



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ, ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΜΣ "ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ"

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Energy Management στα RFID Sensor Networks



Ξύδης Παναγιώτης

AM:2022201702008

Επιβλέπων Καθηγητής: **Μπλιώνας Σπυρίδων**

Τρίπολη Οκτώβριος 2019

Copyright © Ξύδης Παναγιώτης, 2019.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος . All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγο μου Ελπίδα, για την υπομονή και κατανόηση που μου έδειξε κατά την διάρκεια ολοκλήρωσης της εργασίας

Επίσης να ευχαριστήσω τον γιό μου Γεώργιο –Μιχαήλ για τα διαλείμματα και τις ώρες που με βοηθούσε να αλλάξω παραστάσεις, με αποτέλεσμα να επιστρέφω με ανανεωμένη διάθεση κάθε φορά για την συνέχιση συγγραφής της εργασίας.

Τέλος να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου κ. Μπλιώνα Σπυρίδωνα, για τις οδηγίες του, την καθοδήγηση του, την ενθάρρυνση στις δύσκολες στιγμές της εν λόγω διπλωματικής εργασίας, καθώς και την πολύτιμη βοήθεια του για την ορθότερη αποτύπωση των τεχνικών όρων.

Περιεχόμενα

Ευρετήριο Εικόνων.....	6
Εκτεταμένη Περίληψη	7
Extended Abstract	9
Εισαγωγή	10
RFID-Sensor Networks	12
Τύποι αρχιτεκτονικών ενοποίησης-ολοκλήρωσης των RFID και WSN (για χρήση στα RSN)	13
Εφαρμογές με το RSN	18
Διαχείριση Ενέργειας στο RSN	20
Energy Harvesting in RSN.....	26
Μεταφορά ενέργειας στο RSN	31
Προκλήσεις της διαχείρισης ενέργειας στα δίκτυα αισθητήρων RFID.....	38
Σύγκριση και Συζήτηση	40
IoT Μια ανοικτή έρευνα	45
Συμπεράσματα – Μελλοντικές Κατευθύνσεις.....	46
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	47

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1 Αρχιτεκτονική του RSN.....	13
Εικόνα 2:Ταξινόμηση των στρατηγικών διαχείρισης ενέργειας στα RSN	21
Εικόνα 3: BSN μοντέλο και backscatter αρχιτεκτονική επικοινωνίας	22
Εικόνα 4: Μπλόκ διάγραμμα ενός RFID ABEH αισθητήρα ετικέτας.....	24
Εικόνα 5: Wireless Identification and Sensing Platform (WISP) πλατφόρμα	25
Εικόνα 6: Αρχιτεκτονική του RF-EHNs	29
Εικόνα 7:Ταξινόμηση σχεδιασμού στο RFEHN	32
Εικόνα 8: Χρήση της υπολειπόμενης ενέργειας στο Dewdrop	34
Εικόνα 9: Ξύπνημα τάσης σε σχέση με τις διεργασίες στο Dewdrop	35
Εικόνα 10: Ταξινόμηση των προκλήσεων δικτύου αισθητήρων στο RFID	39
Εικόνα 11 Το ποσοστό της απασχόλησης του RSN μεταξύ των άρθρων της παρούσας έρευνας	41
Εικόνα 12 Τεχνικές και στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας	42

Εκτεταμένη Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τις τεχνολογίες συλλογής ασύρματης ενέργειας και της μετάδοσης ισχύος με τη χρήση υπολογιστικών συσκευών. Το κυρίως πρόβλημα όμως που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η τροφοδοσία των αισθητήρων RFID (Radio Frequency Identification –RFID-). Αναλύουμε τους τύπους αισθητήρων και τις αρχιτεκτονικές ενοποίησης RFID και WSN (Wireless Sensor Network), καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που εμφανίζονται. Στη συνέχεια αναλύουμε τις εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα RSN δίκτυα καθώς και τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται πάνω σε αυτά.

Αναλύουμε τις λύσεις που δίνονται με την Διαχείριση Ενέργειας (Energy Management –EM-) βασισμένη σε ραδιοσυχνότητα (Radio Frequency –RF-), τις στρατηγικές που μας κατευθύνουν, και αναλύουμε διεξοδικά το μοντέλο Backscatter sensor Network (BSN), καθώς και μια παραλλαγή του, το ενισχυμένο Backscatter. Επικεντρωνόμαστε στις ικανότητες που μας παρέχει η πλατφόρμα WISP, καθώς και ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν δίκτυα παρακολούθησης και εντοπισμού. Οι δύο βασικές τεχνικές για το EM σε δίκτυα αισθητήρων RFID (RFID Sensor Networks –RSN-) είναι η Συλλογή ενέργειας (Energy Harvesting-EH-) και η Μεταφορά Ενέργειας (Energy Transfer –ET-). Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν τη δυναμική συντήρηση και βελτιστοποίηση της ενεργειακής στάθμης καθώς και την εξασφάλιση αξιόπιστης επικοινωνίας που τηρεί το στόχο της αυξημένης απόδοσης και διάρκειας ζωής του δικτύου των ασύρματων αισθητήρων.

Στην Συλλογή Ενέργειας αναλύουμε τα προβλήματα και τις λύσεις που είναι διαθέσιμες, καθώς και στον υπολογισμό της ισχύος που μπορεί να συλλεχθεί. Βλέπουμε τις δύο έννοιες του EH στο RFEHN, την Infrastructure architecture (IS) και την Infrastructure Less architecture (ISL), και εντοπίζουμε τις διαφορές τους στην λειτουργία τους.

Στην Μεταφορά Ενέργειας βλέπουμε τις σχεδιαστικές επιλογές των κυκλωμάτων καθώς και τα τις υλοποιήσεις τους. Αναλύουμε το μοντέλο Dewdrop, και βλέπουμε τον τρόπο λειτουργίας

του και τα προτερήματα του. Αναφέρουμε τους κύριους προβληματισμούς και τις διάφορες τεχνικές που έχουν παρουσιαστεί από τις ερευνητικές ομάδες.

Συναντάμε τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουμε στα RFID και τους προβληματισμούς που υπάρχουν σε συνδυασμό με το IoT και τις ταξινομούμε, αναφέροντας τις προσφερόμενες λύσεις.

Τέλος συνοψίζουμε τις λύσεις και τα πρότυπα που υπάρχουν στις τεχνικές ενεργειακής διαχείρισης, καθώς και την σημασία της ενοποίησης με το IoT, με το οποίο θα καμφθούν αρκετά προβλήματα.

Extended Abstract

The present work deals with wireless energy harvesting and power transmission technologies using computing devices. But the main problem that needs to be addressed is the supply of RFID (Radio Frequency Identification -RFID-) sensors. We analyze the types of sensors and RFID and WSN integration architectures, as well as the advantages and disadvantages that occur. Next, we analyze the applications that RSN networks can use and the technologies developed on them.

We analyze the solutions provided with Energy Management (EM-) based on Radio Frequency (RF-), the strategies that guide us, and we thoroughly analyze the Backscatter Sensor Network (BSN) model and a variant of, the enhanced Backscatter. We focus on the capabilities that the WISP platform provides us, as well as the specifics of monitoring and tracking networks. The two basic techniques for EM in RFID Sensor Networks (RFS-) are Energy Harvesting (EH-) and Energy Transfer (EET). These techniques allow for the dynamic maintenance and optimization of the energy level as well as the provision of reliable communication that meets the objective of increased performance and lifetime of the wireless sensor network.

In Energy Harvesting we analyze the problems and solutions available, as well as calculate the power that can be collected. We look at the two concepts of EH in RFEHN, Infrastructure architecture (IS) and Infrastructure Less architecture (ISL), and identify their differences in their operation.

In Energy Transfer we see the circuit design choices and their implementations. We analyze the Dewdrop model, and see how it works and its advantages. We mention the main concerns and the various techniques presented by the research teams.

We meet the challenges we face in RFID and the concerns that exist with IoT and we sort them out, citing the solutions offered.

Finally, we summarize the solutions and standards that exist in energy management techniques, as well as the importance of integration with IoT, which will solve many problems.

Εισαγωγή

Η εμφάνιση πρωτοκόλλων ασύρματης επικοινωνίας, οι αποτελεσματικότερες εφαρμογές που βασίζονται στους αισθητήρες, οι φθηνότεροι επεξεργαστές και η πανταχού παρούσα πληροφορική έχουν δημιουργήσει την εξέλιξη της γενικής χρήσης του Internet of Things (IoT). Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, 22 δισεκατομμύρια συσκευές ήταν συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο, στα τέλη του 2018, δημιουργώντας αυτό που ονομάζουμε οικοσύστημα του IoT. Οι προβλέψεις των εταιρειών αναλύσεων εκτιμούν ότι ο αριθμός των συνδεδεμένων στο Διαδίκτυο συσκευών θα αγγίξει τα 38,6 δις μέχρι το 2025 και τα 50 δις έως το 2030. Το IoT αναφέρεται ως ένα πανταχού παρόν δίκτυο πραγμάτων/συσκευών που είναι ικανά να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και είναι σε θέση να παρέχουν μεγάλο αριθμό δεδομένων και πληροφοριών στο διαδίκτυο. Πρόκειται για μια πλατφόρμα βασισμένη σε υπολογιστές που περιβάλλει μια ευρεία γκάμα τεχνολογιών που επιτρέπουν την επέκταση των επιμέρους δυνατοτήτων του διαδικτύου και γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ του πραγματικού κόσμου (οι συνδεδεμένοι αισθητήρες αντιλαμβάνονται τι συμβαίνει), και του εικονικού κόσμου των συσκευών. Η πλατφόρμα IoT επεκτείνει την επικοινωνία πολύ πέρα από την παραδοσιακή σφαίρα της επικοινωνίας μεταξύ υπολογιστών. Το IoT μπορεί να οριστεί ως ένα παράδειγμα όπου κάθε μέρα συσκευές (Things), συνδέονται μεταξύ τους μέσω του Διαδικτύου. Η επιτυχημένη εξέλιξη του οράματος IoT, άνοιξε το δρόμο για τον σχεδιασμό φορητών και έξυπνων τηλεφώνων ως επέκταση των παρελθόντων παραδοσιακών τηλεφωνικών συσκευών (αλματώδης ανάπτυξη 4G-LTE και Wi-Fi δικτύων). Μια τέτοια απρόσκοπτη ενσωμάτωση συσκευών συνδεδεμένων στο δίκτυο, παρέχει έξυπνες και πανταχού παρούσες πληροφορίες, που οδηγούν σε ένα πολλά υποσχόμενο μέλλον, σε διάφορους τομείς όπως, της επιτήρησης, της υγειονομικής περίθαλψης, της ασφάλειας, των μεταφορών, της ασφάλειας των τροφίμων, της παρακολούθησης αντικειμένων και του ελέγχου τους κλπ. Η ενσωμάτωση τόσο των τεχνολογιών αισθητήρων όσο και της ταυτοποίησης με στόχο τη βελτιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, και επιπρόσθετα μέσω της συλλογής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των ασύρματων αισθητήρων, αποτελεί το αντικείμενο αυτής της εργασίας. Η διαδικασία συνδυασμού των τεχνολογιών αναγνώρισης με

τις τεχνολογίες ανίχνευσης, μπορεί και επιτυγχάνεται μέσω της πλατφόρμας IoT. Οι ερευνητές στο IoT ζήτησαν από όλες τις οντότητες στο μέλλον να έχουν ξεχωριστά χαρακτηριστικά ταυτοποίησης για να μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους για να δημιουργηθεί ο κόμβος IoT. Οι προοδευτικές εξελίξεις του IoT θα εξαρτηθούν από τις βελτιωμένες επιδόσεις, ιδίως όσον αφορά την αξιοπιστία και την ενεργειακή απόδοση των WSN. Η αξιόπιστη παράδοση δεδομένων από τους αισθητήρες διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην απόδοση των WSN για έξυπνα περιβάλλοντα IoT. Το RFID και το WSN αντιπροσωπεύει τις σημαντικότερες διπλές τεχνολογίες που έχουν ευρύ φάσμα εφαρμογών. Αυτές οι τεχνολογίες που βασίζονται σε πανταχού παρόντες «υπολογιστές» (συσκευές IoT), παρουσιάζουν σημαντική ερευνητική και αναπτυξιακή εξέλιξη. Οι εφαρμογές RFID περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού, την κατασκευή, την έρευνα τη διάσωση, σταθμούς διοδίων, νέα ηλεκτρονικά βιομετρικά διαβατήρια, ασφάλεια καταστημάτων από μικροκλοπές κ.ά.. Από την άλλη πλευρά, η τεχνολογία WSN χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη κόμβων αισθητήρων για διάφορους σκοπούς όπως, την παρακολούθηση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, της επιτήρησης σε ένα πεδίο μάχης, την συνεχή επιτήρηση χώρων ιδιαίτερου ενδιαφέροντος (μουσεία, αρχαιολογικοί χώροι) όπου απαιτείται συνεχής μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας, ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ακόμα και στην επιτήρηση στην γεωργία όπου έχουμε διαχείριση άρδευσης, διαχείριση θερμοκηπίων.

Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών RFID και WSN έχει ανοίξει το δρόμο για την εξέλιξη των RSN. Το RFID χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση ή τον εντοπισμό της ταυτότητας ενός αντικειμένου. Το WSN, από την άλλη πλευρά, είναι δίκτυα μικρών διασυνδεδεμένων εργαλείων που ενσωματώνονται για τη συλλογή πληροφοριών διακρίνοντας τη συνήθη κατάσταση του περιβάλλοντος, όπως θερμοκρασία, φως, υγρασία, πίεση, δόνηση και ήχος. Αυτές οι δύο τεχνολογίες συνδυαζόμενες προσφέρουν εκτεταμένες δυνατότητες, ενισχυμένη αποτελεσματικότητα, μείωση κόστους κατασκευής και συντήρησης, με αποτέλεσμα να γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ του πραγματικού κόσμου (οι συνδεδεμένοι αισθητήρες ανταλλάτουν τι συμβαίνει), και του εικονικού κόσμου των συσκευών.

Οι απαιτήσεις για την ανάπτυξη του RSN περιλαμβάνουν την επικοινωνία με υψηλή ακρίβεια, την αξιοπιστία, την ενεργειακή αποδοτικότητα, την ικανότητα επιβίωσης του δικτύου, την

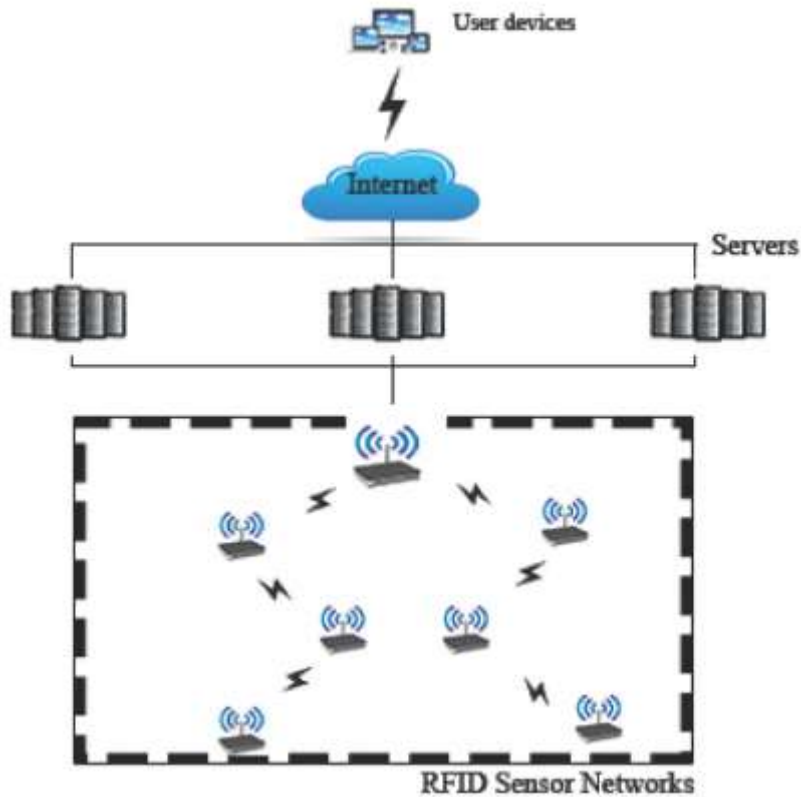
ανεκτή καθυστέρηση και την κρισιμότητα της κάθε κατάστασης. Η ενεργειακή αποδοτικότητα θεωρείται ως ένας από τους πιο σημαντικούς περιορισμούς, διότι παρόλο που, και οι κόμβοι αισθητήρων και τα RFID, διαθέτουν περιορισμένους πόρους (μνήμη, επεξεργαστική ισχύ κλπ.), έχουν και πολύ περιορισμένη διαθέσιμη ενέργεια. Το RSN μπορεί, διαφορετικά, να χαρακτηριστεί ως Υπολογιστική RFID (Computational RFID –CRFID-) ή ασύρματη πλατφόρμα αναγνώρισης και ανίχνευσης (Wireless Identification and Sensing Platform –WISP-), η οποία έχει κοινά χαρακτηριστικά με τους ασύρματους αισθητήρες, όπως, την ικανότητα αναγνώρισης της τεχνολογίας RFID και την ισχύ ανίχνευσης / υπολογιστικής λειτουργίας. Το πραγματικό ζήτημα έγκειται στο θέμα της περιοδικής επαναφόρτισης αυτών των συσκευών WISP, που θέτει την πρόκληση της πιθανής ανάπτυξης μιας ευρείας περιοχής RSN που αποτελείται από κινητούς αναγνώστες RFID και περιορισμένων απαιτήσεων σε ενέργεια κόμβους WISP. Προκειμένου να καταστεί αποτελεσματικό και αξιόπιστο ένα τέτοιο ολοκληρωμένο σύστημα, θα πρέπει να επιτευχθεί ο στόχος της ελάχιστης δυνατής κατανάλωσης ενέργειας.

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει 1) Καλύτερη κατανόηση του RSN με τους βασικούς εργασιακούς, αρχιτεκτονικούς τύπους και τις πιθανές εφαρμογές του, 2) Εννοιολογική διαχείριση της διαχείρισης ενέργειας, τεχνικές και αρχιτεκτονική στο RSN και 3) Ανοικτά ζητήματα, ταξινόμηση και συμπεράσματα και τέλος οδηγίες μελλοντικής έρευνας.

RFID-Sensor Networks

Ο συνδυασμός της RFID και της WSN τεχνολογίας, έδωσε θέση για την εξέλιξη του RSN. Η Εικόνα 1 δείχνει μια αρχιτεκτονική του RSN, γεφυρώνοντας έτσι το χάσμα μεταξύ εικονικών και πραγματικών οντοτήτων. Τόσο το RFID όσο και το WSN θεωρούνται ως οι δύο σημαντικότερες τεχνολογίες αιχμής του IoT. Αυτή η ενοποίηση παρέχει νέες προοπτικές σε μια μεγάλη ποικιλία κλιμακωτών, φορητών και οικονομικά αποδοτικών εφαρμογών. Η αφομοίωση τόσο της RFID όσο και της WSN μπορεί τελικά να μεγιστοποιήσει τη λειτουργικότητα και να παράσχει τα μέσα για ένα αποτελεσματικό πεδίο για εκτεταμένες πτυχές υπολογισμών. Η RFID χρησιμοποιεί το δυναμικό αναγνώρισης για την ανίχνευση της θέσης ενός αντικειμένου, ενώ

το WSN από την άλλη πλευρά παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη φυσική κατάσταση του αντικειμένου και του περιβάλλοντος χώρου, επιτρέποντας την επικοινωνία πολλαπλών επικοινωνιών. Αυτές οι δύο υποσχόμενες τεχνολογίες, όταν ενσωματωθούν από κοινού, θα



Εικόνα 1 Αρχιτεκτονική του RSN

έχουν ως αποτέλεσμα εκτεταμένες δυνατότητες μαζί με τη φορητότητα, την επεκτασιμότητα και τη μείωση του περιττού κόστους. [1].

Τύποι αρχιτεκτονικών ενοποίησης-ολοκλήρωσης των RFID και WSN (για χρήση στα RSN)

Υπάρχουν δύο τύποι των αισθητήρων RFID, οι ενεργοί και οι παθητικοί αισθητήρες. Οι ενεργοί χρησιμοποιούν μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας για τη τροφοδοσία του πομπού τους, για σκοπούς επικοινωνίας με την κινητή συσκευή ανάγνωσης. Οι παθητικοί χρησιμοποιούν την ενέργεια που παρέχεται από την συσκευή ανάγνωσης μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Το εύρος συχνοτήτων των ενεργών RFID κυμαίνεται γύρω από τα 2,4GHz και για τα παθητικά

κάτω από τα 100MHz. Η χωρητικότητα αποθήκευσης ενεργών ετικετών (RFIDs), είναι περίπου 128 Kbyte ενώ για τις παθητικές ετικέτες, είναι πολύ μικρότερη περίπου 2 Kbyte. Οι συσκευές ανάγνωσης RFID ταξινομούνται κατά κύριο λόγο ανάλογα με τη συχνότητα στην οποία λειτουργούν. Η κατηγοριοποίηση εξαρτάται επίσης από τον τύπο της εφαρμογής στην οποία έχουν χρησιμοποιηθεί οι αναγνώστες και οι ετικέτες RFID. Το RFID χαμηλής συχνότητας λειτουργεί στην περιοχή των 30KHz έως 300KHz με εύρος εντοπισμού 10 εκατοστών. Το RFID υψηλής συχνότητας λειτουργεί στην περιοχή μεταξύ 3MHz έως 30MHz και χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπου η ανίχνευση ετικέτας μπορεί να παρακολουθείται σε μια απόσταση έως 30cm, η οποία είναι σημαντικά υψηλότερη από τον προηγούμενο τύπο. Οι αναγνώστες RFID Ultra High Frequency είναι οι πιο συνηθισμένοι και ταχέως αναπτυσσόμενοι μεταξύ όλων των τύπων, λόγω της υψηλής ζώνης συχνότητας λειτουργίας τους από 300MHz έως 3GHz και της περιοχής ανίχνευσης ετικέτας που είναι περίπου 12m. Αυτοί οι τύποι αναμεταδοτών RFID είναι πιο δεκτικοί στις παρεμβολές εξαιτίας της υψηλής συχνότητάς τους. Ο παρακάτω Πίνακας 1 απεικονίζει τις συχνότητες και τα χαρακτηριστικά των RFID. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες ολοκλήρωσης που έχουν διερευνηθεί και επικυρωθεί μέχρι σήμερα από τους ερευνητές. Είναι i) ενσωμάτωση ετικετών με τους αισθητήρες ii) ενσωμάτωση ετικετών με κόμβους WSN και ασύρματες συσκευές iii) ενσωμάτωση αναγνωστών ετικετών με κόμβους WSN και ασύρματες συσκευές και iv) μείγμα RFID και WSN. Ο Πίνακας 2, δείχνει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε κατηγορίας. Οι απαιτήσεις για την ενσωμάτωση των RFID και των WSN περιλαμβάνουν παράγοντες όπως η ενεργειακή αποτελεσματικότητα, η αξιόπιστη επικοινωνία, η ακρίβεια και η ικανότητα επιβίωσης του δικτύου (σε περίπτωση που κάποιος κόμβος σταματήσει να λειτουργεί).

RFID εύρος λειτουργίας συχνοτήτων	Χαρακτηριστικά	RFID συχνότητες	Εύρος διαβάσματος	Εύρος μετάδοσης	Σημασία τοποθεσίας	Αποδοχή	Εφαρμογές
Χαμηλές συχνότητες (LF) 30-300 khz	Διαπερνούν το νερό αλλά όχι τα μέταλλα	125-134 khz	Μικρό	Αργό	Όχι	Ναι	Έλεγχος συσκευών, ασφάλεια, εντοπισμός ζώων, ανέπαφες συναλλαγές
Υψηλές συχνότητες (HF) 3-30 Mhz	Διαπερνούν το νερό αλλά όχι τα μέταλλα	13,56 Mhz	Μέτριο	Μέτριο	Όχι	Ναι	Βιβλιοθήκες, εισιτήρια, εντοπισμός, αποσκευών.
Πολύ υψηλές συχνότητες (UHF) 300 Mhz- 3 Ghz	Δεν διαπερνούν νερό η μέταλλα	433Mhz 865-956Mhz 2.45Ghz	Μεγάλο	Γρήγορο	Εν μέρει	Εν μέρει (EU,US)	Εντοπισμός οικιακών ζώων, τμήματα εφοδιασμού, εντοπισμός φορτηγών
Μικροκύματα 2-30Ghz	Δεν διαπερνούν νερό η μέταλλα	2,45-5,8 Ghz	Πολύ μεγάλο	Πολύ γρήγορο	Ναι	Εν μέρει Όχι EU	Διόδια

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά RFID, συχνότητες και εφαρμογές.

Υπάρχουν πολυάριθμες έρευνες στη βιβλιογραφία που παρέχουν πληροφορίες για τους διάφορους τύπους αρχιτεκτονικών με ολοκληρωμένα συστήματα RFID και WSN. Τα RFID που είναι ενσωματωμένα σε αισθητήρες, ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες. Οι ετικέτες αισθητήρων, που όταν ενσωματωθούν μπορούν να επικοινωνούν με τους αναγνώστες RFID και οι ετικέτες αισθητήρων κατά την ολοκλήρωση είναι σε θέση να επικοινωνούν και μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα δίκτυο. Όταν τα RFID έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες, οι δυνατότητες επικοινωνίας τους είναι είτε περιορισμένες είτε εκτεταμένες. Υπάρχουν ενεργές, ημιενεργές και παθητικές ενσωματωμένες ετικέτες αισθητήρων RFID οι οποίες παρουσιάζουν τις δικές τους ιδιότητες και έχουν ξεχωριστά χαρακτηριστικά μεταξύ τους [1].

Οι τέσσερις κύριες κατηγορίες αρχιτεκτονικής ολοκλήρωσης έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 2, αλλά οι ετικέτες αισθητήρων με εκτεταμένες δυνατότητες επικοινωνίας είναι γενικά αποδεκτό, ότι είναι οι ανώτερες μεταξύ των τεσσάρων κατηγοριών αρχιτεκτονικής, καθώς επιτρέπουν μια ενεργειακά αποδοτική λειτουργία και δεν έχουν ελλείψεις [2], [3], [4], [5]. Έρευνες [6]

διερεύνησαν ένα πρόβλημα κάλυψης στο RSN με διασυνδεδεμένους αισθητήρες. Οι ερευνητές έχουν επίσης διερευνήσει διαφορετικές προσεγγίσεις για την επίλυση του προβλήματος κάλυψης και συνδεσιμότητας με τη βοήθεια καταναμημένων αλγορίθμων. Έχει παρουσιαστεί [7], ένας πολυεπίπεδος αρχιτεκτονικός σχεδιασμός για την ολοκλήρωση των συστημάτων WSN και RFID.

Ενσωματωμένοι αισθητήρες ετικετών με περιορισμένη δυνατότητα επικοινωνίας	Ενσωματωμένοι αισθητήρες ετικετών με εκτεταμένη δυνατότητα επικοινωνίας	Ενσωματωμένοι RFID αναγνώστες με ασύρματους κόμβους αισθητήρων	Συνδυασμένη Αρχιτεκτονική
Πλεονεκτήματα: Απλή και εύκολη ενσωμάτωση	Πλεονεκτήματα: μπορεί να επικοινωνεί μεταξύ τους καθώς και με άλλους κόμβους, η ενεργειακή απόδοση μπορεί να επιτευχθεί αποφεύγοντας την ακούσια ακρόαση των κόμβων των αισθητήρων	Πλεονεκτήματα: Ξεπερνούν τα μειονεκτήματα των απλών RFID, οι ολοκληρωμένοι έξυπνοι κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους επιτρέποντας την επεξεργασία δεδομένων σε επίπεδο έξυπνου κόμβου, ο έξυπνος κόμβος είναι μικρός, οικονομικά αποδοτικός και εύκολος στην ανάπτυξη	Πλεονεκτήματα: δεν απαιτείται σχεδιασμός του hardware, ο σταθμός εκτελεί τόσο επεξεργασία δεδομένων όσο και πρωτόκολλο
Μειονεκτήματα: οι ετικέτες δεν μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, παρά μόνο με το reader, προβλήματα δημιουργούνται όταν πολλές ετικέτες επικοινωνούν με έναν reader.		Μειονεκτήματα: Υπάρχουν πολλά πρότυπα	Μειονεκτήματα: η ενσωμάτωση απαιτείται σε software για να συνεργαστούν ομαδικά, οι παρεμβολές οδηγούν σε υπερφορτώσεις.

Πίνακας 2: Τύποι αρχιτεκτονικών ενσωμάτωσης RFID-WSN.

Οι τεχνολογίες Bluetooth και ZigBee έχουν επιλεγεί ως πρωτόκολλα επικοινωνίας για το WSN για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της υψηλής πυκνότητας κόμβων, της ευρείας κάλυψης και του κόστους στα RSN. Ένας βελτιωμένος αλγόριθμος (Improved Cross Redundant Data Cleaning –ICRDC-) προτείνεται και πετυχαίνει την μείωση του όγκου δεδομένων σε ολοκληρωμένα συστήματα WSN. Άλλος ερευνητής [8], πρότεινε την αρχιτεκτονική του Electronic Product Code Sensor Network (ESN), ως πλατφόρμα τυποποίησης για την ετερογενή

ενσωμάτωση των RFID και WSN. Η αρχιτεκτονική ESN βασίζεται στην παγκόσμια αρχιτεκτονική του Electronic Product Code (EPC), το de facto διεθνές πρότυπο για την τεχνολογία RFID και την τεχνολογία σύνθετων επεξεργασιών (Complex Event Processing –CEP-) για την αντιμετώπιση τεράστιων ποσοτήτων συμβάντων από καταναμημένους αναγνώστες RFID και αισθητήρες σε πραγματικά σενάρια λειτουργίας. Άλλοι ερευνητές [9], πρότειναν έναν νέο αλγόριθμο μείωσης δεδομένων βασισμένο σε μηχανισμό ομαδοποίησης δεδομένων, όπου η «επικεφαλίδα» της ομάδας των δεδομένων, εξαλείφει τα πλεονασματικά ισοδύναμα δεδομένα και προωθεί τα τελικά δεδομένα προς τον σταθμό βάσης ή τον τελικό προορισμό. Μια άλλη ιδέα ερευνητών [10], είναι μια νέα αρχιτεκτονική για ολοκληρωμένα RFID και WSN με σκοπό να φιλοξενήσουν μια σειρά εφαρμογών με οικονομικά αποδοτικό τρόπο βασισμένο στον ακέραιο γραμμικό προγραμματισμό (Integer Linear Programming - ILM). Άλλοι ερευνητές [11], παρουσίασαν ένα κεφάλαιο βιβλίου, που δίνει μια σύντομη εισαγωγή στα RFID και διερευνά όλες τις δημοσιευμένες εργασίες, τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας, τις συσκευές τελικού χρήστη και τις λειτουργικές χρήσεις, που αφορούν RFID με δίκτυα αισθητήρων.

Έρευνες, [12], έχουν δώσει πληροφορίες σχετικά με τη βασική οργάνωση της ενσωμάτωσης των αισθητήρων στο παγκόσμιο δίκτυο EPC, μια έρευνα εφαρμογών και σχετική μελέτη υπόβαθρου για την ανάδειξη των τεχνολογικών αναγκών. Έχουν παρουσιαστεί στην εργασία αυτή, η οντολογική αντίληψη και ένα μοντέλο αναφοράς βασισμένο σε ρόλους / διεπαφές, διάταξη των ρόλων και διεπαφών του συνολικού δικτύου EPC που έχει ενσωματωθεί στον αισθητήρα. Οι ερευνητές υπογράμμισαν τις μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ RFID και WSN [13], ακολουθούμενες από τις πιθανές χρήσεις και μια συζήτηση ταξινόμησης σχετικά με τα ενσωματωμένα συστήματα RFID-WSN. Έχουν παροτρύνει ότι πέρα από τη δημοτικότητα των σημερινών RFID και WSN [14], η παρούσα έρευνα δεν έχει συμπεριλάβει κάποια καθολική (αποδεκτή από όλους) αντίληψη, που είναι απαραίτητη για την επεξεργασία των δεδομένων που πλέον γίνεται από πληθώρα συσκευών. Οι συγγραφείς έχουν προτείνει, ένα πλήρες πρότυπο πλαίσιο για το RSN με βάση την αρχική αρχιτεκτονική EPC-Global. Οι άλλες σχετικές ερευνητικές συνεισφορές [14] που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τους τύπους ενσωμάτωσης RFID / WSN και τις πιθανές εφαρμογές της έχουν περιγράψει σε αρκετές έρευνες [15], [16] [17] [18] [19].

Εφαρμογές με το RSN

Η έρευνα στο [20], παρουσίασε μια συσκευή που τροφοδοτείται με ασύμμετρη ασύρματη απευθείας σύνδεση που περιλαμβάνει ραδιοσύστημα ultrawideband για εφαρμογές RFID και WSN. Η έρευνα αναγνώρισε ότι η τεχνολογία Ultra Wide Band (UWB) που βασίζεται σε παλμούς είναι μια ελπιδοφόρα και βασική τεχνολογία για εφαρμογές RSN. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει έναν αριθμό εφαρμογών RSN. Η έρευνα του Sajid [21], έχει παρουσιάσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα RSN για έξυπνα σπίτια, με λειτουργίες όπως η παρακολούθηση ή ο εντοπισμός της θέσης ενός επιστάτη που φτάνει στο σπίτι, ο χειρισμός του φωτισμού, της εξατομικευμένης μουσικής και ο εντοπισμός κίνησης στο υπό παρακολούθηση περιβάλλον. Ο Reiner και η ομάδα του [22], πρότειναν ένα σύστημα αισθητήρων που αυτοπροσδιορίζεται σε μια συγκεκριμένη λειτουργία ελέγχου προϊόντος βασισμένη σε δεδομένα που έχουν σαρωθεί από έναν αναγνώστη RFID κατά τη φόρτωση ενός αντικειμένου προς αποστολή. Οι κινητές μονάδες παρακολουθούν τη μεταφορά του αντικειμένου κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού. Προ-επεξεργάζονται τα τεράστια κομμάτια των δεδομένων των αισθητήρων και προωθούν μόνο τις ουσιαστικές αλλαγές στον ιδιοκτήτη του αντικειμένου. Ο Ricardo [23], πρότεινε μια μελέτη για την αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς των ασύρματων αισθητήρων σε ολοκληρωμένα συστήματα. Οι ερευνητές πρότειναν μια νέα τεχνική που ονομάζεται EnvironSense, η οποία στηρίζεται στη μαγνητική επαγωγή RFID για την ανίχνευση της μόλυνσης του αέρα μέσω αισθητήρων που βασίζονται στο περιβάλλον, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι κοντά στην εξάτμιση του οχήματος και μεταδίδουν τα σχετικά δεδομένα στον οδηγό. Ο Rohit [24] στην ερευνητική συνεισφορά τους παρουσίασαν ένα ολοκληρωμένο RSN για την πλαισίωση ενός έξυπνου και χωρίς σφάλματα συστήματος πιστωτικών καρτών RFID. Σε άλλη έρευνα [25], οι συγγραφείς παρουσίασαν μια μελέτη που καταδεικνύει τον αλγόριθμο για τη διαρθρωτική παρακολούθηση της υγείας (Structural Health Monitoring - SHM), χρησιμοποιώντας το RFID με ενσωματωμένο σύστημα αισθητήρων για να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με τα θέματα επικοινωνίας. Ο Kim [26], έχει αναπτύξει ένα πρωτότυπο σύστημα για να ελέγξει την πιθανότητα εφαρμογής στην ηλεκτρική βιομηχανία, χρησιμοποιώντας RFID / WSN για τη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τύπος Εφαρμογής	Τεχνολογία που αναπτύσσεται
Επικοινωνίες Ultra-wideband (UWB)	Παθητική ετικέτα CMOS με ασύμμετρα λίνκ
Έξυπνα σπίτια	Alien τεχνολογία ετικετών ALN-9534
Φόρτωση φορτίων	UHF αναγνώστες, Intel's strongARM
Διαχείριση αλυσίδας τροφοδοσίας και εντοπισμού	Ασύρματα ZigBee κόμβους: IRIS, NLAZA, turbo tag 702-B, turbo tag 700
Αστική αίσθηση μέσω οχημάτων	TGS 2201, TGS 2442 και TGS2600 αισθητήρες
Σύστημα πιστωτικών καρτών	Συσπείρωση αλγόριθμων, αξιόπιστες πλατφόρμες
Δομική παρακολούθηση Υγείας	Εργαλειοθήκη PetriNet
Ηλεκτρική βιομηχανία	TGIS, NDIS, ZigBee
Παρακολούθηση υγείας	HRW, GFRID, HSN
Παρακολούθηση και εντοπισμός ταυτότητας	SNAP modes, RPC λειτουργίες
Αλυσίδα ανεφοδιασμού συστημάτων διαχείρισης	MDI, EPCIS, RESCUEIT
Έξυπνα συστήματα παρκαρίσματος	UHF, RFID, IEEE 802.15.4
Εγκαταστάσεις φροντίδας υγείας	WBAN, BSN, ISM-RF, CDSS
Εφοδιασμοί	RFID, WSN, στατιστικά μοντέλα
Διαχείριση αλυσίδας ανεφοδιασμού	JIT, SOA, CSCM περιβάλλοντα
Έξυπνες Εκθέσεις	RFSenMote, ZigBee based RFID δίκτυο, EEPROM

Πίνακας 3: Εφαρμογές του RSN

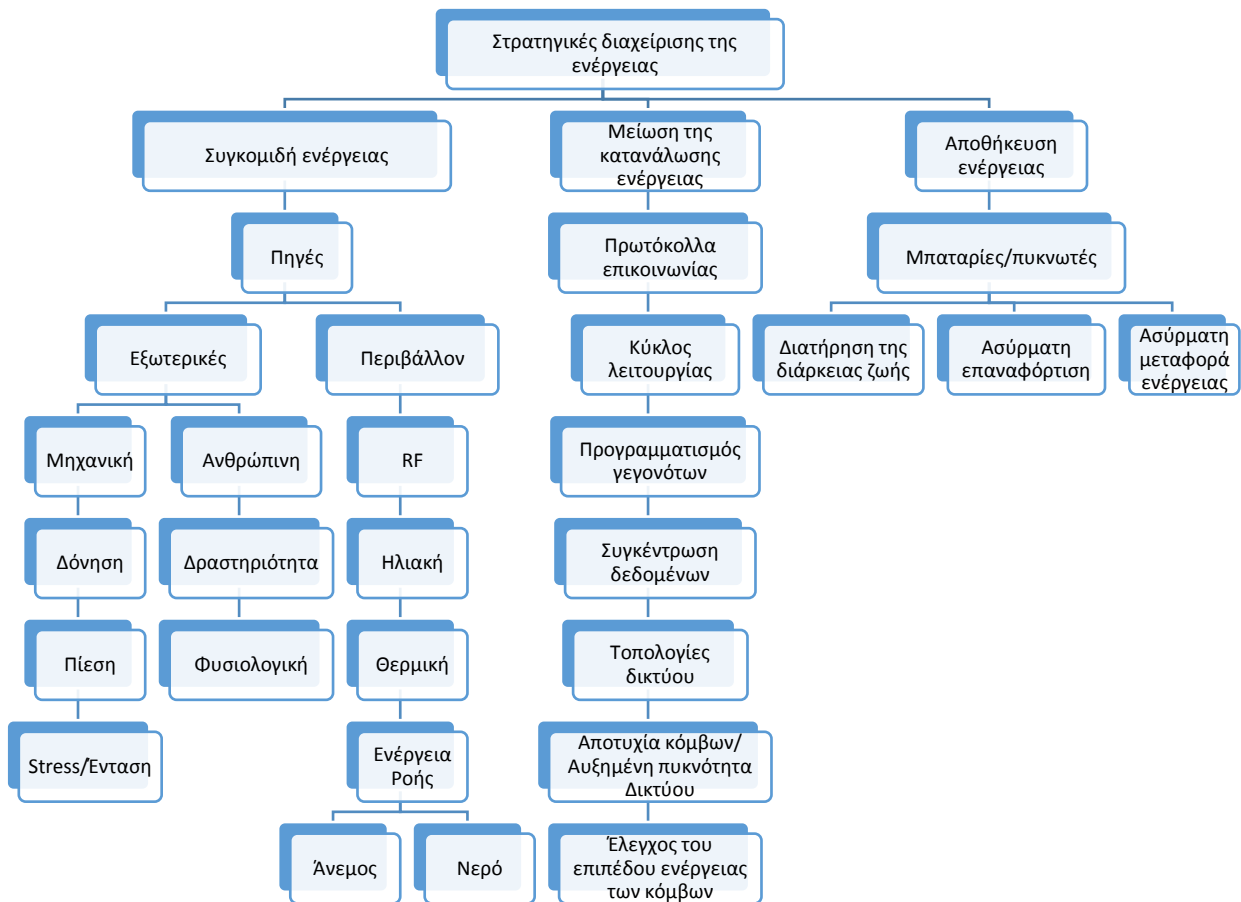
Σε μια άλλη έρευνα [27], παρουσιάστηκε ένα σύστημα έξυπνης στάθμευσης (Smart Parking System –SPS-), βασισμένο στην ενσωμάτωση της αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας (RFID) και της τεχνολογίας IEEE 802.15.4 Ultra High Frequency (UHF), για τη διασφάλιση της ανθεκτικότητας και της διαλειτουργικότητας των οχημάτων Adhoc NETWORKS (VANETS). Ο Shaftab και η ομάδα του [28], πρότειναν μια ιεραρχική τεχνική διαχείρισης της ασφάλειας που χρησιμοποιεί βιομετρικά δεδομένα, τα στοιχεία κάρτας ηλεκτρονικής υγείας ή ετικέτας RFID, όπου ο ασθενής ή ο γιατρός μπορεί να χειρίζεται υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης, εφόσον έχει την σχετική άδεια. Άλλη έρευνα [29], παρουσίασε μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική RSN που θα εφαρμοστεί στις εφαρμογές παρακολούθησης των ζώων και του οικοσυστήματος που ανήκουν. Η ομάδα του Sobhi [30], πρότεινε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο στο οποίο οι

δυνατότητες RFID συνδυάζονται με την τεχνολογία WSN, ώστε να χρησιμεύουν ως αξιόπιστη πλατφόρμα λήψης αποφάσεων, όταν τα προϊόντα, τα υλικά και οι πληροφορίες μετακινούνται μέσω των αλυσίδων προσφοράς και ζήτησης. Ο Zulkifli [31], έχει αναπτύξει μια αρμονική και λογικά ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική διαχείρισης πληροφοριών που μπορεί να παράγει πληροφορίες σχετικά με τη γεωργία χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο του IoT και την επικύρωση των ενημερώσεων στους ενδιαφερόμενους του έργου για την αποτελεσματική διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Διαχείριση Ενέργειας στο RSN

Στο RSN, το κύριο πλεονέκτημα έγκειται στο γεγονός ότι οι αισθητήρες δεν χρειάζεται να έχουν μπαταρίες για τη μετάδοση των δεδομένων. Προκειμένου να διατηρηθεί η ενεργειακή στάθμη ώστε να παραμείνει σε κατάσταση λειτουργίας για την ανίχνευση και την επεξεργασία των δεδομένων, υπάρχουν αποτελεσματικές τεχνικές Energy Management (EM). Ο κόμβος RSN που αποτελείται από μια παθητική ετικέτα RFID και αισθητήρα, έχει σαν χαρακτηριστικό γνώρισμα να επαναφορτίζει μέσω του αναγνώστη RFID (συσκευή ανάγνωσης RFID), όταν βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση. Ο κόμβος λειτουργεί ως συσκευή αποθήκευσης όταν βρίσκεται μακριά από την εμβέλεια του αναγνώστη. Η έννοια της ραδιοανάκλασης, εφαρμόζεται στο υλικό WISP μεταξύ του κόμβου και του κινητού αναγνώστη. Οι άλλοι τύποι ετικετών RFID, όπως οι ενεργοί και οι ημιενεργοί, δεν βασίζονται σε αυτή τη λειτουργία, αλλά εξαρτώνται αποκλειστικά από συσκευές αποθήκευσης ενέργειας όπως οι μπαταρίες και οι πυκνωτές που είναι εγκατεστημένοι κατά την αρχική εγκατάσταση. Συνεπώς, αυτό συνεπάγεται αυξημένο κόστος και περιορισμένη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με παθητικές ετικέτες που ενεργοποιούνται μέσω της ακτινοβολίας RF που εκπέμπεται από τους αναγνώστες [32]. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό που καθορίζει την απόδοση του RSN είναι η ικανότητα του αναγνώστη να διαβάσει τα δεδομένα από τους κόμβους RSN. Αυτή η απόσταση ανάγνωσης στην οποία ο αναγνώστης επικοινωνεί με τους κόμβους εξαρτάται από δύο σημαντικές πτυχές. Πρώτον, ο ρυθμός της ενέργειας (ισχύς), για τον οποίο ενεργοποιείται ο κόμβος και εισέρχεται σε λειτουργική κατάσταση (αντιδραστικότητα ετικέτας) και δεύτερον, είναι η ισχύς που απαιτείται από τον αναγνώστη για να ανιχνεύσει αξιόπιστα το ανακλώμενο σήμα RF από τον

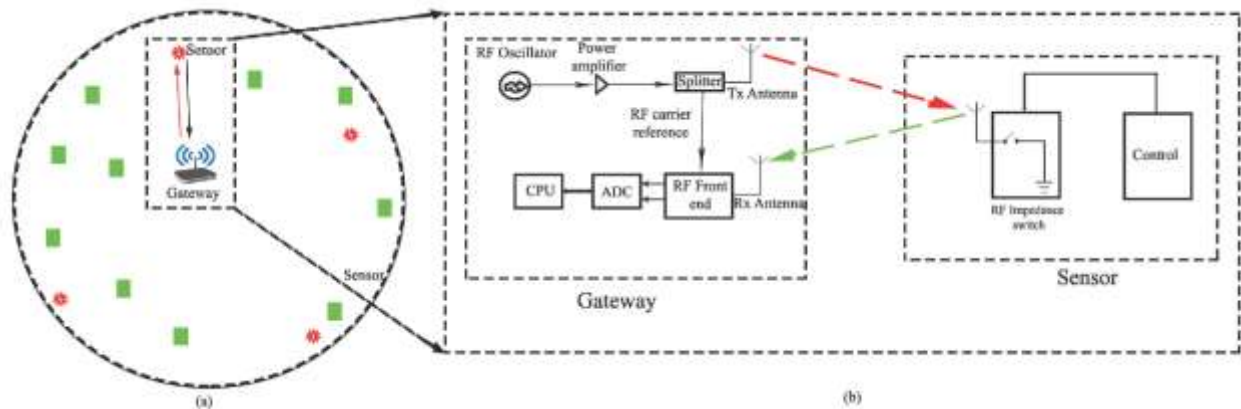
κόμβο (απόκριση αναγνώστη). Η EM εξετάζει τα ζητήματα που αφορούν αυτές τις δύο πιο σημαντικές πτυχές για να διασφαλιστεί η απόδοση και ο χρόνος ζωής του RSN. Οι δύο βασικές τεχνικές για το EM στο RSN περιλαμβάνουν την Energy Harvesting (EH) για την αντιδραστικότητα της ετικέτας και την απόδοση του Energy Transfer (ET), στην απόκριση του αναγνώστη. Η Εικόνα 2 δείχνει τις στρατηγικές του EM σε RSN που σχετίζονται με την συγκομιδή ενέργειας (EH) και την αποθήκευση ενέργειας (Energy Storage-ES-) για την ασύρματη επαναφόρτιση.



Εικόνα 2: Ταξινόμηση των στρατηγικών διαχείρισης ενέργειας στα RSN

Η απορρόφηση ενέργειας μέσω σημάτων RF επιτρέπει στις ασύρματες συσκευές να συλλέγουν ενέργεια από σήματα ραδιοσυχνότητας για επεξεργασία δεδομένων και συλλογή πληροφοριών [33]. Εδώ, η EH αναφέρεται στη διαδικασία της αποτελεσματικής χρήσης της αποθηκευμένης ενέργειας χωρίς σχετική απώλεια ενέργειας και διαρροών. Από την άλλη πλευρά, η ET αναφέρεται στη μετάδοση ενέργειας από μια πηγή ενέργειας ραδιοσυχνότητας

σε έναν συγκεκριμένο κόμβο που δεν διαθέτει αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια, μέσω εξειδικευμένων καναλιών επικοινωνίας που ανήκουν στη ζεύξη δεδομένων. Στη βιβλιογραφία έχουμε πολλές λύσεις στον τομέα της συλλογής και μεταφοράς RF μέσω WSN. Η Εικόνα 3 απεικονίζει το μοντέλο BSN (Backscatter sensor Network) και την αρχιτεκτονική εργασίας της τυπικής επικοινωνίας backscatter μέσω μιας δικτυακής πύλης [34]. Το BSN περιλαμβάνει πολλούς ασύρματους κόμβους, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για να μεταδίδουν πληροφορίες σε έναν κόμβο πύλης όπως φαίνεται στην εικόνα 3(a).



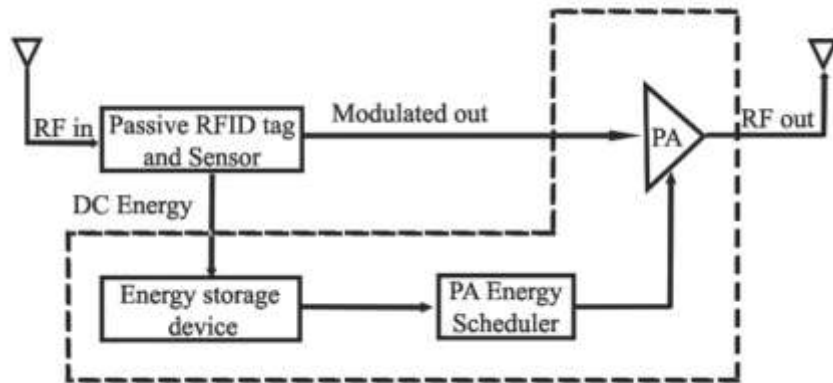
Εικόνα 3: BSN μοντέλο και backscatter αρχιτεκτονική επικοινωνίας

Σε αντίθεση με το παραδοσιακό WSN, στα BSN οι κόμβοι των RFID αισθητήρων, επικοινωνούν με την δικτυακή πύλη για τη συλλογή των δεδομένων, μεταδίδοντας σήματα ραδιοσυχνοτήτων μέσω της κεραίας του πομπού τους (Tx). Κάθε RFID αισθητήρας κατά τη λήψη των “ενεργειακών» σημάτων RF από την δικτυακή πύλη, αντανακλά και επαναμεταδίδει την ενέργεια αυτών των σημάτων πίσω στην πύλη μεταβάλλοντας τις καταστάσεις λειτουργίας (ON-OFF), του κυκλώματος RF που είναι συνδεδεμένο με τη σχετική κεραία στον RFID αισθητήρα, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3 (b). Ο controller χειρίζεται το κύκλωμα του διακόπτη του RFID αισθητήρα, δημιουργώντας ακολουθία δυαδικών ψηφίων 1 και 0. Ο κόμβος πύλης χρησιμοποιεί την κεραία λήψης (Rx) για να λαμβάνει τα σήματα από τον RFID αισθητήρα. Η πύλη μπορεί να εξάγει δεδομένα από τον αισθητήρα με τη χρήση αναλογικού προς ψηφιακό μετατροπέα (ADC) και έναν αποδιαμορφωτή. Η αναλυτική παρουσίαση του BSN βρίσκεται στο [34].

Η διαχείριση της ενέργειας στο WSN περιλαμβάνει παράγοντες όπως η μείωση της κατανάλωσης ρεύματος από τα Cluster Heads (CHS), προκειμένου να παραταθεί η διάρκεια ζωής του δικτύου. Ο αριθμός των clusters στο δίκτυο καθορίζει επίσης τη συνολική κατανάλωση ενέργειας επιπλέον από την κατανομή φορτίου και τον έλεγχο της επικοινωνίας. Οι κύριοι μέθοδοι διαχείρισης της ενέργειας σε οποιοδήποτε δίκτυο αισθητήρων θα μπορούσαν να είναι τρεις: είτε με τον περιορισμό της ενέργειας που καταναλώνουν οι κόμβοι, είτε με τη συγκομιδή και διατήρηση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, είτε μεταφέροντας ασύρματα ενέργεια, με ελάχιστες απώλειες επικοινωνίας, και αποφεύγοντας εξωτερικές παρεμβολές. Οι τελευταίες μελέτες στα ασύρματα επαναφορτιζόμενα δίκτυα (Wireless Rechargeable Sensor Networks –WRSN-), έχουν επικεντρωθεί στον φορητό φορτιστή (Mobile Charger-MC-), προκειμένου να παραταθεί η διάρκεια ζωής του δικτύου και, ως εκ τούτου, να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση [35]. Το βασικό πρόβλημα στα παραδοσιακά WSN όπου το EM αναμένεται να παίξει καθοριστικό ρόλο, έγκειται στο γεγονός ότι αυτά τα δίκτυα τροφοδοτούνται από μπαταρίες και πυκνωτές που έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης της ενέργειας λύνεται από κάποιους ερευνητές, χρησιμοποιώντας πολλαπλούς κινητούς κόμβους για την συλλογή των δεδομένων σε WSN οι οποίοι μετακινούνται και πλησιάζουν πάρα πολύ κοντά στους κόμβους αισθητήρων μειώνοντας δραστικά την ενέργεια που απαιτείται για να εκπέμπονται τα δεδομένα [36].

Η ιδέα του ενισχυμένου Backscattering μέσω EH (Amplified Backscattering via Energy Harvesting-ABEH-) στο [32], βασίζεται στην ενίσχυση του backscattering σήματος ώστε να βελτιώνεται (μεγαλώνει), η απόσταση ανάγνωσης συμβατικών παθητικών ετικετών RFID. Στην Εικόνα 4 βλέπουμε το μπλοκ διάγραμμα ενός τέτοιου αισθητήρα. Το διακεκομμένο όριο εμφανίζει τα νέα στοιχεία σε αντίθεση με τους κλασικούς παθητικούς κόμβους RSN. Η πρόκληση σε αυτό το σενάριο είναι να διασφαλιστεί μια ισορροπία φόρτου εργασίας μεταξύ των κινητών κόμβων συλλογής δεδομένων και επίσης να εξασφαλιστεί η βέλτιστη κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των κόμβων αισθητήρων μέσω δυναμικού ελέγχου στην διαδρομή των κινητών κόμβων συλλογής δεδομένων. Εργασίες [37] μας έχουν δώσει και ένα άλλο πλαίσιο, αυτό του Compressed Sensing (CS) για την απόκτηση δεδομένων στα πληροφοριακά συστήματα που αποτελούνται από WSN και IoT. Αυτό το πλαίσιο βασισμένο σε CS έχει

αποδειχθεί ότι είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για την εξοικονόμηση ενέργειας από την άσκοπη επικοινωνία για την ανασυγκρότηση των δεδομένων που έχουν δυνατότητες υψηλού βαθμού συμπίεσης.



Εικόνα 4: Μπλόκ διάγραμμα ενός RFID ABEH αισθητήρα ετικέτας

Γενικώς το RSN αποτελείται από μικροσκοπικούς κόμβους αισθητήρων οι οποίοι αναπτύσσονται για τη συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με μετρήσεις για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο ή μια συγκεκριμένη περιοχή. Η ικανότητα αυτών των δικτύων να παρακολουθούν απομακρυσμένα και εχθρικά περιβάλλοντα, και να εντοπίζουν την θέση στόχων (tracking), λαμβάνει ιδιαίτερη έρευνα τα τελευταία χρόνια. Υπάρχουν επίσης τεχνικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, προκειμένου να διατηρηθεί η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία του συνδεδεμένου δικτύου και των ενεργών κόμβων που συμμετέχουν στη διαδικασία επικοινωνίας. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν τους περιορισμούς των πόρων, την εμβέλεια μετάδοσης, την αποθήκευση και την κατανάλωση ενέργειας, σε συνδυασμό με την ισχύ μπαταρίας των κόμβων αισθητήρων. Οι υπάρχουσες λύσεις δεν εξετάζουν πώς να κατανέμεται βέλτιστα η εκπεμπόμενη ισχύς και δεν επιτυγχάνουν αξιόλογες ενεργειακές αποδόσεις. Η πιο δύσκολη πτυχή έγκειται στην εκτίμηση της περιοδικότητας συλλογής ενέργειας και του μεγέθους της πηγής ενέργειας που απαιτείται για να μπορεί να αποφευχθεί ο κρίσιμος παράγοντας της εξάντλησης της ενέργειας πριν από τον επόμενο κύκλο επαναφόρτισης. Η διαδικασία διατήρησης της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ονομάζεται ενεργειακή συγκομιδή (Energy Harvesting). Τα δίκτυα αισθητήρων όταν συνδυάζονται με τις δυνατότητες ταυτοποίησης (ID), χρειάζονται περισσότερη ενέργεια για

την επικοινωνία και τη μετάδοση δεδομένων μέσω αποκλειστικής χρήσης καναλιών μετάδοσης. Αυτή η ανάγκη έχει κάνει πολλούς ερευνητές να αναπτύξουν μεθόδους για τη διατήρηση των ενεργειακών επιπέδων των κόμβων αισθητήρων εστιάζοντας έτσι στο στόχο της συνολικής απόδοσης και αξιοπιστίας του δικτύου. Η Εικόνα 5 δείχνει την πλατφόρμα WISP [38] σύμφωνα με το πρωτόκολλο EPC Class 1 Generation 2 (C1G2).



Εικόνα 5: Wireless Identification and Sensing Platform (WISP) πλατφόρμα

Η ανάγκη για κατάλληλα πρωτόκολλα ενεργειακής απόδοσης είναι απαραίτητη για την αύξηση της διάρκειας ζωής του δικτύου και την αποτροπή της αποτυχίας του κόμβου. Η λειτουργία και η συντήρηση κόμβων αισθητήρων σε μη φιλικό περιβάλλον, καθώς και η παρουσία συνδέσμων επικοινωνίας επιρρεπών σε σφάλματα, εκθέτουν αυτά τα δίκτυα σε χαμηλά επίπεδα ενέργειας, παρεμποδίζοντας έτσι τη συνολική απόδοση και την απόδοση του δικτύου. Η δικτυακή υποδομή ετερογενών συσκευών σε περιβάλλον IoT είναι εξοπλισμένη με αισθητήρες, επεξεργαστές, ασύρματους πομποδέκτες και ενεργειακούς πόρους για δραστηριότητες μετάδοσης δεδομένων και παρακολούθησης. Ένα από τα κυρίαρχα εμπόδια για την εφαρμογή τέτοιων διαλειτουργικών δικτύων, είναι η παροχή επαρκούς ενέργειας για τη λειτουργία του δικτύου χωρίς να θυσιάζεται η ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of Service – QoS-) [39]. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να αυξηθεί η ενεργειακή απόδοση των συνδεδεμένων συσκευών στο δίκτυο αισθητήρων. Πλέον πολλά πρωτόκολλα ενεργειακής απόδοσης έχουν σχεδιαστεί [40], για να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των κόμβων των αισθητήρων. Στα παραδοσιακά WSN, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας κινητικότητας στην συλλογή των δεδομένων (κινητοί συλλέκτες δεδομένων), με τα παραδοσιακά δίκτυα στατικών αισθητήρων, εγγυάται νέες λειτουργίες που εξισορροπούν την κατανάλωση ενέργειας μεταξύ

των κόμβων αισθητήρων και τελικά επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Τα πρωτόκολλα διαχείρισης ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως ανεξάρτητα πρωτόκολλα (αναμονής/λειτουργίας) που λειτουργούν πάνω από ένα πρωτόκολλο MAC (στο δίκτυο ή στο επίπεδο εφαρμογής), είτε αυστηρά ενσωματωμένα στο ίδιο το πρωτόκολλο MAC [41]. Ένα τυπικό πρωτόκολλο πρέπει να χρησιμοποιείται για την επικοινωνία στα δίκτυα αισθητήρων. Καινούρια πρότυπα επικοινωνίας όπως το IEEE 802.15.4 χρησιμοποιούνται στο WSN ως πρωτόκολλο βάσης για την δημιουργία άλλων τυποποιημένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως το ZigBee και το 6LoWPAN [42], πάνω από αυτά. Ένα κρίσιμο σημείο στα δίκτυα αισθητήρων RFID με βάση το backscatter που πρέπει να εξεταστεί, είναι η απόσταση στην οποία ένας αναγνώστης RFID μπορεί να επικοινωνεί συνεχώς με παθητικούς αισθητήρες (ή ετικέτες) RFID.

Energy Harvesting in RSN

Η διαδικασία αποτελεσματικής συγκομιδής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι η ηλιακή ενέργεια, η δόνηση και οι ραδιοσυχνότητες, ονομάζεται συγκομιδή ενέργειας ή εξοικονόμηση ενέργειας. Το RSN βασίζεται στην συλλογή ενέργειας μέσω των σημάτων RF που εκπέμπονται από μια πηγή ενέργειας RF. Αυτός ο τύπος τεχνολογίας εξοικονόμησης ενέργειας επιτρέπει την ενεργό και δυναμική ανανέωση ενέργειας. Ερευνητές [43], έχουν προτείνει ένα υβριδικό σύστημα EM που έχει αποδείξει ότι σταθεροποιεί την ισχύ που παραδίδεται στο φορτίο, χρησιμοποιώντας το νέο σχήμα του μαγνητικού, θερμοηλεκτρικού και δονητικού συστήματος EH. Το ζήτημα της αύξησης της διάρκειας ζωής του δικτύου στα WSN λύνεται [44], με τους Cluster Heads (CH), να συλλέγουν, συγκεντρώνουν και να στέλνουν τα δεδομένα απευθείας στον αποδέκτη χρησιμεύοντας ως κόμβοι αναμετάδοσης εξοπλισμένοι με δυνατότητες EH. Οι τελευταίες λύσεις στην συλλογή της ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής EH και της ασύρματης μετάδοσης ισχύος έχουν καταγραφεί στο [45]. Πρόσφατες μελέτες έχουν βρει ότι η εξισορρόπηση τόσο της μετάδοσης δεδομένων όσο και της μεταφοράς ενέργειας, ασύρματα, αποτελεί μια σημαντική πρόκληση στον τρόπο λειτουργίας στα ασύρματα δίκτυα [33]. Τελικά, και οι δύο πτυχές δεν μπορούν να βελτιστοποιηθούν ή να μεγιστοποιηθούν ταυτόχρονα, γεγονός που αυξάνει την ανάγκη

επανεξέτασης του σχεδιασμού των υφιστάμενων ασύρματων δικτύων. Στη διαδικασία του ΕΗ, η ποσότητα της ενέργειας που συλλέγεται, βασίζεται στη συνολική μεταδιδόμενη ισχύ, στο μήκος κύματος του σήματος RF και στην απόσταση μεταξύ του κόμβου συγκομιδής και της πηγής ενέργειας RF.

Η RF ισχύς που μπορεί να συλλεχθεί, υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση (Friis), σε μοντέλο ελεύθερου χώρου (χωρίς εμπόδια μεταξύ πομπού και δέκτη), όπου d είναι η απόσταση μεταξύ της κεραίας μετάδοσης και της κεραίας λήψης, η P_R είναι η ισχύς που λαμβάνεται, το P_T είναι η ισχύς που μεταδίδεται, το λ είναι το μήκος κύματος του σήματος RF, το L είναι ο παράγοντας απώλειας διαδρομής, το G_T είναι το κέρδος κεραίας του πομπού και το G_R είναι το κέρδος κεραίας του δέκτη.

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2 L}$$

Equation 1: Friis 1

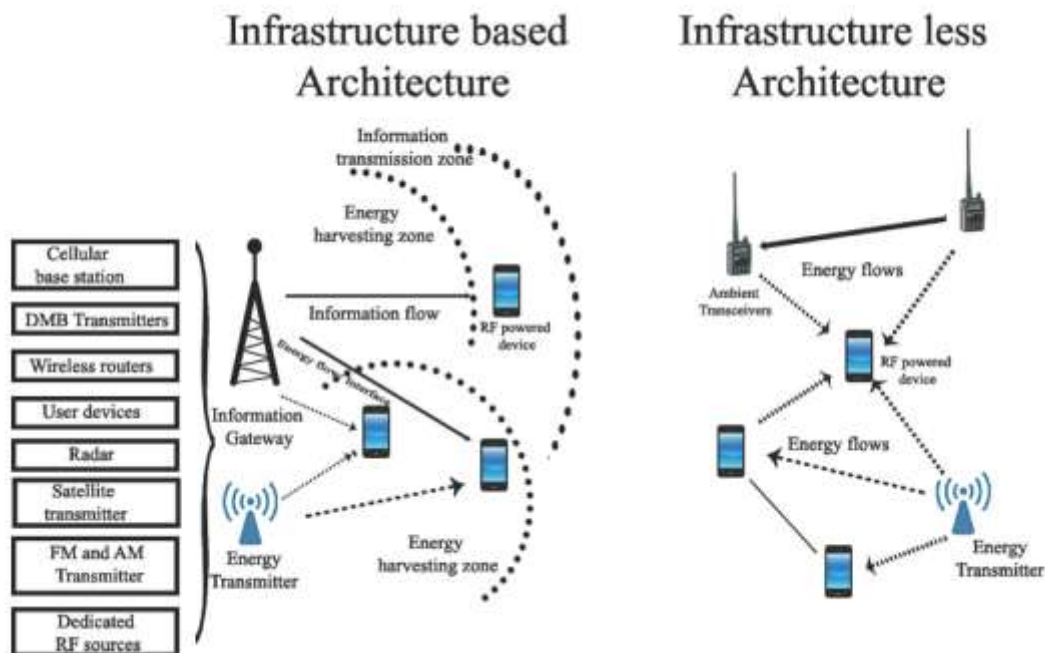
Εναλλακτικά, υπάρχει και η παρακάτω εξίσωση για το μοντέλο “Ανάκλασης εδάφους δύο ακτινών -two ray ground-”, που δίνεται από τον τύπο :

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R h_t^2 h_r^2}{(d)^4 L}$$

Equation 2: Friis 2

Όπου h_t και h_r είναι τα ύψη των κεραιών στην πλευρά μετάδοσης και λήψης αντίστοιχα. Οι ερευνητές στο [48] έχουν σχεδιάσει, και κατασκευάσει μια διαφορετική κεραία microstrip με κέρδος 8,5 dBi και εύρος ζώνης 135 MHz για χρήση σε εφαρμογές Radio Frequency Energy Harvesting (RFEH). Αυτή ρυθμίζεται για να χρησιμοποιείται είτε για κεντρική είτε για διαφορετική ρύθμιση και χρησιμεύει ως «εμπρόσθια» μονάδα (με την έννοια της μονάδας που προηγείται οποιασδήποτε άλλης), για πομποδέκτες RF. Μία ενδιαφέρουσα ερευνητική συνεισφορά περιλαμβάνει την καινοτομία δύο κεραιών RFID κεραίας ετικετών ενσωματωμένων με τσιπ RFID για διπλό ΕΗ, προκειμένου να υποστηριχθεί η λειτουργική κατάσταση της MCU και του αισθητήρα, καθώς και να αυξηθεί το εύρος αναγνώσεως της

ετικέτας RFID [46]. Το άρθρο στο [47], επικεντρώνεται στα μειονεκτήματα της κατανομής των πόρων (RFEH) στα δίκτυα ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Energy Harvesting Network -RF-EHN-). Οι συγγραφείς περιέγραψαν τη βελτιστοποίηση των πολιτικών λειτουργίας, προκειμένου να βελτιώσουν την απόδοση του κόμβου RFEH και επίσης να παράσχουν κατευθυντήριες οδηγίες σχετικά με την κοινή χρήση ραδιοφάσματος και «cooperative sensing» (συνεργατική ανίχνευση ραδιοφάσματος), την εξισορρόπηση μεταξύ ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας και διατήρησης λειτουργιών, τη διαμόρφωση κατευθυντικής RF ενεργειακής ακτινοβολίας και τη διαχείριση παρεμβολών. Η έννοια του EH στο RFEHN είναι είτε Infrastructure architecture (IS) είτε Infrastructure Less architecture (ISL). Μια βασική αρχιτεκτονική βασισμένη στην τεχνολογία RF-EHN απεικονίζεται στην Εικόνα 6. Περιλαμβάνει τρεις ενότητες - πηγές ενέργειας RF (πομπός ραδιοσυχνοτήτων RF / RF περιβάλλοντος), πύλη πληροφοριών (σταθμός βάσης, δρομολογητές) και συσκευές δικτύου. Οι πύλες πληροφοριών επικοινωνούν με τους κόμβους δικτύου για ερωτήματα ή απαιτήσεις χρηστών. Οι κόμβοι πύλης και οι πηγές ενέργειας RF είναι εξοπλισμένοι με σταθερή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ οι συσκευές δικτύου διατηρούν την ενέργεια RF από τους περιβαλλοντικούς πόρους. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6, οι διακεκομμένες γραμμές βέλους απεικονίζουν τις ενεργειακές ροές και οι έντονες γραμμές αντιπροσωπεύουν πληροφορίες / δεδομένα ροής. Οι διακεκομμένες καμπύλες αντιπροσωπεύουν τη ζώνη EH και τη ζώνη μετάδοσης δεδομένων της πύλης πληροφοριών. Η αρχιτεκτονική ISL είναι παρόμοια με την IS, εκτός από το γεγονός ότι οι κόμβοι δικτύου μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας [46]. Η κατάρρευση του μοντέλου μπορεί να αποφευχθεί με την υιοθέτηση αλγορίθμων μάθησης για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης σε BSN [34].



Εικόνα 6: Αρχιτεκτονική του RF-EHNS

Η μεταφορά της συλλεχθείσας ενέργειας καθώς και ο προγραμματισμός μετάδοσης δεδομένων, έχουν διαμορφωθεί ως μοντέλο απόφασης κατά Markov. Μια περιεκτική ταξινόμηση διαφόρων εννοιών EH, καθώς και πρότυπα ενεργειακής πρόβλεψης που έχουν την ικανότητα να ενισχύσουν τον ρυθμό συλλογής ενέργειας στο WSN παρουσιάστηκε στο [48]. Το EH με απλούστερους όρους ορίζεται ως το δυναμικό συλλογής και αποδοτικής χρήσης της περιβαλλοντικής ενέργειας από πηγές όπως σήματα RF, θερμική ενέργεια, μηχανική δόνηση, κίνηση κ.ο.κ. [49]. Η ερευνητική συνεισφορά στο [50], έχει ένα Bluetooth Χαμηλής Ενέργειας (BLE) που λειτουργεί με ενέργεια που συλλέγεται από διπλές πηγές ενέργειας RF της ζώνης ISM (Industrial, Scientific and Medical –ISM- band) και με τη βοήθεια φωτοβολταϊκών πηγών. Η εμφάνιση τεχνικών ασύρματης φόρτισης παρέχει έναν πιο ευέλικτο και πολλά υποσχόμενο τρόπο επίλυσης του προβλήματος της περιορισμένης ενέργειας στα ασύρματα δίκτυα επαναφορτιζόμενων αισθητήρων (WRSN). Παρόλο που εκτεταμένες έρευνες διεξήχθησαν σε αλγόριθμους ασύρματης φόρτισης, οι περισσότεροι επικεντρώθηκαν είτε στην παθητική αναπλήρωση ενέργειας για κόμβους με ανεπαρκή ενέργεια, είτε παρέχοντας κύκλους λειτουργίας ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες [51] και [52]. Όταν εξαντληθεί η ενέργεια ενός κόμβου αισθητήρα, δεν θα εκπληρώνεται πλέον ο ρόλος του στο δίκτυο, εκτός

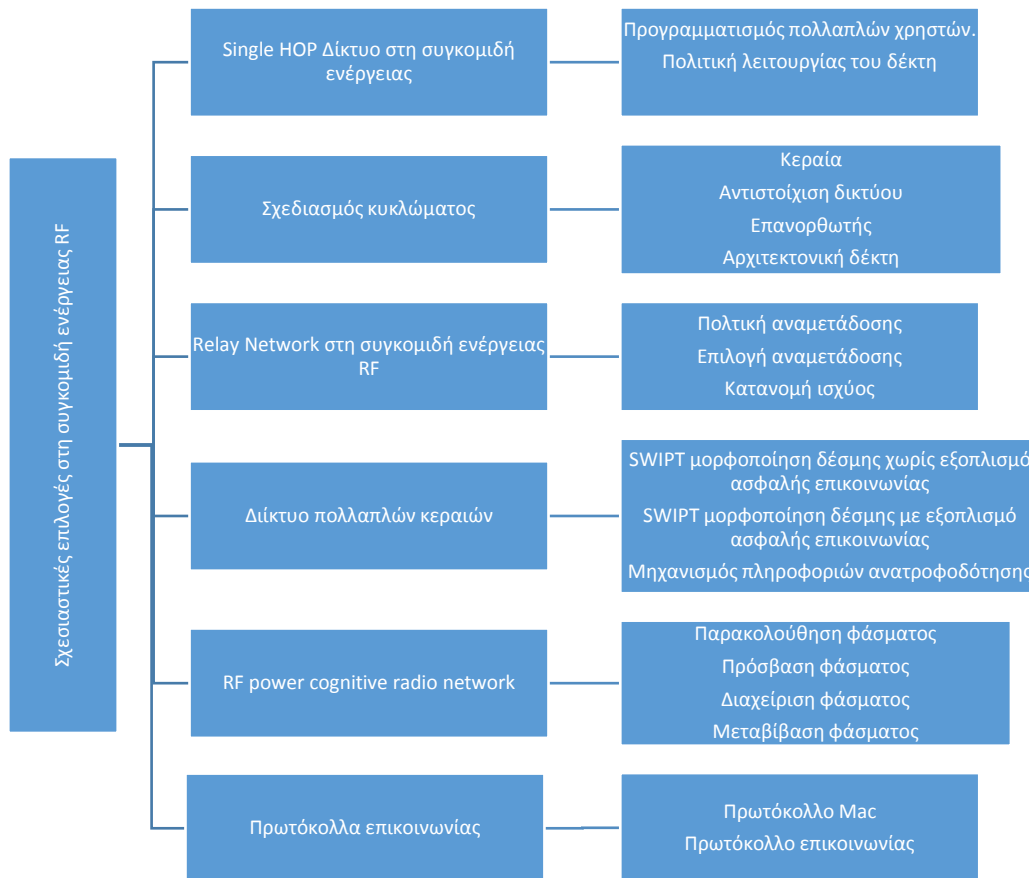
εάν είτε αντικαθίσταται η πηγή ενέργειας, ή ενεργοποιείται κάποιος μηχανισμός συγκομιδής για να γεφυρώσει το ενεργειακό κενό [53]. Οι επικρατούσες λύσεις χρησιμοποιούν πηγή ενέργειας που τροφοδοτείται από μπαταρίες σε κόμβους αισθητήρων RSN, αλλά εμφανίζουν πολλά μειονεκτήματα, όπως χημικές διαρροές, μη ικανοποιητική λειτουργία σε ακραίες καιρικές συνθήκες καθώς και περιορισμένη ενεργειακή πυκνότητα. Η τάξη των δικτύων που ονομάζονται Βιομηχανικά ασύρματα επαναφορτιζόμενα δίκτυα αισθητήρων (Industrial Wireless Rechargeable Sensor Networks –IWRSNs-) έχει ερευνηθεί από πολλούς ερευνητές στο πρόσφατο παρελθόν όπου η δρομολόγηση είναι είτε βασισμένη στο δίκτυο είτε συγκεντρωμένη (clustered). Το επίκεντρο στα IWRSN είναι να επιλυθεί το πρόβλημα της επαναφόρτισης ενέργειας με προληπτικό τρόπο [54]. Η Συγκομιδή Ενέργειας μπορεί επίσης να είναι επωφελής για την παρακολούθηση στοιχείων, όπου οι δυνατότητες των smartphone ενσωματώνονται στις παραδοσιακές τεχνικές παρακολούθησης στοιχείων [55], για παράδειγμα, το APL και το WOLF. Τα συστήματα αυτά έχουν αποδείξει ότι ανιχνεύουν σχεδόν όλα τα στοιχεία και εξοικονομούν την ενέργεια που καταναλώνουν τα smartphones. Η εστίαση στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας σε έξυπνα κτίρια στοχεύεται από τους συγγραφείς στο [56], όπου ένα έξυπνο εξατομικευμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Smart Personalised System), εξασφαλίζει βελτιστοποίηση της ενέργειας και εξοικονομεί ενέργεια μέσω ανανεώσιμων πηγών. Οι εφαρμογές όπως η επιτήρηση και η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, επηρεάζονται από σημαντικούς περιορισμούς, όπως η κάλυψη του αισθητήρα στόχου από εμπόδια, και αδυναμία επικοινωνίας, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα να περιορίζεται η διάρκεια ζωής του δικτύου αισθητήρων. Ως εκ τούτου, τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρήθηκαν αρκετές ερευνητικές συνεισφορές για την αύξηση της διάρκειας ζωής του δικτύου και τη διατήρηση της ενεργειακής απόδοσης που σχετίζεται με την αντιμετώπιση των ζητημάτων όπως η κάλυψη στόχων, η συνδεσιμότητα αισθητήρων και η ανοχή σφάλματος δικτύου [57]. Έχοντας προτεραιότητα την διάρκεια ζωής του δικτύου και την ενεργειακή απόδοση, αρκετές ανασκοπήσεις και ταξινομήσεις υπάρχουν στη βιβλιογραφία για την εξοικονόμηση ενέργειας στο WSN [58], [59] και [60], ενώ εξακολουθούν να μην υπάρχουν εκτεταμένες έρευνες σχετικά με τη συγκομιδή ενέργειας στο RSN. Αυτός ο λόγος είναι ο κύριος σκοπός για τη σύνταξη αυτού του άρθρου ανασκόπησης. Επιπλέον, αρκετοί συγγραφείς

έχουν αναπτύξει διάφορα σενάρια για την ενεργοποίηση των δικτύων αισθητήρων μέσω της συλλογής ενέργειας [61], [62] και [63]. Ο τομέας της διαχείρισης της παραγωγής θεωρείται ως ένας τομέας στον οποίο το IoT διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας [64]. Το επίκεντρο αυτής της έρευνας έχει επεκταθεί εκτεταμένα στη διερεύνηση των προβλημάτων για το πρότυπο IEEE 802.11 στην συγκομιδή ενέργειας των εφαρμογών ανίχνευσης χαμηλής ισχύος [65]. Επιπλέον, η Συγκομιδή Ενέργειας έχει επίσης βρεθεί ότι είναι επωφελής για τις νανο-ιατρικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν τα μακροσκοπικά συστήματα παρακολούθησης της υγειονομικής περιθάλψης [66]. Τέλος υπάρχει σημαντικό ποσό ερευνητικών συνεισφορών για τη συγκομιδή ενέργειας που βασίζεται στην ηλιακή ενέργεια, καθώς και για την εξασφάλιση της ανθεκτικότητας και του ελάχιστου κόστους του δικτύου [67] και [68].

Μεταφορά ενέργειας στο RSN

Οι ερευνητές του [69] ισχυρίστηκαν ότι έχουν αναπτύξει το πρώτο ασύρματο πρωτόκολλο ET για ετερογενή συχνότητα στο RFEH και έχουν πετύχει περίπου 59% υψηλότερο κύκλο λειτουργίας και 66% μέση απόδοση δικτύου πάνω από το κλασικό πρωτόκολλο Media Access Control Carrier-sense multiple access (MAC CSMA). Οι διαφορετικές πτυχές των ζητημάτων σχεδίασης των RFEHN είναι η σχεδίαση του κυκλώματος συγκομιδής ενέργειας, η δικτύωση για την μετάδοση των δεδομένων, χρησιμοποιώντας single hop, πολλαπλές κεραιές και συνεργατική αναμετάδοση ακολουθούμενες από πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 7. Η μεταφορά χαμηλής ισχύος για την ενεργοποίηση των κινητών τερματικών σε συστήματα ασύρματης επικοινωνίας οφείλεται στις προόδους των κυκλωμάτων RFEH. Οι δικτυακές μονάδες single hop και οι πολλαπλές κεραιές, χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο συγκομιδής –εξαγωγής- εκπομπής για μεταφορά ενέργειας και φόρτισης RF.

Energy Management στα RFID Sensor Networks

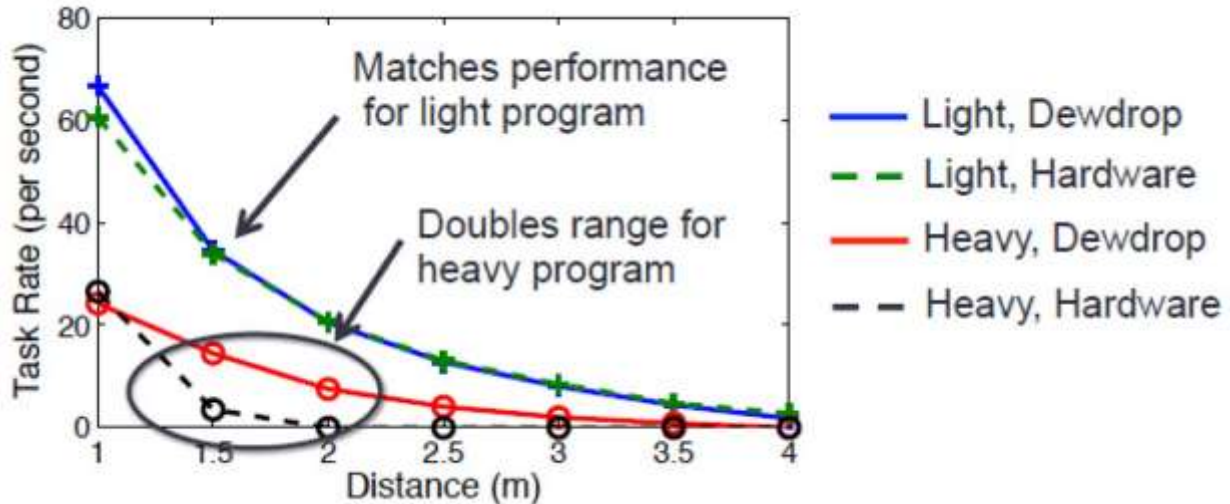


Εικόνα 7: Ταξινόμηση σχεδιασμού στο RFEHN

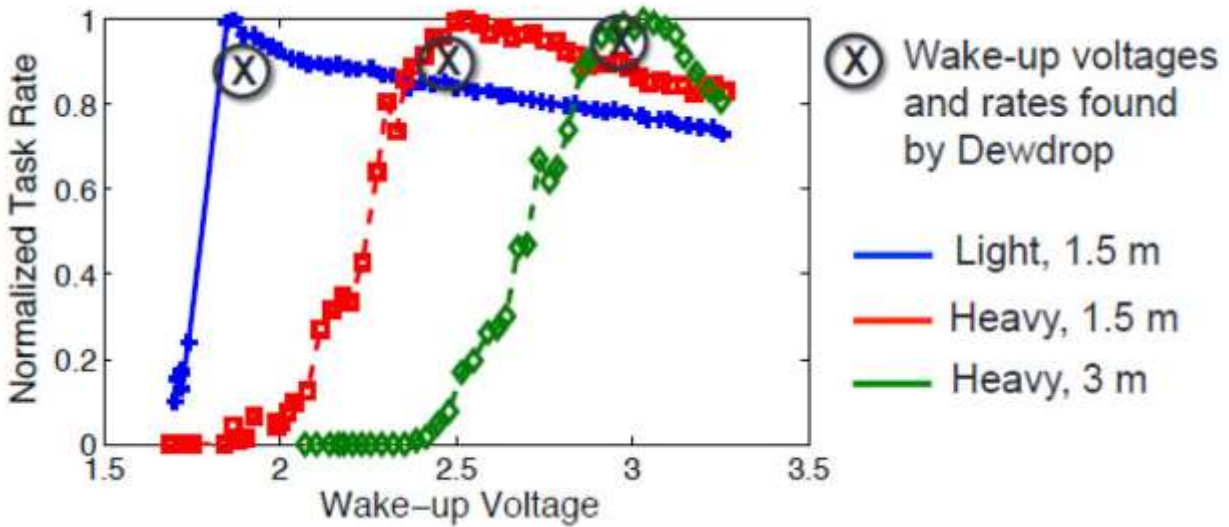
Τα σήματα RF χρησιμοποιούνται τόσο για τη μεταφορά της ενέργειας όσο και για τη μεταφορά των δεδομένων, όπως στην τεχνική ταυτόχρονης ασύρματης πληροφόρησης και μεταφοράς ενέργειας (Simultaneous Wireless Information and Power Transfer –SWIPT-) που αναπτύχθηκε από ερευνητές. Το SWIPT παρέχει ταυτόχρονα ασύρματη πληροφορία και RF ενέργεια. Ωστόσο, υπάρχει το θέμα της επακόλουθης συσχέτισης μεταξύ των μεταδιδόμενων δεδομένων και της ενέργειας που μεταφέρεται. Τα ασύρματα δίκτυα γνωστικών ραδιοσυχνοτήτων αντιμετωπίζουν επίσης το ζήτημα της εξισορρόπησης στον σχεδιασμό όσον αφορά την παρακολούθηση του ραδιοφάσματος και τη διαχείριση του εύρους ζώνης. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας MAC στο RF-EHN, χρησιμοποιεί πρόσβαση στο κανάλι για επεξεργασία πληροφοριών και μετάδοση δεδομένων. Η δυναμική φύση των επικοινωνούντων κόμβων καθιστά τον χρόνο που τελικά διατίθεται για τη συλλογή της ενέργειας απρόβλεπτο. Το πρωτόκολλο MAC που βασίζεται στο Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (-CSMA/CA-) ονομάζεται RF-MAC, έχει αναπτυχθεί για τη βελτιστοποίηση του ρυθμού

παράδοσης ενέργειας RF [46]. Το πρωτόκολλο ALOHA-Q χρησιμοποιεί μηχανισμό Q-learning σε ένα πλαίσιο βασισμένο στο Advocates of Linux Open-source Hawaii Association –ALOHA-πρωτόκολλο ως μια έξυπνη στρατηγική για επιλογή με «χρονο-σχισμές» που επιτρέπει το χαρακτηριστικό του τέλειου προγραμματισμού σε σχέση με την τυχαία πρόσβαση [70]. Τα αποτελέσματα του ALOHA-Q έχουν ξεπεράσει το ALOHA στη διακίνηση του δικτύου, την καθυστέρηση παράδοσης δεδομένων και την ενεργειακή απόδοση. Ερευνητές [71], έδειξαν επίσης ότι είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση της υπάρχουσας υποδομής Wi-Fi για την παροχή σύνδεσης στο Διαδίκτυο σε συσκευές που λειτουργούν με ισχύ RF. Ένα νέο σύστημα επικοινωνίας που ονομάζεται back-scatter Wi-Fi, συνδέει τις συσκευές που τροφοδοτούνται με RF στο Διαδίκτυο. Μια μελέτη σχετικά με το δίκτυο EH που αποτελείται από σταθμούς βάσης (Base Station-BS-) και πολλαπλούς χρήστες EH users(EHU) περιγράφεται στο [72] όπου οι σταθμοί μεταδίδουν ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων προς τις μονάδες EHU και οι μονάδες EHU με τη σειρά τους στέλνουν δεδομένα ταυτόχρονα με τους σταθμούς βάσης μέσω της EH MAC με ανερχόμενης ζεύξη για την λειτουργία των WSN σε μη προσβάσιμες και εχθρικές τοποθεσίες. Οι λειτουργίες του WSN που τροφοδοτείται με RF σε ένα σύστημα SWIPT μέσω πομπών RF μέ συλλογή ενέργειας από το περιβάλλον, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο στοχαστικής γεωμετρίας, έχουν αναλυθεί στο [73]. Άλλοι συγγραφείς [74] έχουν διερευνήσει την αποτελεσματικότητα μετατροπής RF-DC σε ένα κύκλωμα συγκομιδής RF όταν βαθμονομείται με ψηφιακά διαμορφωμένα σήματα. Προέκυψε ότι η μετατροπή αυτή εξαρτάται από το ρυθμό διαμόρφωσης μέσω του φίλτρου εξόδου του ανορθωτή που σχηματίζεται μέσω του πυκνωτή και της τιμής φορτίου. Η λύση βελτιστοποίησης που βασίζεται στο πλαίσιο αποφάσεων κατά Markov έχει προταθεί στο [34] για την απόκτηση των καλύτερων διαθέσιμων πολιτικών συλλογής δεδομένων για την πύλη στο BSN. Το ET και ο προγραμματισμός στη διαδικασία διαβίβασης δεδομένων έχουν διατυπωθεί για να μετριάσουν την καθυστέρηση παράδοσης δεδομένων μαζί με την πιθανή απώλεια του πακέτου. Οι ερευνητές στο [75] παρουσίασαν δύο καινοτόμα σχέδια επικοινωνίας για δίκτυα επικοινωνιών backscatter. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν στις ετικέτες RFID να επικοινωνούν μεταξύ τους σε μια ευρεία περιοχή δικτύων. Ο χρόνος εκτέλεσης για το CRFID ονομάζεται Dewdrop στην εργασία [76], το οποίο είναι ένα ενεργειακό λογισμικό που κάνει αποτελεσματική χρήση της συλλεγόμενης ενέργειας με

εξισορρόπηση και προγραμματισμό των απαιτήσεων εργασίας σε σχέση με το χρόνο λειτουργίας και τα επίπεδα υπολειπόμενης ενέργειας. Η ερευνητική ομάδα στο [76] αναφέρεται στην υλοποίηση του Dewdrop. Υπάρχουν δύο σημαντικές τεχνικές: Μηχανισμοί δειγματοληψίας χαμηλής κατανάλωσης ισχύος και χαμηλής ισχύος τάσης ξυπνήματος (Low power wake-up and Low power voltage sampling mechanisms) για την εφαρμογή του Dewdrop. Βασικά, το όριο στο οποίο πρέπει να “ξυπνήσει” η συσκευή, δεν είναι θέμα hardware. Ο μηχανισμός φόρτισης έχει προσαρμοσμένα εκθετικά διαστήματα ανάγνωσης που είναι μικρών απαιτήσεων και ακριβείας. Από την άλλη πλευρά, η αφύπνιση από τάση που δειγματοληπτείται, απαιτεί σημαντική κατανάλωση ενέργειας. Ως εκ τούτου, οι τρόποι μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας είναι είτε να γίνονται ξυπνήματα λιγότερο συχνά είτε να υποτετραπλασιαστεί το κόστος της ενεργειακής δειγματοληψίας. Στην Εικόνα 8 και Εικόνα 9, βλέπουμε τις συγκριτικές μετρήσεις επιδόσεων του μηχανισμού Dewdrop και του μηχανισμού hardware για δύο διαφορετικές εργασίες - Light (μόνο ανίχνευση) και Heavy (ανίχνευση και επιστροφή μιας τιμής στον αναγνώστη).



Εικόνα 8: Χρήση της υπολειπόμενης ενέργειας στο Dewdrop



Εικόνα 9: Ξύπνημα τάσης σε σχέση με τις διεργασίες στο Dewdrop

Η Εικόνα 8 δείχνει τον ρυθμό εκτέλεσης σε σχέση με την απόσταση για τις δύο εργασίες κατά τη διάρκεια δύο διαφορετικών εκτελέσεων. Η μία εκτέλεση αφορά το Dewdrop και η άλλη το hardware (που είναι η τελευταία τεχνολογία πριν το Dewdrop), και βλέπουμε ότι είναι και οι 2 πολύ αποτελεσματικοί. Βλέπουμε ότι ο ρυθμός εργασίας του Dewdrop σχεδόν ταυτίζεται με το μηχανισμό hardware σε απόσταση 1,5 m για την εργασία της ανίχνευσης (light). Το Dewdrop παρέχει απόδοση εργασίας 60% ανά δευτερόλεπτο σε σύγκριση με 65% ανά δευτερόλεπτο του μηχανισμού hardware σε απόσταση 1m από τον αναγνώστη για εργασίες ανίχνευσης. Αντίθετα, είναι προφανές ότι για το βαρύ πρόγραμμα (ανίχνευση και επιστροφή μιας τιμής στον αναγνώστη), ο μηχανισμός hardware δεν λειτουργεί σε απόσταση 2-4m από τον αναγνώστη, σε σύγκριση με το Dewdrop που η απόδοσή του πέφτει ομαλά με τη χρήση ελάχιστης ενέργειας. Επομένως, το Dewdrop διπλασιάζει την απόσταση λειτουργίας για την «βαριά» εργασία. Η Εικόνα 9 απεικονίζει το σημείο λειτουργίας στο Dewdrop σε απόσταση 1,5m και 3m για βαριά εργασία προγράμματος και 1,5m για ελαφριά εργασία αντίστοιχα. Η καλύτερη λειτουργική τάση αφύπνισης που βρέθηκε προσαρμοστικά στο Dewdrop ήταν εντός του 0.1V, χρησιμοποιώντας εξαντλητικό μηχανισμό αναζήτησης και αφύπνισης. Επομένως, βλέπουμε ότι το Dewdrop έχει καλύτερα αποτελέσματα στο 90% των μέγιστων ρυθμών λειτουργίας για όλες τις αποστάσεις. Συνεπώς, αυτή η συμβολή οδηγεί στο γεγονός ότι, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές ετικέτες RFID, το WRSN που βασίζεται σε RFID, χρειάζεται να

επαναφορτίζει την αποθηκευμένη του ενέργεια σε επίπεδο που καθιστά τους κόμβους αυτούς λειτουργικούς για ικανότητες ανίχνευσης, υπολογιστικής, επεξεργασίας και επικοινωνίας [77]. Τα αιτήματα επαναφόρτισης ενέργειας των κόμβων αισθητήρων πρέπει να αποστέλλονται στους κινητούς φορτιστές ή στην πηγή ενέργειας ασύρματα, οπότε ενδέχεται να χαθούν εξαιτίας των μεταβαλλόμενων συνθηκών δικτύου. Από την άλλη πλευρά, οι πυκνότητα του δικτύου διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή ζήτηση. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο, αυξάνονται οι απαιτήσεις φόρτισης ενέργειας, με αποτέλεσμα να μειώνεται η μετάδοση των δεδομένων και η απόδοση του δικτύου [78]. Οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι ο χρόνος παράδοσης του αιτήματος, ο χρόνος επαναφόρτισης και ο χρόνος διαδρομής του αιτώντα κόμβου αισθητήρα. Το πρόβλημα επαναφόρτισης ενέργειας κατά παραγγελία για RSN πρέπει να αξιολογηθεί αναλυτικά υπό το πρίσμα της συνολικής διακίνησης δικτύου και της ενεργειακής απόδοσης που δεν έχει εξεταστεί στη βιβλιογραφία. Το μειονέκτημα της αποτελεσματικής ασύρματης μεταφοράς ενέργειας και της ζήτησης στα δίκτυα αισθητήρων RFID, χρειάζεται να αντιμετωπιστεί ακόμη και μεταξύ των συνεργατικών (cooperative), κόμβων και των ομαδοποιημένων (clustered), κόμβων. Η κύρια πρόκληση στο δίκτυο με ασύρματη μεταφορά ενέργειας είναι να αποφασιστεί η ποσότητα της ενέργειας που θα μεταφερθεί στους κόμβους [79]. Η διαδικασία μετάδοσης ασύρματης ενέργειας απαιτεί όχι μόνο αυξημένη κατανάλωση ενέργειας από τα σημεία πρόσβασης του δικτύου, αλλά και ισχυρή παρέμβαση σε άλλα δίκτυα που μοιράζονται την ίδια πλατφόρμα αλλά και τον κύκλο λειτουργίας. Για να ξεπεραστεί αυτή η δαπάνη ενέργειας, το σημείο πρόσβασης μπορεί να επαναφορτίσει τους κόμβους με βάση την ασύρματη ζήτηση ενέργειας. Οι επικοινωνούντες κόμβοι πρέπει να λάβουν την απόφαση για μεταφορά ενέργειας σε ασύρματο μέσο, όσον αφορά το χρεωμένο κόστος και τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων, από το σημείο πρόσβασης. Οι υπάρχουσες λύσεις που συζητούνται στο [78] εστιάζουν σε μη συνεργάσιμα σενάρια για ασύρματη μεταφορά ενέργειας και αιτήσεις, όπου οι κόμβοι μπορούν συγκριτικά να ζητήσουν ασύρματη μεταφορά ισχύος για ένα ενεργό σημείο πρόσβασης και να χρησιμοποιήσουν αυτή την ενέργεια για τη μετάδοση πακέτων δεδομένων. Δυστυχώς, το θέμα της διαχείρισης της παρέμβασης λόγω της ασύρματης μεταφοράς ενέργειας δεν ελήφθη υπόψη από τους συγγραφείς. Ο Zhenping και η

ομάδα του. πρότεινε μια αλληλεπίδραση ενεργοποιούμενη από κατανομή γεγονότων για συγχρονισμό χρόνου έτσι ώστε να περιορίζεται η κατανάλωση ενέργειας σε WSN [80]. Η ομάδα στο [79], πρότεινε μια συνεταιριστική λύση για την αποτελεσματική διαχείριση της εξοικονόμησης ενέργειας και της συλλογής δεδομένων στις ευρείες περιοχές των RSN που βρίσκονται υπό βαριές πυκνότητες δικτύων. Η ομάδα του [81] πρότεινε τρία νέα πρωτόκολλα δρομολόγησης για αποτελεσματική φόρτιση και επίσης αντιμετώπισε τους ζωτικούς περιορισμούς της αποδοτικής ασύρματης μεταφοράς ενέργειας στο WRSN. Τα περισσότερα ζητήματα που αναζητούν προσοχή για τη μετάδοση ενέργειας, έγκεινται στο γεγονός της ποσοτικοποίησης της ενέργειας κάθε κόμβου επικοινωνίας και της δυναμικής της επικοινωνίας όταν οι κόμβοι είναι σε κατάσταση ηρεμίας. Υπάρχουν σχετικά λιγότερες ερευνητικές συνεισφορές που σχετίζονται με αυτές τις πτυχές στην βιβλιογραφία μέχρι σήμερα. Στο [82] εισήγαγαν ένα αρχιτεκτονικό πλαίσιο για την απασχόληση των κόμβων και την ανοχή καθυστέρησης βλάβης στα RSNs σύμφωνα με την τυποποίηση του IoT . Ο Liguang, ανέπτυξε ένα μαθηματικό μοντέλο (OPT-t) το οποίο εξαρτάται από το χρόνο για τον εντοπισμό ενός ασύρματου φορτιστή και ενός κινητού σταθμού βάσης στο ίδιο φάσμα [83]. Ένα μοντέλο βελτιστοποίησης έχει διαμορφωθεί για να παράγει τη βέλτιστη πολιτική για κάθε κινητό κόμβο αισθητήρων για να καταγράψει τις τεχνικές και τις στρατηγικές συνεργασίας σχετικά με την επαναλαμβανόμενη εξέλιξη του συνασπισμού [84]. Ο Adelina πρότεινε τέσσερα νέα πρωτόκολλα επικοινωνίας για την αποτελεσματική επαναφόρτιση ενέργειας και την ασύρματη εξοικονόμηση ενέργειας [85], ενώ οι συγγραφείς στο [86] έχουν σχεδιάσει πρωτόκολλα MAC εξαρτώμενα από το φάσμα ενέργειας και ασύρματων Nano Sensor Networks (WNSNs). Στόχος είναι η επίτευξη σημαντικού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στο δίκτυο και βέλτιστη διάρκεια ζωής του καναλιού, βελτιστοποιώντας αμοιβαία τις διαδικασίες συγκομιδής ενέργειας και κατανάλωσης ρεύματος σε αισθητήρες Nano. Η ομάδα του Sindhu έχει αναπτύξει αποτελεσματικούς αλγόριθμους διανομής ενέργειας, αλγόριθμο Q-learning, με μηχανισμούς εξερεύνησης που βασίζονταν στην μέθοδο e-greedy, καθώς και το Upper Confinement Bound (UCB) [87]. Ένα μοντέλο κατανάλωσης ενέργειας που βασίζεται στην ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας για τα WNSN με ενιαία εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας τόσο του πομπού όσο και του δέκτη έχει επίσης αναπτυχθεί και εφαρμοστεί [88]. Ο Hairpeng πρότεινε

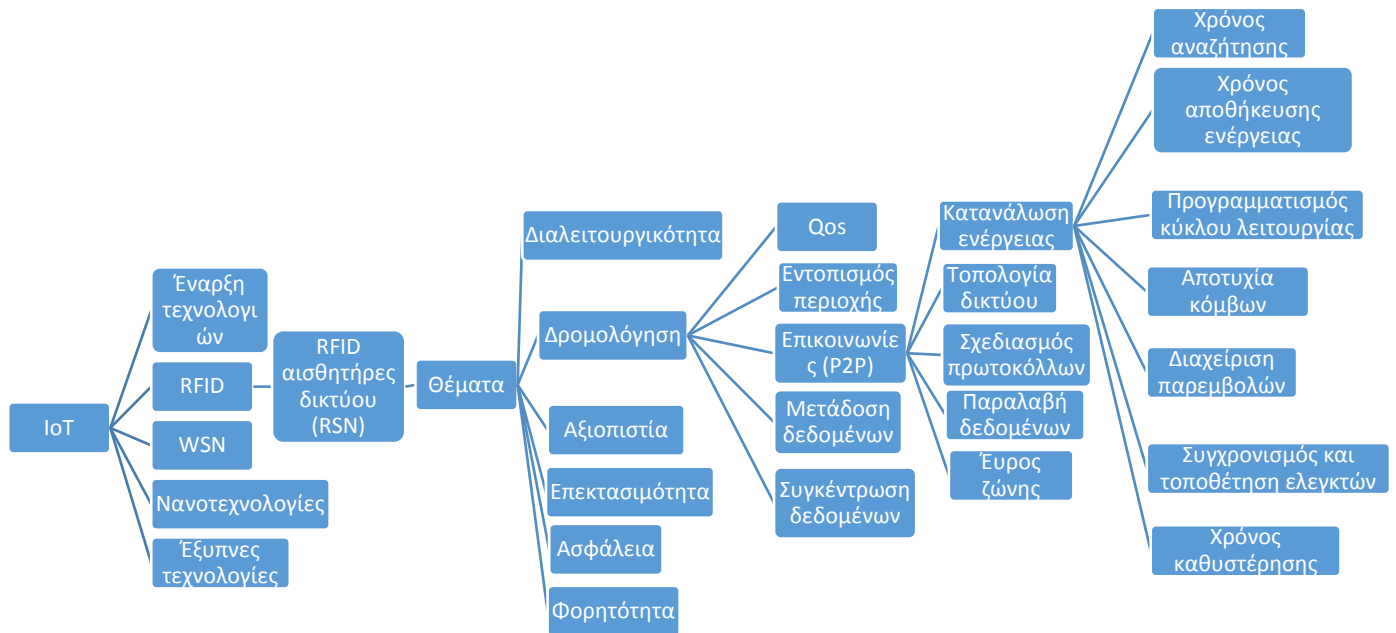
τους αλγόριθμους προσέγγισης για το Minimum Mobile Charger Problem (MinMCP) για δισδιάστατα (2D) WRSNs και διερευνά τον σχεδιασμό των τρόπων επαναφόρτισης [89]. Η ομάδα του Kaikai έχει διερευνήσει το ζήτημα ελαχιστοποίησης της ενέργειας μετάδοσης σε ένα WSN με την τεχνική της διαμόρφωσης OOK (On / Off Keying) και έχουν αναπτύξει τις αντίστοιχες λύσεις κωδικοποίησης για την Ελάχιστη Δυνατότητα Μετάδοσης (Minimum Transmission Energy-MTE-) με τις παραμέτρους του περιορισμού του ρυθμού κωδικοποίησης και του περιορισμού του μήκους λέξης κώδικα [90].

Προκλήσεις της διαχείρισης ενέργειας στα δίκτυα αισθητήρων RFID

Ο συνδυασμός RFID και WSN αποτελεί αναπόφευκτο αβαντάζ στην έρευνα των IoT που θα οδηγήσει σε υψηλότερο επίπεδο συνεργασίας και τεχνολογικής προόδου. Ο στόχος της επίτευξης αποτελεσματικής και ισχυρής ολοκλήρωσης των RFID και των WSN, απαιτεί ορισμένες τεχνικές προκλήσεις όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 10, οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν όπως προτείνεται από τους ερευνητές στη βιβλιογραφία. Ένας καλός προγραμματισμός που θα αποτρέπει «συγκρούσεις», πρέπει να καθοριστεί, τόσο για τα RFID όσο και για τα WSN για τη μείωση πιθανών παρεμβολών στις περιπτώσεις υψηλής πυκνότητας δικτύου [1].

Η διανομή συσκευών, τεχνικών και διαδικασιών πρόσβασης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ευρύτερο φάσμα εφαρμογών είναι επίσης μία από τις ζωτικής σημασίας πρωτοβουλίες για την άμβλυνση των ζητημάτων ενσωμάτωσης της RFID και των WSN. Οι παράγοντες των οικονομικά αποδοτικών υλικών και των πλέον αποτελεσματικών διαδικασιών κατασκευής, είναι επίσης υπεύθυνοι, για την επιτυχή ενσωμάτωση των RFID και των WSN. Η ομάδα του [11], παρουσίασαν μια συζήτηση σχετικά με νέες προκλήσεις όπως η χρήση multihop δικτύων για τη μεγιστοποίηση της κλίμακας ανάγνωσης των παθητικών δικτύων RFID και την πανταχού παρούσα ανάπτυξη των δικτύων αισθητήρων RFID σε δίκτυα υψηλής πυκνότητας. Οι προσομοιωτές που συνδυάζουν το RFID και το WSN, διαδραματίζουν επίσης εξέχοντα ρόλο στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων RSN στον τομέα στον τομέα της διάχυτης πληροφορικής (pervasive computing). Η ενσωμάτωση των RFID και των WSNs είναι μια τεχνολογία που είναι στην αρχή της και θεωρείται σαν πρόωρη τεχνολογία στην γενικευμένη

περιοχή του IoT. Μέχρι στιγμής, τα πιθανά μειονεκτήματα στην προώθηση μιας τέτοιας ολοκλήρωσης, είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, η δυναμική επίδοση σε πραγματικό χρόνο, ο καθαρισμός σημασιολογικών δεδομένων, το φιλτράρισμα δεδομένων, ο εντοπισμός κόμβων, οι περιορισμοί κατά τη σύγκρουση των δικτύων, περιορισμοί εύρους ζώνης και ο έλεγχος ταυτοποίησης για λόγους ασφαλείας [7].



Εικόνα 10: Ταξινόμηση των προκλήσεων δικτύου αισθητήρων στο RFID

Πολλές από τις ερευνητικές συνεισφορές για την ολοκλήρωση των RFID και των WSN, για να επιτύχουν έναν ενεργειακά αποδοτικό μηχανισμό δρομολόγησης δεδομένων, έχουν επικεντρωθεί μόνο στον παράγοντα αποτελεσματικότητας και όχι στην απαίτηση για την απόκτηση αποφασιστικών αλληλεπιδράσεων σε πραγματικό χρόνο. Η ανάπτυξη τεράστιου αριθμού συσκευών ανάγνωσης RFID στον ίδιο χώρο θα δώσει λύσεις τελικά σε θέματα όπως είναι του κόστους, χρόνος επεξεργασίας ερωτήσεων και παρεμβολών. Οι ερευνητές [11] πρότειναν ότι οι σημαντικότερες προκλήσεις που αφορούν την ολοκλήρωση των RFID και

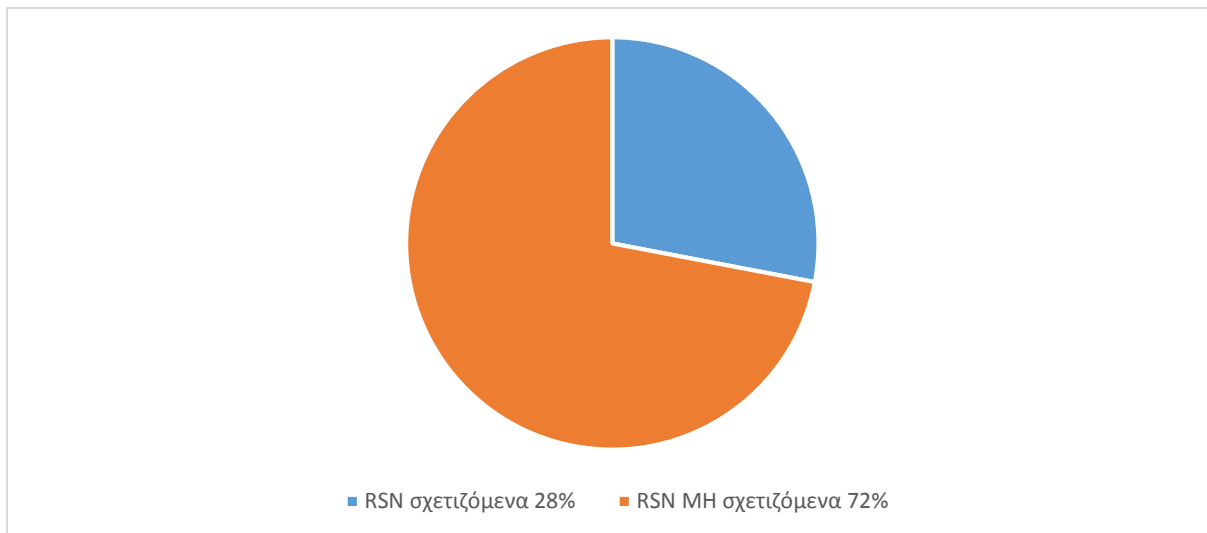
WSN, περιλαμβάνουν την ανάγκη για εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, την έλλειψη πηγών ενέργειας και την μη ικανοποιητική ακρίβεια των αισθητήρων χαμηλής ισχύος.

Τα ολοκληρωμένα συστήματα θα πρέπει να διαθέτουν προσομοιωτές ικανούς να μοντελοποιούν, να αναλύουν, να αξιολογούν τις επιδόσεις και να βελτιστοποιούν, όπως αναλύονται από τους συγγραφείς [11] και [91]. Η ενεργειακή αποδοτικότητα υπήρξε ένα κρίσιμο ζήτημα όταν ενσωματώσαμε ταυτόχρονα RFID και WSN. Το ZigBee (IEEE 802.15.4) θεωρείται το καλύτερο σύστημα διαμόρφωσης για βιομηχανικές εφαρμογές που βασίζονται σε WSN, καθώς ικανοποιεί την αξιοπιστία, τους παράγοντες κόστους, και ανταποκρίνεται στην ανάγκη για χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Το ZigBee δεν έχει καμία σχετική ομοιότητα όσον αφορά τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, επειδή δεν αναπτύχθηκε για μεταφορά υψηλής ταχύτητας δεδομένων (high data rate duty cycle) από κάθε συνδεδεμένο κόμβο στο δίκτυο. Το ZigBee εξακολουθεί να είναι μια ανώριμη τεχνική εξέλιξη από τις ιδιόκτητες λύσεις εξάπλωσης φάσματος[3]. Συνεπώς, δεν υπάρχουν ερευνητικές συνεισφορές που να βασίζονται σε τυποποιημένες διαδικασίες, οι οποίες μπορούν να ενσωματώσουν τα RFID και WSN σε ένα δίκτυο ξεχωριστά, πιθανότατα λόγω περιορισμένης ερευνητικής εστίασης, ποικίλων ερευνητικών υπόβαθρων και σημαντικού περιορισμού της υψηλότερης κατανάλωσης ενέργειας [14]. Προκειμένου να ξεπεραστεί η σημαντική πρόκληση της περιορισμένης διάρκειας ζωής του RSN, οι δύο στρατηγικές του EM στο RSN είναι η EH και η ET.

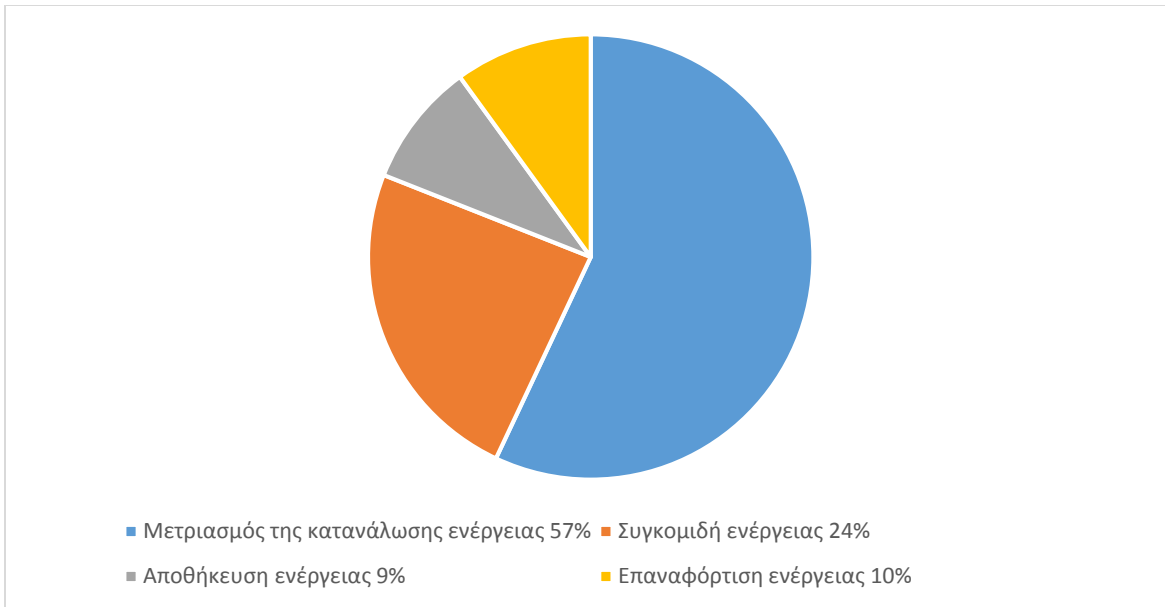
Σύγκριση και Συζήτηση

Υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις για την επικοινωνία και τη δρομολόγηση όταν συνδυάζονται RFID και WSN, όπως, ο εντοπισμός κόμβων, οι παραβιάσεις ασφαλείας, η κλιμάκωση, η διαλειτουργικότητα και η έλλειψη ενέργειας. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4, τα δίκτυα αισθητήρων καταγράφονται σύμφωνα με τον τύπο εφαρμογών και την τοπολογία του δικτύου. Ο τύπος της ενεργειακής στρατηγικής διαχείρισης που χρησιμοποιήθηκε επίσης συνοψίστηκε. Οι μέθοδοι διαχείρισης ενέργειας σε δίκτυα αισθητήρων είναι τριπλή: α) με την μείωση της ενέργειας που καταναλώνουν οι κόμβοι, β) με την συγκομιδή ή/και την αποθήκευση ενέργειας από πηγές όπως ο ήλιος, άνεμος, κραδασμοί γ) αυτό συνεπάγεται την επαναφόρτιση και

μεταφορά ενέργειας μέσω των καναλιών επικοινωνίας ή ασύρματων μέσων. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση των δικτύων και να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής τους, εξασφαλίζοντας έτσι πιθανές αποτυχίες κόμβων και απώλειες πακέτων. Μπορεί να σημειωθεί ότι προφανώς στις παρακάτω έρευνες [59], [78], [79], [82], [84], [89] και [92], έχουν επικεντρωθεί στη διατήρηση της ενέργειας συνδυάζοντας τόσο την RFID όσο και την WSN, ενώ οι [66], [80], [81], [83], [85], [86], [90] και [93] έχουν επικεντρωθεί στην μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται από τους κόμβους επικοινωνίας μόνο για το WSN. Οι εικόνες Εικόνα 11 Το ποσοστό της απασχόλησης του RSN μεταξύ των άρθρων της παρούσας έρευνας και Εικόνα 12 απεικονίζουν τη συγκριτική ανάλυση όλων των 95 άρθρων που έχουν χρησιμοποιηθεί ως αναφορές.



Εικόνα 11 Το ποσοστό της απασχόλησης του RSN μεταξύ των άρθρων της παρούσας έρευνας



Εικόνα 12 Τεχνικές και στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας

Η κατάτμηση όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 4 είχε ληφθεί για όλα τα αντικείμενα και σε σχέση με τη στήλη 4 και 5 του πίνακα. Η πρώτη αναπαράσταση διαγράμματος πίτας στην εικόνα Εικόνα 11 απεικονίζει ότι 68 άρθρα από τα 95 δεν αφορούν το RSN και μόνο τα 27 αφορούν το RSN. Η δεύτερη γραφική απεικόνιση στην Εικόνα 12 μπορεί να ερμηνευτεί από τη στατιστική ανάλυση ότι 53 άρθρα εστίαστηκαν στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (ECM) ως μέσο διαχείρισης των ενεργειακών επιπέδων, ακολουθούμενο από 10 άρθρα σχετικά με την επαναφόρτιση ενέργειας (ER), 23 σχετικά με τη συγκομιδή ενέργειας (EH) και 9 για την αποθήκευση ενέργειας (ES) αντίστοιχα, λίγες από τις οποίες έχουν καταγραφεί στον πίνακα III. Οι έρευνες που διενεργήθηκαν σχετικά με τα δίκτυα αισθητήρων μέχρι σήμερα, από την ερευνητική κοινότητα, έδειξαν ότι η κατανάλωση ενέργειας διαδραματίζει ζωτικό ρόλο για τη δρομολόγηση δεδομένων και την επικοινωνία. Στην εργασία αυτή έχουν ερευνηθεί τα βασικά ζητήματα του EM για RSN όταν υπάρχουν πολλές συσκευές συνδεδεμένες μεταξύ τους μέσω του διαδικτύου. Παρόλο που οι μπαταρίες και οι πυκνωτές, θεωρούνται ως οι πρωταρχικές πηγές ενέργειας για τα WSN, η περιορισμένη διάρκεια ζωής και η μη προβλεψιμότητα για τους κόμβους που η δραστηριότητά τους εξαρτάται από την συχνότητα των συμβάντων που παρακολουθούν, καθιστά πολύ πιθανή την αντιμετώπιση δυνητικών μειονεκτημάτων, όπως η έλλειψη ενέργειας, η αποτυχία κόμβου, η απώλεια πακέτων και η κακή απόδοση του δικτύου. Αυτοί οι λόγοι οδηγούν τελικά σε συχνές αντικαταστάσεις των μπαταριών, συνεχείς αποστολές

και λήψεις αιτήσεων επαναφόρτισης με αποτέλεσμα την καταστροφή των μπαταριών. Ως εκ τούτου, προκειμένου να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί, η συγκομιδή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επιταχύνθηκε σε σχέση με τις υφιστάμενες λύσεις για τις επικοινωνίες στο RSN. Αυτός ο μηχανισμός εγγυάται μια ελπιδοφόρα λύση για το ζήτημα της έλλειψης ενέργειας στο RSN. Αυτή η συγκριτική ανάλυση απεικονίζει επίσης τα σχετικά θέματα διαχείρισης της ενέργειας που έχουν επιλυθεί από τους ερευνητές μαζί με τον τύπο της πειραματικής επιβεβαίωσης. Οι προαναφερθείσες εικόνες και πίνακες αποτελούν τις μελλοντικές οδηγίες έρευνας για προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν, για μια πολλά υποσχόμενη απόδοση δικτύου και ενεργειακά αποδοτική επικοινωνία για το RSN. Οι ερευνητές εργάζονται αποτελεσματικά σε αυτή την πτυχή του τρόπου διαχείρισης της συλλεγμένης ενέργειας ραδιοσυχνοτήτων, προκειμένου να μετριάσουν την αποτυχία των κόμβων και να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Οι συνεργατικές λύσεις που βρίσκονται σε εξέλιξη στοχεύουν στην παροχή ελπιδοφόρων λύσεων για συσκευές κινητικότητας στο πρότυπο IoT από την RFEH και την μετάδοση ενέργειας. Περαιτέρω μελέτες σε αυτό το θέμα θα διεξαχθούν για να ελεγχθεί η υλοποιησιμότητα των λύσεων σε σύγκριση με τις υφιστάμενες λύσεις για RSN μεγάλης κλίμακας υπό δυναμικές συνθήκες δικτύου.

Energy Management στα RFID Sensor Networks

Τεχνικές / Τύπος δικτύου	Τύπος Εφαρμογής	Τοπολογία δικτύου / Χρήση	RSN	EM τεχνικές	Εστιάζει σε θέμα	Πραγματικού χρόνου/ Προσομοίωση
Production management, optimization techniques	Καθορισμός από εφαρμογή	Προσδιοριστική	ΝΑΙ	ΕΗ	Ενεργειακή αποτελεσματικότητα της διαχείρισης της παραγωγής	Πραγματικού χρόνου
Nano antenna technology	Περιοδική	Nano-rectenna	ΟΧΙ	ΕΗ	Συνολική αποτελεσματικότητα της συγκομιδής	Προσομοίωση
Nano-rectenna systems	Οδηγούμενη από το γεγονός	Nano-rectenna	ΟΧΙ	ΕΗ	Βελτιστοποίησης	Προσομοίωση
HOLA, IIoT	Βασισμένη στο συμβάν	Τυχαία	ΝΑΙ	ΕΣ	Επανακαθορίζει ισχύ μπαταρίας και ραδιοζεύξεις	Προσομοίωση
TDMA protocol	Βασισμένη στο συμβάν	Δυναμική	ΟΧΙ	ΕCM	Συγχρονισμός χρόνου	Προσομοίωση
TBR, TDC	Βασισμένη στο ερώτημα	Σύμπλεγμα	ΝΑΙ	ΕΡ	Ευελιξία	Προσομοίωση
WRSN, LRP, RTP, GKP	Διανεμητική και προσαρμοστική	Τυχαία	ΟΧΙ	ΕCM	Μεταφορά ενέργειας	Προσομοίωση
RFID, WSN, RSN, IoT, SIWR, DIRSN	Οδηγούμενη από το γεγονός	Δυναμική	ΝΑΙ	ΕCM	Ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης, των συντελεστών κόστους, της απώλειας πακέτων και της κυκλοφοριακής συμφόρησης	Προσομοίωση
WET, WCV, OPT	Περιοδική	Σταθερή	ΟΧΙ	ΕCM	Αποδοτικότερη μεταφορά ενέργειας	Προσομοίωση
DTN	Οδηγούμενη από το γεγονός	Στατική και Δυναμική	ΝΑΙ	ΕCM	Ποσοστό παράδοσης πακέτων δεδομένων	Προσομοίωση
DC, DCLK, CC,CCGK	Βασισμένη στο συμβάν	Τυχαία	ΟΧΙ	ΕCM	Αποτελεσματική μεταφορά ασύρματης ισχύος	Προσομοίωση
WNSN, MAC, CTR	Βασισμένη στο ερώτημα	Σύμπλεγμα	ΟΧΙ	ΕΗ	Βελτιστοποίηση της διαδικασίας συγκομιδής και κατανάλωσης ενέργειας	Προσομοίωση
MinMCP	Περιοδική	Τυχαία	ΝΑΙ	ΕCM	Ποσοτικοποίηση των MCs	Προσομοίωση
RSN	Καθορισμός από εφαρμογή	Αστέρας και Δέντρο	ΝΑΙ	ΕCM	Παράγοντες κόστους	Πραγματικού χρόνου
WNSN	Βασισμένη στο συμβάν	Τυχαία	ΟΧΙ	ΕCM	Βελτιστοποίηση της μεταφοράς ενέργειας	Προσομοίωση

Πίνακας 4: Σύνοψη των στρατηγικών ενεργειακής διαχείρισης

IoT Μια ανοικτή έρευνα

Με το IoT να θεωρείται το μέλλον της έξυπνης τεχνολογίας, μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε εκτενώς για τη βελτιστοποίηση της ενέργειας, ειδικά όταν ένας τεράστιος αριθμός συσκευών συνδέονται σε μια ετερογενή πλατφόρμα. Τα προαναφερθέντα τμήματα αυτής της εργασίας μας έχουν δείξει ότι όταν συνδυάζεται η RFID και η WSN, υπάρχει ένα ζήτημα της EM. Η εξέλιξη του IoT και η χρήση πολλών συσκευών, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της κακής κάλυψης του αναγνώστη RFID ή της αναποτελεσματικής ανάγνωσης παθητικών ετικετών RFID σε ένα ομαδοποιημένο RSN. Ως εκ τούτου, η νέα αντίληψη της τεχνολογίας Wi-Fi backscattering [71], για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και επομένως, τη βελτίωση της περιοχής ανάγνωσης ετικετών. Αυτή η τεχνική καθιστά τελικά την EH πιο δυναμική και την ET λιγότερο χρονοβόρα λόγω των μικρότερων δυνατοτήτων αποθήκευσης ενέργειας. Όμως, το πρόβλημα της ευαισθησίας του αναγνώστη και της ευαισθησίας των ετικετών σε πολύπλοκα ολοκληρωμένα συστήματα πρέπει να αντιμετωπιστεί. Ο σχεδιασμός πρωτοκόλλων δρομολόγησης μεταξύ συνδεδεμένων πλατφόρμων, για τη μετάδοση ασύρματης ενέργειας μέσω του πλαισίου IoT θεωρείται επίσης ως η πιο ζωτικής σημασίας οδηγία για την έρευνα. Οι συσκευές όταν συνδέονται σε ένα κοινό φάσμα μπορούν να προκαλέσουν παρεμβολές στα κανάλια επικοινωνίας. Ως εκ τούτου, η διαχείριση παρεμβολών αποτελεί επίσης μια σημαντική ερευνητική πρόκληση για την EM στο RSN. Ο σχεδιασμός πρωτότυπων πρωτοκόλλων επικοινωνίας που βασίζονται στο IoT, και μπορούν να διορθώσουν, το ενδεχόμενο αποτρεπτικό αποτέλεσμα των παρεμβολών για EM που βασίζονται σε RF, στην ευρεία περιοχή του RSN φαίνεται να είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση. Ως εκ τούτου, το IoT στο σύνολό του, μπορεί να προβλεφθεί ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την έρευνα ώστε να ξεπεραστούν οι προκλήσεις της EM στην RSN. Συνεπώς, το ασύρματο γνωστικό ραδιοδίκτυο που τροφοδοτείται με RF έχει κάποια από τα ζητήματα σχεδιασμού για τη συλλογή RF, τα οποία είναι η αίσθηση του φάσματος, η πρόσβαση στο κανάλι, η διαχείριση του φάσματος και το hand-off. Με την δυνατότητα της πρόσβασης στο φάσμα με δυναμικό τρόπο, οι γνωστικές

συχρότητες μπορούν να αυτοσχεδιάσουν την αποδοτικότητα του φάσματος και της χωρητικότητας των δικτύων αισθητήρων. Τόσο το φάσμα όσο και η ενεργειακή απόδοση μπορούν να επιτευχθούν από τους δευτερεύοντες χρήστες μέσω του συνδυασμού των δυνατοτήτων RFEH με το γνωστικό ραδιοδίκτυο (CRN). Ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να ονομαστεί ως γνωστικό ραδιοδίκτυο που τροφοδοτείται με RF. Υπάρχουν πρόσφατες ερευνητικές συνεισφορές που εστιάζουν στη βέλτιστη επιλογή καναλιών, την ανίχνευση φάσματος και τη διαχείριση εύρους ζώνης. Αυτά τα συμπεράσματα που βασίζονται στην αίσθηση του ραδιοφάσματος, τη μετάδοση δεδομένων και τη συλλογή ενέργειας RF σε ένα πολυκαναλικό RF-powered CRN επικεντρώνονται από τους συγγραφείς στη βιβλιογραφία. Η λεπτομερής περιγραφή σχετικά με τις ερευνητικές συνεισφορές και τα επιτευχθέντα αποτελέσματα είναι εκτός του πεδίου εφαρμογής της συγκεκριμένης έρευνας.

Συμπεράσματα – Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Σε αυτή την εργασία, συζητήσαμε το ζήτημα της ενεργειακής διαχείρισης πάνω σε ένα δίκτυο IoT. Οι ερευνητικές συνεισφορές της ενσωμάτωσης βασικών τεχνολογιών του Διαδικτύου που είναι η RFID και η WSN με τους σχετικούς τύπους, εφαρμογές και προκλήσεις έχουν περιγραφεί μέσω διαδοχικών εννοιών. Ως εκ τούτου, μάθαμε ότι η ενεργειακή απόδοση είναι το πιο ζωτικό ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί για το RSN. Προκειμένου να γνωρίζουμε την έννοια της διαχείρισης της ενέργειας στο RSN, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε την έννοια των ενεργειακών πτυχών του RSN σε περιβάλλον IoT. Ωστόσο, από τις συζητήσεις στις προηγούμενες ενότητες της εργασίας, μπορεί να σημειωθεί ότι πολλοί ερευνητές δεν έχουν επικεντρωθεί αρκετά, στη πτυχή της διαχείρισης της ενέργειας για το RSN. Επομένως, πρέπει να αναπτυχθούν νέοι αλγόριθμοι οι οποίοι θα λαμβάνουν υπόψη την εξοικονόμηση ενέργειας, μαζί με την επαναφόρτιση ενέργειας, και τη βελτιστοποίηση της συλλεγόμενης ενέργειας. Μια άλλη σημαντική πτυχή που αναζητά την προσοχή είναι η ανάπτυξη εργαλείων προσομοίωσης που θα συνδυάζουν τόσο την RFID όσο και την WSN τεχνολογία για εξοικονόμηση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A. M. a. C. Douligeris, «Integrated rfid and sensor networks: architectures and applications,» σε *RFID and sensor networks: Architectures, protocols, security and integrations*, 2009, p. 512.
- [2] A. W. N. a. S. K. Jaiswal, «An overview of wsn and rfid network integration,» in *Electronics and Communication Systems (ICECS), 2015 2nd International Conference on. IEEE*, pp. 497-502, 2015.
- [3] L. Z. a. Z. Wang, «Integration of rfid into wireless sensor networks: architectures, opportunities and challenging problems,» in *Grid and Cooperative Computing Workshops, 2006. GCCW'06. Fifth International Conference on. IEEE*, pp. 463-469, 2016.
- [4] M. C. H. H. M. B. M. E. A. M. M. A. El Khaddar, «Modeling and enforcing security and service control policies using flexrfid middleware: Healthcare scenarios,» in *Science and Information Conference (SAI), 2014. IEEE*, pp. 461-467, 2014.
- [5] K. H. a. Y. Z. B. Zhang, «Network architecture and energy analysis of the integration of rfid and wireless sensor network,» in *Control and Decision Conference (CCDC), 2010 Chinese. IEEE, 2010*, pp. 1379-1382, 2010.
- [6] M. K. a. H. T. M. A. Jedda, «Connected coverage for rfid and wireless sensor networks,» σε *Procedia Computer Science, vol. 10*, 2012, pp. 1046-1051.
- [7] L. D. X. Z. B. a. Y. X. L. Wang, «Data cleaning for rfid and wsn integration,» σε *IEEE transactions on industrial informatics, vol. 10, no. 1*, 2014, pp. 408-418.
- [8] J. S. a. D. K. W. Wang, «Complex event processing in epc sensor network middleware for both rfid and wsn,» σε *in Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2008 11th IEEE International Symposium on. IEEE*, 2008, pp. 165-169.
- [9] J. M. D. a. N. U. Sambhe, «A novel data cleaning algorithm using rfid and wsn integration,» σε *Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), 2015 International Conference on. IEEE*, 2015, pp. 1-5.
- [10] A. E. A.-F. a. H. S. H. F. M. Al-Turjman, «A novel costeffective architecture and deployment strategy for integrated rfid and wsn systems,» σε *Computing, Networking and Communications (ICNC), 2012 International Conference on. IEEE*, 2012, pp. 835-839.
- [11] M. B. A. N. a. I. S. H. Liu, *Integration of RFID and wireless sensor networks*, Singapore: World Scientific Publishing Company: Toh Tuck, 2009.
- [12] T. I. B. P. L. T. J. S. T. S. L. K. D. M. H. H. Y. K. e. a. J. Mitsugi, *Architecture development for sensor integration in the epcglobal network*, White Paper WPSWNET-018 Auto-ID Labs, 2007.
- [13] U. K. V. a. R. Shukla, «Wsn and rfid: Differences and integration,» σε *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering, vol. 2, no. 9*, 2013, pp. 778-780.

- [14] T. S. L. a. D. K. J. Sung, «The epc sensor network for rfid and wsn integration infrastructure,» σε *Pervasive Computing and Communications Workshops, 2007. PerCom Workshops' 07. Fifth Annual IEEE International Conference on. IEEE, 2007*, pp. 618-621.
- [15] V. L. R. V. M. M. T. a. S. N. A. Rida, «Review of technologies for low-cost integrated sensors,» σε *RFID Technologies and Applications (RFID-TA), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011*, pp. 513-520.
- [16] S. K. G. a. P. Sinha, Overview of wireless sensor network: A survey, 2014.
- [17] H. Y. a. S.-H. Yang, «Rfid sensor network network architectures to integrate rfid, sensor and wsn,» σε *Measurement and Control, vol. 40, no. 2,, 2007*, pp. 56-59.
- [18] R. J. a. G. M. O. A. G. Ruzzelli, «On the rfid wake-up impulse for multi-hop sensor networks,» σε *The 1st ACM Workshop on Convergence of RFID and Wireless Sensor Networks and their Applications (SenseID) at the 5th ACM International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (ACM SenSys 2007)*, Australia, 2007.
- [19] S. S. a. Q. X. X. Shi, «The integration of wireless sensor networks and rfid for pervasive computing,» σε *Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT), 2010 5th International Conference on. IEEE, 2010*, pp. 67-72.
- [20] Z. Z. H. T. a. L.-R. Z. M. Baghaei-Nejad, «A novel passive tag with asymmetric wireless link for rfid and wsn applications,» σε *Circuits and Systems, 2007. ISCAS 2007. IEEE International Symposium on. IEEE, 2007*, pp. 1593-1596.
- [21] S. S. a. D. M. S. Hussain, «Applications of wireless sensor networks and rfid in a smart home environment,» σε *Communication Networks and Services Research Conference, 2009. CNSR'09, 2009*, pp. 153-157.
- [22] C. B. D. W. a. W. L. R. Jedermann, «Applying autonomous sensor systems in logistics combining sensor networks, rfids and software agents,» σε *Sensors and Actuators A: Physical, vol. 132, no. 1, 2006*, pp. 370-375.
- [23] J. G.-H. L. R.-G. T. J.-A. J. I. R. V. a. P. B. R. Badia-Melis, «Assessing the dynamic behavior of wsn motes and rfid semi-passive tags for temperature monitoring,» σε *Computers and Electronics in Agriculture, vol. 103, 2014*, pp. 11-16.
- [24] P. S. a. R. S. R. Sharma, «Notice of violation of ieee publication principles evolution in rfid credit card security by using wireless sensing network,» σε *Management of e-Commerce and e-Government (ICMeCG), 2011 Fifth International Conference on. IEEE, 2011*, pp. 229-231.
- [25] A. A. a. S. U. S. Mirshahi, «Implementation of structural health monitoring based on rfid and wsn,» σε *Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2015 IEEE 28th Canadian Conference on. IEEE, 2015*, pp. 1318-1323.

- [26] B.-J. Y. J.-J. S. J.-H. S. a. J.-I. L. Y.-I. Kim, «Implementing a prototype system for power facility management using rfid/wsn,» σε *International Journal of Applied Mathematics and Computer Sciences*, vol. 2, no. 2, 2006, pp. 70-75.
- [27] L. P. L. P. M. L. S. a. R. V. L. Mainetti, «Integration of rfid and wsn technologies in a smart parking system,» σε *Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2014 22nd International Conference on. IEEE*, 2014, pp. 104-110.
- [28] S. A. a. M. Y. A. Raja, «Integration of wireless sensor network with medical service provider for ubiquitous e-healthcare,» σε *High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET), 2012 9th International Conference on. IEEE*, 2012, pp. 120-126.
- [29] W. R. A. D. M. d. L. B. R. d. S. B. M. S. F. a. V. B. D. P. Pereira, «Model to integration of rfid into wireless sensor network for tracking and monitoring animals,» σε *Computational Science and Engineering, 2008. CSE'08. 11th IEE*, 2008, pp. 125-131.
- [30] S. M. a. R. F. Babiceanu, «Rfid-wireless sensor networks integration: Decision models and optimization of logistics systems operations,» σε *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 35,, 2015, pp. 234-245.
- [31] C. Z. a. N. Noor, «Wireless sensor network and internet of things (iot) solution in agriculture,» σε *Pertanika Journal of Science & Technology*, vol. 25, 2017.
- [32] O. S. a. U. S. F. Iannello, «Energy management policies for passive rfid sensors with rf-energy harvesting,» σε *Communications (ICC), 2010 IEEE International Conference on. IEEE*, 2010, pp. 1-6.
- [33] P. W. D. N. D. I. K. a. Z. H. X. Lu, «Wireless networks with rf energy harvesting: A contemporary survey,» σε *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 2,, 2015, pp. 757-789.
- [34] D. N. P. W. D. I. K. a. L. L. T. H. Dinh, Optimal data scheduling and admission control for backscatter sensor networks, *IEEE Transactions on Communications*, 2017.
- [35] S. N. T. P. R. C. R. a. F. V. C. M. Angelopoulos, «Efficient energy management in wireless rechargeable sensor networks,» σε *Proceedings of the 15th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, 2012, pp. 309-316.
- [36] X. W. a. W. Z. J. Shi, An efficient algorithm for energy management in wireless sensor networks via employing multiple mobile sinks, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2016, 2016.
- [37] L. D. X. a. X. W. S. Li, «Compressed sensing signal and data acquisition in wireless sensor networks and internet of things,» σε *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 9, no. 4, 2013, pp. 2177-2186.
- [38] D. J. Y. P. S. P. A. V. M. a. J. R. S. A. P. Sample, «Design of an rfid-based battery-free programmable sensing platform,» σε *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 57, no. 11,

2008, pp. 2608-2615.

- [39] C. M. Z. S. S. M. V. C. L. Y. L. G. P. Kamalinejad, «Wireless energy harvesting for the internet of things,» σε *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 6, 2015, pp. 102-108.
- [40] A. H. A. M. H. A. A. G. a. A. A. G. Abdul-Salaam, «A comparative analysis of energy conservation approaches in hybrid wireless sensor networks data collection protocols,» σε *Telecommunication Systems*, vol. 61, no. 1, 2016, pp. 159-179.
- [41] M. C. M. D. F. a. A. P. G. Anastasi, «Energy conservation in wireless sensor networks: A survey,» σε *Ad hoc networks*, vol. 7, no. 3, 2009, pp. 537-568.
- [42] R. V. S. H. J. V. J. P. a. C. V. H. R. J. Vullers, «Energy harvesting for autonomous wireless sensor networks,» σε *IEEE Solid-State Circuits Magazine*, vol. 2, no. 2, 2010, pp. 29-38.
- [43] L. D. W. C. J. L. Y. W. a. D. W. F. Yang, «Hybrid energy harvesting for condition monitoring sensors in power grids,» σε *Energy*, vol. 118, 2017, pp. 435-445.
- [44] G. X. a. H.-P. T. P. Zhang, «Clustering algorithms for maximizing the lifetime of wireless sensor networks with energy-harvesting sensors,» σε *Computer Networks* vol. 57, no. 14,, 2013, pp. 2689-2704.
- [45] A. C. A. G. S. K. a. M. M. T. K. Niotaki, «Solar/electromagnetic energy harvesting and wireless power transmission,» σε *Proceedings of the IEEE*, vol. 102, no. 11, 2014, pp. 1712-1722.
- [46] P. W. D. N. a. Z. H. “ a. i. w. X. Lu, «Resource allocation in wireless networks with rf energy harvesting and transfer,» σε *IEEE Network*, vol. 29, no. 6, 2015, pp. 68-75.
- [47] A. E. A. a. R. Abhari, «ultiport uhf rfid-tag antenna for enhanced energy harvesting of self-powered wireless sensors,» σε *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 12, no. 2, 2016, pp. 801-808.
- [48] F. K. S. a. S. Zeadally, «Energy harvesting in wireless sensor networks: A comprehensive review,» σε *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, 2016, pp. 1041-1054.
- [49] R. G. G. a. J. T. G. D. J. P´erez, «A survey of energy harvesting circuits: research issues and challenges,» σε *Revista Telem@tica*, vol. 15, no. 2, 2016, pp. 73-90.
- [50] P. H. C. a. W.-T. C. W.-C. Shih, «A batteryless beacon based on dual ism-band rf harvesting with solar-biasing current,» σε *Proceedings of the 4th International Workshop on Energy Harvesting and Energy-Neutral Sensing Systems. ACM*, 2016, pp. 7-12.
- [51] G. A.-S. M. Y. I. I. A. W. A. W. a. I. A. M. H. Anisi, «Energy harvesting and battery power based routing in wireless sensor networks,» σε *Wireless Networks*, 2015, pp. 1-18.
- [52] J. R. a. M. D. M. H. Anisi, «Fedat: Fault-tolerant energy-efficient data aggregation in wireless sensor networks,» σε *Software, Telecommunications and Computer Networks*, 2008, 2008, pp. 188-192.

- [53] G. A.-S. a. A. H. A. M. H. Anisi, «A survey of wireless sensor network approaches and their energy consumption for monitoring farm fields in precision agriculture,» σε *Precision Agriculture*, vol. 16, no. 2, 2015, pp. 216-238.
- [54] A. Q. J. J. N. S. a. L. L. G. Han, «A grid-based joint routing and charging algorithm for industrial wireless rechargeable sensor networks,» σε *Computer Networks*, vol. 101,, 2016, pp. 19-28.
- [55] A. S. a. S. Z. I. Bisio, «A new asset tracking architecture integrating rfid, bluetooth low energy tags and ad hoc smartphone applications,» σε *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 31, 2016, pp. 79-93.
- [56] S. R. G. a. M. V. R. A. R. Devidas, «A system for energy conservation through personalized learning mechanism,» σε *in Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS), 2015 International Conference on. IEEE*, 2015, pp. 1-7.
- [57] S. Ganguly, «An energy efficient evo-fuzzy sleep scheduling protocol for stationary target coverage in wireless sensor networks,» σε *Journal of Wireless Sensor Network* vol. 3, no. 1, 2016.
- [58] A. W. R. M. U. S. a. H. R. A. Z. Kausar, «Energizing wireless sensor networks by energy harvesting systems: Scopes, challenges and approaches,» σε *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, 2014, pp. 973-989.
- [59] F. S. a. G. Miragliotta, «Energy management based on internet of things: practices and framework for adoption in production management,» σε *Journal of Cleaner Production*, vol. 100, 2015, pp. 235-246.
- [60] T. S. a. J. M. X. Fafoutis, «Energy harvesting-wireless sensor networks for indoors applications using ieee 802.11,» σε *Procedia Computer Science*, vol. 32, 2014, pp. 991-996.
- [61] A. W. R. a. M. F. S. R. M. Ferdous, «Renewable energy harvesting for wireless sensors using passive rfid tag technology: A review,» σε *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, 2016, pp. 1114-1128.
- [62] E. M. A. .. S. J. A. S. a. V. M. D. Marrero, «Energy saving in smart city wireless backbone network for environment sensors,» σε *Mobile Networks and Applications*, 2016, pp. 1-12.
- [63] S. S. a. P. Kulkarni, «Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications,» σε *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 13, no. 3, 2011, pp. 443-461.
- [64] F. A. a. M. H. Rehmani, «Energy replenishment using renewable and traditional energy resources for sustainable wireless sensor networks: A review,» σε *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, 2015, pp. 769-784.
- [65] G. B. a. L. A. G. “. t. d. o. a. e. G. Piro, «On the design of an energy harvesting protocol stack for body area nano-networks,» σε *Nano Communication Networks*, vol. 6, no. 2, 2015, pp. 74-84.
- [66] X. Z. G. A. V. a. V. M. Z. Ma, «On the efficiency of solar energy harvesting with nano-dipoles,» σε *Antennas and Propagation (EuCAP), 2013 7th European Conference on. IEEE*, 2013, pp. 2856-2859.

- [67] Z. M. a. G. A. Vandenbosch, «Optimal solar energy harvesting efficiency of nano-rectenna systems,» σε *Solar Energy*, vol. 88, 2013, pp. 163-174.
- [68] H. L. a. M. B. J.-D. Park, «Uninterrupted thermoelectric energy harvesting using temperature-sensor-based maximum power point tracking system,» σε *Energy Conversion and Management*, vol. 86, 2014, pp. 233-240.
- [69] M. Y. N. a. K. R. C. P. Nintanavongsa, «A dual-band wireless energy transfer protocol for heterogeneous sensor networks powered by rf energy harvesting,» σε *Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), 2013 International. IEEE*, 2013, pp. 387-392.
- [70] S. K. P. D. M. D. G. a. T. C. Y. Chu, «Application of reinforcement learning to medium access control for wireless sensor networks,» σε *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 46, 2015, pp. 23-32.
- [71] A. P. S. G. J. R. S. a. D. W. B. Kellogg, «Wi-fi backscatter: Internet connectivity for rf-powered devices,» σε *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 44, no. 4, 2015, pp. 607-618.
- [72] N. Z. a. R. S. Z. Hadzi-Velkov, «Multiple-access fading channel with wireless power transfer and energy harvesting,» σε *IEEE Communications Letters*, vol. 18, no. 10, 2014, pp. 1863-1866.
- [73] I. F. D. N. N. P. a. P. W. X. Lu, «Performance analysis of simultaneous wireless information and power transfer with ambient rf energy harvesting,» σε *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2015 IEEE.*, 2015, pp. 1303-1308.
- [74] F. B. A. C. a. A. G. J. Blanco, «Rf-energy harvesting and wireless power transfer efficiency from digitally modulated signals,» σε *Microwave Symposium (MMS), 2015 IEEE 15th Mediterranean*, 2015, pp. 1-4.
- [75] A. L. S. G. a. J. R. S. A. N. Parks, «Turbocharging ambient backscatter communication,» σε *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 44 no. 4. ACM, 2014, pp. 619-630.
- [76] B. G. a. D. W. M. Buettner, «Dewdrop: an energyaware runtime for computational rfid,» σε *Proc. USENIX NSDI, 2011*, 2011, pp. 197-210.
- [77] P. C. Y. G. J. C. a. T. H. L. Fu, «Optimal charging in wireless rechargeable sensor networks,» σε *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 1, 2016, pp. 278-291.
- [78] R. S. a. J. T. K. Dhondge, «Hola: Heuristic and opportunistic link selection algorithm for energy efficiency in industrial internet of things (iiot) systems,» σε *Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2016 8th International Conference on. IEEE*, 2016, pp. 1-6.
- [79] L. M. A. I. A. M. a. S. C. S. I. Farris, «Tagbased cooperative data gathering and energy recharging in wide area rfid sensor networks,» σε *Ad Hoc Networks*, vol. 36, 2016, pp. 214-228.
- [80] D. L. Y. H. a. C. T. Z. Chen, «Event-triggered communication for distributed time synchronization in wsns,» σε *Control Conference (CCC), 2015 34th Chinese. IEEE*, 2015, pp. 7789-7794.

- [81] S. N. a. T. P. R. C. M. Angelopoulos, «Wireless energy transfer in sensor networks with adaptive, limited knowledge protocols,» σε *Computer Networks*, vol. 70, 2014, pp. 113-141.
- [82] A. E. A.-F. W. M. A. a. H. S. H. F. M. Al-Turjman, «A delay-tolerant framework for integrated rsns in iot,» σε *Computer Communications*, vol. 36, no. 9, 2013, pp. 998-1010.
- [83] Y. S. Y. T. H. W. L. H. D. S. H. Z. a. S. F. L. Xie, «A mobile platform for wireless charging and data collection in sensor networks,» σε *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, no. 8, 2015, pp. 1521-1533.
- [84] P. W. H.-P. T. W. S. a. D. I. K. D. Niyato, «Cooperation in delay-tolerant networks with wireless energy transfer: Performance analysis and optimization,» σε *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 64, no. 8, 2015, pp. 3740-3754.
- [85] S. N. a. T. P. R. A. Madhja, «Distributed wireless power transfer in sensor networks with multiple mobile chargers,» σε *Computer Networks*, vol. 80, 2015, pp. 89-108.
- [86] J. M. J. M. A. M. N. A. a. I. F. A. P. Wang, «Energy and spectrum-aware mac protocol for perpetual wireless nanosensor networks in the terahertz band,» σε *Ad Hoc Networks*, vol. 11, no. 8, 2013, pp. 2541-2555.
- [87] K. P. a. S. B. S. Padakandla, «Energy sharing for multiple sensor nodes with finite buffers,» σε *IEEE Transactions on Communications*, vol. 63, no. 5, 2015, pp. 1811-1823.
- [88] W. W. a. S. S. L. Huang, «Energy-efficient coding for electromagnetic nanonetworks in the terahertz band,» σε *Ad Hoc Networks*, vol. 40, 2016, pp. 15-25.
- [89] X. W. G. C. L. X. a. S. L. H. Dai, «Minimizing the number of mobile chargers for large-scale wireless rechargeable sensor networks,» σε *Computer Communications*, vol. 46, 2014, pp. 54-65.
- [90] Y.-h. Z. X. J. a. X. T. K. Chi, «Optimal coding for transmission energy minimization in wireless nanosensor networks,» σε *Nano Communication Networks*, vol. 4, no. 3, 2013, pp. 120-130.
- [91] M. B. A. N. a. I. S. H. Liu, «Taxonomy and challenges of the integration of rfid and wireless sensor network,» σε *IEEE network*, vol. 22, no. 6, 2008.
- [92] W. Ding, «Minimizing wsn energy and cost by embedding rfid tags,» σε *Global High Tech Congress on Electronics (GHTCE), 2013 IEEE*, 2013, pp. 50-55.
- [93] C. R. A. a. M. A. H. N. Rafsanjani, «A review of approaches for sensing, understanding, and improving occupancy-related energy-use behaviors in commercial buildings,» σε *Energies*, vol. 8, no. 10, 2015, pp. 10996-11029.