των πλήρως συνδεδεμένων τοπολογιών ισχύει η εξίσωση (Γ'.3), σύμφωνα με την σχετική έρευνα [33].

$$C_m(t) = N \left(1 - e^{-\frac{mt}{N}}\right) \quad (\Gamma'.3)$$

Κατ' επέκτασιν, η έρευνα [37] έδειξε ότι η εξίσωση (Γ'.2), που καθορίζει το ρυθμό κάλυψης του δικτύου, μπορεί να απλοποιηθεί, όπως φαίνεται στην εξίσωση (Γ'.4) για τα πλήρως συνδεδεμένα δίκτυα και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η εξίσωση (Γ'.3) και η εξίσωση (Γ'.4) είναι ισοδύναμες.

$$C_m(t) = N \left(1 - \left(1 - \frac{m}{N} \right)^t \right) \quad (\Gamma'.4)$$

Γ'.4 Μοντέλο Replicated Random Walkers

Οι random walkers, εξαιτίας της τυχειότητας που τους διακατέχει, είναι πιθανό να επισκέπτονται/καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό τους ήδη επικαλυπτόμενους κόμβους, ιδιαίτερα εάν η αρχική τους θέση είναι ίδια. Για να καταπολεμηθεί αυτό, μια επαναληπτική προσέγγιση θα ήταν ιδανική. Το κύριο κίνητρο για την εισαγωγή ενός τέτοιου μηχανισμού είναι η ταχύτερη κάλυψη του δικτύου, καθώς και η μεγάλη πιθανότητα μείωσης του αριθμού των συνολικών κινήσεων για τον σκοπό αυτό. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα κάλυψης ενός μεγαλύτερου εύρους περιοχών, οι οποίες μπορεί να μην έχουν καλυφθεί ακόμα.

Η λογική της συγκεκριμένης τεχνικής έχει ως εξής: m_0 random walkers ξεκινούν από έναν αυθαίρετο κόμβο, προκειμένου να καλύψουν το σύνολο του δικτύου. Καθώς, κάθε ένας από τους random walkers περιπλανιούνται μέσα στο δίκτυο, ένα replication λαμβάνει χώρα, έπειτα από $q > 0$ time steps, με την έννοια ότι ένας νέος random walker δημιουργείται και μπορεί να ξεκινήσει να κινείται στο δίκτυο και να καλύπτει κόμβους. Η συχνότητα της εκτέλεσης της εν λόγω διαδικασίας ποικίλλει ανάλογα με τις απαιτήσεις ενός δεδομένου δικτύου. Κάθε φορά που ένα replication πραγματοποιείται σε έναν κόμβο, ο αριθμός των random walkers σε αυτόν διπλασιάζεται.

Όσοι περισσότεροι random walkers ξεκινούν από το ίδιο σημείο, αναμένεται να κάνουν overlap, επισκέπτοντας τους ίδιους κόμβους πριν μεταβούν σε περιοχές που δεν έχουν γίνει covered (δεν έχουν καλυφθεί). Επίσης, όσο πιο μικρές τιμές παίρνει το q , τόσο πιο γρήγορα γίνονται τα replications, μη επιτρέποντας στους random walkers να κινηθούν περισσότερο στο δίκτυο πριν να γίνουν replicated.

Σε σχετική έρευνα [50], η διαδικασία δημιουργίας replicas ολοκληρώνεται, όταν ο αριθμός random walkers ισούται με m , κάτι που επιτυγχάνεται, καθώς κάθε random walker κρατά πληροφορίες για τον αριθμό των replications και των replicas που έχουν διανεμηθεί. Εν συνεχεία, οι m random walkers συνεχίζουν το 'ταξίδι' τους στο δίκτυο.

Για $m_0 = m$ τότε:

$$C_{m,m_0}(t) = C_m(t). \quad (\Gamma'.5)$$

Κεφάλαιο Δ΄

Περιγραφή Συστήματος

Ο σχεδιασμός ενός ασύρματου δικτύου σε ένα πραγματικό περιβάλλον αποτελεί μια απαιτητική και μετ' εμποδίων διαδικασία. Συνεπώς, βάσει αυτών των υψηλών απαιτήσεων, η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού είναι μια δυσυπέρβλητη απόφαση. Για τις ανάγκες, λοιπόν, αυτής της εργασίας και συγκεκριμένα, για την επιτυχή διεξαγωγή των πειραμάτων, η κατασκευή ενός ασύρματου δικτύου πραγματοποιήθηκε με τη συμβολή των παρακάτω εργαλείων [51], [52]:

- Arduino Uno microcontroller board,
- Arduino Wireless SD Shield και
- XBee S2C Zigbee module με ασύρματη κεραία,

ο συνδυασμός των οποίων οδήγησε στην διαμόρφωση των απαραίτητων, για την λειτουργία του δικτύου, κόμβων. Καθένα από αυτά παίζει ένα μοναδικό ρόλο στη λειτουργία του συνολικού συστήματος, χάρη στις δυνατότητές του, οι οποίες θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Δ΄.1 Arduino Uno & Arduino Wireless SD Shield

Το Arduino Uno είναι ένα εργαλείο που προσδίδει ένα είδος διάδρασης με το φυσικό περιβάλλον. Λεπτομερέστερα, είναι μια ανοικτού κωδικά υπολογιστική πλατφόρμα, βασισμένη σε μια απλή πλακέτα με εισόδους/εξόδους, έναν μικροελεγκτή και ένα δωρεάν

προγραμματιστικό περιβάλλον για τη σύνταξη του σχετικού κωδικά. Η γλωσσά προγραμματισμού του που χρησιμοποιεί είναι η Wiring C, ουσιαστικά μια παραλλαγή της C++.

Βασίζεται στο Atmega328P και μπορεί να προγραμματιστεί για να υλοποιήσει μια πληθώρα έργων, σύμφωνα με τις οδηγίες/εντολές των χρηστών και εισάγοντας δεδομένα από αισθητήρες και διακόπτες. Επιπλέον, η μεγάλη ποικιλία μικροαντικειμένων που διαθέτει, μεταξύ των οποίων τα λαμπάκια LED και η οθόνη LCD, προσδίδει πρόσθετες δυνατότητες και μεγαλύτερα ποσοστά διάδρασης.

Σε σύγκριση με άλλα μοντέλα Arduino, το μοντέλο Uno είναι το πιο διαδεδομένο, δεδομένης της χαμηλής τιμής του και της καταλληλότητάς του για τα πρώτα βήματα στον τομέα της ηλεκτρονικής και της κωδικοποίησης. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον Πίνακα Δ'.1 [53].

Πίνακας Δ'.1: Προδιαγραφές Arduino Uno.

Component	Value
Microcontroller	ATmega328P
Operating Volage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Το Arduino Uno τροφοδοτείται είτε από μπαταρία είτε από καλώδιο USB, το οποίο μπορεί να συνδεθεί με έναν υπολογιστή ή κάποιο power-bank. Οι δυνατότητές του επεκτείνονται και ενισχύονται με τη βοήθεια των “Shields”. Τα Shields είναι κυκλώματα που μπορούν να συνδεθούν πάνω σε μία πλακέτα Αρδουινο, δίνοντας δυνατότητες δικτύωσης, όπως το Ethernet, το WiFi ή τα Xbee Shields.

Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται το Arduino Wireless SD Shield, το οποίο επιτρέπει την ασύρματη επικοινωνία με τη χρήση ενός XBee module, παρέχοντας την δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων σε μια micro-SD κάρτα, καθώς διαθέτει την σχετική υποδοχή [51].

Δ'.2 XBee S2C Zigbee Module

Ένα άκρως απαραίτητο στοιχείο για το προαναφερθέν δίκτυο είναι η κεραία, με τη βοήθεια της οποίας καθιερώνεται η ασύρματη επικοινωνία των κόμβων. Για το λόγο αυτό, επιλέγεται ο πομποδέκτης XBee S2C Zigbee, λόγω των υψηλών προδιαγραφών και των ευέλικτων λειτουργιών που προσφέρει. Πιο εκτενώς, το πρωτόκολλο, στο οποίο βασίζεται η λειτουργικότητα της κεραίας, προορίζεται για προσωπικά ασύρματα δίκτυα και παρέχει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 250 kbps [54], επεκτείνοντας το πρωτόκολλο 802.15.4 για τοπολογίες πλέγματος.

Δ'.2.1 Τύποι Κόμβων

Ένα δίκτυο που βασίζεται σε αυτό το πρωτόκολλο μπορεί να περιλαμβάνει 3 διαφορετικούς τύπους κόμβων [52]. Ο πρώτος τύπος ονομάζεται “Coordinator” και αποτελεί δομικό στοιχείο του δικτύου, καθώς η απουσία του καθιστά αδύνατη τη δημιουργία αυτού. Ωστόσο, υπάρχει αυστηρός περιορισμός στην ύπαρξη ενός και μόνο ενός Coordinator σε ολόκληρο το δίκτυο. Μόλις αυτός εγκατασταθεί, μπορεί να σχηματίσει το υπόλοιπο δίκτυο, επιτρέποντας στους δρομολογητές και τις τελικές συσκευές να ενταχθούν, δημιουργώντας κι οργανώνοντας το PAN. Με την ολοκλήρωση του ρόλου του στη δημιουργία του δικτύου, η λειτουργικότητα του Coordinator είναι ισοδύναμη με εκείνη ενός “Router”, γνωστός και ως *δρομολογητής*, ο οποίος είναι ο δεύτερος τύπος κόμβου.

Σε αντίθεση με τον Coordinator, ενδέχεται να υπάρχουν πολλοί Routers σε ένα δίκτυο. Ένας δρομολογητής Router, όπως ορίζει και το όνομά του, είναι υπεύθυνος

για τη δρομολόγηση των πακέτων δεδομένων σε όλο το δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων όλων των ενεργειών που είναι απαραίτητες για την επίτευξη αυτού του στόχου. Με άλλα λόγια, δημιουργεί/διατηρεί πληροφορίες δικτύου και χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να καθορίσει την καλύτερη διαδρομή για ένα πακέτο δεδομένων. Ένα κοινό χαρακτηριστικό μεταξύ αυτών των δύο τύπων που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι ότι μπορούν να λειτουργήσουν τόσο ως πηγές όσο και ως προορισμοί στη διαδικασία διαβίβασης δεδομένων/μηνυμάτων.

Ο τρίτος και τελευταίος τύπος ονομάζεται “End Device” και διακρίνεται από την ικανότητα να κοιμάται περιοδικά. Επικοινωνία επιτυγχάνεται μόνο με τον κόμβο εκείνο που έχει την ιδιότητα να είναι ο γονέας του (είτε Coordinator, είτε Router), κατά την οποία λαμβάνει χώρα κάποια μετάδοση ή/και λήψη δεδομένων. Ωστόσο, δεν μπορεί να δρομολογήσει πακέτα. Ως εκ τούτου, απαιτεί χαμηλότερη ενέργεια, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους τύπους. Συμπληρωματικά, η ορθή και πετυχημένη λειτουργία ενός δικτύου δεν καθορίζεται από τον συγκεκριμένο τύπο, μιας και ένα δίκτυο μπορεί να υφίσταται και με την απουσία αυτού.

Δ'.2.2 Το Πρωτόκολλο Zigbee

Ένα Personal Area Network (PAN) περιλαμβάνει έναν Coordinator και έναν ή περισσότερους Routers/End Devices. Όταν ένας κόμβος γίνει μέλος του Zigbee PAN, ουσιαστικά κάνει join σε αυτό, με την έννοια ότι έχει συνδεθεί με κάποιον άλλον κόμβο που είναι ήδη συνδεδεμένος (joined). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σύνδεσης, ο κόμβος που επέτρεψε τη σύνδεση (ο γονέας) αντιστοιχίζει μια διεύθυνση 16-bit στον κόμβο σύνδεσης (το παιδί), η οποία ονομάζεται διεύθυνση δικτύου ή *Network address*. Αυτή η διεύθυνση για τον Coordinator είναι πάντα 0.

Το κανάλι λειτουργίας (Operating channel) επιλέγεται από τον Coordinator, κατά την ενεργοποίησή του για την επίτευξη επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων και προσδιορίζεται μέσω ενεργειακής σάρωσης (Energy scan). Επιπλέον, με στόχο τη δημιουργία μιας διαδρομής προς έναν κόμβο προορισμού, στέλνεται ένα broadcast πακέτο (Route request) από τον Coordinator ή κάποιον Router. Από την άλλη, αποστέλλεται ένα Unicast πακέτο (Route reply) από τον κόμβο που έλαβε το προηγούμενο Route request στον κόμβο από τον οποίο αυτό προήλθε.

Δ'.2.3 Επίπεδα Zigbee

Όπως στα περισσότερα πρωτόκολλα των δικτύων χρησιμοποιείται η έννοια των επιπέδων layers, με στόχο τον διαχωρισμό διαφορετικών στοιχείων και λειτουργιών σε ανεξάρτητες μονάδες (modules) που μπορούν να συναρμολογηθούν με διαφορετικούς τρόπους, ομοίως κι εδώ ακολουθείται αυτή η προσέγγιση.

Σε γενικές γραμμές, τα επίπεδα Physical (PHY) και Medium Access Control (MAC) χειρίζονται λειτουργίες του δικτύου που θεωρούνται χαμηλού επιπέδου, όπως η διευθυνσιοδότηση και η μετάδοση/λήψη μηνυμάτων. Το επίπεδο Network (NWK) φροντίζει για τη δομή του δικτύου, τη δρομολόγηση και την ασφάλεια. Τέλος, το Application (APL) επίπεδο περιλαμβάνει το Application Support Sublayer (APS), το Application Framework (AF) και το Zigbee Device Object (ZDO).

Δ'.2.4 Τύποι Λειτουργίας

Ένα module είναι σε θέση να υποστηρίξει από κοινού τις σειριακές διεπαφές “Transparent” και “Application Programming Interface” (API). Αρχικά, η Transparent λειτουργία στηρίζεται στη χρήση ενός συνόλου ρυθμίσεων και παραμέτρων που ορίζονται από τον χρήστη, εμποδίζοντας τη τροποποίησή τους, κατά την εκτέλεση του προγράμματος. Τέτοιες παράμετροι περιλαμβάνουν επιλογές, (π.χ. τη διεύθυνση προορισμού), οι οποίες είναι κρίσιμες για πιο σύνθετες εφαρμογές. Επιπλέον, όταν τα δεδομένα αποστέλλονται στο module, μεταδίδονται και οι κόμβοι λήψης δεν αποκτούν πρόσθετες πληροφορίες, όπως η διεύθυνση πηγής. Σε μια εφαρμογή είναι πιο εύκολο να υποστηριχτεί η συγκεκριμένη λειτουργία.

Από την άλλη πλευρά, στον τύπο λειτουργίας Application Programming Interface, τα δεδομένα μεταδίδονται σε πακέτα και με πολύ συγκεκριμένη σειρά και ρύθμιση. Αυτά τα πακέτα φέρουν συμπληρωματικές πληροφορίες, οι οποίες λείπουν από τη λειτουργία Transparent και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλούς σκοπούς, όπως η διαμόρφωση τοπικών και απομακρυσμένων συσκευών Zigbee ή ακόμα και η μετάδοση σε πολλούς προορισμούς. Το Application Programming Interface προτιμάται σε περιπτώσεις mesh δικτύων πολλαπλών κόμβων, όπου οι απαιτήσεις είναι υψηλότερες. Για τους λόγους αυτούς επιλέγεται σε αυτή τη μελέτη. Παρόλα αυτά, είναι αποδεκτό ορισμένες από τις συσκευές του δικτύου να λειτουργούν σε Transparent και άλλες σε API.

Πίνακας Δ'.2: Τα Επίπεδα Zigbee.

Επίπεδο Zigbee	Περιγραφή
PHY	Ορίζει τη φυσική λειτουργία της συσκευής Zigbee, συμπεριλαμβανομένης της ευαισθησίας λήψης, της απόρριψης καναλιού, της ισχύος εξόδου, του αριθμού καναλιών και των προδιαγραφών του ρυθμού μετάδοσης.
MAC	Διαχειρίζεται ανταλλαγές δεδομένων RF μεταξύ γειτονικών συσκευών (από σημείο σε σημείο). Το MAC περιλαμβάνει υπηρεσίες, όπως επανάληψη μετάδοσης, διαχείριση επιβεβαίωσης και τεχνικές αποφυγής συγκρούσεων (CSMA-CA).
Network	Προσθέτει δυνατότητες δρομολόγησης που επιτρέπουν στα πακέτα δεδομένων RF να διασχίζουν πολλαπλές συσκευές (πολλαπλά hops) για τη δρομολόγηση δεδομένων από πηγή σε προορισμό.
Application Support Sublayer kai Application Framework	Ανήκουν στο ευρύτερο επίπεδο Application και ορίζουν διάφορα αντικείμενα διευθυνσιοδότησης, συμπεριλαμβανομένων προφίλ, clusters και endpoints.
Zigbee Device Object	Ανήκει και αυτό στο ευρύτερο επίπεδο Application. Παρέχει δυνατότητες εντοπισμού συσκευών και υπηρεσιών, καθώς και προηγμένες δυνατότητες διαχείρισης δικτύου.

Δ'.2.5 Εντολές AT

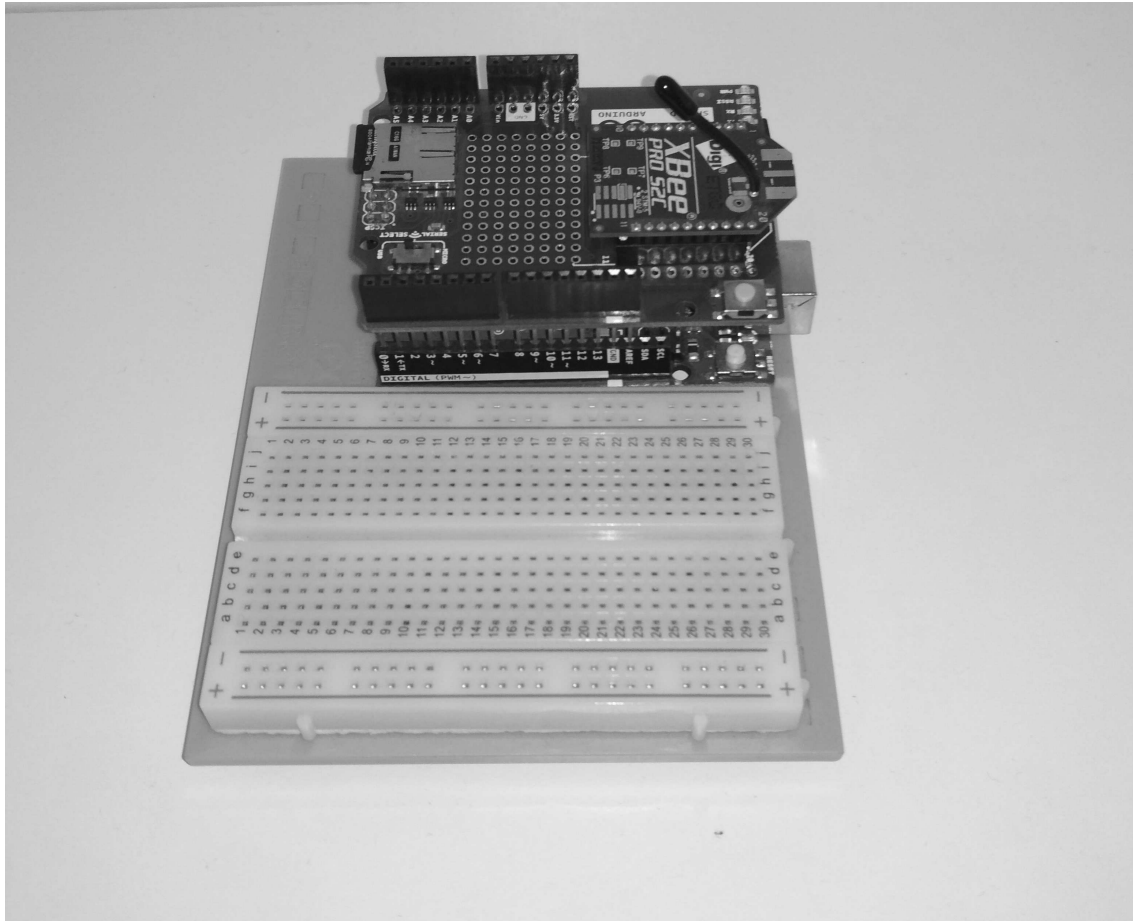
Οι εντολές AT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ορίσουν τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας της κεραίας XBee. Αφορούν ένα μεγάλο εύρος πεδίων, όπως είναι το ίδιο το δίκτυο και η ασφάλειά του, η σειριακή διεπαφή, η διάγνωση προβλημάτων, οι ρυθμίσεις εισόδου και εξόδου κ.ά. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας έχουν υποστεί επεξεργασία οι τιμές κάποιων εντολών, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω.

Ξεκινώντας από τις εντολές του δικτύου, η Coordinator Enable (CE), όπως φανερώνει και το όνομά της, ορίζει ή εμφανίζει αν η συσκευή είναι Coordinator και έχει την προκαθορισμένη τιμή 0. Για να χρηστεί, λοιπόν μια συσκευή ως Coordinator, απαιτείται αλλαγή αυτής της τιμής σε 1. Σειρά έχει η εντολή Extended PAN ID (ID), η οποία σχετίζεται με το μοναδικό αναγνωριστικό του δικτύου και μπορεί να ορισθεί με έναν οποιοδήποτε αριθμό, ο οποίος πρέπει να είναι κοινός για όλους τους κόμβους του δικτύου, ώστε αυτοί να βρίσκονται σε ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας.

Η εντολή Broadcast Hops (BH) αναφέρεται στον μέγιστο αριθμό hops για την περίπτωση των μεταδόσεων τύπου broadcast και έχει την προκαθορισμένη τιμή 0, η οποία μπορεί να παραμετροποιηθεί με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη. Σε αυτή την εργασία, η τιμή αυτή μεταβάλλεται μεταξύ 0 και 1, αναλόγως με το στόχο προς επίτευξη.

Η τελευταία εντολή αυτής της κατηγορίας, της οποίας η τιμή έχει μεταβληθεί είναι η Channel Verification (JV). Αν $JV = 1$, ένας Router ή κάποιο End Device επαληθεύει ότι ο Coordinator βρίσκεται στο κανάλι λειτουργίας. Εάν αυτός δεν εντοπιστεί, τότε οι προαναφερόμενοι τύποι κόμβων εγκαταλείπουν το τρέχον κανάλι και προσπαθούν να συμμετάσχουν σε ένα νέο PAN. Αν $JV = 0$, τότε αυτοί οι τύποι κόμβων συνεχίζουν να λειτουργούν στο τρέχον κανάλι, ακόμη και αν δεν εντοπιστεί ένας Coordinator. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας, $JV = 1$.

Σε ό,τι αφορά τις εντολές διευθυνσιοδότησης, μόνο η εντολή Node Identifier (NI) έχει υποβληθεί σε αλλαγές και διαμορφώνει το ID της κεραίας, με τη χρήση 20 (μέγιστη τιμή) χαρακτήρων ASCII. Αν αυτό το όριο στο μέγεθος ξεπεραστεί, τότε επιστρέφεται σφάλμα. Ακόμη, στην περίπτωση των εντολών σειριακής διεπαφής, η έρευνα έχει εστιάσει στην API, η οποία καθορίζει τον τύπο λειτουργίας της κεραίας/συσκευής και έχει πάρει την τιμή 2. Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει τον τύπο λειτουργίας Application Programming Interface, δίνοντας την δυνατότητα διαφυγής από συγκεκριμένους χαρακτήρες.



Σχήμα Δ΄.1: Το σύστημα που περιγράφεται παραπάνω. Ξεκινώντας από κάτω, ένα Arduino Uno απεικονίζεται, μαζί με το breadboard του, ένα Arduino Wireless SD Shield και στην κορυφή, ένα XBee S2C Zigbee module με ασύρματη κεραία.

Κεφάλαιο Ε΄

Αξιολόγηση Τυχαίων Περιπατητών σε Πραγματικό Ασύρματο Δίκτυο

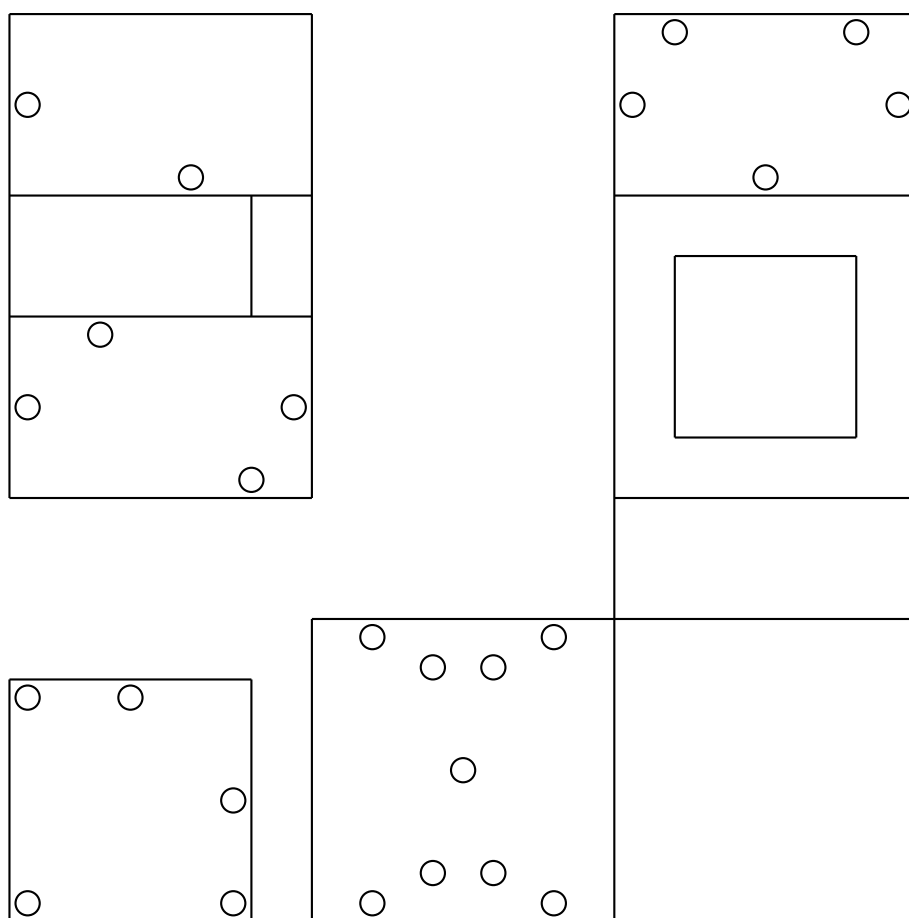
Ο ΠΩΣ έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, η κύρια συνεισφορά της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση και η αξιολόγηση του μηχανισμού των random walkers (multiple και replicated) σε ένα πραγματικό περιβάλλον και για την ακρίβεια σε ένα πραγματικό ασύρματο δίκτυο. Τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό αυτού έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο Δ΄. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η πλήρης παρουσίαση και ερμηνεία των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Ε΄.1 Διάταξη του Δικτύου

Για τους σκοπούς της εργασίας έχει διεξαχθεί με επιτυχία ένα σύνολο 140 πειραμάτων στον προαύλιο χώρο του Ιονίου Πανεπιστημίου (Πλατεία Τσιριγώτη 7, Κέρκυρα, Ελλάδα). Το αναφερθέν δίκτυο αποτελείται από 25 κόμβους, διάσπαρτα εγκατεστημένους στα κτίρια της πανεπιστημιούπολης. Το Σχήμα Ε΄.1 που ακολουθεί, απεικονίζει τη τελική διάταξη των κόμβων.

Ξεκινώντας από τα βασικά, ολοκληρώθηκαν 10 ανεξάρτητες εκτελέσεις του αντίστοιχου αλγορίθμου για καθεμία από τις τιμές του m , όπου $m \in \{1, 2, 4, 8\}$, χωρίς να υλοποιείται ο μηχανισμός του replication. Αντιστοίχως, για την περίπτωση των replication, έλαβαν χώρα 10 ανεξάρτητες εκτελέσεις, κατά τις οποίες οι random walkers, ξεκινώντας με $m_0 \in \{1, 2, 4\}$, γίνονταν replicated ανά 1 hop και το σύνολο τους δεν

30Κεφάλαιο Ε'. Αξιολόγηση Τυχαίων Περιπατητών σε Πραγματικό Ασύρματο Δίκτυο



Σχήμα Ε'.1: Κόμβοι (κύκλοι) που απαρτίζουν την πανεπιστημιούπολη. Οι γραμμές αντιστοιχούν στους τοίχους των κτιρίων.

ξεπερνούσε την τιμή 8. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων, με και χωρίς replication, ο αριθμός των random walkers έφτανε ως μέγιστη τιμή το 8, καθώς αυτό κρίθηκε φρόνιμο για το μέγεθος του δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί και το γεγονός, ότι οι περιπατητές ξεκινούσαν την περιπλάνησή τους στο δίκτυο από δύο διαφορετικές θέσεις εκκίνησης, έτσι ώστε να αξιολογηθεί ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζονται οι επιδόσεις τους.

Στοχεύοντας στη σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων με όσα έχουν ειπωθεί στο κεφάλαιο Ε', μια θεωρητική ανάλυση ακολουθεί και εκτιμάται ότι το Soft Random Geometric Graph (SRGG) μοντέλο [55], [56] είναι αυτό που ταιριάζει καλύτερα στο πραγματικό δίκτυο που σχεδιάστηκε. Σε αυτό το μοντέλο, η πιθανότητα να υπάρχει

σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$p(r) = e^{-(r/r_c)^\gamma}, \quad (\text{Ε'.1})$$

όπου r είναι η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δύο κόμβων, r_c είναι το εύρος της μετάδοσης και γ είναι μια παράμετρος που εξαρτάται από το πεδίο που έχει τοποθετηθεί το δίκτυο.

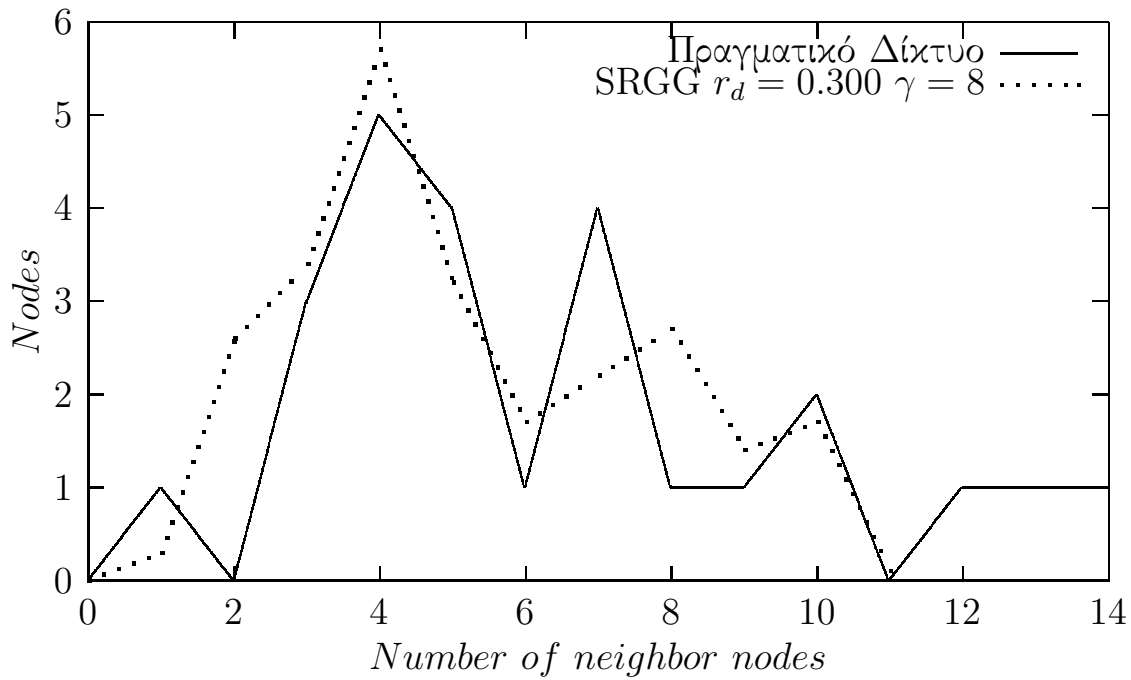
Έπειτα, λοιπόν, από ένα μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων, βρέθηκε ότι για τις κανονικοποιημένες διαστάσεις του πεδίου (τετράγωνο 1×1), οι τιμές των παραμέτρων του SRGG μοντέλου $r_c = 0.300$ και $\gamma = 8$ δημιουργούν παρόμοιες τοπολογίες με αυτή που αναπτύχθηκε στα κτίρια του Ιονίου Πανεπιστημίου. Το Σχήμα Ε'.2 απεικονίζει την κατανομή των γειτόνων του πραγματικού δικτύου και την ίδια κατανομή για την μέση τιμή 10 προσομοιώσεων με το μοντέλο SRGG (με τις θέσεις των κόμβων να αντιστοιχίζονται σε μεγάλο βαθμό με αυτές του πραγματικού δικτύου), χρησιμοποιώντας τις παραπάνω παραμέτρους. Επιπρόσθετα, στο πραγματικό δίκτυο δύο κόμβοι είναι τοποθετημένοι σε μεγαλύτερο ύψωμα, προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνεκτικότητα του δικτύου και γι' αυτό υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός γειτόνων (σχεδόν οι μισοί κόμβοι του δικτύου) που το μοντέλο SRGG δεν είναι σε θέση να αναπαραστήσει.

Ε'.2 Υλοποίηση Τυχαίων Περιπατητών

Προκειμένου να παραχθούν τα απαιτούμενα αποτελέσματα, υλοποιήθηκε ένας αλγόριθμος που αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

- Αρχικοποίηση των κόμβων του δικτύου
- Έναρξη της κάλυψης του δικτύου από τους τυχαίους περιπατητές
- Συλλογή αποτελεσμάτων

Η σειρά εκτέλεσης αυτών των βημάτων καθορίζεται από τον κόμβο που έχει οριστεί ως Coordinator, ο οποίος, μεταξύ άλλων καθηκόντων, είναι υπεύθυνος για την ανίχνευση και εντοπισμό σφαλμάτων, καθώς και για τη συσσωμάτωση της τοπολογίας του δικτύου.



Σχήμα Ε'.2: Αριθμός της κατανομής των γειτόνων στο πραγματικό δίκτυο που βρίσκεται στα κτίρια του Ιονίου Πανεπιστημίου και στις προσομοιώσεις, με τους κόμβους να βρίσκονται στην ίδια θέση με το μοντέλο SRGG με $r_c = 0.300$ και $\gamma = 8$. Στον άξονα y βρίσκεται ο αριθμός των κόμβων που έχει τον αντίστοιχο αριθμό γειτόνων του άξονα x .

Ε'.2.1 Αρχικοποίηση των Κόμβων του Δικτύου

Ο κόμβος που έχει την ιδιότητα του Coordinator, όταν ξεκινά τη λειτουργία του, μεταδίδει έναν τύπο μηνύματος σε όλους τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου, έτσι ώστε να κάνουν επανεκκίνηση. Το μήνυμα αυτό αποστέλλεται χάρη στην κεραία XBee, μιας και δεν διατίθεται ακόμη κάποια πληροφορία σχετική με γείτονες. Εν συνεχεία, σειρά έχει η εύρεση γειτόνων.

Μετά από σχετική αναμονή που έχει προκύψει από μια τυχαία επιλογή στο εύρος τιμών από 1 έως 40 (σε δευτερόλεπτα), στέλνεται ένα broadcast μήνυμα, το οποίο δεν αναμεταδίδεται (πρόκειται δηλ. για 1-hop broadcast). Όποιος κόμβος λάβει αυτό το μήνυμα, απαντά στον αποστολέα με μήνυμα που περιέχει το id του. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και για την ακρίβεια, ανά 50

δευτερόλεπτα και ολοκληρώνεται αφότου έχει πραγματοποιηθεί τρεις φορές.

Στα 160 δευτερόλεπτα γίνεται η υπόθεση ότι η παραπάνω διαδικασία έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς, αφού οι κόμβοι ξεκινούν σχεδόν ταυτοχρόνως τη λειτουργία τους. Κάθε κόμβος ανταλλάσσει με κάθε αποκρινόμενο σε αυτόν κόμβο, τον αριθμό που η μεταξύ τους επικοινωνία ήταν επιτυχής. Αν το άθροισμα των επιτυχημένων αυτών επικοινωνιών είναι μεγαλύτερο ή ίσο του 5, τότε ο ένας κόμβος θεωρεί τον άλλο ως γείτονά του.

Ο Coordinator στα 220 δευτερόλεπτα στέλνει broadcast με την ένδειξη του ρολογιού του (δηλ. το ρολόι του Arduino που ξεκινά την μέτρησή του – σε milliseconds – από τη στιγμή τροφοδότησής του με ρεύμα) σε όλο το δίκτυο και κάθε κόμβος που το λαμβάνει, καταγράφει την ένδειξη αυτή και του απαντά με τα ids των γειτόνων του. Αμφότερες οι διαδικασίες επιτυγχάνονται με την συμβολή της κεραίας XBee. Εφόσον έχουν ληφθεί όλες οι απαντήσεις, κατασκευάζει με βάση αυτά τα ids έναν πίνακα γειτνίασης.

Τα χρονικά διαστήματα που αναφέρονται παραπάνω έχουν διαμορφωθεί με σκοπό την αντιμετώπιση των περιορισμών που θέτει το πρωτόκολλο Zigbee, αναφορικά με τα broadcasts. Οι περιορισμοί αυτοί προκύπτουν, καθώς κάθε συσκευή διαθέτει έναν buffer 8 θέσεων, στον οποίο αποθηκεύονται τα broadcast μηνύματα που λαμβάνει και παραμένουν σε αυτόν για 8 δευτερόλεπτα. Αυτό φέρει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό του ρυθμού λήψης τέτοιων μηνυμάτων σε ένα ανά δευτερόλεπτο (κατά μέσο όρο).

Ε'.2.2 Έναρξη της Κάλυψης του Δικτύου

Ακολουθεί η 'απελευθέρωση' των random walkers, ο αριθμός των οποίων ορίζεται από τον Coordinator και είναι προκαθορισμένος, με αποτέλεσμα για κάθε διαφορετικό πείραμα να απαιτείται η επαναφόρτωση του σχετικού κώδικα. Κάθε random walkers διαθέτει ένα μετρητή που υποδηλώνει την απόσταση που έχει διανύσει (σε hops), γνωστός και ως TTL . Επιλέγεται, λοιπόν, τυχαία ένας γείτονας, στον οποίο και αποστέλλεται. Τη στιγμή αποστολής του/των random walker(s), ο Coordinator θεωρείται πως έχει γίνει covered.

Όταν ένας κόμβος λάβει έναν random walker για πρώτη φορά, τότε γίνεται covered και στέλνει μήνυμα στον Coordinator, το οποίο περιλαμβάνει τις εξής πληροφορίες: (i) το μετρητή TTL του random walker και (ii) τη χρονική στιγμή t που έγινε covered, με βάση την ένδειξη του Coordinator.

Η χρονική στιγμή που προαναφέρεται, προκύπτει από την λογική που ακολουθεί. Έστω:

- t_{Co} η ένδειξη του ρολογιού του Coordinator που έχει ληφθεί.
- t_1 η ένδειξη του ρολογιού του κόμβου, τη στιγμή λήψης του προηγούμενου μηνύματος.
- t_2 η ένδειξη του ρολογιού του κόμβου τη στιγμή λήψης του τυχαίου περιπατητή.

Τότε η τελική χρονική στιγμή που αποστέλλεται θα είναι $t = t_{Co} + (t_2 - t_1)$.

Στη συνέχεια, ο random walker επαναπροωθείται, ανεξάρτητα από την προηγούμενή του επίσκεψη, αφού αυξηθεί ο μετρητής TTL.

Στην περίπτωση των replicated random walkers, αν ο μετρητής TTL που είχε ο random walker την στιγμή επίσκεψης σε έναν κόμβο, είναι μικρότερος ή ίσος του $\log_2 \frac{m}{m_0}$, τότε δημιουργείται αντίγραφο του. Έπειτα, επιλέγει έναν τυχαίο γείτονα και ακολουθεί την ίδια λογική με παραπάνω.

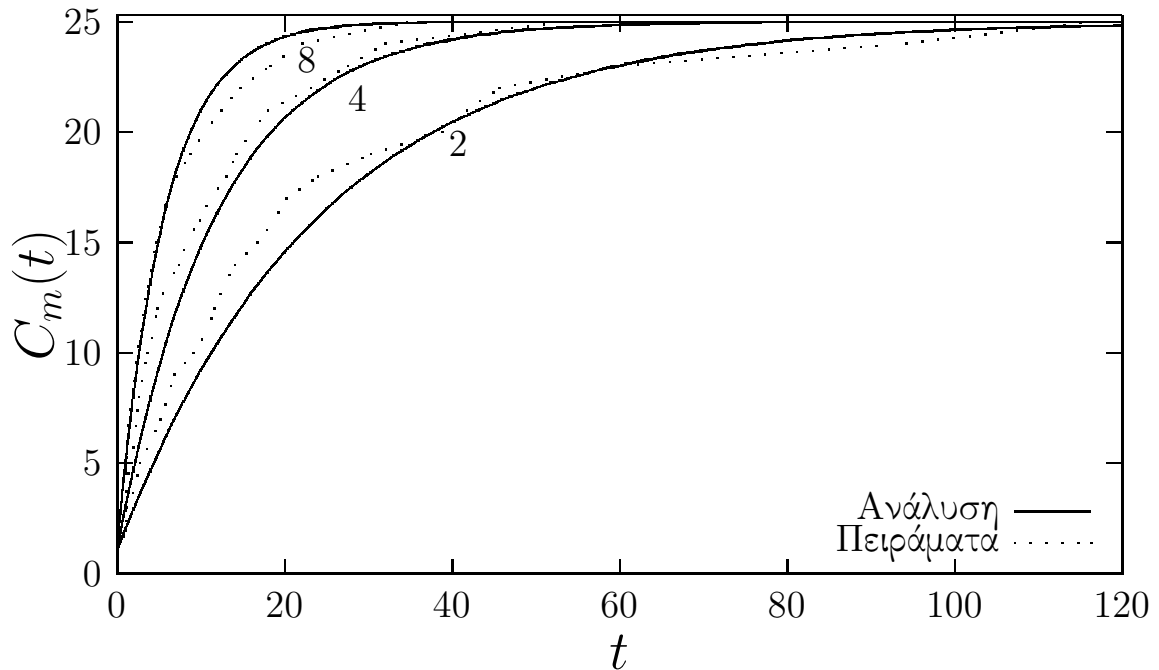
Ε'.2.3 Συλλογή Αποτελεσμάτων

Ο Coordinator, όταν έχει λάβει μηνύματα κάλυψης από όλους τους κόμβους του δικτύου, το πλήθος των οποίων το γνωρίζει από τη φάση της αρχικοποίησης, εμφανίζει τις πληροφορίες που περιέχονται σε αυτά στην οθόνη του συνδεδεμένου με αυτόν υπολογιστή (η σύνδεση επιτυγχάνεται μέσω σειριακής επικοινωνίας). Έπειτα, αποστέλλει μήνυμα σε όλους τους κόμβους, ώστε να τερματιστεί η περιπλάνηση των random walkers στο δίκτυο.

Ε'.3 Πειραματικά Αποτελέσματα

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα, αποδεικνύοντας ότι το χρησιμοποιούμενο σύστημα είναι κατάλληλο για την εφαρμογή random walkers.

Το Σχήμα Ε'.3 απεικονίζει τόσο τα αναλυτικά όσο και τα πειραματικά αποτελέσματα, όσον αφορά την κάλυψη του δικτύου για 2, 4 και 8 random walkers. Είναι προφανές ότι τα πειραματικά αποτελέσματα είναι κοντά στα αναλυτικά και σε αρμονία με την εξίσωση (Γ'.1), υπό την έννοια ότι οκτώ random walkers καλύπτουν τον ίδιο

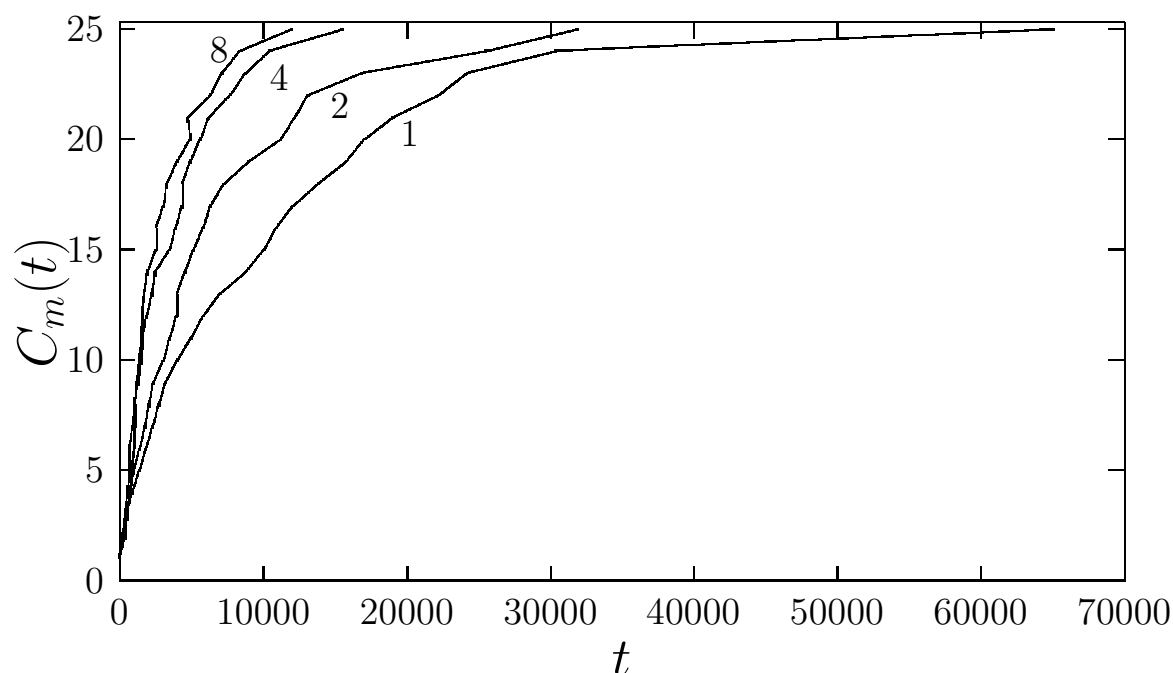


Σχήμα Ε'.3: Πειραματικά και Αναλυτικά αποτελέσματα για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου για 2, 4, 8 random walkers (χρόνος σε αριθμό hops).

αριθμό κόμβων, σε σύγκριση με ένα μόνο random walker, στο $\frac{1}{8}$ της συνολικής χρονικής περιόδου. Επιπλέον, το Σχήμα Ε'.4 παρουσιάζει το $C_m(t)$ σε σχέση με το χρόνο, μετρούμενο σε milliseconds. Σαν συμπέρασμα από τα παραπάνω, θα έλεγε κανείς ότι όσο πιο ψηλά είναι ο αριθμός των random walkers, τόσο πιο γρήγορη είναι η κάλυψη του δικτύου.

Το Σχήμα Ε'.5, επίσης δείχνει μία συσχέτιση μεταξύ των πειραματικών και των αναλυτικών αποτελεσμάτων. Στην πραγματικότητα, ο χρόνος (σε αριθμό hops) που απαιτείται για να καλύψει όλους τους κόμβους του πραγματικού δικτύου συμπίπτει με αυτόν του θεωρητικού μοντέλου. Επιπρόσθετα, το Σχήμα Ε'.6 απεικονίζει τον χρόνο τερματισμού, δηλαδή τον απαιτούμενο για την κάλυψη του δικτύου χρόνο, μετρημένο σε δευτερόλεπτα, παρουσιάζοντας μια παρόμοια συμπεριφορά με το Σχήμα Ε'.5.

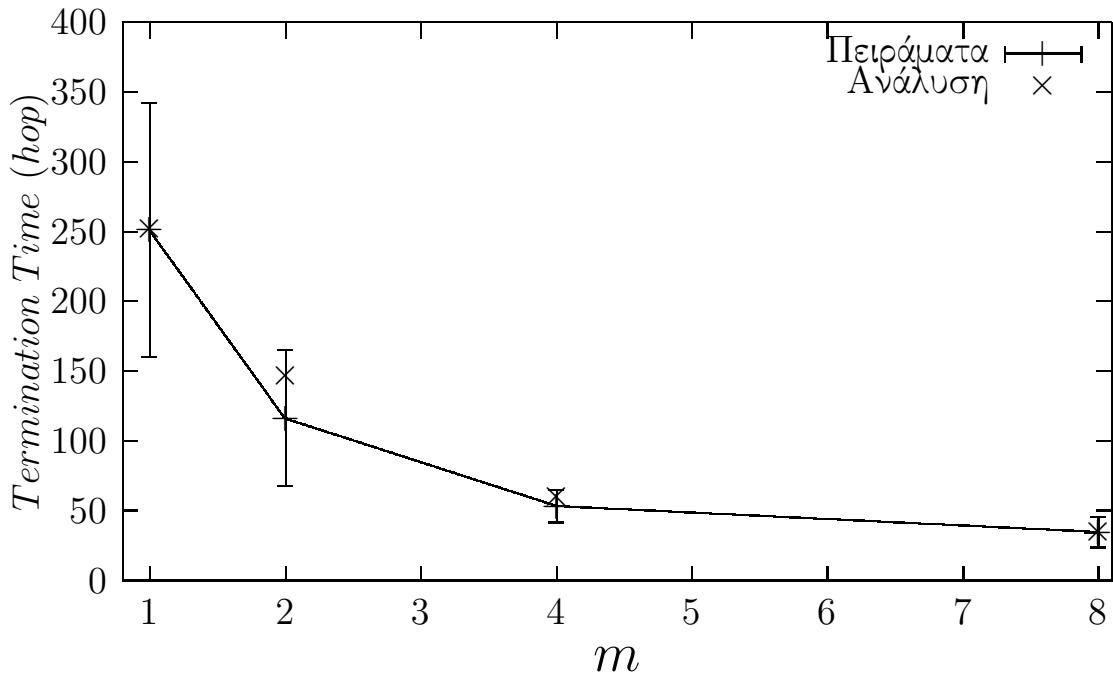
Στο Σχήμα Ε'.7 παρουσιάζεται η κάλυψη του δικτύου για την περίπτωση των 8 συνολικά random walkers, χωρίς ο μηχανισμός του replication να πραγματοποιείται, αλλά και για την περίπτωση, κατά την οποία από έναν αρχικό αριθμό του 1 random



Σχήμα Ε'.4: Πειραματικά αποτελέσματα για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου για 1, 2, 4 και 8 random walkers (χρόνος σε milliseconds).

walker, μέσω των απαιτούμενων replications, ο τελικός αριθμός φτάνει και πάλι τους 8. Αρχικά, το $C_m(t)$ είναι χαμηλότερο στην τελευταία περίπτωση, κάτι αναμενόμενο, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο αριθμός των random walkers αυξάνεται σταδιακά, αλλά τελικά επιτυγχάνεται ένας ταχύτερος χρόνος τερματισμού, σε σύγκριση με την πρώτη περίπτωση.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά την διάρκεια των πειραμάτων επιλέχθηκαν 2 διαφορετικές θέσεις για τον Coordinator, ο οποίος, όπως έχει ειπωθεί πολλάκις, 'απελευθερώνει' τους random walkers και συλλέγει τα τελικά αποτελέσματα. Έτσι, λοιπόν, η επιλογή διαφορετικών θέσεων εκκίνησης είχε ως στόχο, την διαπίστωση του αν αυτή η αλλαγή θα επηρέαζε τη συμπεριφορά των τυχαίων περιπατητών και εν τέλει, τα αποτελέσματα. Στο Σχήμα Ε'.8 φαίνεται ότι ο μηχανισμός του replication δε δίνει μεγάλο πλεονέκτημα στην κάλυψη του δικτύου, όταν το σημείο εκκίνησης είναι το B . Για την ακρίβεια, φαίνεται ότι όσα περισσότερα replications λαμβάνουν χώρα, τόσο μεγαλύτερος ο αριθμός των hops που απαιτείται.



Σχήμα Ε'.5: Πειραματικά και Αναλυτικά αποτελέσματα για το χρόνο κάλυψης του πραγματικού δικτύου για 1, 2, 4 και 8 random walkers (χρόνος σε αριθμό hops).

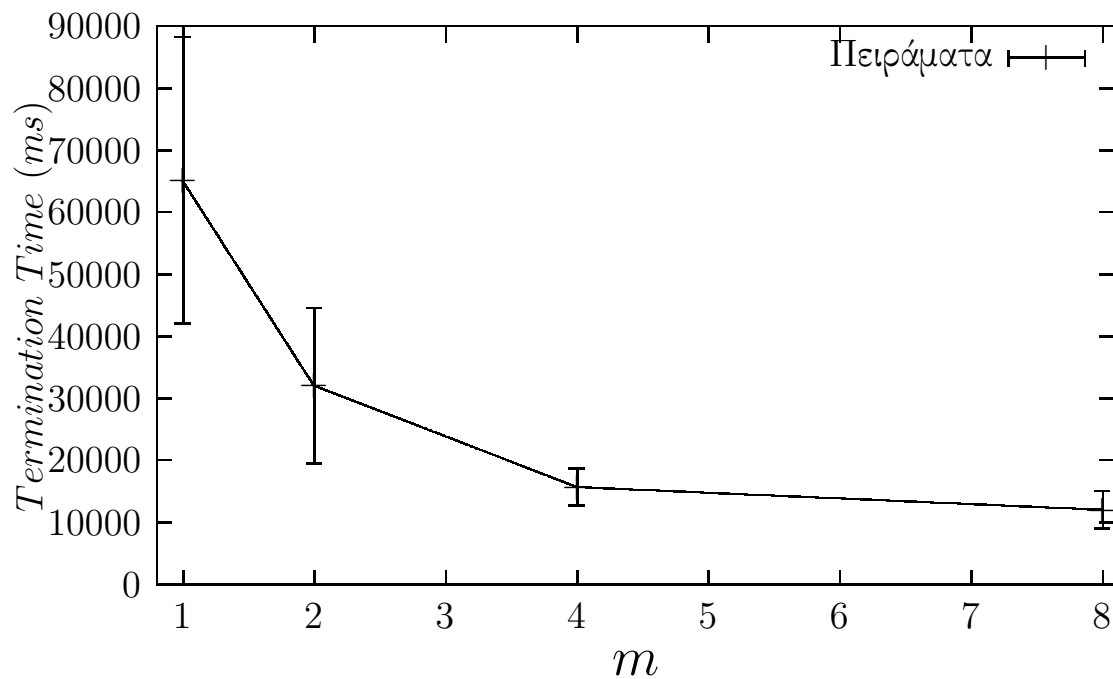
Προκειμένου να αναλυθεί σε βάθος η συμπεριφορά των random walkers, επιλέχθηκαν με πλήρη τυχειότητα κάποια πειράματα και ειδικότερα, από ένα (υπενθυμίζεται ότι το σύνολο είναι 10) για κάθε μία από τις τιμές του m (δεν υλοποιείται ο μηχανισμός του replication) και του m_0 (υλοποιείται ο μηχανισμός του replication).

- Χωρίς υλοποίηση του μηχανισμού replication

Στα Σχήματα Ε'.9, Ε'.10, Ε'.11, Ε'.12 φαίνεται η συμπεριφορά 1, 2, 4 και 8 random walkers αντίστοιχα. Όσο αυξάνεται ο αριθμός τους, τόσο μειώνεται ο αριθμός των hops που απαιτείται για την κάλυψη ολόκληρου του πραγματικού δικτύου. Ωστόσο, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι για μικρότερο αριθμό random walkers στο δίκτυο, παρατηρείται μια καθυστέρηση στην επίσκεψη και κάλυψη ενός νέου κόμβου.

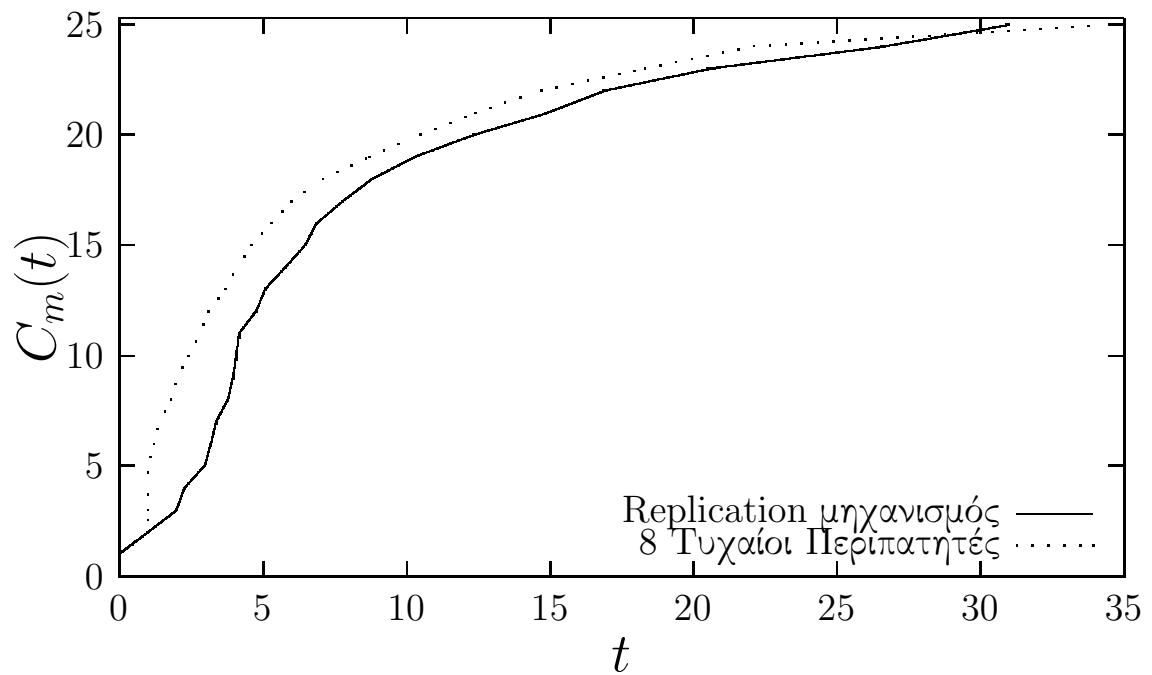
- Με υλοποίηση του μηχανισμού replication

Στα Σχήματα Ε'.13, Ε'.14, Ε'.15 απεικονίζεται η συμπεριφορά 1, 2 και 4 random

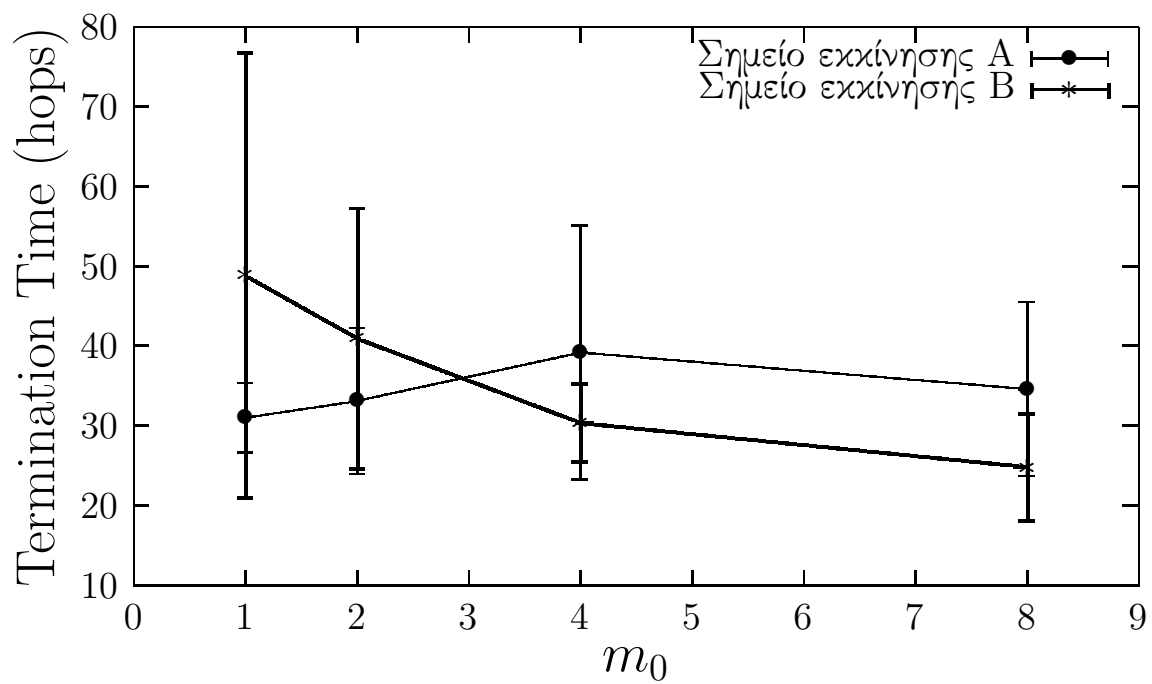


Σχήμα Ε'.6: Πειραματικά αποτελέσματα για το χρόνο κάλυψης του πραγματικού δικτύου για 1, 2, 4 και 8 random walkers (χρόνος σε milliseconds).

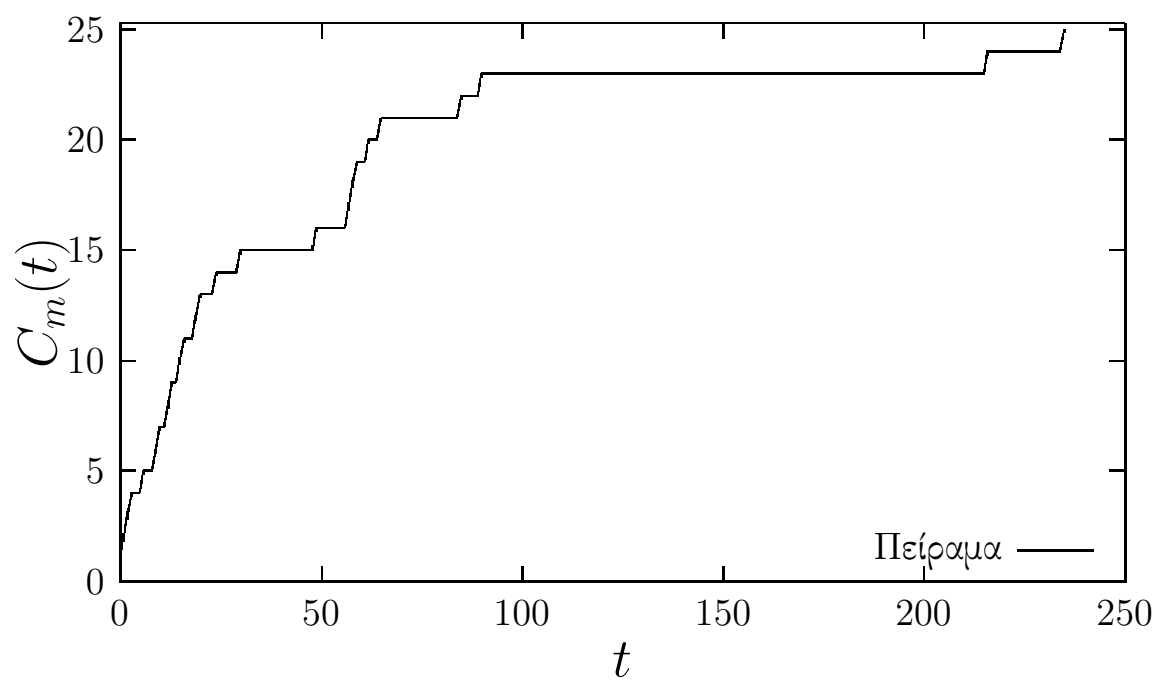
walkers που έχουν δημιουργήσει replicas των εαυτών τους. Ο αριθμός των hops κυμαίνεται σε μικρότερες τιμές, συγκριτικά με αυτές χωρίς την υλοποίηση του replication, επιβεβαιώνοντας τη χρησιμότητα του μηχανισμού.



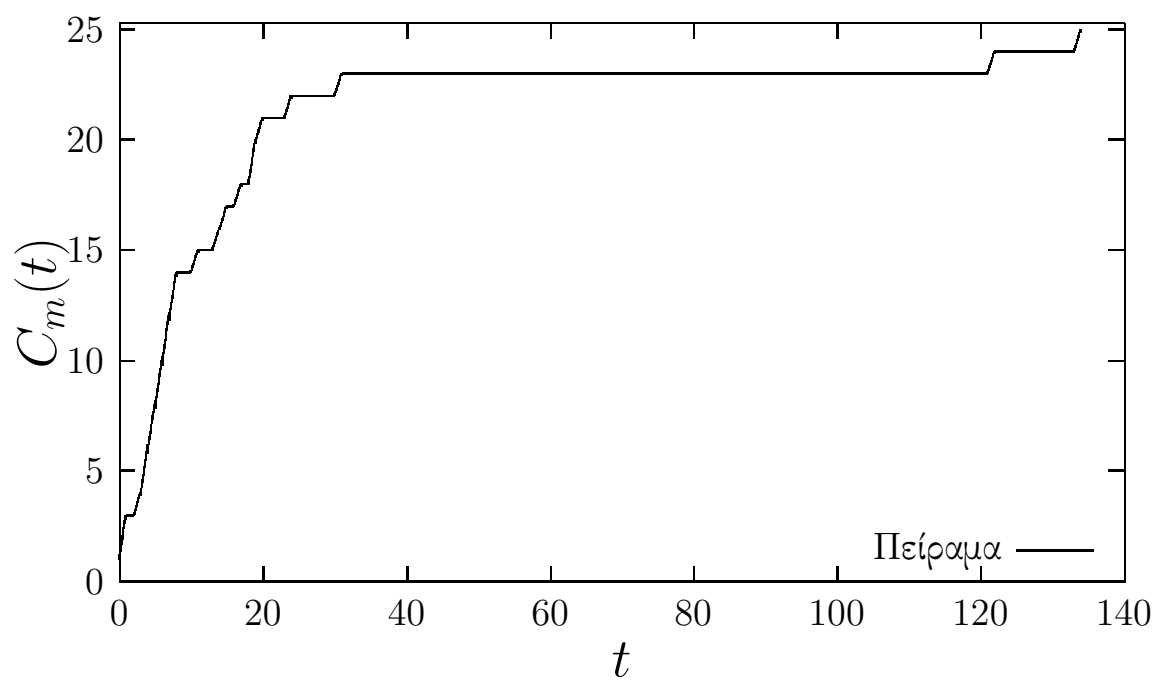
Σχήμα Ε'.7: Πειραματικά αποτελέσματα για το χρόνο κάλυψης του πραγματικού δικτύου, με τη χρήση 8 random walkers, καθώς και με το μηχανισμό του replication, ο οποίος ξεκινά με 1 random walker (χρόνος σε αριθμό hops).



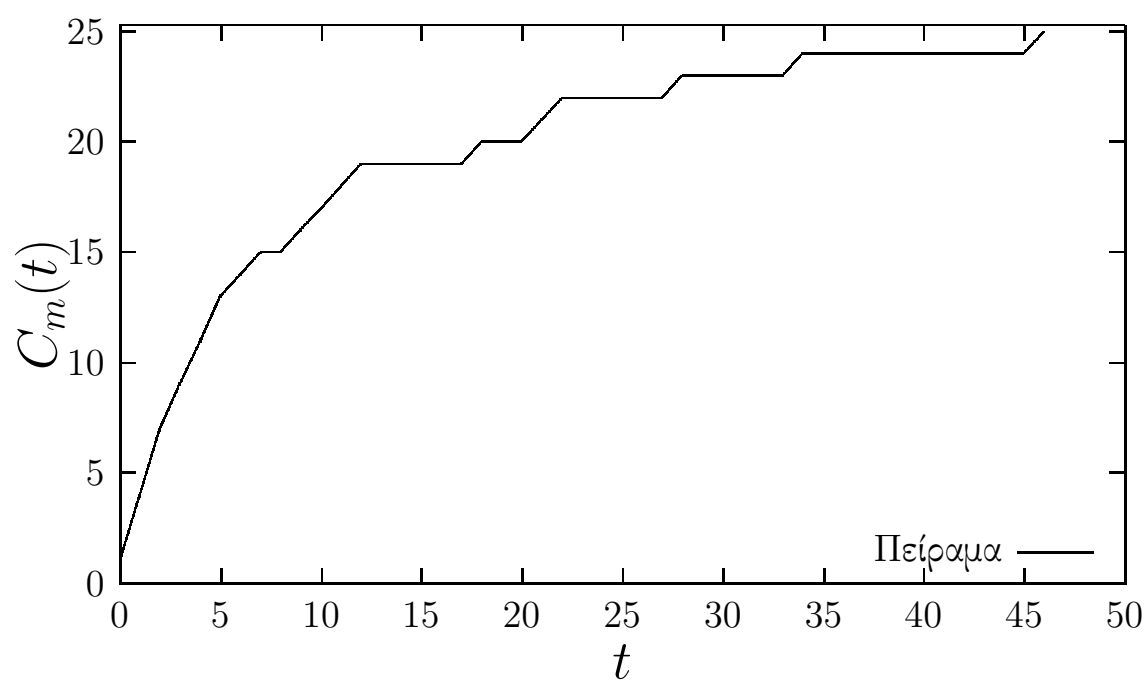
Σχήμα Ε'.8: Πειραματικά αποτελέσματα για το χρόνο κάλυψης του πραγματικού δικτύου, με τη χρήση του μηχανισμού replication, ο οποίος ξεκινά με 1 random walker από δύο διαφορετικά σημεία εκκίνησης (χρόνος σε αριθμό hops).



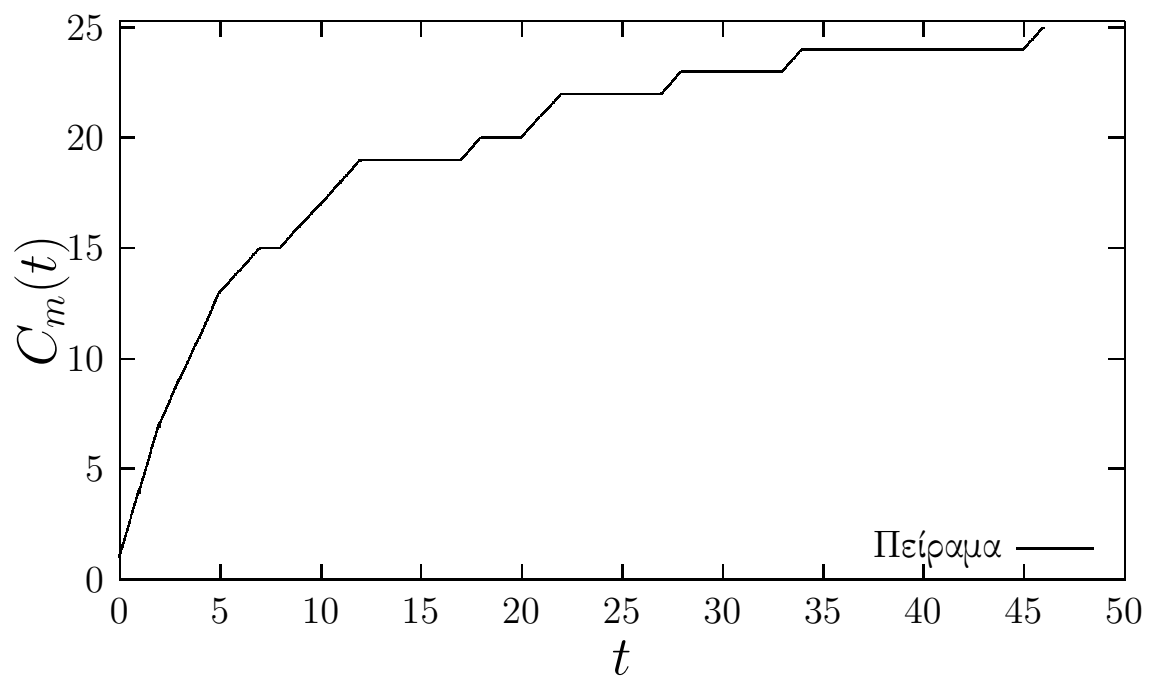
Σχήμα Ε'.9: Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου με 1 random walker.



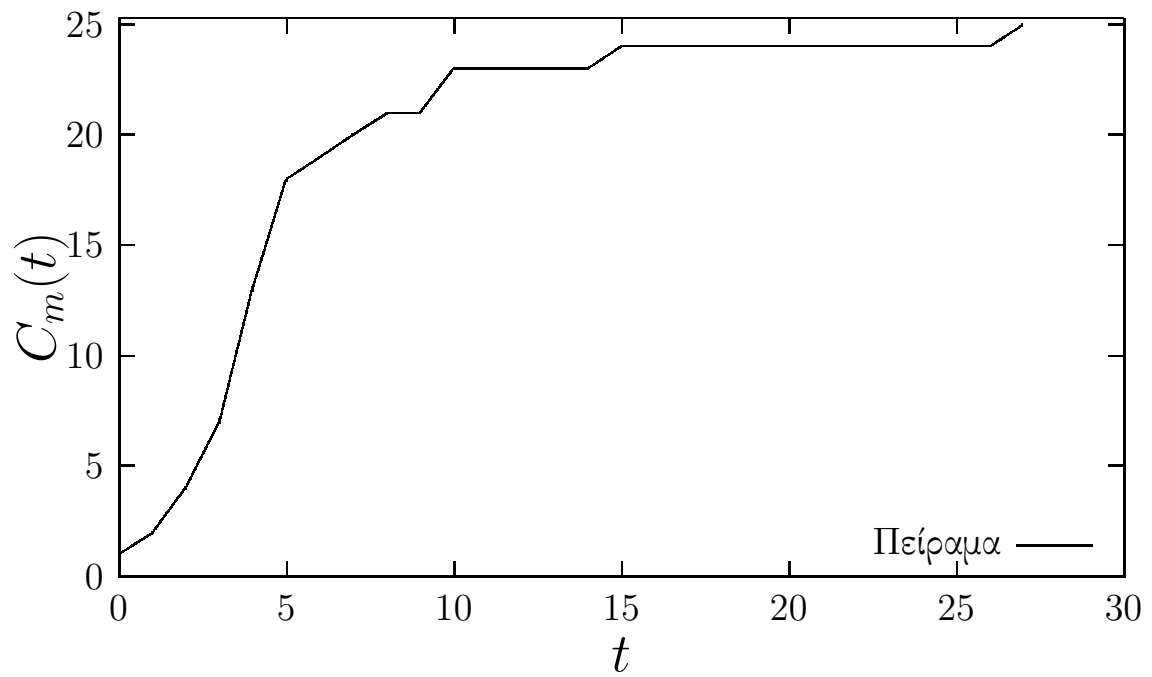
Σχήμα Ε'.10: Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου με 2 random walkers.



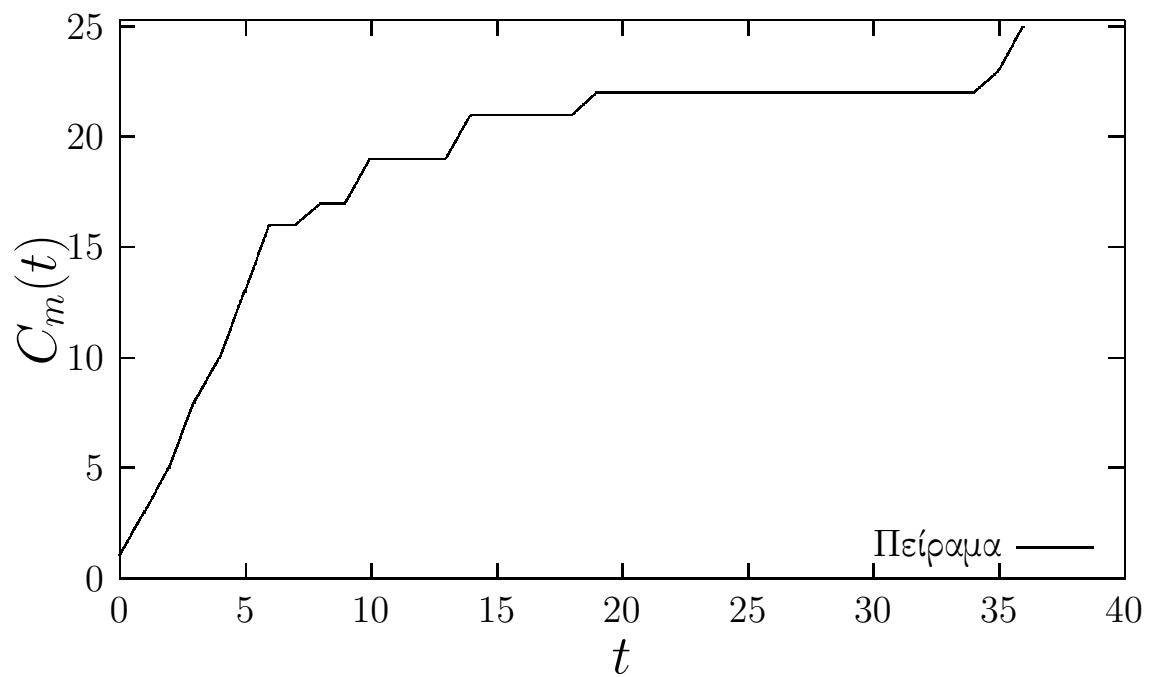
Σχήμα Ε'.11: Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου με 4 random walkers.



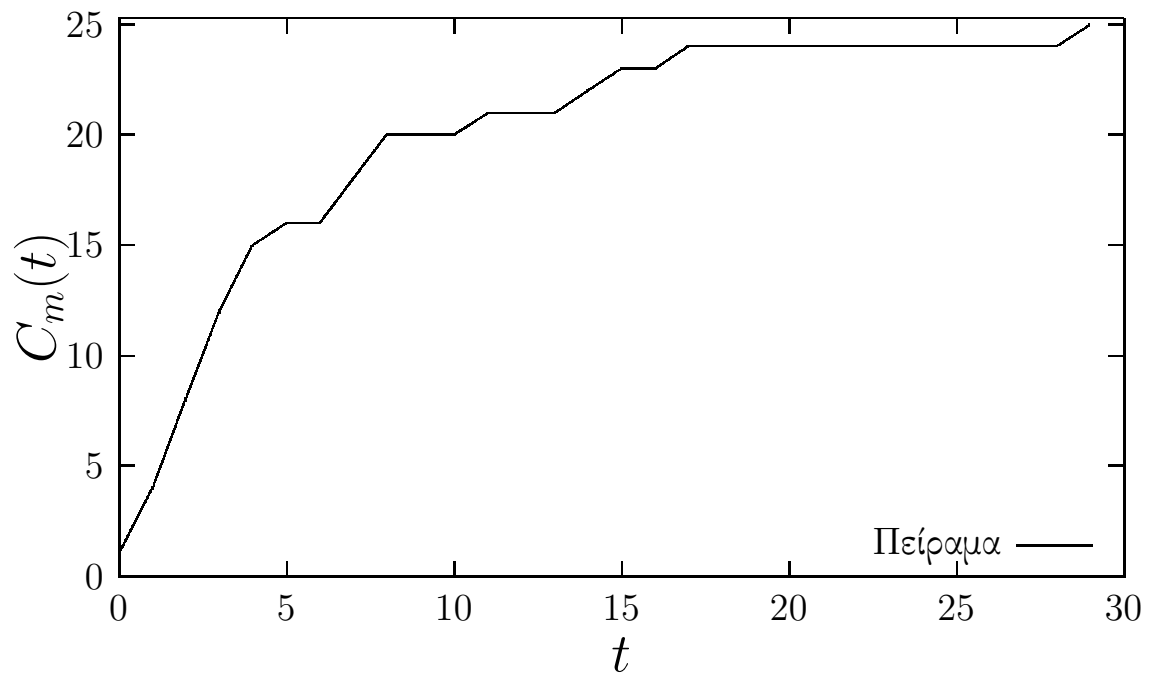
Σχήμα Ε'.12: Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου με 8 random walkers.



Σχήμα Ε'.13: Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου, με τη χρήση του μηχανισμού replication, ο οποίος ξεκινά με 1 random walker.



Σχήμα Ε΄.14: Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου, με τη χρήση του μηχανισμού replication, ο οποίος ξεκινά με 2 random walkers.



Σχήμα Ε'.15: Χρόνος (σε αριθμό hops) που χρειάστηκε για την κάλυψη του πραγματικού δικτύου, με τη χρήση του μηχανισμού replication, ο οποίος ξεκινά με 4 random walkers.

Κεφάλαιο Γ΄

Σύνοψη και Συμπεράσματα

ΟΙ πυρετώδεις ρυθμοί της σύγχρονης κοινωνίας έχουν οδηγήσει σε αλματώδεις τεχνολογικές εξελίξεις, κάτι το οποίο έχει επηρεάσει τις περισσότερες εκφάνσεις του καθημερινού βίου, ακόμη και τον τρόπο ζωής και συμπεριφοράς ενός ατόμου στο ίδιο του το σπίτι. Η ανάγκη αυτοματοποίησης διαδικασιών, με απώτερο στόχο την εξοικονόμηση χρόνου και την πληρέστερη ικανοποίηση αναγκών και επιθυμιών στρέφει τους πολίτες στην κατοίκηση έξυπνων σπιτιών.

Στα έξυπνα σπίτια επιτρέπεται ο έλεγχος και η παρακολούθηση των συνδεδεμένων οικιακών συσκευών, από έξυπνες οικιακές εφαρμογές, έξυπνα τηλέφωνα (smartphones) ή άλλες συσκευές του δικτύου. Οι χρήστες/κάτοικοι μπορούν να ελέγξουν εξ αποστάσεως αυτά τα συστήματα, οπουδήποτε και αν βρίσκονται. Αυτό συνεπάγεται με την αποδοτικότερη χρήση ενέργειας, καθώς και με την εξασφάλιση υψηλών επιπέδων ασφάλειας του σπιτιού.

Αυτές οι οικιακές συσκευές αφορούν θερμοστάτες, ασύρματα συστήματα ομιλίας, φωτισμού κι ασφαλείας, ανιχνευτές καπνού, διοξειδίου του άνθρακα και νερού, ψυγεία, πλυντήρια ρούχων, κάμερες ασφαλείας κ.ά. Ο αριθμός αυτών συνεχώς πολλαπλασιάζεται τόσο από άποψη ποσότητας, όσο και από άποψη χρησιμότητας και σκοπού λειτουργίας, εφόσον οι νέες ανάγκες και επιθυμίες των καταναλωτών οδηγούν στην ανάγκη για συσκευές με νέες λειτουργίες και προσόντα.

Η ανταλλαγή δεδομένων και, γενικότερα, η διάχυση πληροφοριών για την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί σε τέτοιου είδους συστήματα αποτελεί μια απαιτητική και ταυτόχρονα κρίσιμη για την αποδοτικότητά τους διαδικασία. Οι συμβατικές μέθοδοι, όπως η τεχνική του flooding, χάνουν στα σημεία, επιτρέποντας στους random walkers

να κερδίσουν έδαφος, σε ό,τι αφορά τον όγκο των μηνυμάτων που μεταδίδονται και το ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται, παράγοντες υψίστης σημασίας για τα σύγχρονα συστήματα με τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις.

Οι δύο παραπάνω παράγοντες που δίνουν προστιθέμενη αξία στους random walkers είναι αλληλένδετοι και αρκετά σημαντικοί, εφόσον επηρεάζουν τη ταχύτητα απόκρισης των συστημάτων και την ποιότητα τους. Ιδιαίτερα, το ποσοστό ενέργειας που καταναλώνουν διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο, τόσο στην απόδοσή τους, όσο και στην διάρκεια ζωής τους. Από μια άλλη σκοπιά, το ποσοστό αυτό επηρεάζει και το ευρύτερο φυσικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα ένα χαμηλό ποσοστό να ισοδυναμεί με λιγότερο ανησυχητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Σε αυτή την εργασία, χρησιμοποιήθηκαν multiple και replicated random walkers, μέσω σχετικής εφαρμογής αλγορίθμου, για να διερευνηθεί και να αναλυθεί η κάλυψη ενός δικτύου, τόσο από την άποψη του πραγματικού χρόνου, όσο και από την άποψη του αριθμού των hops που απαιτούνται για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας. Το εν λόγω δίκτυο αποτελούταν από 25 συνολικά κόμβους, οι οποίοι βρίσκονταν τοποθετημένοι σε διάσπαρτα σημεία των κτιρίων που περιβάλλουν το Ιόνιο Πανεπιστήμιο, γεγονός που αποτελεί μεγάλο προτέρημα, καθώς οι περισσότερες υλοποιήσεις αυτής της τεχνικής έχουν πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια κάποιου προσομοιωτή.

Τα πειραματικά αποτελέσματα τείνουν να συμβαδίζουν με αυτά της θεωρητικής ανάλυσης, υποδεικνύοντας ότι το χρησιμοποιούμενο σύστημα καταγράφει αποτελεσματικά τη συμπεριφορά των random walkers. Για την κατασκευή αυτού του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά εργαλεία/μέσα (Arduino Uno, Arduino Wireless SD Shield, XBee S2C Zigbee Module), ο συνδυασμός των οποίων συντελούσε κάθε κόμβο. Κάθε ένα από αυτά αποτελούσε ζωτικό – για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας – στοιχείο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μεμονωμένα, είτε συνδυαστικά με τα υπόλοιπα, για μια πληθώρα εφαρμογών.

Μεταξύ αυτών, τα αποτελέσματα που προέκυψαν φανερώνουν ένα υψηλό επίπεδο καταλληλότητας των random walkers σε πραγματικά ασύρματα δίκτυα, η λειτουργικότητα των οποίων είναι κάπως αμφίβολη και επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους, όπως οι καιρικές συνθήκες και τα οικοδομικά υλικά. Κατ' επέκτασιν, είναι αρκετά πιθανό, η δοκιμή του συγκεκριμένου μηχανισμού και σε οικιακά περιβάλλοντα να είναι αποδοτική και ευνοϊκή για την εγκαθίδρυσή τους.

Εν κατακλείδι, είναι εντυπωσιακά ελκυστική, ως προς το επιστημονικό ενδιαφέρον που παρουσιάζει, η εφαρμογή random walkers σε διάφορα είδη έξυπνων περιβαλλόντων,

τα οποία αποτελούν την νέα τάση, αφού ολοένα και περισσότεροι άνθρωποι στρέφονται σε αυτά, προκειμένου να εξεταστεί διεξοδικά η απόδοση αυτής της συγκεκριμένης τεχνικής και να γίνει η αρχή της επίλυσης των πιθανά επαχθών προβλημάτων.

Βιβλιογραφία

- [1] G. A. Akpakwu, B. J. Silva, G. P. Hancke, and A. M. Abu-Mahfouz, “A survey on 5G networks for the internet of things: Communication technologies and challenges,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3619–3647, 2018.
- [2] W. Ejaz, A. Anpalagan, M. A. Imran, M. Jo, M. Naeem, S. B. Qaisar, and W. Wang, “Internet of things (IoT) in 5G wireless communications,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 10310–10314, 2016.
- [3] J. Cheng, W. Chen, F. Tao, and C.-L. Lin, “Industrial IoT in 5G environment towards smart manufacturing,” *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 10, pp. 10 – 19, 2018.
- [4] M. Wang, G. Zhang, C. Zhang, J. Zhang, and C. Li, “An IoT-based appliance control system for smart homes,” in *2013 Fourth International Conference on Intelligent Control and Information Processing (ICICIP)*, pp. 744–747, June 2013.
- [5] S. D. T. Kelly, N. K. Suryadevara, and S. C. Mukhopadhyay, “Towards the implementation of IoT for environmental condition monitoring in homes,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, pp. 3846–3853, Oct 2013.
- [6] K. E. Skouby and P. Lynggaard, “Smart home and smart city solutions enabled by 5G, IoT, AAI and CoT services,” in *2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, pp. 874–878, Nov 2014.
- [7] H. Ghayvat, S. Mukhopadhyay, X. Gui, and N. Suryadevara, “WSN- and IoT-based smart homes and their extension to smart buildings,” *Sensors*, vol. 15, no. 5, pp. 10350–10379, 2015.

- [8] F. K. Aldrich, “Smart homes: past, present and future,” in *Inside the smart home*, pp. 17–39, Springer, 2003.
- [9] M. R. Alam, M. B. I. Reaz, and M. A. M. Ali, “A review of smart homes - past, present, and future,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 42, pp. 1190–1203, Nov 2012.
- [10] S. Farahani, *ZigBee wireless networks and transceivers*. Newnes, 2011.
- [11] “Arduino.” <https://www.arduino.cc/>. [Online; accessed 27-April-2019].
- [12] W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, “Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks,” in *Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pp. 174–185, ACM, 1999.
- [13] G. Williamson, G. Stevenson, S. Neely, L. Coyle, and P. Nixon, “Scalable information dissemination for pervasive systems: Implementation and evaluation,” in *Proceedings of the 4th International Workshop on Middleware for Pervasive and Ad-Hoc Computing (MPAC 2006)*, MPAC ’06, (New York, NY, USA), pp. 7–, ACM, 2006.
- [14] P. P. Parikh, M. G. Kanabar, and T. S. Sidhu, “Opportunities and challenges of wireless communication technologies for smart grid applications,” in *IEEE PES General Meeting*, pp. 1–7, July 2010.
- [15] R. Ma, H. Chen, Y. Huang, and W. Meng, “Smart grid communication: Its challenges and opportunities,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, pp. 36–46, March 2013.
- [16] R. J. Robles and T.-h. Kim, “Applications, systems and methods in smart home technology: A,” *Int. Journal of Advanced Science And Technology*, vol. 15, 2010.
- [17] W. Teng, Y. Pao, and S. Chung, “Design of MyServer: A residential server in smart home systems,” in *2008 IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference*, pp. 580–586, Dec 2008.

- [18] X. Li, R. Lu, X. Liang, X. Shen, J. Chen, and X. Lin, “Smart community: an internet of things application,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 11, pp. 68–75, 2011.
- [19] E. Baccelli, C. Mehlis, O. Hahm, T. C. Schmidt, and M. Wählisch, “Information centric networking in the IoT: Experiments with NDN in the wild,” in *Proceedings of the 1st ACM Conference on Information-Centric Networking*, ACM-ICN ’14, (New York, NY, USA), pp. 77–86, ACM, 2014.
- [20] O. Hamdan, H. Shanableh, I. Zaki, A. R. Al-Ali, and T. Shanableh, “Iot-based interactive dual mode smart home automation,” in *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 1–2, Jan 2019.
- [21] L. Lovász *et al.*, “Random walks on graphs: A survey,” *Combinatorics, Paul erdos is eighty*, vol. 2, no. 1, pp. 1–46, 1993.
- [22] N. Alon, C. Avin, M. Koucky, G. Kozma, Z. Lotker, and M. R. Tuttle, “Many random walks are faster than one,” in *Proceedings of the Twentieth Annual Symposium on Parallelism in Algorithms and Architectures*, SPAA ’08, (New York, NY, USA), pp. 119–128, ACM, 2008.
- [23] R. Elsasser and T. Sauerwald, “Tight bounds for the cover time of multiple random walks,” *Theoretical Computer Science*, vol. 412, no. 24, pp. 2623 – 2641, 2011. Selected Papers from 36th International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP 2009).
- [24] C. Cooper, A. Frieze, and T. Radzik, “Multiple random walks in random regular graphs,” *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, vol. 23, no. 4, pp. 1738–1761, 2010.
- [25] P. Berenbrink, G. Giakkoupis, and P. Kling, “Tight bounds for coalescing-branching random walks on regular graphs,” in *Proceedings of the Twenty-Ninth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, SODA ’18, (Philadelphia, PA, USA), pp. 1715–1733, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2018.
- [26] C. Avin and G. Ercal, “On the cover time of random geometric graphs,” in *Automata, Languages and Programming* (L. Caires, G. F. Italiano, L. Monteiro,

- C. Palamidessi, and M. Yung, eds.), (Berlin, Heidelberg), pp. 677–689, Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [27] K. Skiadopoulos, K. Giannakis, and K. Oikonomou, “Random walker coverage analysis for information dissemination in wireless sensor networks,” *Technologies*, vol. 5, no. 2, p. 33, 2017.
- [28] C. Gkantsidis, M. Mihail, and A. Saberi, “Random walks in peer-to-peer networks: Algorithms and evaluation,” *Performance Evaluation*, vol. 63, no. 3, pp. 241 – 263, 2006. P2P Computing Systems.
- [29] M. Zhong and K. Shen, “Popularity-biased random walks for peer-to-peer search under the square-root principle.,” in *IPTPS*, 2006.
- [30] Q. Lv, P. Cao, E. Cohen, K. Li, and S. Shenker, “Search and replication in unstructured peer-to-peer networks,” in *Proceedings of the 16th International Conference on Supercomputing*, ICS ’02, (New York, NY, USA), pp. 84–95, ACM, 2002.
- [31] L. Tzevelekas, K. Oikonomou, and I. Stavrakakis, “Random walk with jumps in large-scale random geometric graphs,” *Computer Communications*, vol. 33, no. 13, pp. 1505 – 1514, 2010.
- [32] R. Beraldi, “Random walk with long jumps for wireless ad hoc networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 2, pp. 294 – 306, 2009.
- [33] K. Oikonomou, D. Kogias, and I. Stavrakakis, “A study of information dissemination under multiple random walkers and replication mechanisms,” *ACM Proceedings of the Second International Workshop on Mobile Opportunistic Networking*, p. 118, 2010.
- [34] Qianbing Zheng, Xicheng Lu, Peidong Zhu, and Wei Peng, “An efficient random walks based approach to reducing file locating delay in unstructured p2p network,” in *GLOBECOM ’05. IEEE Global Telecommunications Conference, 2005.*, vol. 2, pp. 5 pp.–, Nov 2005.
- [35] D. Kogias, K. Oikonomou, and I. Stavrakakis, “Study of randomly replicated random walks for information dissemination over various network topologies,”

- in *2009 Sixth International Conference on Wireless On-Demand Network Systems and Services*, pp. 53–60, Feb 2009.
- [36] D. Kogias, K. Oikonomou, and I. Stavrakakis, “Replicated random walks for service advertising in unstructured environments,” in *Advances in Ad Hoc Networking* (P. Cuenca, C. Guerrero, R. Puigjaner, and B. Serra, eds.), (Boston, MA), pp. 25–36, Springer US, 2008.
- [37] K. Skiadopoulos, K. Giannakis, K. Oikonomou, and I. Stavrakakis, “Analysis of Multiple Random Walkers for Service Discovery in Fog Computing Network Environments,” in *Second International Balkan Conference on Communications and Networking 2018 (BalkanCom’18)*, (Podgorica, Montenegro), jun 2018.
- [38] S. Sojjoyo and A. Ashari, “Analysis of zigbee data transmission on wireless sensor network topology,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl*, vol. 8, pp. 145–151, 2017.
- [39] Y. F. Solahuddin and W. Ismail, “Data fusion for reducing power consumption in arduino-xxee wireless sensor network platform,” in *2014 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS)*, pp. 1–6, June 2014.
- [40] M. Ouadou, O. Zytoune, Y. El Hillali, A. Menhaj-Rivenq, and D. Aboutajdine, “Minimum spanning tree topology in real zigbee-arduino sensor network,” in *Ad Hoc Networks* (N. Mitton, M. E. Kantarci, A. Gallais, and S. Papavassiliou, eds.), (Cham), pp. 57–68, Springer International Publishing, 2015.
- [41] P. Maiti, B. Sahoo, A. K. Turuk, and S. Satpathy, “Sensors data collection architecture in the Internet of mobile things as a service (IoMTaaS) platform,” in *2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, pp. 578–582, Feb 2017.
- [42] M. Schwartz, *Arduino Home Automation Projects*. Packt Publishing Ltd, 2014.
- [43] A. Yusuf and M. A. Baba, “Design and implementation of a home automated system based on arduino, zigbee and android,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 97, no. 9, 2014.

- [44] Y. Wang, S. Chang, G. Shan, and H. Li, “A wireless sensor system for the training of hammer throwers,” in *2014 Tenth International Conference on Computational Intelligence and Security*, pp. 620–623, Nov 2014.
- [45] “Smart home energy. what is a smart home?.” <http://smarthomeenergy.co.uk/what-smart-home>. [Online; accessed 12-May-2019].
- [46] M. Schiefer, “Smart home definition and security threats,” in *2015 Ninth International Conference on IT Security Incident Management IT Forensics*, pp. 114–118, May 2015.
- [47] L. L. Peterson and B. S. Davie, *Computer networks: a systems approach*. Elsevier, 2007.
- [48] C. Gomez and J. Paradells, “Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, pp. 92–101, June 2010.
- [49] T. D. P. Mendes, R. Godina, E. M. G. Rodrigues, J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalao, “Smart home communication technologies and applications: Wireless protocol assessment for home area network resources,” *Energies*, vol. 8, no. 7, pp. 7279–7311, 2015.
- [50] K. Skiadopoulos, K. Oikonomou, M. Avlonitis, K. Giannakis, D. Kogias, and I. Stavrakakis, “Multiple and replicated random walkers analysis for service discovery in fog computing iot environments,” *Ad Hoc Networks*, vol. 93, p. 101893, 2019.
- [51] “Arduino.” <https://store.arduino.cc/arduino-wireless-sd-shield>. [Online; accessed 23-April-2019].
- [52] Digi, “XBee/XBee-PRO S2C Zigbee RF Module User Guide.” <https://tinyurl.com/y5posdyh>. [Online; accessed 23-April-2019].
- [53] “Arduino.” <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. [Online; accessed 23-April-2019].

- [54] S. Ferdoush and X. Li, “Wireless sensor network system design using raspberry pi and arduino for environmental monitoring applications,” in *FNC/MobiSPC*, 2014.
- [55] M. Penrose, “Connectivity of soft random geometric graphs,” *Annals of Applied Probability*, vol. 26, pp. 986–1028, April 2016.
- [56] A. P. Giles, O. Georgiou, and C. P. Dettmann, “Connectivity of soft random geometric graphs over annuli,” *Journal of Statistical Physics*, vol. 162, pp. 1068–1083, Feb 2016.

Παραρτήματα

Παράρτημα Ι

Διαχείριση Μηνυμάτων Σχετικών με Random Walkers

```
1 if (type == RW_VISIT && acceptingWalkers) {
2     uint16_t ttlValue = 0;
3     walkerCounter++;
4     memcpy(&ttlValue, msgData, 2);
5     if (coveredByRandomWalker == false) {
6         lcd.setCursor(0, 1);
7         lcd.print("Walker");
8         coveredByRandomWalker = true;
9         visitTime = millis();
10        unsigned long coveredTimeToSend = (visitTime - my_time);
11        coveredTimeToSend += init_time;
12
13        digitalWrite(COVERED_LED, HIGH);
14        enqueueCoveredMessage(ttlValue, msgId, coveredTimeToSend, myId,
15        neighborsID, neighborsCount);
16    }
17    enqueueRandomWalker(ttlValue+1, msgId);
18    if (ttlValue % q_hops_per_replication == 0 && ttlValue <
19        replication_hop_threshold) {
20        walkerCounter++;
21        enqueueRandomWalker(ttlValue+1, msgId);
22        replicationCounter++;
23        changeRGB(replicationCounter);
```

```
23     }
24
25 } else if (type == RW_COVERED) {
26     uint16_t cTtl = 0;
27     memcpy(&cTtl, msgData, 2);
28     unsigned long cTime = 0;
29     memcpy(&cTime, msgData+2, 4);
30     uint8_t covId = msgData[6];
31     uint8_t cNeighborsLength = msgData[7];
32     uint8_t* neighborsIntoMessage = new uint8_t [cNeighborsLength];
33     memcpy(neighborsIntoMessage, msgData+8, cNeighborsLength);
34     if (isCoordinatorEnabled) {
35         storeResults(cTtl, cTime, covId, neighborsIntoMessage,
36                     cNeighborsLength);
37         Serial.print(F("Echo responses: "));
38         Serial.println(networkIdsLength);
39         Serial.print(F("Covered Messages: "));
40         Serial.println(coveredResultsLength);
41         if (networkIdsLength == coveredResultsLength) {
42             printResults();
43         }
44     }
45 }
```

Πίνακας Δημοσιεύσεων

Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Συνέδρια (με κρίση)

- Aikaterini Georgia Alvanou, Konstantinos Skiadopoulos, Konstantinos Giannakis, Konstantinos Oikonomou, Georgios Tsoumanis, “Random Walkers Coverage Experimentation and Evaluation in Low-Cost Wireless Home Networks”, In 2019 10th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), 2019.

Γλωσσάρι Ξενικών Όρων

Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
Wireless Sensor Network	Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων
Smart Home	Έξυπνο Σπίτι
Random Walker	Τυχαίος Περιπατητής
Covered Time	Χρόνος Κάλυψης
Pervasive System	Διάχυτο Σύστημα
Residential Gateway	Οικιακή Πύλη
Information Centric Networking	Δίκτυο με Επίκεντρο την Πληροφορία
Home Area Network	Δίκτυο Οικιακής Περιοχής
Multiple Access with Collision Avoidance	Πολλαπλή Πρόσβαση με Αποφυγή Συγκρούσεων
Random Geometric Graph	Τυχαίος Γεωμετρικός Γράφος
Coordinator	Συντονιστής

Router	Δρομολογητής
End Device	Τελική Συσκευή
Personal Area Network	Δίκτυο Προσωπικής Περιοχής
Physical Layer	Φυσικό Επίπεδο
Medium Access Control Layer	Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου
Network Layer	Επίπεδο Δικτύου
Application Layer	Επίπεδο Εφαρμογής
Application Support Sublayer	Υποεπίπεδο Υποστήριξης Εφαρμογής
Application Framework	Πλαίσιο Εφαρμογής
Zigbee Device Object	Αντικείμενο Συσκευής Zigbee
Application Programming Interface	Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών
Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance	Πρωτόκολλο Πολλαπλής Πρόσβασης με Ανίχνευση Φέροντος και Αποφυγή Συγκρούσεων

Συμβολισμοί Μεγεθών

m	Ο αριθμός των random walkers
m_0	Ο αρχικός αριθμός των random walkers, όταν υλοποιείται ο μηχανισμός του replication
N	Ο αριθμός των κόμβων του δικτύου
t	Ο χρόνος από την έναρξη κίνησης των random walkers σε αριθμό hops
$C_m(t)$	Ο αριθμός των κόμβων του δικτύου που έχουν καλυφθεί από ένα random walker κατά το χρόνο t
r_c	Η ακτίνα συνδεσιμότητας σε τυχαίο γεωμετρικό γράφο

Συντομογραφίες

IoT	Internet of Things
WSN	Wireless Sensor Network
5G	Fifth Generation Cellular Network
ICN	Information Centric Networking
HAN	Home Area Network
MACA	Multiple Access with Collision Avoidance
RGG	Random Geometric Graph
PAN	Personal Area Network
PHY	Physical Layer
MAC	Medium Access Control Layer
NWK	Network Layer
APL	Application Layer
APS	Application Support Sublayer
AF	Application Framework
ZDO	Zigbee Device Object
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
API	Application Programming Interface
SRGG	Soft Random Geometric Graph
TTL	Time To Live

Ευρετήριο

Arduino Uno Microcontroller Board, 21
Arduino Wireless SD Shield, 23
Flooding, 2
Internet of Things, 1
Multiple Random Walkers, 3
Random Walker, 2
Replicated Random Walkers, 3
Smart Home, 2
Soft Random Geometric Graph, 30
Time To Live, 33
Wireless Sensor Network, 2
XBee S2C Zigbee Module, 23