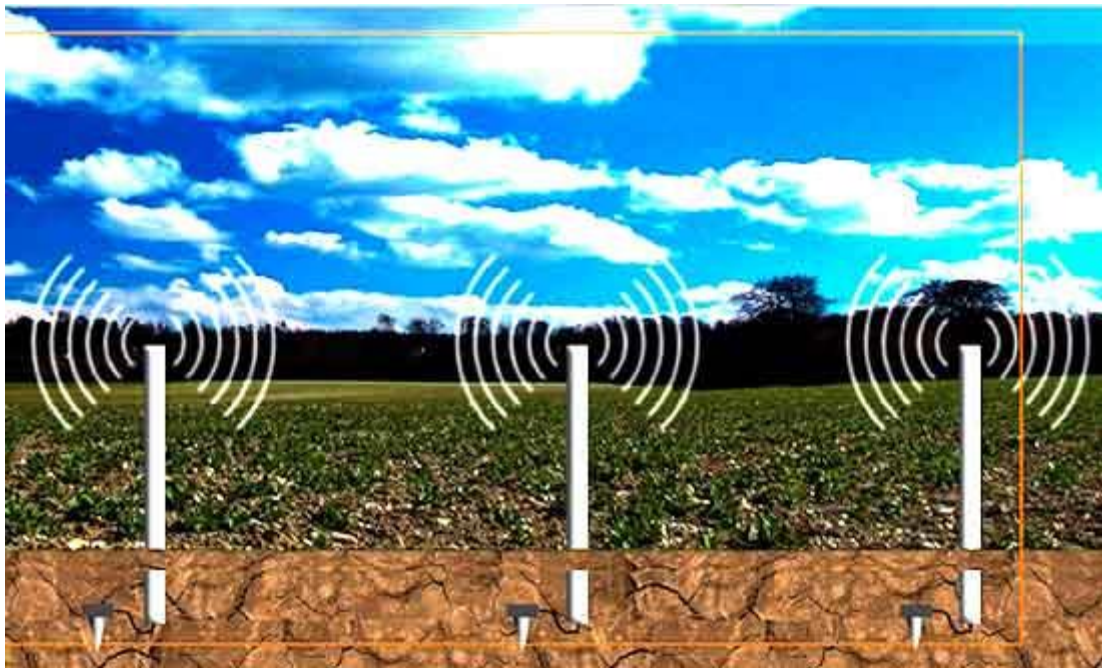




**Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης**

**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών**

**Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΣΘΗΤΗΡΩΝ»**

**ΡΟΓΔΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Α.Μ. 1876**

**Επιβλέπων Καθηγητής : Φραγκοπούλου Παρασκευή**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ, 2015**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΑ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω την οικογένεια μου η οποία με απόλυτη στήριξη προς το πρόσωπο μου, μου έδωσαν τα εφόδια αλλά και τα κίνητρα να φοιτήσω σε ανώτερη σχολή.

Ιδιαίτερα ευχαριστήρια στην αδερφή μου Γεωργία που με την συμβολή της με βοήθησε στην διεκπεραίωση της εργασίας μου όντας απόφοιτη της σχολής Διεθνών Ευρωπαϊκών και Πολιτικών Σπουδών.

Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ αξίζει ο κοινωνικός μου περίγυρος και όσοι συνέβαλαν με τον δικό τους ιδιαίτερο τρόπο.

Ελπίζω να σταθώ αντάξιος των προσδοκιών όλων των ανωτέρω και να καταφέρω κι εγώ να τους δώσω έστω ένα μικρό κομμάτι από όσα μου προσέφεραν.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία, με θέμα: «ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ», συντάχθηκε στα πλαίσια της Πτυχιακής μου μελέτης στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Η εργασία αποσκοπεί στη μεθοδική προσέγγιση της έννοιας των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks – WSNs) και των υπηρεσιών που αυτά προσφέρουν, καθώς και του τρόπου με τον οποίο εκφράζονται οι υπηρεσίες αυτές, ώστε να είναι δυνατός ο εντοπισμός τους από άλλες συσκευές. Σκοπός της είναι η βιβλιογραφική έρευνα και μελέτη των εξειδικευμένων τεχνικών και πρωτοκόλλων εντοπισμού υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, λαμβάνοντας υπόψιν τους επιπλέον περιορισμούς που διέπουν τα δίκτυα αυτά σε σχέση με άλλα συμβατικά δίκτυα, οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με το γεγονός ότι οι πόροι που έχουν στη διάθεσή τους οι αισθητήρες είναι περιορισμένοι.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να αποδώσω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα Καθηγητή μου, κα. Φραγκοπούλου Παρασκευή για την ανεκτίμητη βοήθεια, γνώση και καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της παρούσας εκπόνησης, καθώς και την ευρύτερη επιστημονική κοινότητα του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής, Διδακτικό Προσωπικό αλλά και Συναδέλφους Φοιτητές, για την άριστη συνεργασία και πολύτιμη υποστήριξη κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

## **A**BSTRACT

In an era of rapid technological development and automation, it was natural that traditional wired networks which provide services would be replaced by other wireless networks, which would offer numerous and of higher quality services. This development led to the possibility of development of micro devices on low-cost, called sensors, used for measuring values of certain variables, depending on the area of interest of each study.

In computer science and telecommunications, conferences on wireless sensor networks and ways to improve the quality of services they offer, are often organized. One main field of study that concerns researchers is the question of natural barriers to achieving optimal quality of services and management of resources in this direction.

In our project, we describe extensively the Wireless Sensor Networks, the services and their quality features and then analyze detection techniques of those services from other devices and the barriers met in the discovery process. In the study of specialized techniques for locating services in wireless sensor networks, we employ the above issue of the very limited resources available, as we will attempt to analyze specific protocols that make the discovery and publication of the services offered by sensors possible, even under these adverse conditions, while ensuring the longevity of the sensors.

In conclusion, we will record the findings of our study and will refer to the relevant scientific fields that employ or should employ further researchers in the future, in order to achieve the best performance of wireless sensor networks communicating with other collaborating devices.



Στην εποχή της ραγδαίας τεχνολογικής εξέλιξης και αυτοματοποίησης, ήταν φυσικό τα παραδοσιακά ενσύρματα δίκτυα για την παροχή υπηρεσιών να αντικατασταθούν από άλλα ασύρματα, που θα προσέφεραν πλήθος περισσότερων και υψηλότερης ποιότητας υπηρεσιών. Η εξέλιξη αυτή οδήγησε στη δυνατότητα ανάπτυξης πολύ μικρών διατάξεων σχετικά χαμηλού κόστους, που ονομάζονται αισθητήρες και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των τιμών ορισμένων μεταβλητών ανάλογα με την περιοχή ενδιαφέροντος της εκάστοτε μελέτης.

Στην επιστήμη των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών, συχνά διοργανώνονται συνέδρια με θέμα τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και των τρόπων βελτίωσης της ποιότητας των υπηρεσιών που αυτά προσφέρουν. Βασικό πεδίο μελέτης που απασχολεί τους ερευνητές, αποτελεί το ζήτημα των φυσικών εμποδίων στην επίτευξη της βέλτιστης ποιότητας υπηρεσιών, καθώς και της διαχείρισης των διαθέσιμων πόρων προς αυτή την κατεύθυνση.

Στην εργασία μας, περιγράφουμε εκτενώς τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, τις προσφερόμενες υπηρεσίες και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, ενώ στη συνέχεια αναλύουμε τις τεχνικές εντοπισμού των υπηρεσιών αυτών από άλλες συσκευές και τα εμπόδια που συναντώνται κατά τη διαδικασία εντοπισμού. Κατά τη μελέτη των εξειδικευμένων τεχνικών εντοπισμού υπηρεσιών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα το προαναφερθέν ζήτημα των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων, καθώς θα επιχειρήσουμε να αναλύσουμε εξειδικευμένα πρωτόκολλα που καθιστούν την ανακάλυψη και δημοσίευση των υπηρεσιών που προσφέρουν οι αισθητήρες δυνατή, ακόμα και κάτω από αυτές τις αντίξοες συνθήκες, εξασφαλίζοντας συγχρόνως την μακροβιότητα των αισθητήρων.

Εν κατακλείδι, θα καταγράψουμε τα συμπεράσματα της μελέτης μας και θα αναφερθούμε στα σχετικά επιστημονικά πεδία που απασχολούν ή θα πρέπει να απασχολήσουν περαιτέρω τους ερευνητές στο μέλλον για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων στην επικοινωνία τους με άλλες συνεργαζόμενες συσκευές.

# Π

## ΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΑ</b> .....	<b>2</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>ΣΥΝΟΨΗ</b> .....	<b>5</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>9</b>
1.1. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	10
1.1.1. ΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ .....	10
1.1.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	11
1.1.3. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ .....	12
1.2. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΚΑΙ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ OSI.....	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ</b> .....	<b>16</b>
2.1. ΟΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	17
2.1.1. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ .....	18
2.1.2. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ .....	18
2.2. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....	19
2.2.1. ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ .....	19
2.2.2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ SDP .....	21
2.2.3. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ GSD SDP.....	23
2.2.4. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΚΟΝΑΡΚ SDP.....	25
2.2.5. ΑΛΛΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ SDP .....	26
2.2.6. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ SLP .....	27
2.2.7. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ LonWorks.....	29
2.2.8. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ MQTT-S.....	31
2.2.9. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ CoAP .....	32
2.3. ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ.....	33
2.3.1. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ DSR .....	33
2.3.2. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ DSDV.....	34
2.3.3. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ SAR.....	34
2.3.4. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ MCF .....	35
2.3.5. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ SPEED.....	35
2.3.6. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ EAR .....	36
2.3.7. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ MMSPEED.....	36

---

2.3.8.	ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ReInform.....	36
2.3.9.	ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ Mobicast.....	37
2.3.10.	ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ DAST .....	37
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΕΡΕΥΝΑ .....</b>		<b>38</b>
3.1.	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....	39
3.2.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	40
3.3.	ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΕΡΕΥΝΑ.....	40
3.4.	ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	41
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>		<b>43</b>

## Π ΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Σχήμα 1.1. Η Δομή ενός Κόμβου-Αισθητήρα.....</i>	<i>10</i>
<i>Σχήμα 1.2. Η Αρχιτεκτονική ενός τυπικού WSN.....</i>	<i>11</i>
<i>Σχήμα 1.3. Εφαρμογές των WSNs.....</i>	<i>12</i>
<i>Σχήμα 1.4. Το Μοντέλο OSI.....</i>	<i>14</i>
<i>Σχήμα 2.1. Πληροφορίες από ένα WSN.....</i>	<i>17</i>
<i>Σχήμα 2.2. Δρομολόγηση σε ένα WSN.....</i>	<i>20</i>
<i>Σχήμα 2.3. Αρχιτεκτονικές στα SDP.....</i>	<i>22</i>
<i>Σχήμα 2.4. Επίδραση της ταχύτητας των κόμβων.....</i>	<i>24</i>
<i>Σχήμα 2.5. Η Στοιβία του KONARK.....</i>	<i>25</i>
<i>Σχήμα 2.6. SLP: 1. Με κατάλογο, 2. Χωρίς κατάλογο.....</i>	<i>27</i>
<i>Σχήμα 2.7. Ο Αλγόριθμος Σύγκλισης Πολλαπλών Εκπομπών SLP.....</i>	<i>28</i>
<i>Σχήμα 2.8. Το Λειτουργικό Προφίλ του LonWorks.....</i>	<i>30</i>
<i>Σχήμα 2.9. Διάγραμμα Καταστάσεων στα WSN.....</i>	<i>32</i>
<i>Σχήμα 2.10. Διάγραμμα Καταστάσεων στο MCF.....</i>	<i>35</i>



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

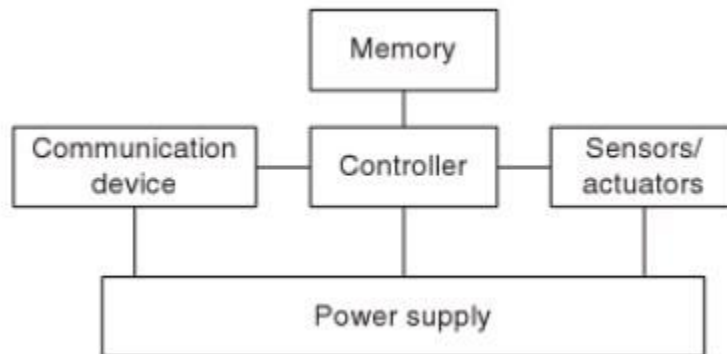
*“Any sufficiently advanced technology is indistinguishable from magic.”*  
*Arthur C. Clarke*

## 1.1. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks – WSNs) αποτελούν δίκτυα διασκορπισμένων αυτόνομων αισθητήρων που χρησιμοποιούνται ανάλογα την περίπτωση, για την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, ο ήχος και η κίνηση και τη μεταφορά των δεδομένων μέσω του δικτύου σε κάποιον προκαθορισμένο προορισμό. Τα ασύρματα δίκτυα αναπτύχθηκαν πρώτη φορά για χρήση σε στρατιωτικές εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση του πεδίου μάχης. Σήμερα χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση και έλεγχο ποικίλων εφαρμογών, στη βιομηχανία, την τεχνολογία, την ιατρική, την παρακολούθηση μηχανημάτων, κλπ. [1]

### 1.1.1. ΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από διασυνδεδεμένους κόμβους-αισθητήρες (nodes), οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους, και στα ασύρματα δίκτυα οι κόμβοι αυτοί μπορεί να είναι κινητοί. Κάθε κόμβος-αισθητήρας μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας ξεχωριστός υπολογιστής. [1] Θα πρέπει να περιλαμβάνει έναν μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, έναν μικροελεγκτή που συντελεί στην επικοινωνία ενός κόμβου με τους γειτονικούς του, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία ή μια ενσωματωμένη μορφή συγκομιδής ενέργειας για τη λειτουργία των κυκλωμάτων του κόμβου.

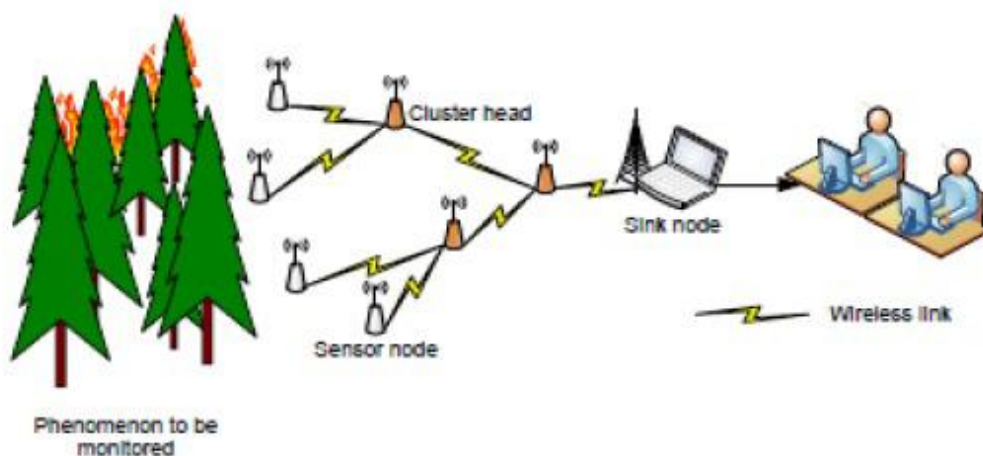


**Σχήμα 1.1. Η Δομή ενός Κόμβου-Αισθητήρα**

Το μέγεθος αλλά και το κόστος των αισθητήριων κόμβων ποικίλει, ανάλογα την χρήση και την πολυπλοκότητα του εκάστοτε δικτύου. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία μας επιτρέπουν να ελαχιστοποιήσουμε το μέγεθος των κόμβων με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος, γεγονός που έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη δικτύων αισθητήρων με μεγάλο αριθμό κόμβων-αισθητήρων για την παρακολούθηση μιας περιοχής ενδιαφέροντος. Μάλιστα, η κατασκευή χαμηλού κόστους CMOS καμερών επιτρέπει τη δημιουργία Οπτικών Δικτύων Αισθητήρων, ικανών να παράξουν, να

επεξεργαστούν και να μεταφέρουν οπτικά δεδομένα. [2] Οι περιορισμοί όμως στο μέγεθος και το κόστος των αισθητήρων συνεπάγονται και τους περιορισμούς στην χρήση των διαθέσιμων πόρων, όπως είναι η ενέργεια, η μνήμη, η υπολογιστική ισχύς και ταχύτητα και το εύρος ζώνης των επικοινωνιών.

Οι κόμβοι σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων μπορούν να συνδέονται με διαφορετικούς τρόπους, καθορίζοντας έτσι την τοπολογία (topology) του δικτύου. Η τοπολογία ενός δικτύου υποδεικνύει και τους τρόπους με τους οποίους μεταφέρεται η πληροφορία προς τον επιλεγμένο προορισμό, δηλαδή τους τρόπους δρομολόγησης (routing) των δεδομένων.



**Σχήμα 1.2.** Η Αρχιτεκτονική ενός τυπικού WSN

Στο Σχήμα 1.2. φαίνεται η Αρχιτεκτονική ενός τυπικού ασύρματου δικτύου αισθητήρων, όπου οι κόμβοι έχουν παραταχθεί στην περιοχή ενδιαφέροντος και οι ερευνητές λαμβάνουν την πληροφορία που καταφθάνει στους υπολογιστές τους αφού ακολουθήσει τη διαδρομή που καθορίζεται από την εγκατεστημένη τοπολογία του δικτύου. Οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ασύρματων συνδέσεων (links). Η ασύρματη πύλη του δικτύου συνδέεται επίσης με έναν κεντρικό κόμβο «βύθισης» (Sink), ο οποίος υλοποιεί την αναζήτηση και την κατανομή καθηκόντων από τους υπολογιστές των ερευνητών προς το δίκτυο των αισθητήρων. [3]

### 1.1.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων υλοποιούνται σε μία ευρεία γκάμα εφαρμογών, κάποιες από τις οποίες είναι οι εξής [1]:

- Στρατιωτικές εφαρμογές (π.χ. VigilNet) [4]

- Διαφύλαξη κατοικίας, κτήματος, κλπ. εξέχουσας σημασίας
- Περιβαλλοντικές χρήσεις (π.χ. CORIE, ZebraNet) [4]
- Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα
- Παρακολούθηση της ρύπανσης του αέρα
- Ανίχνευση δασικών πυρκαγιών
- Ανίχνευση κατολισθήσεων
- Παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων
- Πρόληψη φυσικών καταστροφών
- Βιομηχανική παρακολούθηση
- Καταγραφή δεδομένων
- Βιομηχανική λογική και έλεγχος των αιτήσεων
- Παρακολούθηση του νερού/αποβλήτων υδάτων
- Αναγνώριση προσώπων (προηγμένα δίκτυα)



**Σχήμα 1.3. Εφαρμογές των WSNs**

Οι δυνατότητες εφαρμογής των ασυρμάτων δικτύων είναι πολύ περισσότερες και ανάλογα την κρισιμότητα της εφαρμογής έχουν αναπτυχθεί εξειδικευμένοι μηχανισμοί ώστε να διασφαλίζεται ότι το δίκτυο δεν θα καταρρεύσει σε περίπτωση αποτυχίας ενός κόμβου, με πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα την δημιουργία καταναμημένων δικτύων αισθητήρων όπου πραγματοποιείται καταναμημένος αρχιτεκτονικός έλεγχος και δεν υπάρχει κεντρικό όργανο κατανομής των πόρων.

### 1.1.3. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Κατά την σχεδίαση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάποιοι παράγοντες που διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον τρόπο και την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας του δικτύου. Οι κυριότεροι εκ των παραγόντων αυτών είναι οι εξής [1]:

- Περιορισμοί ως προς την χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων
- Ανοχή σε σφάλματα
- Κινητικότητα των κόμβων
- Αποτυχίες επικοινωνίας
- Ετερογένεια των κόμβων
- Επεκτασιμότητα
- Κόστος
- Απαιτήσεις τοπολογίας
- Δυνατότητα Κλιμάκωσης - Επεκτασιμότητα
- Αντοχή σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες
- Ευχρηστία
- Τρόπος συλλογής μετρήσεων

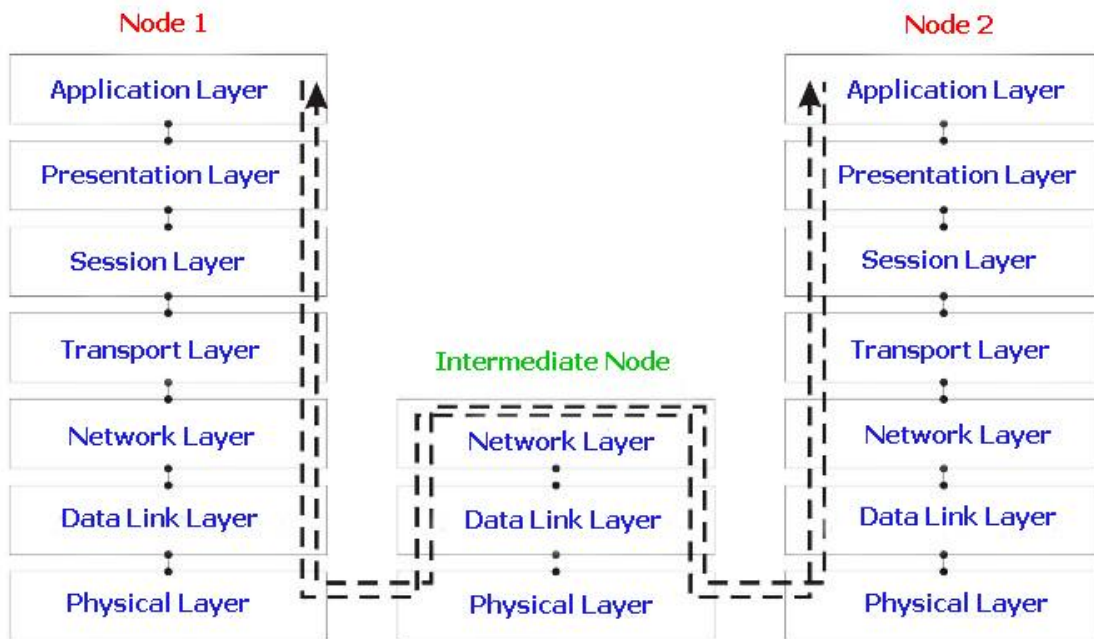
Η σωστή εκτίμηση των ανωτέρω συνιστωσών θα εξασφαλίσει την ανάπτυξη ενός αξιόπιστου δικτύου και την συλλογή των επιθυμητών μετρήσεων ανεξαρτήτως των πιθανών αντίξοων συνθηκών.

## 1.2. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΚΑΙ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ OSI

Όπως συμβαίνει σε κάθε δίκτυο υπολογιστών, έτσι και στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους υλοποιώντας κάποια πρωτόκολλα. Το λογισμικό των κόμβων οργανώνεται σε επίπεδα δικτύου, καθένα από τα οποία φέρει και διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Κάθε επίπεδο ενός κόμβου μπορεί να επικοινωνήσει και έχει διεπαφές μόνο με τα αντίστοιχα επίπεδα των γειτονικών του κόμβων.

Εφόσον η σχεδίαση κάθε δικτύου μπορεί να είναι διαφορετική ανάλογα τις ανάγκες της εφαρμογής τους, τα πρωτόκολλα αποτελούν σύνολα συγκεκριμένων και καθορισμένων κανόνων οι οποίοι υποδεικνύουν τον τρόπο που διεξάγονται οι επικοινωνίες και οι διάφορες δραστηριότητες μεταξύ των κόμβων των δικτύων, ανάλογα τις ιδιαιτερότητες της σχεδίασής τους.

Οι ιδιαιτερότητες αυτές όμως οδήγησαν στην ανάγκη δημιουργίας ενός κοινά αποδεκτού προτύπου αναφοράς, το οποίο ονομάστηκε Μοντέλο OSI (Open Systems Interconnection). Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει 7 επίπεδα, καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για διαφορετικές λειτουργίες του δικτύου. Έτσι, το πρόβλημα της επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων ουσιαστικά διασπάται σε 7 επιμέρους μικρότερα προβλήματα προς επίλυση. [5]



Σχήμα 1.4. Το Μοντέλο OSI

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4., τα 7 επίπεδα του Μοντέλου OSI είναι τα εξής:

Χαμηλότερα βρίσκεται το Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer), από πάνω του στην ιεραρχία βρίσκεται το Επίπεδο Διασύνδεσης Δεδομένων (Data Link Layer), ακολουθούν το Επίπεδο Δικτύου (Network Layer), το Επίπεδο Μεταφοράς (Transport Layer), το Επίπεδο Συνόδου (Session Layer), το Επίπεδο Παρουσίασης (Presentation Layer) και το ανώτερο επίπεδο είναι το Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer).

- Φυσικό Επίπεδο: Το Φυσικό επίπεδο διευθετεί τα ζητήματα που έχουν να κάνουν με το φυσικό μέσο μετάδοσης της πληροφορίας, τις ηλεκτρικές, μηχανικές, διαδικαστικές και λειτουργικές προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται για να μεταδοθεί ομαλά η πληροφορία μεταξύ των κόμβων.
- Επίπεδο Διασύνδεσης Δεδομένων: Το επίπεδο αυτό χρησιμοποιεί τις MAC διευθύνσεις των επικοινωνούντων συσκευών, ούτως ώστε συσκευές που μοιράζονται το ίδιο φυσικό μέσο να μπορούν να ταυτοποιήσουν μονοσήμαντα η μία την άλλη. Στο επίπεδο αυτό πραγματοποιείται ο έλεγχος της τοπολογίας του δικτύου, της πρόσβασης δικτύου, της μεταγωγής πλαισίων και ο έλεγχος ροής.
- Επίπεδο Δικτύου: Το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για την ορθή και ομαλή δρομολόγηση των πακέτων, καθώς και την διάσπαση των πακέτων σε μικρότερα τμήματα ούτως ώστε να εξυπηρετείται η μεταγωγή μέσω διαφορετικών μέσων.
- Επίπεδο Μεταφοράς: Το επίπεδο μεταφοράς εξασφαλίζει ότι η ροή δεδομένων από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη ολοκληρώνεται ομαλά και αξιόπιστα, καθώς φροντίζει για την διάσπαση του πακέτου όταν αποστέλλεται από τον αποστολέα και την επανασύνδεσή του όταν φθάσει στον παραλήπτη.

- Επίπεδο Συνόδου: Το επίπεδο συνόδου επιτρέπει τη δημιουργία συνόδων (sessions) μεταξύ απομακρυσμένων συσκευών και τη διαχείριση αμφίδρομων μηνυμάτων.
- Επίπεδο Παρουσίασης: Σε αυτό το επίπεδο διασφαλίζεται ότι η πληροφορία που αποστέλλεται από το Επίπεδο Εφαρμογής του αποστολέα είναι αναγνώσιμη από το Επίπεδο Εφαρμογής του παραλήπτη, τροποποιώντας αν χρειαστεί τη μορφή του μηνύματος. Παρέχει επίσης κρυπτογράφηση και συμπίεση των δεδομένων.
- Επίπεδο Εφαρμογής: Αυτό το επίπεδο είναι το πιο κοντινό προς τον χρήστη και παρέχει υπηρεσίες δικτύου προς τις εφαρμογές του χρήστη. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα επίπεδα, δεν παρέχει υπηρεσίες προς τα άλλα επίπεδα του μοντέλου, παρά μόνο σε εφαρμογές εκτός του μοντέλου OSI.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

*“Building technical systems involves a lot of hard work and specialized knowledge: languages and protocols, coding and debugging, testing and refactoring.”*

*Jesse James Garrett*



## 2.1. ΟΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οι αισθητήρες παρέχουν κάποιες υπηρεσίες, οι οποίες αφορούν τη μεταβολή ή μέτρηση μιας ή περισσότερων μεταβλητών, τη συλλογή των αποτελεσμάτων και τη μεταφορά τους προς μία συγκεκριμένη τοποθεσία.

Sensor	Accuracy	Interchangeability	Sample rate [HZ]	Startup [ms]	Current [mA]
Photoresistor	N/A	10%	2000	10	1.235
I2C temperature	1 K	0.20 K	2	500	0.15
Barometric pressure	1.5 mbar	0.5%	10	500	0.01
Bar press. Temp.	0.8 K	0.24 K	10	500	0.01
Humidity	2%	3%	500	500-3000	0.775
Thermopile	3 K	5%	2000	200	0.17
Thermistor	3 K	10%	2000	10	0.126

**Σχήμα 2.1. Πληροφορίες από ένα WSN**

Στο Σχήμα 2.1. φαίνονται μερικές από τις πληροφορίες που μπορούν να συγκεντρωθούν από ένα δίκτυο αισθητήρων.

Αυτή η συλλογή πληροφοριών μπορεί είτε να συντελείται αδιάκοπα, είτε κατόπιν ενεργοποίησης από κάποιο συγκεκριμένο γεγονός (event-driven), όπως π.χ. με τον εντοπισμό κάποιας κίνησης, είτε κατόπιν εντολής από τον απομακρυσμένο χρήστη (queries). [6]

### 2.1.1. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Σημαντικό αντικείμενο μελέτης κατά τη σχεδίαση ενός WSN, αποτελεί η Ποιότητα των Υπηρεσιών (Quality of Service - QoS). Η έννοια της ποιότητας των υπηρεσιών περιλαμβάνει παραμέτρους όπως η ακρίβεια των δεδομένων, η καθυστέρηση των πληροφοριών, η ανοχή σε σφάλματα, η διάρκεια ζωής του δικτύου, κλπ. [6] Κάποιες από τις παραδοσιακές λύσεις για την ποιότητα των υπηρεσιών που έχουν υιοθετηθεί σε πιο παραδοσιακά δίκτυα, δεν μπορούν εύκολα να εισαχθούν και στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, για τους εξής βασικούς λόγους:

- Υπάρχουν αυστηροί περιορισμοί στους πόρους των κόμβων.
- Τα δίκτυα αναπτύσσονται με τυχαία διάταξη και σε μεγάλες κλίμακες.
- Τα πρωτόκολλα στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι περισσότερο εστιασμένα στη μεταγωγή πακέτων δεδομένων.

### 2.1.2. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Καθώς οι υπηρεσίες που προσφέρονται από τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων βασίζονται στη συλλογή πληροφοριών από μία περιοχή ενδιαφέροντος, η ποιότητα των υπηρεσιών δοκιμάζεται από διάφορους περιορισμούς.

Όπως προαναφέρθηκε, ένας βασικός περιορισμός που καλείται να αντιμετωπίσει η ποιότητα των υπηρεσιών στα WSNs, είναι οι αυστηρά περιορισμένοι πόροι, που είναι κυρίως η ενέργεια, το εύρος ζώνης, το μέγεθος του buffer και η χωρητικότητα μετάδοσης των κόμβων-αισθητήρων. Η αποτελεσματική αξιοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας των αισθητήρων είναι θέμα ζωτικής σημασίας, καθώς συνήθως οι μπαταρίες των αισθητήρων δεν είναι επαναφορτιζόμενες ή δεν μπορούν να αντικατασταθούν. Επιπλέον, ένας κόμβος μπορεί να βρίσκεται σε διαφορετικές καταστάσεις (modes), όπως κατάσταση λειτουργίας (active mode) ή κατάσταση ύπνου (sleeping mode). Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να έχει προβλεφθεί πώς θα συντελείται η εξοικονόμηση ενέργειας. [7] Συνεπώς η σπατάλη ενέργειας ενός κόμβου μπορεί να απαιτήσει την αντικατάσταση ολόκληρου του κόμβου με όποια απορρύθμιση του δικτύου μπορεί αυτό να συνεπάγεται.

Συγχρόνως, ο τεράστιος αριθμός των συλλεχθέντων πληροφοριών είναι μία ακόμα πρόκληση στην βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών. Η αύξηση των μετρήσεων μπορεί να οδηγήσει σε πιο αξιόπιστα και ολοκληρωμένα συμπεράσματα, ωστόσο αποτελεί τεράστια σπατάλη ενέργειας στους κόμβους.

Επιπλέον, οι κόμβοι σε ένα δίκτυο μπορεί να παρουσιάζουν ετερογένεια ως προς τα δεδομένα που συλλέγουν. Για παράδειγμα, ένας κόμβος μπορεί να μεταχειρίζεται δεδομένα που αφορούν την αλλαγή της θερμοκρασίας και την αλλαγή του pH της ατμόσφαιρας την ίδια στιγμή, συνεπώς ο κόμβος αυτός θα πρέπει να έχει προγραμματιστεί με διαφορετικές παραμέτρους για τον κάθε τύπο δεδομένων που συλλέγει.

Μία ακόμα πρόκληση αποτελεί το γεγονός ότι στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οι κόμβοι μπορούν να είναι κινητοί. Κάθε φορά που ένας κόμβος αλλάζει τοποθεσία, το μέγεθος και η τοπολογία του δικτύου μεταβάλλονται, συνεπώς θα πρέπει το δίκτυο να έχει κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο που να επιτρέπει την αυτόματη αναπροσαρμογή της τοπολογίας και των διασυνδέσεών του, ώστε να μην φθίνει η λειτουργικότητά του όταν συμβεί μια μεταβολή στο μέγεθος ή την τοπολογία του.

Καθώς τα δεδομένα στα WSNs μεταδίδονται ασύρματα, η ποιότητα των υπηρεσιών μπορεί να απειλείται και από φυσικούς παράγοντες, όπως η βροχή, οι ακραίες θερμοκρασίες, κλπ.

Τέλος, τα WSNs μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να πρέπει να κατευθύνουν τις πληροφορίες τους σε περισσότερους από έναν τερματικούς σταθμούς, με αποτέλεσμα να προκύψουν ζητήματα δρομολόγησης (routing), κάτι που θα πρέπει επίσης να διευθετηθεί από την ποιότητα των υπηρεσιών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

## 2.2. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Για να επωφεληθεί από τις υπηρεσίες που προσφέρουν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, μία επικοινωνούσα συσκευή θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να τις εντοπίσει στο δίκτυο και να τις αξιοποιήσει καταλλήλως. [8] Αυτό επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο με τα κατάλληλα Πρωτόκολλα Εντοπισμού Υπηρεσιών (Service Discovery Protocols – SDPs).

Τα πρωτόκολλα του Μοντέλου OSI κατά βάση λειτουργούν επιτυχώς στα ενσύρματα δίκτυα, ωστόσο στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων τα οποία υπόκεινται σε περιορισμούς των διαθέσιμων πόρων, μπορεί να αποδειχθούν δυσλειτουργικά. Για τον λόγο αυτό μπορούν να προταθούν ορισμένα εξειδικευμένα πρωτόκολλα για τον εντοπισμό υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα ένα πρωτόκολλο SDP που θα ορίζει την διεπικοινωνία (cross-layering) μεταξύ διαφορετικών επιπέδων δικτύου για τον εντοπισμό υπηρεσιών με δρομολόγηση. [8]

### 2.2.1. ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Ένα Πρωτόκολλο Εντοπισμού Υπηρεσιών αποτελείται από τα εξής κύρια δομικά μέρη: περιγραφή, καταχώρηση, ανακάλυψη (περιλαμβάνει αναζήτηση και επιλογή), δρομολόγηση και υποστήριξη φορητότητας.

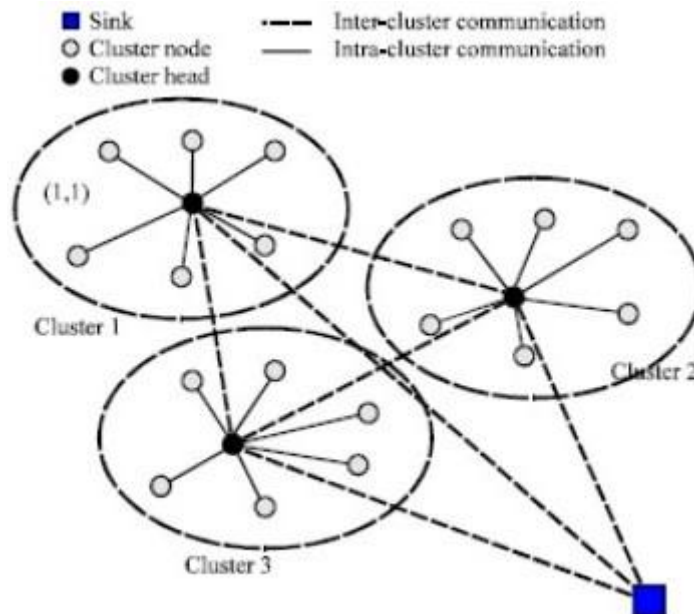
Η συσκευή που προσπαθεί να εντοπίσει μία υπηρεσία σε ένα WSN, αρχικά χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο για να πραγματοποιήσει μια αναζήτηση, κατά την οποία θα πρέπει να περιγράψει και να επιλέξει την ζητούμενη υπηρεσία με ορθά κριτήρια. Η εμπειριστατωμένη και πλήρης περιγραφή μια υπηρεσίας είναι πολύ σημαντική, διότι χωρίς αυτήν, ο μηχανισμός αναζήτησης μπορεί να μην εντοπίσει ποτέ την υπηρεσία αυτή, η οποία θα παραμείνει άγνωστη στον κόμβο ή την συσκευή που επιχειρεί να επικοινωνήσει μαζί της. Η περιγραφή μιας υπηρεσίας περιλαμβάνει συγκεκριμένες ιδιότητες της υπηρεσίας (π.χ. ID της υπηρεσίας) και ιδιότητες του δικτύου (π.χ. τον μέγιστο αριθμό κόμβων που μπορεί να μεσολαβούν μεταξύ της συσκευής αναζήτησης και του κόμβου παροχής της υπηρεσίας). Ο πιο συνήθης τρόπος περιγραφής των χαρακτηριστικών μιας υπηρεσίας είναι με XML και τις επεκτάσεις αυτής, χρησιμοποιώντας ένα απλό αρχείο κειμένου.

Όσον αφορά την καταχώρηση των παρεχόμενων υπηρεσιών, ένα Πρωτόκολλο SDP ορίζει πού και για πόσο χρονικό διάστημα θα βρίσκονται αποθηκευμένες οι περιγραφές των παρεχόμενων υπηρεσιών. Για παράδειγμα, κάποιες περιγραφές μπορεί να βρίσκονται στην μνήμη συγκεκριμένων κόμβων του δικτύου, ενώ κάποιες άλλες σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Στο σημείο αυτό θα

πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, μιας και η σωστή επιλογή του τρόπου καταχώρησης των περιγραφών των υπηρεσιών μπορεί να συντελέσει στην εξοικονόμηση μνήμης στο δίκτυο των αισθητήρων.

Η ανακάλυψη περιλαμβάνει τους μηχανισμούς της αναζήτησης και της επιλογής, οι οποίοι μπορούν είτε να λειτουργούν διαδοχικά είτε παράλληλα. Για παράδειγμα, μπορεί πρώτα να γίνεται αναζήτηση μιας υπηρεσίας και σε περίπτωση εύρεσης περισσότερων της μίας υπηρεσίας να γίνεται η κατάλληλη επιλογή. Σε διαφορετική περίπτωση, μπορεί οι δύο μηχανισμοί να λειτουργούν συγχρόνως. Σε κάθε περίπτωση, η αναζήτηση γίνεται σε κόμβους που έχουν περάσει επιτυχώς από τον μηχανισμό της καταχώρισης. Μια άλλη προσέγγιση στον μηχανισμό της αναζήτησης είναι η εξής: εάν σε έναν κόμβο δεν ανιχνευθούν υπηρεσίες, τότε το αίτημα της αναζήτησης μπορεί να μεταδοθεί στους γειτονικούς του κόμβους.

Ένα SDP φροντίζει επιπλέον ώστε κατά την αναζήτηση να γίνεται η δρομολόγηση των δεδομένων έτσι ώστε να μην επιβαρύνεται υπερβολικά το δίκτυο. Για τον λόγο αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πολλούς διαφορετικούς μηχανισμούς δρομολόγησης ώστε να εφαρμόζεται διαφορετικά σε κάθε περίπτωση και ανάλογα τον φόρτο και τις απαιτήσεις του δικτύου αισθητήρων.



**Σχήμα 2.2. Δρομολόγηση σε ένα WSN**

Στην περίπτωση που ένας κόμβος κινείται ή αφαιρείται από το δίκτυο, το SDP θα πρέπει να έχει προνοήσει για την αναδιοργάνωση και επαναπροσδιορισμό των εντοπισμένων υπηρεσιών, με την ενημέρωση των καταχωρήσεων ανά τακτά προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα.

Ο εντοπισμός των υπηρεσιών μπορεί να υλοποιηθεί στο επίπεδο εφαρμογής, τόσο με επίκεντρο έναν κόμβο, όσο και σε καταναμημένο δίκτυο. Στην πρώτη περίπτωση, οι επικοινωνούσες συσκευές «ακούν» παθητικά για τυχόν υπάρχουσες υπηρεσίες που περιοδικά «διαφημίζονται» προς το δίκτυο από τον πάροχό τους, ενώ στη δεύτερη περίπτωση οι συσκευές αυτές (πελάτες – clients) υποβάλλουν συγκεκριμένα αιτήματα για την ανίχνευση υπηρεσιών, τα οποία απαντώνται από υπηρεσίες που ανταποκρίνονται στα δοθέντα κριτήρια. [9] Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθεμίας εξ' αυτών, όσον αφορά την εκμετάλλευση των πόρων. Στην πρώτη περίπτωση, μειώνεται η κίνηση στο δίκτυο καθώς δεν

υπάρχουν επιπλέον αιτήματα για την εύρεση υπηρεσιών, ωστόσο η δεύτερη περίπτωση των κατανεμημένων δικτύων προϋποθέτει την χειροκίνητη κάθε φορά διαμόρφωση των απαιτούμενων αλγορίθμων για την υποβολή των αιτημάτων προς το WSN.

### 2.2.2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ SDP

Οι αρχιτεκτονικές στα Πρωτόκολλα SDP εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, με βάση τους οποίους διακρίνονται σε κατηγορίες.

Ένας βασικός παράγοντας με βάση τον οποίο γίνεται η κατηγοριοποίηση των αρχιτεκτονικών στα SDP, είναι η χρησιμοποίηση ή μη-χρησιμοποίηση καταλόγου (directory) για την καταγραφή των διαθέσιμων σε ένα δίκτυο υπηρεσιών. [10] Η ύπαρξη ενός τέτοιου καταλόγου βοηθά σε μεγάλο βαθμό τον μηχανισμό της αναζήτησης των περιγραφών υπηρεσιών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Οι διαθέσιμες αρχιτεκτονικές μπορεί με βάση αυτό το κριτήριο να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες: Τις αρχιτεκτονικές που υποστηρίζουν την ύπαρξη καταλόγων (directory-based), τις αρχιτεκτονικές που δεν διαθέτουν κατάλογο (directory-less), καθώς και υβριδικά μοντέλα (hybrid), δηλαδή συνδυασμό των δύο προαναφερθέντων αρχιτεκτονικών.

- **Αρχιτεκτονικές με κατάλογο:**

Στην υλοποίηση αυτή, ένας κόμβος μπορεί είτε να διαδραματίζει τον ρόλο ενός διακομιστή (server) ο οποίος παρέχει κάποιες υπηρεσίες ως απάντηση σε αιτήματα που λαμβάνει, είτε τον ρόλο ενός πελάτη (client) ο οποίος απευθύνει τα αιτήματα προς τους διακομιστές, είτε να είναι ο ίδιος ο κόμβος ένας κατάλογος υπηρεσιών (service directory), στον οποίο οι κόμβοι-διακομιστές καταχωρούν τις περιγραφές των υπηρεσιών τους και από τον οποίο λαμβάνουν τις πληροφορίες για τις υπηρεσίες οι κόμβοι-πελάτες.

Ένας κατάλογος μπορεί είτε να φιλοξενείται από μεμονωμένους κόμβους (centralized directory) είτε να είναι κατανεμημένος σε περισσότερους κόμβους (distributed directory). [11] Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων όπου οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων είναι ασύρματες και οι κόμβοι μπορούν να είναι κινητοί, δεν ενθαρρύνεται η χρησιμοποίηση ενός μόνο κόμβου για τη διατήρηση του καταλόγου, καθώς οι επιδράσεις των εξωτερικών παραγόντων (θερμοκρασία, καιρικές συνθήκες, κλπ.) ή προβλήματα στην ασύρματη σύνδεση, μπορούν να καταστήσουν κάποιον κόμβο προσωρινά απρόσιτο, και αν ο κόμβος αυτός συμβεί να είναι ο κόμβος που διατηρεί τον κατάλογο, όλο το δίκτυο θα είναι ανίκανο να δεχθεί αιτήματα από συνεργαζόμενες συσκευές.

Επιπλέον, καθώς στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οι πόροι είναι περιορισμένοι, το ενδεχόμενο να δέχεται ένας μόνο κόμβος όλα τα αιτήματα από τις εξωτερικές συσκευές για αναγνώριση των παρεχόμενων υπηρεσιών όλων των άλλων κόμβων του δικτύου, θα οδηγούσε σε προβλήματα στη διαχείριση της μνήμης και της ενέργειας, γεγονός που θα μπορούσε να θέσει τον κόμβο-κατάλογο εκτός λειτουργίας και ίσως να επιδράσει και στην ορθή λειτουργία και άλλων κόμβων του δικτύου.

Για τους λόγους αυτούς προτιμώνται οι τεχνικές που επιτρέπουν στους καταλόγους να κατανέμονται σε διαφορετικούς κόμβους (π.χ. Look-Up Servers, κόμβοι Backbone, Δακτύλιοι Υπηρεσιών – Service Rings, Hash Tables, κλπ.). [11]

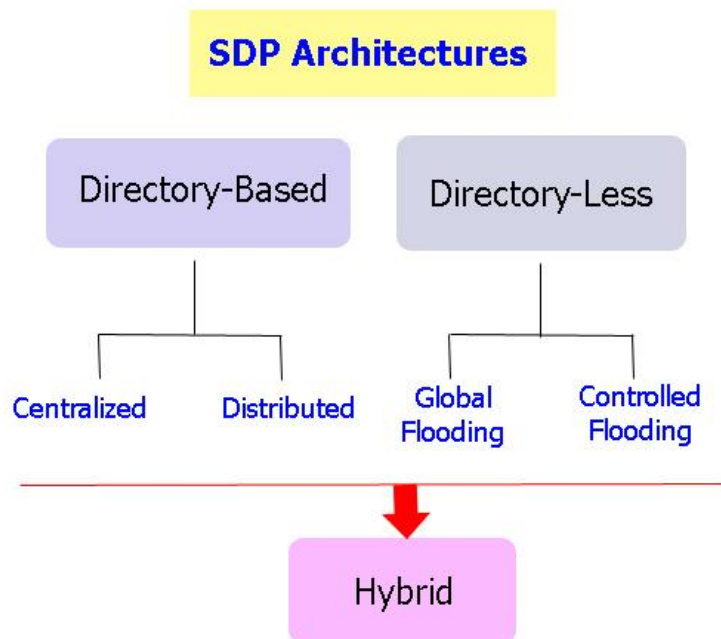
- **Αρχιτεκτονικές χωρίς κατάλογο:**

Οι αρχιτεκτονικές αυτές υλοποιούνται με πολύ απλούστερο τρόπο από εκείνες με κατάλογο, καθώς δεν απαιτούνται ειδικοί μηχανισμοί για την ανάπτυξη και συντήρηση των καταλόγων. Στις αρχιτεκτονικές αυτές, οι κόμβοι-πελάτες απλά στέλνουν αιτήματα και οι κόμβοι-διακομιστές απλά λαμβάνουν τα αιτήματα. Αυτές οι δύο διαδικασίες μπορούν να πραγματοποιούνται συγχρόνως, ωστόσο ένα ζήτημα προς επίλυση σε αυτή την περίπτωση αποτελεί η αντιμετώπιση του υπερβάλλοντα φόρτου που μπορεί να προκύψει στο δίκτυο λόγω της μη-αποτελεσματικής διαχείρισης όλων των μηνυμάτων που μεταφέρονται ταυτόχρονα.

Ποικίλες τεχνικές χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος (π.χ. προγραμματισμός και προτεραιοποίηση – Scheduling and Prioritization, Broadcasting, Multicasting, κλπ.). [11]

- **Υβριδικές Αρχιτεκτονικές:**

Στις Αρχιτεκτονικές αυτές, οι κόμβοι-διακομιστές μπορεί είτε να έχουν καταχωρήσει τις περιγραφές των υπηρεσιών τους σε κόμβους-καταλόγους (αν υπάρχουν τέτοιοι), είτε όχι. Αντιστοίχως, οι κόμβοι-πελάτες μπορεί είτε να υποβάλλουν τα αιτήματά τους σε κόμβους-καταλόγους αν γνωρίζουν ότι υπάρχουν τέτοιοι στο δίκτυο, είτε διάχυτα προς όλο το δίκτυο μέχρι να λάβουν ανταπόκριση, είτε από κάποιον κόμβο-διακομιστή είτε από κάποιον κόμβο-κατάλογο.



**Σχήμα 2.3. Αρχιτεκτονικές στα SDP**

Στο Σχήμα 2.3. παρουσιάζονται διαγραμματικά οι βασικές Αρχιτεκτονικές που αναφέραμε στην ενότητα αυτή.



Στις επόμενες ενότητες θα παρουσιάσουμε συγκεκριμένα πρωτόκολλα SDP που συντελούν στην ανακάλυψη και δημοσίευση των προσφερόμενων υπηρεσιών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, ενώ στη συνέχεια θα προχωρήσουμε σε μία σύντομη αναφορά σε άλλα πρωτόκολλα που συνεισφέρουν στην αποτελεσματική διαχείριση των πόρων κατά την επικοινωνία μιας συνεργαζόμενης συσκευής με έναν κόμβο σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

### 2.2.3. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ GSD SDP

Στα δίκτυα με αυτόνομους κόμβους, ασύρματα συνδεδεμένους μεταξύ τους, όπως είναι και τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, ο εντοπισμός υπηρεσιών, ο οποίος επιτρέπει στους κόμβους να δημοσιοποιήσουν τις παρεχόμενες υπηρεσίες τους και να εντοπιστούν από εξωτερικές συσκευές, αποτελεί πολύ σημαντικό κεφάλαιο. Γνωρίζουμε ότι ο σκοπός των SDP πρωτοκόλλων είναι να μειώσουν τη συσσώρευση πλεονάζοντος φόρτου στο δίκτυο και συγχρόνως να διατηρήσουν την ανιχνευσιμότητα του δικτύου από εξωτερικές συσκευές.

Στο Πρωτόκολλο GSD, οι υπηρεσίες ταξινομούνται σε ομάδες. Κάθε κόμβος-διακομιστής εκτέμνει πακέτα μηνυμάτων περιοδικά. [12] Κάθε ένα από αυτά τα πακέτα μηνυμάτων περιλαμβάνουν πληροφορίες για τις υπηρεσίες που παρέχονται από τον κόμβο-διακομιστή, αλλά και πληροφορίες για την ομάδα στην οποία έχουν ταξινομηθεί από το Πρωτόκολλο.

Οι δύο βασικοί μηχανισμοί πάνω στους οποίους βασίζεται το Πρωτόκολλο GSD είναι η ομότιμη (peer-to-peer) προσωρινή αποθήκευση (caching) των πακέτων που περιέχουν πληροφορίες για τις παρεχόμενες υπηρεσίες και η «έξυπνη» προώθηση (intelligent forwarding) των πακέτων μέσω της εκμετάλλευσης της ταξινόμησης των υπηρεσιών σε ομάδες. Το πρωτόκολλο επωφελείται από τους δύο αυτούς μηχανισμούς, ώστε να επιτύχει όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση του χρησιμοποιούμενου εύρους ζώνης, αλλά και να αυξήσει την ευελιξία της διαδικασίας εντοπισμού υπηρεσιών.

Τα πακέτα με τις υπηρεσίες που δημοσιοποιούνται στο δίκτυο από τους κόμβους-διακομιστές θα πρέπει να αποθηκεύονται προσωρινά και να προωθούνται. Το πλήθος των ενδιάμεσων κόμβων που μπορεί να προσπεράσει ένα πακέτο για να φθάσει σε κάποιον προορισμό, ανήκει στη δικαιοδοσία του εκάστοτε χρήστη ή του κατασκευαστή.

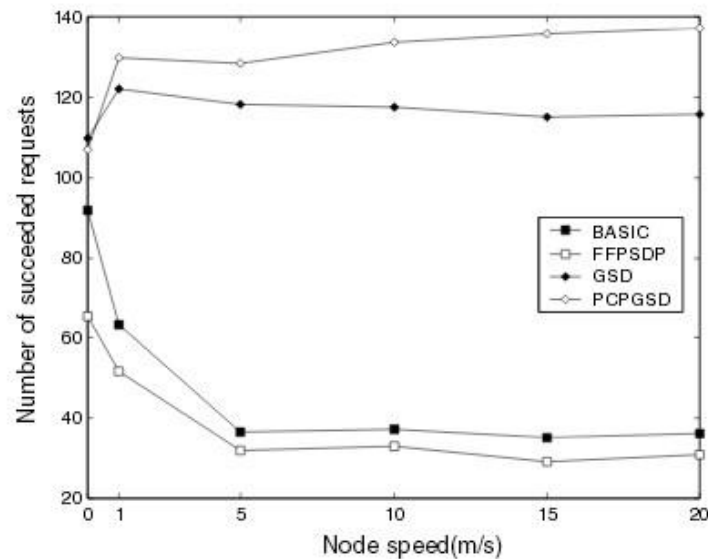
Σε περίπτωση που ένα αίτημα για τον εντοπισμό μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας δεν βρει ανταπόκριση από έναν κόμβο-διακομιστή, τότε γίνεται προώθηση σε γειτονικούς του κόμβους που έχει βρεθεί ότι παρέχουν υπηρεσίες της ίδιας ομάδας με την υπηρεσία που αρχικά έγινε προσπάθεια να εντοπιστεί. Οι κόμβοι αυτοί χαρακτηρίζονται ως «Υποψήφιοι Κόμβοι» (Candidate Nodes). [12] Αν και πάλι δεν ανιχνευθεί η ζητούμενη υπηρεσία ούτε στους υποψήφιους κόμβους, τότε γίνεται εκπομπή του πακέτου-αιτήματος προς όλο το δίκτυο.

Εφόσον στα ασύρματα δίκτυα υπάρχει κάποιο όριο στο πλήθος των ενδιάμεσων κόμβων που μπορεί να μεσολαβήσουν από τον πομπό ενός αιτήματος μέχρι τον κόμβο-διακομιστή, συχνά θα υπάρχουν κάποιοι κόμβοι που δεν θα μπορούν να γίνουν προσιτοί στην εξωτερική συσκευή που εκτέμνει ένα αίτημα εντοπισμού υπηρεσιών. Παρόλα αυτά, το GSD δεν κάνει διακρίσεις ανάμεσα στους προσιτούς και μη-προσιτούς κόμβους, και το εκάστοτε πακέτο-αίτημα θα σταλεί κανονικά και στους μη-προσιτούς υποψήφιους κόμβους. Τότε βέβαια θα υπάρξουν πακέτα που θα σταλούν αλλά δεν θα καταφθάσουν στον υποψήφιο κόμβο, εκτός εάν αυτός μετακινηθεί εγκαίρως εντός της απαιτούμενης εμβέλειας.

Στο πρωτόκολλο GSD, ο αριθμός των πακέτων-αιτημάτων για δημοσίευση υπηρεσιών, μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$P_{req} = (N-n) \times 1 + n \times k$$

όπου  $P_{req}$  είναι ο αριθμός των πακέτων-αιτημάτων,  $N$  είναι ο μέσος όρος των κόμβων που θα χρειαστεί να προωθήσουν το πακέτο και  $n$  είναι ο αριθμός των κόμβων από αυτούς τους  $N$  κόμβους, που έχουν  $k$  υποψήφιους κόμβους γύρω τους. Το  $n$  επηρεάζεται κυρίως από την ταχύτητα προώθησης στους κόμβους, το μέγιστο πλήθος ενδιάμεσων κόμβων που μπορούν να διατρέξουν τα πακέτα αιτημάτων, το μέγιστο πλήθος ενδιάμεσων κόμβων που μπορούν να διατρέξουν τα πακέτα δημοσιοποίησης υπηρεσιών, αλλά και την πυκνότητα κόμβων στο δίκτυο.



Σχήμα 2.4. Επίδραση της ταχύτητας των κόμβων

Στο Σχήμα 2.4. φαίνεται κατά πόσον εξαρτάται η επιτυχία της μετάδοσης ενός αιτήματος στους κόμβους-διακομιστές, από την ταχύτητα στους κόμβους.

Ο αριθμός των πακέτων-αποκρίσεων στα ληφθέντα αιτήματα εντοπισμού υπηρεσιών, μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$P_{rep} = m \times h$$

όπου  $P_{rep}$  είναι ο αριθμός των πακέτων-αποκρίσεων,  $m$  είναι ο μέσος αριθμός κόμβων που αποκρίνονται σε μια σύνοδο εντοπισμού υπηρεσιών SDP και  $h$  είναι ο μέσος αριθμός των παρεμβαλλόμενων κόμβων κατά την προώθηση των πακέτων.



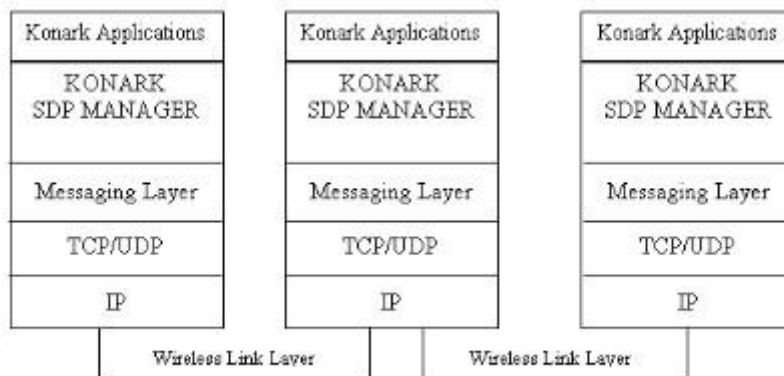
Πάνω στο Πρωτόκολλο GSD έχουν βασιστεί και άλλα παραπλήσιας δομής Πρωτόκολλα, όπως το PCPGSD και το FFPSDP. [12]

#### 2.2.4. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ KONARK SDP

Το KONARK είναι ένα πρωτόκολλο ειδικά για ασύρματα δίκτυα κινητών κόμβων που περιγράφει τις διαδικασίες του εντοπισμού υπηρεσιών και της προώθησης των αιτημάτων στο δίκτυο.

Για τον εντοπισμό των υπηρεσιών, το KONARK χρησιμοποιεί άκρως καταναμημένο μηχανισμό, ο οποίος παρέχει σε κάθε συσκευή τη δυνατότητα να εντοπίσει και να δημοσιοποιήσει υπηρεσίες στο δίκτυο. [13] Χρησιμοποιείται κυρίως η XML για την περιγραφή των υπηρεσιών, η οποία συντελείται με τρόπους κατανοητούς από τον άνθρωπο αλλά και το software των συσκευών.

Το KONARK επιτρέπει σε κάθε συσκευή να λειτουργεί ως διακομιστής και πελάτης παράλληλα. Κάθε συσκευή περιέχει μία εφαρμογή KONARK, η οποία δίνει στον χειριστή τη δυνατότητα να εκκινήσει τις διαδικασίες της δημοσιοποίησης και εντοπισμού υπηρεσιών στο δίκτυο. Επίσης περιέχει Διαχειριστές SDP (SDP Managers) και Μητρώο (Registry) που επιτρέπουν τη διαχείριση και συντήρηση των πληροφοριών σχετικά με τις παρεχόμενες από τους κόμβους υπηρεσίες. Ο Διαχειριστής SDP είναι πολύ σημαντικός για τον εντοπισμό των υπηρεσιών. Ανακαλύπτει, καταγράφει και δημοσιοποιεί τις υπηρεσίες στο δίκτυο. Ο Διαχειριστής SDP αλληλοεπιδρά με το επίπεδο μηνυμάτων το οποίο έχει χτιστεί πάνω από το επίπεδο μεταφοράς και έτσι δημοσιοποιούνται και εντοπίζονται οι παρεχόμενες υπηρεσίες.



**Σχήμα 2.5. Η Στοιβα του KONARK**

Στο Σχήμα 2.5. φαίνεται η στοιβα εντοπισμού υπηρεσιών στο KONARK. Το τμήμα του KONARK που ρυθμίζει τον τρόπο εντοπισμού και δημοσίευσης των υπηρεσιών, είναι επίσης υπεύθυνο για ζητήματα που έχουν να κάνουν με την επικοινωνία με τα κατώτερα επίπεδα, τη δομή του μητρώου όπου είναι καταχωρημένες οι περιγραφές των υπηρεσιών, καθώς και λεπτομέρειες για τη δομή των μηχανισμών εντοπισμού και δημοσιοποίησης.

Η αρχιτεκτονική στο KONARK είναι ανεξάρτητη του λειτουργικού συστήματος και της γλώσσας προγραμματισμού, καθώς χρησιμοποιούνται κλασικές τεχνολογίες XML. Μόλις εντοπιστεί μία υπηρεσία από μία συσκευή, η συσκευή αυτή έχει ελάχιστη γνώση για τις λεπτομέρειες της υπηρεσίας. Γνωρίζει μόνο το όνομά της και μια φιλική προς τον χρήστη μικρή περιγραφή, καθώς και τη διεύθυνση του κόμβου από τον οποίο προέρχεται η υπηρεσία. Στη συνέχεια η συσκευή μπορεί να προχωρήσει στην ανεύρεση περισσότερων λεπτομερειών για την υπηρεσία, το λεγόμενο στάδιο της περιγραφής υπηρεσιών.

Το αρχείο της περιγραφής υπηρεσιών περιέχει πλήρη πληροφόρηση σχετικά με τις ιδιότητες της υπηρεσίας και τις μεθόδους που παρέχονται από την υπηρεσία, δίνοντας έτσι στη συσκευή τη δυνατότητα να αναγνωρίσει αν κάποιο από τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας είναι πράγματι το επιθυμητό για την πραγματοποίηση μιας συγκεκριμένης λειτουργίας.

### 2.2.5. ΑΛΛΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ SDP

Στη βιβλιογραφία συναντάται πλήθος πρωτοκόλλων για τον εντοπισμό και την δημοσιοποίηση υπηρεσιών. Άλλα εφαρμόζονται στην πράξη και άλλα έχουν επινοηθεί για ερευνητικούς σκοπούς. Στη συνέχεια αναφέρουμε επιγραμματικά τα πιο γνωστά από αυτά τα SDP πρωτόκολλα [8] :

➤ **Cheng and Marsic SDP:**

Δεν χρησιμοποιεί κατάλογο, ενώ εκπέμπει αιτήματα προς όλους τους πομπούς του δικτύου (Multicasting).

➤ **Allia SDP:**

Δεν χρησιμοποιεί κατάλογο, εκπέμπει σε εμβέλεια ενός κόμβου (τους άμεσους «γείτονες» του πομπού), ενώ είναι ανεξάρτητο από τη γλώσσα περιγραφής των υπηρεσιών.

➤ **Splendor SDP:**

Υποστηρίζει την χρήση καταλόγου και οι πληροφορίες για τις υπηρεσίες αποθηκεύονται σε προκαθορισμένους κόμβους-καταλόγους. Η επιλογή των υπηρεσιών γίνεται από την πλευρά του πελάτη.

➤ **Tyan and Mahmoud SDP:**

Και αυτό το πρωτόκολλο υποστηρίζει καταλόγους, ενώ η περιγραφή των υπηρεσιών γίνεται με XML.

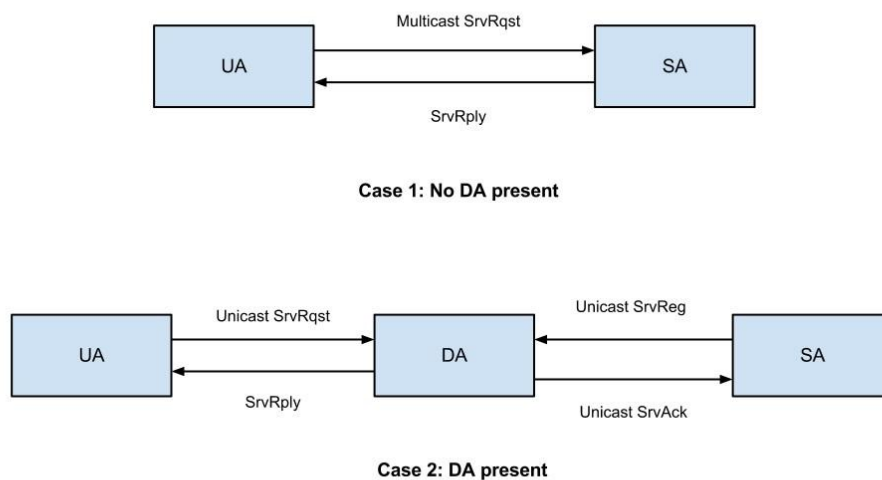
## 2.2.6. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ SLP

Το Πρωτόκολλο Τοποθεσίας Υπηρεσιών SLP (Service Location Protocol) είναι ένα εξειδικευμένο πρωτόκολλο αυτόματης ανίχνευσης υπηρεσιών σε ένα δίκτυο. Και εδώ οι κόμβοι διακρίνονται σε κόμβους-διακομιστές, κόμβους-πελάτες και κόμβους-καταλόγους. Η διατήρηση του καταλόγου μπορεί να γίνεται είτε σε έναν κόμβο (centralized mode) είτε κατανεμημένα (distributed mode).

Στο Πρωτόκολλο SLP συναντώνται τρία είδη «πρακτόρων» (agents) που δρουν για τον εντοπισμό των υπηρεσιών [14] :

- User Agents (UA) που ανιχνεύουν υπηρεσίες για λογαριασμό του πελάτη
- Service Agents (SA) που δημοσιοποιούν τις υπηρεσίες για λογαριασμό του διακομιστή
- Directory Agents (DA) που διατηρούν τους καταλόγους των περιγραφών των υπηρεσιών

Όταν υπάρχει κόμβος-κατάλογος (DA), όπως είναι φυσικό ευνοείται η λειτουργικότητα και απόδοση του δικτύου, καθώς οι αποκρίσεις από το δίκτυο προς μια επικοινωνούσα συσκευή λαμβάνονται ταχύτερα, χρησιμοποιείται μικρότερο εύρος ζώνης και δεν υπάρχει «βομβαρδισμός» του δικτύου με πολλές εκπομπές αιτημάτων (Multicasting).



**Σχήμα 2.6. SLP: 1. Χωρίς κατάλογο, 2. Με κατάλογο**

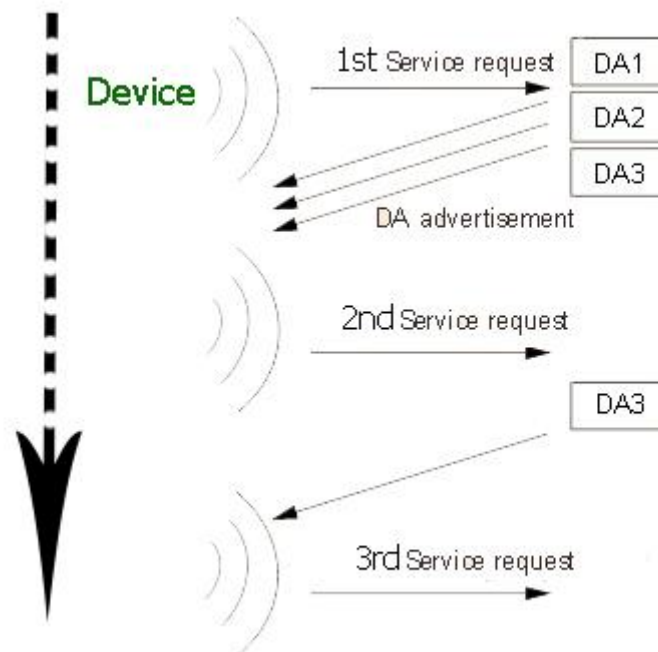
Οι υπηρεσίες δημοσιοποιούνται χρησιμοποιώντας ένα URL Υπηρεσίας, δηλαδή γνωστοποιώντας την διεύθυνση της προελεύσεως της υπηρεσίας και το μονοπάτι που ακολουθείται. Οι συσκευές-πελάτες που αποκτούν αυτό το URL αποκτούν όλη την πληροφορία που χρειάζονται για να συνδεθούν με τον κόμβο που παρέχει την περιγραφόμενη υπηρεσία.

Οι τιμές των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τις διάφορες παρεχόμενες υπηρεσίες έχουν λάβει κάποιες προκαθορισμένες (default) τιμές, από την IANA (Internet Assigned Numbers

Authority) [15]. Οι κόμβοι-διακομιστές δημοσιοποιούν τις υπηρεσίες τους με κάποια συγκεκριμένα ορίσματα στα χαρακτηριστικά τους, ενώ οι κόμβοι-πελάτες υποβάλλουν τα αιτήματά τους θέτοντας τα ίδια ορίσματα. Η διαδικασία αυτή αποσκοπεί στην ενίσχυση της δια-λειτουργικότητας του μηχανισμού εντοπισμού των υπηρεσιών, εφόσον αυτή πραγματοποιείται με κοινά αποδεκτά ορίσματα, και έτσι είναι ανεξάρτητη της τεχνολογίας, του λειτουργικού συστήματος και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της κάθε συσκευής.

Για την εκκίνηση οποιασδήποτε διαδικασίας εντοπισμού και δημοσιοποίησης υπηρεσιών στο SLP, θα πρέπει πρώτα να γνωστοποιηθεί στις συμμετέχουσες συσκευές, αν χρησιμοποιείται κατάλογος ή όχι, ώστε να υλοποιηθεί με τον κατάλληλο τρόπο το πρωτόκολλο. Η διευθυνσιοδότηση των κόμβων μπορεί είτε να γίνει χειροκίνητα, είτε με τη βοήθεια ενός αρχείου διαμόρφωσης, είτε να είναι ενσωματωμένη στο υλικό των συσκευών, είτε να ολοκληρωθεί δυναμικά με την χρήση ενός κατάλληλου πρωτοκόλλου, πχ. του DHCP. [14]

Στην περίπτωση που γίνει η διευθυνσιοδότηση με κάποιον από αυτούς τους τρόπους, η διαδικασία εντοπισμού των κόμβων-καταλόγων μπορεί να παραλειφθεί. Σε αντίθετη περίπτωση, θα πρέπει οι κόμβοι αλλά και οι συνεργαζόμενες συσκευές να εντοπίσουν τους κόμβους-καταλόγους, μέσω του Αλγορίθμου Σύγκλισης Πολλαπλών Εκπομπών SLP (SLP Multicast Convergence Algorithm). Ο αλγόριθμος αυτός διευκολύνει την ομαλή διαχείριση πολλαπλών ταυτόχρονων αιτημάτων, διότι σε διαφορετική περίπτωση, η αιτούσα συσκευή μπορεί να κατακλυσθεί από την πληθώρα των αποκρίσεων. Κατά την υλοποίηση του αλγορίθμου, αναπτύσσονται λίστες με τους κόμβους-καταλόγους (DAs) που έχουν αποκριθεί σε κάθε αίτημα μιας συσκευής. Σε κάθε νέα εκπομπή αιτήματος, ελέγχεται η λίστα των κόμβων που είχαν και προηγουμένως αποκριθεί, ώστε να μην γίνεται διπλή καταχώρισή τους.



**Σχήμα 2.7. Ο Αλγόριθμος Σύγκλισης Πολλαπλών Εκπομπών SLP**

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας του αλγορίθμου. Στην πρώτη εκπομπή αιτήματος, απαντούν οι κόμβοι-κατάλογοι DA1, DA2 και DA3, όμως η απάντηση του DA3 χάνεται στην πορεία. Έτσι στη λίστα των αποκριθέντων κόμβων έχουν καταχωρηθεί μόνο οι DA1 και DA2.

Στην δεύτερη εκπομπή αιτήματος, απαντάνε πάλι και οι τρεις κόμβοι, όμως μόνο ο DA3 καταχωρείται αυτή τη φορά, μιας και οι άλλοι δύο είναι ήδη καταχωρημένοι. Στην τρίτη εκπομπή αιτήματος από την συσκευή, μπορεί να αποκριθούν ξανά και οι τρεις κόμβοι, όμως αυτή τη φορά κανείς δεν χρειάζεται να ξανακαταχωρηθεί στη λίστα αποκριθέντων κόμβων. [14]

Ορισμένα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να είναι ιδιαίτερα εκτενή, με μεγάλο πλήθος κόμβων, έτσι το SLP προτείνει τρόπους με τους οποίους μπορεί να βελτιωθεί η απόδοση και η επεκτασιμότητα του πρωτοκόλλου, όταν ο φόρτος στο δίκτυο αυξάνεται σημαντικά:

Ο πρώτος τρόπος είναι η αύξηση των κόμβων-καταλόγων. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την διαμοίραση των αιτημάτων μεταξύ των κόμβων, ούτως ώστε να μην γίνεται συσσώρευση αιτημάτων σε έναν ή λίγους μόνο κόμβους-καταλόγους. Επιπλέον, σε περίπτωση κατάρρευσης ενός κόμβου, θα υπάρχουν άλλοι να εξυπηρετήσουν τα αιτήματα των συσκευών-πελατών.

Ο δεύτερος τρόπος είναι η κατηγοριοποίηση των πόρων με βάση την περιοχή, την έκταση του δικτύου ή τη διαστρωμάτωση των χρηστών (administrator, user, κλπ.). Στη βιβλιογραφία, ο μηχανισμός αυτός συναντάται συχνά ως Scope. [16]

Σε μικρά δίκτυα όμως όπου μπορεί να μην υπάρχουν κόμβοι-κατάλογοι, η επικοινωνία πραγματοποιείται απευθείας μεταξύ διακομιστών και συσκευών και τα αιτήματα για τον εντοπισμό υπηρεσιών απευθύνονται απευθείας προς τους κόμβους-διακομιστές αντί για τους κόμβους-πελάτες. Αν η εκπομπή ενός αιτήματος αποτύχει να ταιριάξει με την περιγραφή μιας υπηρεσίας σε κάποιον κόμβο-διακομιστή, τότε ο κόμβος-διακομιστής απλά απορρίπτει το αίτημα.

Το SLP είναι ένα πρωτόκολλο σχεδιασμένο να παρέχει ασφάλεια, επεκτασιμότητα, υποστήριξη στις επικοινωνίες που πραγματοποιούνται μεταξύ των κόμβων του δικτύου αλλά και με άλλες συνεργαζόμενες συσκευές, γεγονός που το καθιστά ένα ιδιαίτερος χρήσιμο πρωτόκολλο στη διαδικασία εντοπισμού και δημοσιοποίησης των υπηρεσιών σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

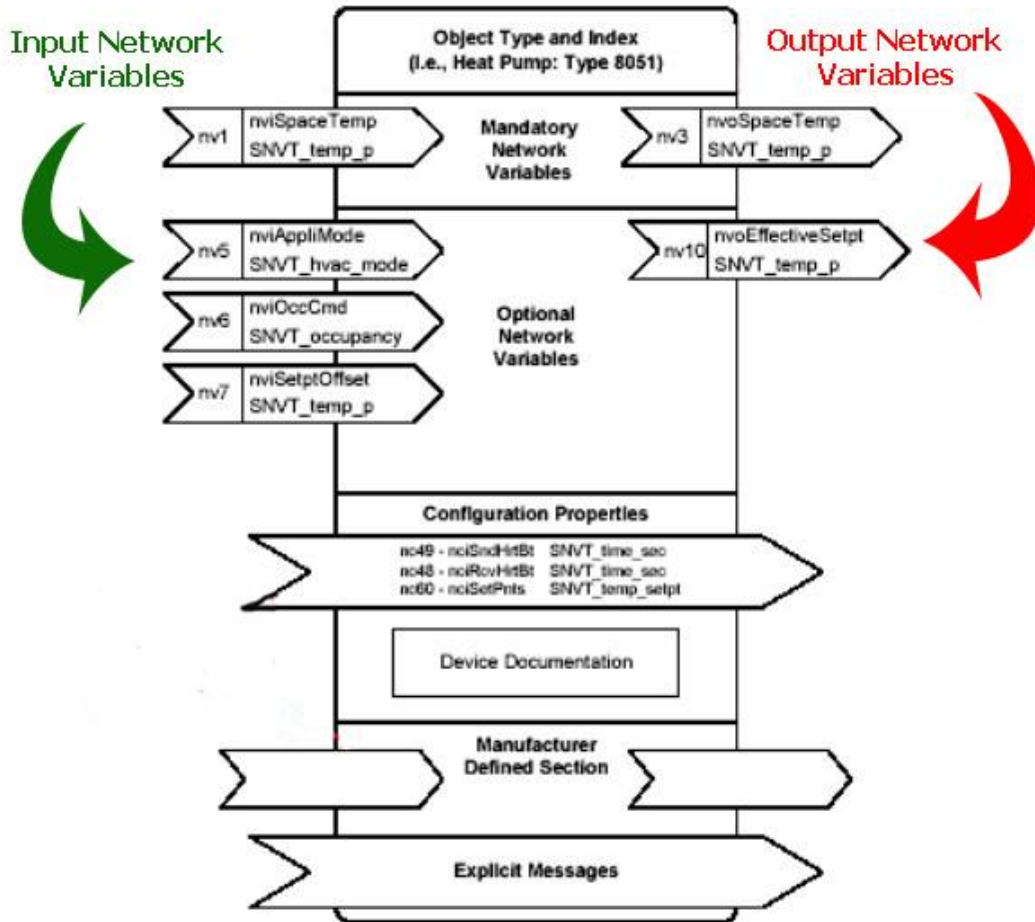
### 2.2.7. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ LonWorks

Το Πρωτόκολλο LonWorks αναπτύχθηκε από την Echelon Corp [17] και βρίσκει εφαρμογή σε μία πληθώρα εφαρμογών, τόσο σε ενσύρματα όσο και στα ασύρματα δίκτυα όπως αυτά που εξετάζουμε στην μελέτη μας. Το πρωτόκολλο υποστηρίζει και τα επτά επίπεδα του Μοντέλου OSI, ενώ λειτουργεί σε κατάσταση ομότιμων διαύλων δικτύου. [18]

Οι συσκευές στο LonWorks επικοινωνούν χρησιμοποιώντας γλώσσα LonTalk. Η συγκεκριμένη γλώσσα παρέχει μία σειρά υπηρεσιών που επιτρέπουν στις συνεργαζόμενες συσκευές να ανταλλάσσουν μηνύματα μεταξύ τους, χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζουν λεπτομέρειες για την τοπολογία του δικτύου, τη διευθυνσιοδότηση ή συγκεκριμένες πληροφορίες για τη λειτουργία του εκάστοτε κόμβου ή συσκευής.

Το πρωτόκολλο ορίζει ως μεταβλητή του δικτύου οποιοδήποτε δεδομένο που κάποια εφαρμογή μιας συσκευής αναμένει να λάβει από άλλες συσκευές, ή να εκπέμψει η ίδια ώστε να παραληφθεί από τις άλλες συσκευές. [19] Παραδείγματα μεταβλητών δικτύου στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, αποτελούν η αλλαγή θερμοκρασίας εδάφους, η αλλαγή θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, η σχετική υγρασία, η αλλαγή θέσης και ο χαρακτηρισμός του δικτύου ως απασχολημένο/μη-απασχολημένο.

Ενώ οι καθιερωμένες μεταβλητές δικτύου αφορούν τα δεδομένα που διέπονται από τις μεταβλητές αυτές, έχει αναπτυχθεί και μία υψηλότερου επιπέδου τυποποίηση, που ονομάζεται Λειτουργικό Προφίλ (Functional Profile) [20] και αφορά τη λειτουργικότητα των συσκευών.



Σχήμα 2.8. Το Λειτουργικό Προφίλ του LonWorks

Στο προηγούμενο σχήμα μπορούμε να διακρίνουμε τη δομή του Λειτουργικού Προφίλ του LonWorks. Τέτοια προφίλ χρησιμοποιούνται για την κοινοποίηση των μεταβλητών του δικτύου, των ιδιοτήτων διαμόρφωσης, καθώς και της λειτουργικής συμπεριφοράς των συσκευών κάτω από τις διαφορετικές συνθήκες που μπορεί να προκύψουν. [19] Με τον τρόπο αυτό, ανεξαρτήτως του κατασκευαστή, δύο LonMark συσκευές μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και να ανταλλάξουν δεδομένα.

## 2.2.8. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ MQTT-S

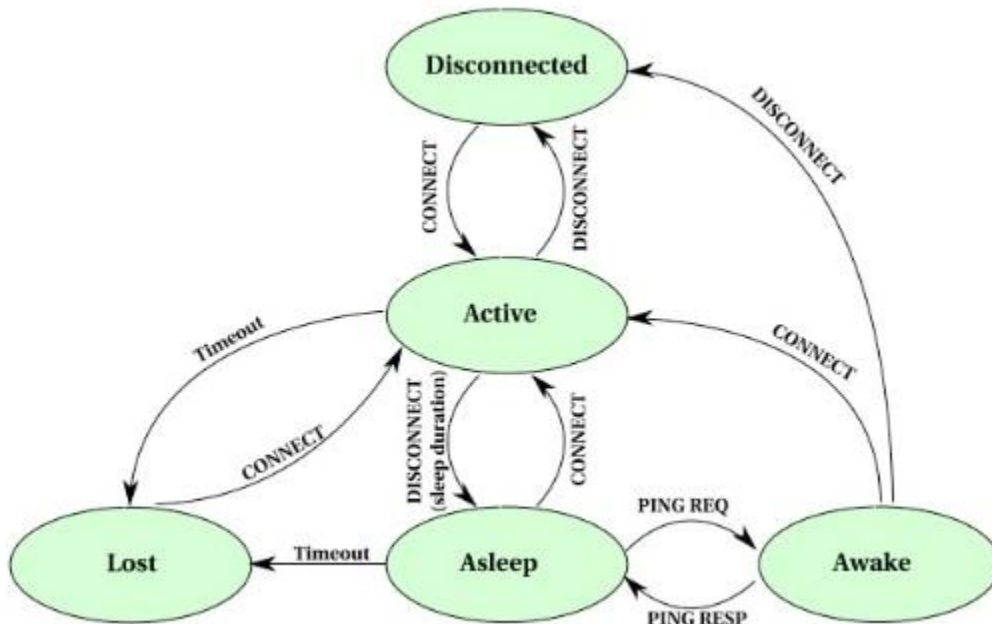
Το Πρωτόκολλο MQTT-S (Message Queuing Telemetry Transport) αποτελεί βελτιστοποίηση του πρωτοκόλλου δημοσίευσης MQTT, με στόχο τη μείωση του κόστους και την εξοικονόμηση ενέργειας σε δίκτυα όπου οι κόμβοι είναι συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία και διαθέτουν περιορισμένους επεξεργαστικούς και αποθηκευτικούς πόρους, όπως είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. [21] Το πρωτόκολλο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και διαθέσιμους πόρους της συσκευής, η οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι ο κόμβος-αισθητήρας.

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο, υπάρχουν ενδιάμεσοι κόμβοι που είναι υπεύθυνοι για την διαχείριση των καταχωρίσεων και τη δημοσιοποίηση των υπηρεσιών από τους κόμβους του δικτύου. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα στις δημοσιοποιημένες υπηρεσίες να γνωστοποιηθούν σε εξωτερικά δίκτυα και συσκευές, μέσω ενός κόμβου-πύλης που τοποθετείται σε κάποιο άκρο του WSN. Το MQTT-S δεν απαιτεί την εφαρμογή του TCP πρωτοκόλλου για την μεταφορά των πακέτων δεδομένων. Συγχρόνως, παρέχει υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας, καθώς η διαδικασία μετάδοσης των μηνυμάτων ελέγχεται σε τρία επίπεδα ποιότητας (Quality of Service), ώστε να εξασφαλιστεί όχι μόνο ότι έχει ολοκληρωθεί η μετάδοση ενός μηνύματος, αλλά και ότι έχει γίνει ακριβώς μία φορά. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας διαδικασίας ανταλλαγής τεσσάρων επιβεβαιωτικών μηνυμάτων (Handshake).

Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί έναν μηχανισμό αναμονής (Stop-and-Wait) για την επιβεβαίωση με τον ενδιάμεσο κόμβο ότι η αποστολή ή λήψη ενός μηνύματος έχει ολοκληρωθεί ορθά. Ειδικότερα, όταν μία συσκευή απευθύνει ένα αίτημα προς τον ενδιάμεσο κόμβο για τον εντοπισμό μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας, κανένα άλλο αίτημα από αυτή την συσκευή δεν μπορεί να ξεκινήσει αν δεν ληφθεί πρώτα επιβεβαίωση από τον ενδιάμεσο κόμβο ότι το προηγούμενο αίτημα έφθασε ορθώς στον προορισμό του. Αντιστοίχως, όταν ένας κόμβος του δικτύου δημοσιοποιεί μία υπηρεσία του στέλνοντας στον ενδιάμεσο κόμβο ένα μήνυμα δημοσιοποίησης, δεν μπορεί να εκκινήσει την αποστολή ενός νέου μηνύματος δημοσιοποίησης, αν πρώτα δεν λάβει επιβεβαίωση από τον ενδιάμεσο κόμβο ότι το προηγούμενο μήνυμά του έφθασε ορθώς στους αναμενόμενους παραλήπτες του. Οι προδιαγραφές του πρωτοκόλλου δεν προβλέπουν τη δημιουργία ουράς για την αναμονή των αιτημάτων, και έτσι αν κάποιο αίτημα για κάποιον λόγο σταλεί ενώ δεν έχει ολοκληρωθεί η ροή δεδομένων του προηγούμενου αιτήματος, θα πρέπει μετά να γίνει αναμετάδοσή του από την αρχή προκειμένου να παραληφθεί από τον ενδιάμεσο κόμβο και στη συνέχεια να προωθηθεί στις εξωτερικές συσκευές.

Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, όπου μας ενδιαφέρει σε μεγάλο βαθμό η εξοικονόμηση ενέργειας της μπαταρίας, το πρωτόκολλο παρέχει μηχανισμό διαχείρισης των κόμβων που βρίσκονται σε κατάσταση «ύπνου» (sleeping mode). Οι κόμβοι αυτοί έχουν προγραμματιστεί ώστε να εισέρχονται σε αυτή την κατάσταση όταν δεν είναι ενεργοί, δηλαδή όταν δεν έχουν δεδομένα να εκπέμπουν ή να παραλάβουν, και να εξέρχονται από αυτήν όταν προκύψουν τέτοια δεδομένα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δυνατές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να περιέρχεται η συσκευή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της.





Σχήμα 2.9. Διάγραμμα Καταστάσεων στα WSN

Ο ενδιάμεσος κόμβος θα πρέπει να γνωρίζει πότε οι κόμβοι του δικτύου έχουν περιέλθει σε κατάσταση ύπνου, ώστε να περιμένει την στιγμή που θα βγουν από την κατάσταση αυτή και τότε να τους μεταδώσει τα αιτήματα που μπορεί να προορίζονται για αυτούς. Όταν γίνει αυτό, ο ενδιάμεσος κόμβος λαμβάνει από τον ενεργοποιούμενο κόμβο μία εντολή CONNECT, ενώ η εντολή DISCONNECT αφορά την αντίστροφη διαδικασία. Αν ο ενδιάμεσος κόμβος δεν λάβει εντολή CONNECT από κάποιον κόμβο που βρίσκεται σε κατάσταση ύπνου (asleep) για περισσότερο από κάποιο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, τότε θεωρεί τον κόμβο ως «χαμένο» (lost). Τότε ενεργοποιούνται ειδικοί μηχανισμοί για την διαχείριση τέτοιων περιπτώσεων. Μέχρι να ενεργοποιηθεί πάλι αυτός ο κόμβος, ο ενδιάμεσος κόμβος περιμένει μέχρι να του αποστείλει τα αιτήματα που απευθύνονταν σε αυτόν.

### 2.2.9. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ CoAP

Το CoAP είναι και αυτό ένα πρωτόκολλο δημοσίευσης υπηρεσιών, βελτιστοποιημένο ειδικά για τα δίκτυα που χαρακτηρίζονται από περιορισμούς στους χρησιμοποιούμενους πόρους. Βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική στην οποία οι πόροι γίνονται διαθέσιμοι από μία διαδικασία εφαρμογής και ταυτοποιούνται από Καθολικούς Προσδιοριστές Πόρων (Universal Resource Identifiers – URI). [21]



Το πρωτόκολλο ορίζει δύο μοντέλα αλληλεπίδρασης μεταξύ των επικοινωνούντων άκρων του δικτύου:

- Το μοντέλο πελάτη/διακομιστή (client/server), όπου ο πελάτης αποστέλλει αιτήματα προς τον διακομιστή και ο διακομιστής αποκρίνεται με μηνύματα που έχουν αντίστοιχο ID
- Το μοντέλο δημοσιοποίησης/εγγραφής (publish/subscribe), όπου ο διακομιστής (ο κόμβος που δημοσιοποιεί τις υπηρεσίες του) στέλνει ειδοποιητήρια μηνύματα (publications) σε κάποια άλλη συσκευή, σχετικά με κάποια υπηρεσία στην οποία η συσκευή αυτή επιδιώκει να αποκτήσει πρόσβαση.

Το μοντέλο δημοσιοποίησης/εγγραφής προσφέρει αμεσότερη αλληλεπίδραση μεταξύ δύο συνεργαζόμενων άκρων επικοινωνίας και προτιμάται για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Την ίδια στιγμή που συμβεί κάποιο γεγονός (event of interest) και δημοσιοποιηθεί από τον αισθητήρα προς το δίκτυο, την ίδια στιγμή αυτό μπορεί να ληφθεί από μια συσκευή που ερευνά το δίκτυο προς εύρεση δημοσιευμένων υπηρεσιών και να επιτευχθεί η ζεύξη. Τότε ο κόμβος-διακομιστής ενημερώνει τις επικοινωνούσες συσκευές ότι έχουν αποκτήσει πρόσβαση στην πληροφόρηση για το συγκεκριμένο συμβάν ενδιαφέροντος.

Αν και γενικά σε αυτό το πρωτόκολλο οι κόμβοι-διακομιστές παίζουν και τον ρόλο του διαμεσολαβητικού κόμβου που συναντήσαμε σε προηγούμενα πρωτόκολλα, το CoAP παρέχει και μία υψηλότερης απόδοσης και επεκτασιμότητας αρχιτεκτονική, μέσω προσωρινών μηνυμάτων και ενδιάμεσων κόμβων που πολυπλέκουν τα αιτήματα πολλών εξωτερικών συσκευών σε μία ενιαία συσχέτιση.

Όσον αφορά την αξιοπιστία στην επικοινωνία, όπως στο MQTT-S, έτσι και σε αυτό το πρωτόκολλο έχουν καθοριστεί επίπεδα ελέγχου της ορθής ολοκλήρωσης στις μεταφορές των μηνυμάτων, μόνο που το CoAP διαθέτει δύο επίπεδα ελέγχου ποιότητας, και όχι τρία όπως το MQTT-S.

## 2.3. ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ

Κατά τη διαδικασία της δημοσίευσης των υπηρεσιών που προσφέρουν οι κόμβοι σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, τα πρωτόκολλα εντοπισμού υπηρεσιών συνεργάζονται και με άλλα πρωτόκολλα ούτως ώστε να εξασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση και αποτελεσματική χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Κάποια βασικά τέτοια πρωτόκολλα περιγράφονται εν συντομία στις επόμενες υπο-ενότητες.

### 2.3.1. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ DSR

Η ανάπτυξη του πρωτοκόλλου DSR βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στις αδυναμίες που παρουσιάζουν τα ασύρματα δίκτυα ακριβώς λόγω της φύσης των ασύρματων διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων τους. Αυξημένο πλήθος αιτημάτων και ειδικά σε ένα τέτοιο δίκτυο είναι αναμενόμενο να επιδρά αρνητικά στην επίδοση του συστήματος, την αξιοπιστία του και τον χρόνο απόκρισης.

Ουσιαστικά πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που εντοπίζει τη βέλτιστη διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει μια εκπεμπόμενη πληροφορία για να φτάσει στον παραλήπτη της. Η αναζήτηση πιθανών διαδρομών όταν ξεκινάει η ανταλλαγή των μηνυμάτων, είναι λογικό να έχει πολλά αποτελέσματα. Το πρωτόκολλο αποθηκεύει προσωρινά τις πιθανές αυτές διαδρομές, ώστε τελικά να χρησιμοποιηθεί η πιο σύντομη (με το μικρότερο πλήθος ενδιάμεσων κόμβων). [9] Επιπλέον, συνεισφέρει στην αποτροπή λαθών χρόνου και συχνότητας, μιας και επιτρέπει στους κόμβους του δικτύου να διατηρούν προσωρινή μνήμη σχετικά με τις υπάρχουσες δυνατές διαδρομές που έχουν εντοπιστεί σε προηγούμενες αναζητήσεις και έτσι να βοηθούν σε μια επόμενη αναζήτηση αποστέλλοντας το αντίστοιχο μήνυμα.

### 2.3.2. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ DSDV

Το πρωτόκολλο DSDV ορίζει τη διατήρηση πινάκων στο δίκτυο, όπου αποθηκεύονται όλα τα πιθανά μονοπάτια που μπορούν να ακολουθηθούν, αναλόγως ποιος είναι ο κόμβος που δημοσιοποιεί πληροφορίες. [9] Οι κόμβοι συχνά αλληλοενημερώνονται για πιθανές αλλαγές στη θέση τους ή στον αριθμό των μεταξύ τους ενδιάμεσων κόμβων, ούτως ώστε οι πίνακες να διατηρούν έγκυρα τα δεδομένα τους για την περίπτωση που θα χρειαστεί να πραγματοποιηθεί κάποια επικοινωνία.

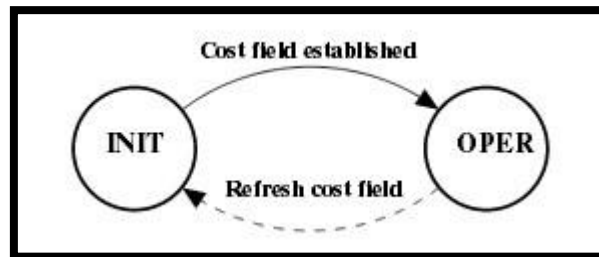
### 2.3.3. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ SAR

Το SAR είναι ένα πρωτόκολλο που περιγράφει κυρίως τους τρόπους δρομολόγησης κατά την πραγματοποίηση μιας επικοινωνίας σε ένα WSN, δίνοντας μεγάλη σημασία στην εξοικονόμηση ενέργειας και την ανοχή στα σφάλματα.

Το πρωτόκολλο αυτό κατασκευάζει ένα δένδρο κόμβων-αισθητήρων, οι οποίοι έχουν τη ρίζα τους στον άμεσα γειτονικό κόμβο του κόμβου βύθισης. [6] Λαμβάνει σοβαρά υπόψιν τις μετρικές ποιότητας, τις πηγές ενέργειας σε κάθε μονοπάτι, καθώς και τις προτεραιότητες στις μεταγωγές των πακέτων. Χρησιμοποιώντας το δένδρο που έχει κατασκευαστεί, υποδεικνύει το μονοπάτι που πρέπει να ακολουθηθεί με βάση τον καλύτερο συνδυασμό εξοικονόμησης ενέργειας και διασφάλισης ποιότητας της επικοινωνίας. Επιπλέον, το SAR βελτιώνει την ανοχή σε σφάλματα, διατηρώντας τη συνοχή των πινάκων δρομολόγησης των συνεχόμενων σε ένα μονοπάτι κόμβων. Ωστόσο, η διατήρηση μεγάλου αριθμού πινάκων δρομολόγησης αποτελεί πρόβλημα.

### 2.3.4. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ MCF

Το πρωτόκολλο MCF (Minimum Cost Forwarding) εντοπίζει το μονοπάτι με το μικρότερο κόστος κόμβων σε ένα τεράστιο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Ο στόχος του πρωτοκόλλου είναι η εγκαθίδρυση ενός τρόπου μετάδοσης των μηνυμάτων από μία συσκευή προς μία άλλη, όταν υπάρχουν περιορισμοί στους διαθέσιμους πόρους. Το MCF εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι η κατεύθυνση της δρομολόγησης είναι γνωστή, για παράδειγμα στη δημοσιοποίηση μιας υπηρεσίας τα δεδομένα κινούνται από τον κόμβο-αισθητήρα προς την εξωτερική συσκευή, ενώ κατά την αναζήτηση υπηρεσιών από την εξωτερική συσκευή, τα δεδομένα κινούνται προς την αντίστροφη κατεύθυνση. Για να υλοποιηθεί το πρωτόκολλο, το μόνο που χρειάζεται είναι οι κόμβοι του δικτύου να διαθέτουν ένα μοναδικό ID και να γνωρίζουν το κόστος μετάδοσης της πληροφορίας, χωρίς να απαιτείται να διατηρούν ολόκληρους πίνακες δρομολόγησης. [23] Συνεπώς, από το πρωτόκολλο αυτό επωφελούνται ιδιαίτερος τα δίκτυα στα οποία η επεξεργαστική ισχύς και η μνήμη είναι περιορισμένες.



Σχήμα 2.10. Διάγραμμα Καταστάσεων στο MCF

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται οι καταστάσεις στις οποίες μπορούν να περιέλθουν οι κόμβοι του δικτύου σύμφωνα με το MCF, οι οποίες είναι μόνο δύο, η INIT, δηλαδή η αρχική κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι κόμβοι, και η OPER, στην οποία εισέρχονται οι κόμβοι όταν ξεκινούν τη δραστηριότητά τους για την δημοσιοποίηση των υπηρεσιών τους. Από εκείνη τη στιγμή και έπειτα, οι κόμβοι παραμένουν στην κατάσταση OPER, εκτός αν χρειαστεί να επιστρέψουν στην INIT για λόγους που έχουν να κάνουν με την ενημέρωση ή επαναπροσδιορισμό των βέλτιστων μονοπατιών.

### 2.3.5. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ SPEED

Το πρωτόκολλο SPEED υποδεικνύει σε κάθε κόμβο στο δίκτυο πώς να διατηρεί πληροφορίες για κάθε γειτονικό του κόμβο, χρησιμοποιώντας τεχνικές γεωγραφικής προώθησης για να βρει ένα μονοπάτι. [6]

Επίσης, φροντίζει ώστε να διατηρείται μία σταθερή ταχύτητα κατά τη μεταγωγή των πακέτων στο δίκτυο. Αυτό το επιτυγχάνει εκτρέποντας την κίνηση στο επίπεδο δικτύου. Ο σκοπός είναι να υπολογιστεί η καθυστέρηση στην επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών διαιρώντας την απόσταση από τον κόμβο βύθισης, με την ταχύτητα των πακέτων.

### 2.3.6. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ EAR

Το πρωτόκολλο EAR (Energy Aware Routing) ασχολείται επίσης με τρόπους ελαχιστοποίησης του κόστους και εξοικονόμησης ενέργειας στο δίκτυο. Σε αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται ένα μοντέλο ουράς, ώστε να εφαρμόζεται προτεραιοποίηση για τις δημοσιεύσεις που γίνονται σε πραγματικό χρόνο ή μη. [6]

Για να καθοριστούν τα κατάλληλα μονοπάτια, εφαρμόζεται μία επέκταση των Αλγορίθμων του Dijkstra [24] και στη συνέχεια επιλέγονται τα μονοπάτια εκείνα από τη λίστα, που ανταποκρίνονται στις απαιτούμενες προϋποθέσεις μέγιστου χρόνου καθυστέρησης.

### 2.3.7. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ MMSPEED

Πρόκειται για μια επέκταση του πρωτοκόλλου SPEED, η οποία όμως παρέχει αυξημένες δυνατότητες ως προς την επιλογή των μονοπατιών και της ταχύτητας του δικτύου. [6] Το πρωτόκολλο εφαρμόζει πιθανοτική προώθηση των πακέτων προς πολλαπλά μονοπάτια, ώστε να ανταποκριθεί στις ποικίλες απαιτήσεις κάθε συσκευής. Κάθε πακέτο ουσιαστικά μπορεί να «επιλέξει» δυναμικά την κατάλληλη ταχύτητα με βάση τις απαιτήσεις των επικοινωνούντων άκρων σε αξιοπιστία και ταχύτητα.

### 2.3.8. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ReInform

Το πρωτόκολλο ReInform (Reliable Information Forwarding using Multipath) επικεντρώνεται στην διασφάλιση της αξιοπιστίας της επικοινωνίας, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στην προτεραιότητα των πακέτων. Σε αυτό το πρωτόκολλο, για να αποφασιστεί το επίπεδο επιθυμητής αξιοπιστίας για κάθε πακέτο δεδομένων, τα πακέτα ταξινομούνται σε διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας. [25] Ανάλογα την προτεραιότητα που έχει δοθεί, για κάθε πακέτο δεδομένων γίνονται πολλές μεταδόσεις προς τυχαίες κατευθύνσεις, με στόχο την εξασφάλιση της μετάδοσης του πακέτου. Ο αριθμός των μεταδόσεων προς κάθε κατεύθυνση εξαρτάται από στατιστικές μετρήσεις σχετικά με την εμφάνιση λαθών κατά την υιοθέτηση κάθε διαδρομής.

Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτού του πρωτοκόλλου είναι ότι δεν απαιτεί την προσωρινή αποθήκευση πληροφοριών σε κάθε κόμβο ξεχωριστά, γεγονός που εξυπηρετεί την εξοικονόμηση μνήμης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Επιπλέον, εφόσον αποστέλλει τα πακέτα προς όλες τυχαίες κατευθύνσεις, συνεισφέρει στην διαμοίραση του φόρτου πακέτων μεταξύ των κόμβων και την αποφυγή υπερφόρτωσης σε ένα σημείο του δικτύου.

### 2.3.9. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ Mobicast

Το πρωτόκολλο αυτό συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας στους κινητούς κόμβους-αισθητήρες, έχοντας σαν αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου ζωής του δικτύου. Εδώ χρησιμοποιούνται κόμβοι που λειτουργούν ως «φάροι». Εφόσον πραγματοποιηθεί ο εντοπισμός κάποιας υπηρεσίας ενός κόμβου, οι κόμβοι-φάροι καθοδηγούν κάθε στιγμή την εκάστοτε συσκευή να γνωρίσει την τρέχουσα τοποθεσία του κόμβου-διακομιστή, χωρίς να χρειάζεται από μόνη της να διατηρεί τις πληροφορίες αποθηκευμένες. Το πρωτόκολλο αυτό υλοποιεί δρομολόγηση βασισμένη στον Αλγόριθμο του Gabriel Graph περί εγγύτητας και ορθότητας εντοπισμού. [26]

### 2.3.10. ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ DAST

Το πρωτόκολλο DAST (Directed Alternative Spanning Tree) λαμβάνει υπόψιν τρεις παραμέτρους ποιότητας, την αποδοτική κατανάλωση ενέργειας, την κίνηση στην επικοινωνία του δικτύου, και την ανοχή σε σφάλματα. Εδώ χρησιμοποιούνται δενδρικά μοντέλα βασισμένα σε αλυσίδες Markov, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη επεκτασιμότητα, αξιοπιστία, αποδοτικότητα και δυνατότητα απόκρισης, δηλαδή η ικανότητα του δικτύου να προσαρμόζεται εύκολα σε αλλαγές της τοπολογίας, καθώς και η κινητικότητα. [27] Οι διάφοροι κόμβοι του δικτύου προτεραιοποιούνται και διαχωρίζονται ανάλογα τις διαφορετικές τους λειτουργίες, ενώ επιτυγχάνεται και η συνάθροιση δεδομένων (data aggregation).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΕΡΕΥΝΑ

*“The first rule of any technology used in a business is that automation applied to an efficient operation will magnify the efficiency. The second is that automation applied to an inefficient operation will magnify the inefficiency.”*

*Bill Gates*

### 3.1. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Αρχικός σκοπός της εργασίας μας ήταν η προσέγγιση της εννοιών της δημοσίευσης και του εντοπισμού υπηρεσιών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, και η περιγραφή των εξειδικευμένων τεχνικών και πρωτοκόλλων που εφαρμόζονται, λαμβάνοντας υπόψιν τους αυξημένους περιορισμούς σε πόρους, οι οποίοι διέπουν τη λειτουργία των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

Στο Κεφάλαιο 1 κάναμε μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων, περιγράφοντας τη λειτουργία των κόμβων-αισθητήρων, τη χρησιμότητά τους και τους παράγοντες που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα της σχεδίασης ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Επιπλέον, περιγράψαμε εν συντομία κάποια από τα πεδία εφαρμογής των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων, καθώς και το μοντέλο OSI, ένα πρότυπο διαστρωμάτωσης της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου με τρόπο που να εξυπηρετεί την ομαλή επικοινωνία μεταξύ των συσκευών ή δικτύων με κοινώς αποδεκτές παραμέτρους και κανόνες.

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύσαμε εκτενώς την έννοια της δημοσίευσης των υπηρεσιών που προσφέρονται από έναν κόμβο-αισθητήρα σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, αναφερθήκαμε στη σημασία της ποιότητας των υπηρεσιών και τους περιορισμούς που συχνά συναντώνται στα δίκτυα αυτά, κυρίως όσον αφορά τους διαθέσιμους πόρους, αλλά και άλλους παράγοντες όπως περιβαλλοντικές συνθήκες, φυσικές καταστροφές κλπ., που παρεμποδίζουν σε ορισμένες περιπτώσεις την εξασφάλιση της βέλτιστης ποιότητας υπηρεσιών. Εν συνεχεία, περιγράψαμε λεπτομερώς κάποια από τα πρωτόκολλα εντοπισμού υπηρεσιών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, ορισμένα από τα οποία είναι ειδικά σχεδιασμένα για να προβλέπουν τη συμπεριφορά των κόμβων όταν οι διαθέσιμοι πόροι είναι περιορισμένοι, όπως συμβαίνει στα δίκτυα που εξετάζουμε, ή και για να αποτρέπουν τέτοιες καταστάσεις. Τέλος, αναφερθήκαμε επιγραμματικά σε κάποια περεταίρω πρωτόκολλα που αφορούν κυρίως την δρομολόγηση των πακέτων στα δίκτυα, ωστόσο η συνεισφορά τους είναι σημαντική όταν συνεργάζονται με τα πρωτόκολλα εντοπισμού υπηρεσιών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, μιας και φροντίζουν για την εξοικονόμηση πόρων, όπως η ενέργεια, η μνήμη, η υπολογιστική ισχύς και το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης.

Στο Κεφάλαιο 3 θα παραθέσουμε τα συμπεράσματα της μελέτης μας, θα αναφερθούμε στο επιστημονικό έργο που έχει δημοσιευθεί σχετικά με τον εντοπισμό υπηρεσιών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, καθώς και σε σχετικά θέματα που ακόμα χρειάζονται σκέψη και έρευνα για να φθάσουν στο επιθυμητό επίπεδο λειτουργικότητας και αποτελεσματικότητας. Τέλος, θα κλείσουμε με αναφορά στις προοπτικές και το μέλλον των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων, των τεχνικών δημοσίευσης των υπηρεσιών των κόμβων τους και των πρωτοκόλλων που διέπουν αυτή τη διαδικασία.

### 3.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη μελέτη μας ασχοληθήκαμε κυρίως με την περιγραφή και ανάλυση πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα της διαδικασίας δημοσιοποίησης μιας υπηρεσίας από έναν κόμβο του δικτύου, αλλά και εντοπισμού της υπηρεσίας αυτής από έναν άλλο κόμβο ή μία εξωτερική συσκευή.

Διαπιστώσαμε ότι κατά την διαδικασία αυτή, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η περιγραφή των υπηρεσιών, η οποία θα πρέπει να γίνεται με τρόπο αναγνωρίσιμο από τα δύο άκρα της επικοινωνίας, με κοινά αποδεκτές παραμέτρους και κωδικοποίηση. Μας απασχόλησε ιδιαίτερος η αναγκαιότητα σε πολλές περιπτώσεις ύπαρξης ενός καταλόγου ή πίνακα στον οποίο να καταγράφονται οι περιγραφές των διαφόρων υπηρεσιών, προκειμένου να μπορούν να διατεθούν σε κάποια συσκευή που αιτείται αυτών.

Συγχρόνως, είδαμε ότι στη βιβλιογραφία γίνεται εκτενής αναφορά στον τρόπο με τον οποίο αναζητώνται οι περιγραφές αυτές των υπηρεσιών σε ένα δίκτυο, πόσο εύκολο είναι να βρεθεί άμεση απόκριση και αν χρειάζεται να μεσολαβήσουν ενδιάμεσοι κόμβοι ειδικά προορισμένοι για αυτή τον σκοπό. Οι αναζητήσεις αυτές χωρίζονται σε επιμέρους διαδικασίες, κάθε μία από τις οποίες πρέπει να ολοκληρωθεί επιτυχώς για να προχωρήσει στην επόμενη.

Ένα ακόμα σημείο που μας απασχόλησε είναι η αναγκαιότητα διατήρησης και αύξησης του χρόνου ζωής των κόμβων και κατ' επέκταση ολόκληρου του δικτύου, με αυτοματοποιημένους τρόπους και μεθόδους εξοικονόμησης των πόρων του, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η απαίτηση της ανθρώπινης παρέμβασης για τη συντήρηση του δικτύου. Με άλλα λόγια, το δίκτυο θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αυξάνεται η ανοχή του σε σφάλματα ή άλλες απρόβλεπτες συνθήκες, όπως π.χ. η αλλαγή της περιγραφής των υπηρεσιών των κόμβων, αλλαγές στην τοπολογία, κλπ.

### 3.3. ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΕΡΕΥΝΑ

Κατά τη διάρκεια της μελέτης μας, ήδη σε ορισμένα σημεία αναφέραμε μαζί με τα πλεονεκτήματα του εκάστοτε πρωτοκόλλου, και κάποια αδύναμα σημεία του, τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν πεδίο περαιτέρω έρευνας. Κάποια από αυτά ήταν:

- Η ιδιότητα του πρωτοκόλλου GSD να μην κάνει διακρίσεις μεταξύ προσιτών και μη-προσιτών κόμβων, με αποτέλεσμα τα πακέτα να αποστέλλονται κανονικά και στους μη-προσιτούς κόμβους και εν συνεχεία να χάνονται. Η ανάπτυξη ενός μηχανισμού που θα εμποδίζει την απώλεια αυτών των πακέτων θα μπορούσε να αποτελέσει ζήτημα περαιτέρω έρευνας.
- Όπως είδαμε, στο πρωτόκολλο MQTT-S, δεν προβλέπεται η δημιουργία ουράς για την αναμονή των αποσταλθέντων πακέτων, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να αποθηκεύονται προσωρινά τα τυχόν πακέτα που αποστέλλονται προς τον ίδιο παραλήπτη, και έτσι να πρέπει να γίνει επανεκπομπή τους για να φθάσουν στον παραλήπτη, αν έχει προτεραιότητα κάποιο άλλο πακέτο. Αν και η απουσία ουράς μπορεί να είναι ευεργετική ως προς την εξοικονόμηση μνήμης στο δίκτυο, ίσως είναι δυνατή η ανάπτυξη μιας τεχνικής που να αυξάνει την



αξιοπιστία της επικοινωνίας στο πρωτόκολλο αυτό, διαβεβαιώνοντας ότι πακέτα που απεστάλησαν μία μόνο φορά, σίγουρα με κάποιον τρόπο θα παραληφθούν.

- Στο πρωτόκολλο SAR είδαμε ότι διατηρούνται πολυάριθμοι πίνακες, που μπορεί μεν να διευκολύνουν την ακριβή περιγραφή των δυνατών μονοπατιών κατά την διεκπεραίωση μιας επικοινωνίας, ωστόσο θα μπορούσε να βρεθεί ένας τρόπος να μην απαιτείται τόσο πολλή μνήμη για τέτοιου είδους πληροφορίες.

Πέρα από τους προβληματισμούς αυτούς που ήδη συναντήσαμε στο κύριο σώμα της εργασίας μας, υπάρχουν και μερικά ακόμα σημεία που εμπνέουν για περαιτέρω έρευνα, κάποια από τα οποία είναι τα εξής:

- Επεκτασιμότητα του δικτύου: Τα περισσότερα πρωτόκολλα δοκιμάζονται πραγματικά όταν αυξάνεται υπερβολικά το πλήθος των κόμβων σε ένα δίκτυο. Θα πρέπει να γίνει προσεκτική μελέτη και προσομοιώσεις των πρωτοκόλλων σε πολύ μεγάλα δίκτυα ώστε να επιβεβαιωθεί η προβλεπόμενη συμπεριφορά του συστήματος.
- Ασφάλεια και Εμπιστευτικότητα του δικτύου: Μιας και σε ένα πρωτόκολλο εντοπισμού υπηρεσιών είναι πολλές και διαφορετικές οι συσκευές που αλληλοεπιδρούν και συνεργάζονται, οπωσδήποτε τίθενται ζητήματα ασφαλείας και εμπιστευτικότητας των πληροφοριών που ανταλλάσσονται. Θα πρέπει να αφιερωθεί μεγαλύτερο μέρος της έρευνας στο πεδίο αυτό, μιας και όπως είδαμε, οι υλοποιήσεις των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων, εκτός από περιβαλλοντικές, γεωλογικές, επιστημονικού ενδιαφέροντος κλπ., αφορούν κρίσιμες εφαρμογές όπως ιατρικές ή διαφύλαξη σημαντικών υλικών αγαθών, εκτάσεων ή πληροφοριών.

### 3.4. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Ήδη τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων γνωρίζουν ταχύτατη εξέλιξη και εφαρμογή σε ολοένα και περισσότερα πεδία. Ωστόσο, όπως κάθε νέα τεχνολογία, προβλέπεται να γνωρίσει ακόμα μεγαλύτερη πρόοδο τα επόμενα χρόνια. Μία πρόκληση που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι επιστήμονες στην αρχιτεκτονική κάθε συσκευής, είναι η μείωση των διαστάσεων σε συνδυασμό με την αύξηση των λειτουργικών δυνατοτήτων.

Επιπλέον, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μία τεχνολογία που μπορεί να εξελιχθούν σε βαθμό τέτοιο ώστε να αλλάξει ριζικά την εικόνα σημαντικών εφαρμογών, όπως εφαρμογές που σχετίζονται με τη δημόσια ασφάλεια ή την ιατρική. Μπορούν να αυτοματοποιηθούν διαδικασίες που θα αυξάνουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα διαδικασιών μείζονος σημασίας.

Πέραν όμως των σημαντικών αυτών εφαρμογών, η τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε πεδίο μπορεί να χρειάζεται ένα μέτρο ελέγχου ώστε να διευκολύνει απλές δραστηριότητες της καθημερινότητας των ατόμων. Χιλιάδες μικροί αισθητήρες θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε δρόμους, αυτοκίνητα, ακόμα και κρεβάτια μωρών και ιατρικούς επιδέσμους, οπουδήποτε θα ήταν χρήσιμο να υπάρχει απομακρυσμένη πρόσβαση για έλεγχο της κατάστασης.

Με ορθή χρήση της τεχνολογίας των αισθητήρων, η κοινωνία θα μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση σε καινοτόμες εφαρμογές, να εξασφαλίσει την ομαλή λειτουργία άλλων εφαρμογών, την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα σε σημαντικά έργα αλλά και δραστηριότητες της καθημερινής ζωής των ατόμων. Συγχρόνως, πρόκειται για μια τεχνολογία φιλική προς το περιβάλλον, καθώς η τοποθέτηση αισθητήρων δεν απαιτεί μεγάλες ενιαίες εκτάσεις, παρά μόνο πολύ μικρά διασκορπισμένα σημεία σε μία έκταση, δεν περιλαμβάνει καλώδια, παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου των κόμβων εξ' αποστάσεως, ενώ η τοποθέτησή τους μία φορά είναι αρκετή και δεν χρειάζεται ανθρώπινη παρέμβαση για μεγάλο χρονικό διάστημα από τη στιγμή της τοποθέτησης και ενεργοποίησης των αισθητήρων, εάν τηρηθούν οι κατάλληλες προϋποθέσεις προγραμματισμού και συντήρησής τους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Wikipedia. *Wireless Sensor Network*. [online] Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_sensor\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network)
- [2] Tavli B., Bicakci K., Zilan R., Barcelo-Ordinas J.M..2011. *A survey of visual sensor network platforms*. [pdf] Springer Science+Business Media, LLC 2011
- [3] Akyildiz I.F., Melodia T., Chowdhury K.R..2006. *A survey on wireless multimedia sensor networks*. [pdf] Broadband and Wireless Networking Laboratory, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, United States
- [4] Akyildiz I.F., Can Vuran M. *Wireless Sensor Networks*. [online] Available at: [http://www.google.gr/books?hl=el&lr=&id=7YBHYJsSmS8C&oi=fnd&pg=PR7&dq=protocols+WSNs+publication&ots=QN2Qmn4iqg&sig=wbH\\_Z3N2KJPP5KR3BlhEss18-iE&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](http://www.google.gr/books?hl=el&lr=&id=7YBHYJsSmS8C&oi=fnd&pg=PR7&dq=protocols+WSNs+publication&ots=QN2Qmn4iqg&sig=wbH_Z3N2KJPP5KR3BlhEss18-iE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [5] McLellan L., Whittaker D., Workman S. *The OSI Reference Model*. [online] Available at: [http://billatnapier.com/cisco\\_presentation/osi31.pdf](http://billatnapier.com/cisco_presentation/osi31.pdf)
- [6] Bhuyan B., Sarma H.K.D., Sarma N., Kar A., Mall R.2010. *Quality of Service (QoS) Provisions in Wireless Sensor Networks and Related Challenges*. [pdf]
- [7] Karl H., Willig A. *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. [online] Available at: [http://www.google.gr/books?hl=el&lr=&id=170R-1aZsQYC&oi=fnd&pg=PR13&dq=qos++in+wireless+sensor+networks&ots=rIJBzzg6iW&sig=4j7TEPBQI92yR7Yyhk0dY4yHRY&redir\\_esc=y#v=onepage&q=qos%20%20in%20wireless%20sensor%20networks&f=false](http://www.google.gr/books?hl=el&lr=&id=170R-1aZsQYC&oi=fnd&pg=PR13&dq=qos++in+wireless+sensor+networks&ots=rIJBzzg6iW&sig=4j7TEPBQI92yR7Yyhk0dY4yHRY&redir_esc=y#v=onepage&q=qos%20%20in%20wireless%20sensor%20networks&f=false)
- [8] Mian A.N., Baldoni R., Beraldi R. *A Survey of Service Discovery Protocols in Multihop Mobile Ad Hoc Networks*. [pdf] University of Rome La Sapienza
- [9] Varshavsky A., Reid B., De Lara E. *The Need for Cross-Layer Service Discovery in MANETs*. [pdf] Department of Computer Science, University of Toronto
- [10] Mian A.N., Beraldi R., Baldoni R. *Survey of Service Discovery Protocols in Mobile Ad Hoc Networks – Technical Report 4/06*. [pdf] Available at: <http://www.dis.uniroma1.it/~midlab/articoli/SSDP.pdf>
- [11] Ververidis C.N., Polyzos G.C. *Service Discovery for Mobile Ad Hoc Networks: A Survey of Issues and Techniques*. [pdf] Member, IEEE
- [12] Gao Z., Wang L., Yang X., Wen D.2006. *PCPGSD: An enhanced GSD service discovery protocol for MANETs*. [pdf] Available at: <http://gs1.dlut.edu.cn/newVersion/Files/dsxx/1397.pdf>
- [13] Helal S., Desai N., Verma V., Lee C. *Konark – A Service Discovery and Delivery Protocol for Ad-Hoc Networks*. [pdf] Available at: [http://www.icta.ufl.edu/projects/publications/konark\\_wcnc2003.pdf](http://www.icta.ufl.edu/projects/publications/konark_wcnc2003.pdf)
- [14] Guttman E., Sun Microsystems. *SERVICE LOCATION PROTOCOL: Automatic Discovery of IP Network Services*. [pdf] Available at: [http://www.cs.colorado.edu/~rhan/CSCI\\_7143\\_002\\_Fall\\_2001/Papers/Guttman99\\_SLP.pdf](http://www.cs.colorado.edu/~rhan/CSCI_7143_002_Fall_2001/Papers/Guttman99_SLP.pdf)

- [15] IANA. *Introducing IANA*. [online] Available at:  
<<https://www.iana.org/about>>
- [16] Guttman E., Perkins C., Sun Microsystems, Veizades J., @Home Network, Day M., Vinca Corporation. *Service Location Protocol, Version 2*. [online] Available at:  
<<https://www.ietf.org/rfc/rfc2608.txt>>
- [17] Wikipedia. *Echelon Corporation*. [online] Available at:  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Echelon\\_Corporation](http://en.wikipedia.org/wiki/Echelon_Corporation)>
- [18] Wikipedia. *LonWorks*. [online] Available at:  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/LonWorks>>
- [19] North Beach Consulting, LLC. *Lonworks Fundamentals – A Guide to a Basic Understanding of the LonTalk Protocol*. [pdf] Available at:  
<<http://www.circon.com/wp-content/uploads/2011/03/LonWorks-Fundamentals.pdf>>
- [20] LONMARK Interoperability Association. *LONMARK Functional Profile: Chiller*. [pdf] Available at:  
<[http://www.lonmark.org/technical\\_resources/guidelines/docs/profiles/8040\\_10.pdf](http://www.lonmark.org/technical_resources/guidelines/docs/profiles/8040_10.pdf)>
- [21] Garcia Davis E., Calveras A., Demirkol I. *Improving Packet Delivery Performance of Publish/Subscribe Protocols in Wireless Sensor Networks*. [online] Available at:  
<<http://www.mdpi.com/1424-8220/13/1/648/htm>>
- [22] Stanford-Clark A., Truong H.L. 2013. *MQTT For Sensor Networks (MQTT-SN) Protocol Specification*. [pdf] Available at:  
<[http://mqtt.org/new/wp-content/uploads/2009/06/MQTT-SN\\_spec\\_v1.2.pdf](http://mqtt.org/new/wp-content/uploads/2009/06/MQTT-SN_spec_v1.2.pdf)>
- [23] Henderson W.D., Tron S. *Verification of The Minimum Cost Forwarding Protocol for Wireless Sensor Networks*. [pdf] Available at:  
<<http://computing.unn.ac.uk/staff/cgwh1/HT06.pdf>>
- [24] Wikipedia. *Dijkstra Algorithm*. [online] Available at:  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s_algorithm)>
- [25] Boukerche A. *ALGORITHMS AND PROTOCOLS FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS*. [online] Available at:  
<[http://books.google.gr/books?id=BcYvA9x95D0C&pg=PA378&lpg=PA378&dq=reliable+information+forwarding+protocol+wsn&source=bl&ots=L342HI5ST8&sig=-Ay2Snwtk-YKCgK-dZbgPelPfyk&hl=el&sa=X&ei=wjVQVJn4PKX\\_ygPviYGwBA&ved=0CCMQ6AEwAA#v=onepage&q=reliable%20information%20forwarding%20protocol%20wsn&f=false](http://books.google.gr/books?id=BcYvA9x95D0C&pg=PA378&lpg=PA378&dq=reliable+information+forwarding+protocol+wsn&source=bl&ots=L342HI5ST8&sig=-Ay2Snwtk-YKCgK-dZbgPelPfyk&hl=el&sa=X&ei=wjVQVJn4PKX_ygPviYGwBA&ved=0CCMQ6AEwAA#v=onepage&q=reliable%20information%20forwarding%20protocol%20wsn&f=false)>
- [26] *Proximity Graphs*. [online] Available at:  
<<http://math.sfsu.edu/beck/teach/870/brendan.pdf>>
- [27] Kumar V., Patel R.B., Singh M., Vaid R. 2011. *Markov Model for Reliable Delivery in Wireless Sensor Networks*. [pdf] Available at:  
<<http://ijcsi.org/papers/IJCSI-8-3-1-429-432.pdf>>