

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΥΠΙΝΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ  
ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ**

**Γαβριήλ Κοσιάρης**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ**



**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Μάιος 2014**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Σύστημα Έξυπνης Στάθμευσης Με Την Χρήση**  
**Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων**

**Γαβριήλ Κοσιάρης**

Επιβλέπων Καθηγητής  
Βάσος Βασιλείου

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάιος 2014

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα καταρχάς να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βάσο Βασιλείου για την καθοδήγηση και την βοήθεια που μου πρόσφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε καθ' όλη την διάρκεια του πτυχίου μου.

## Περίληψη

Μία ξεχωριστή κατηγορία δικτύων που καλύπτει μεγάλο φάσμα εφαρμογών είναι η κατηγορία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) έχουν απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό τους ερευνητές λόγω του ότι έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα αλλά και ιδιαιτερότητες.

Ουσιαστικά ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από κόμβους αισθητήρες, μικρούς σε μέγεθος. Κάθε κόμβος είναι σχετικά αυτόνομος και έχει μικρή υπολογιστική ισχύ. Ένα δίκτυο μπορεί να αποτελείται από μερικούς έως και εκατοντάδες κόμβους.

Το πρόβλημα που θα μελετήσουμε είναι το πρόβλημα της στάθμευσης στις πόλεις. Για να μπορούμε να διαχειριστούμε αποδοτικά τους χώρους στάθμευσης πρέπει ο χρήστης να γνωρίζει που ακριβώς υπάρχει ελεύθερη θέση στάθμευσης έτσι ώστε να πάει κατευθείαν στον συγκεκριμένο χώρο και να μην περιπλανάτε άσκοπα ψάχνοντας θέση για να σταθμεύσει.

Για να έχουμε μια γενική εικόνα για την λύση του προβλήματος μελετήσαμε προτάσεις από διάφορες εταιρίες που προσφέρουν ολοκληρωμένες εφαρμογές για χώρους στάθμευσης. Κάθε εταιρία χρησιμοποιεί διαφορετική τεχνολογία για την δημιουργία του δικτύου αισθητήρων και προσφέρει διαφορετικές υπηρεσίες στους χρήστες.

Στην δική μας εφαρμογή για την οργάνωση και διαχείριση των χώρων σταθμεύσεις έχουμε κτίσει ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων όπου κάθε θέση θα παρακολουθείτε από ένα ασύρματο αισθητήρα για να γνωρίζουμε την κατάσταση της θέσης (αν η θέση είναι ελεύθερη ή κρατημένη). Επίσης για να μπορούμε να μεταφέρουμε στον τελικό χρήστη την εικόνα του χώρου στάθμευσης δημιουργήσαμε μια εφαρμογή η οποία συλλέγει και οργανώνει τις πληροφορίες που καταφθάνουν από τους κόμβους του δικτύου και μετά από επεξεργασία των δεδομένων παρουσιάζει στον χρήστη σε μια οθόνη που υπάρχει κρατημένη και ελεύθερη θέση. Με βάση κάποιο αλγόριθμο που δημιουργήσαμε η εφαρμογή παρουσιάζει και την πιο κοντινή θέση που υπάρχει.

Για να αισθανόμαστε την έλευση κάποιου αυτοκινήτου μελετήσαμε την χρήση τεσσάρων ειδών αισθητήρων: αισθητήρα φωτός, μαγνητικού πεδίου, πίεσης και υπέρυθρων ακτινών. Καταγράψαμε τα υπέρ και τα κατά της κάθε περίπτωσης και πώς μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το κάθε είδος στην εφαρμογή.

Τέλος αξιολογήσαμε την εφαρμογή καταγράφοντας τους χρόνους απόκρισης του συστήματος, παρατηρώντας την κατανάλωση ενέργειας των κόμβων και την επεκτασιμότητα της εφαρμογής.

# Περιεχόμενα

|                     |                                                            |    |
|---------------------|------------------------------------------------------------|----|
| <b>Κεφάλαιο 1</b>   | Εισαγωγή.....                                              | 1  |
|                     | 1.1 Έξυπνες πόλεις                                         | 1  |
|                     | 1.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων                                | 2  |
|                     | 1.3 Το πρόβλημα της στάθμευσης στις πόλεις                 | 4  |
|                     | 1.4 Η προτεινόμενη λύση                                    | 4  |
|                     | 1.5 Μεθοδολογία                                            | 5  |
|                     | 1.6 Δομή της διπλωματικής                                  | 6  |
| <b>Κεφάλαιο 2</b>   | Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.....                            | 7  |
|                     | 2.1 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων                             | 7  |
|                     | 2.2 Χαρακτηριστικά Ασύρματων δικτύων αισθητήρων            | 8  |
|                     | 2.3 Εφαρμογές και χρήσεις των Ασύρματων δικτύων αισθητήρων | 8  |
|                     | 2.4 Κόμβοι αισθητήρων                                      | 9  |
|                     | 2.5 Κόμβοι αισθητήρων CM5000 Telosb                        | 10 |
| <b>Κεφάλαιο 3</b>   | Προγραμματισμός κόμβων αισθητήρων.....                     | 12 |
|                     | 3.1 Το Λειτουργικό Σύστημα TinyOS                          | 12 |
|                     | 3.2 Hardware Abstraction Architecture                      | 14 |
|                     | 3.3 Βασικά χαρακτηριστικά της γλώσσας nesC                 | 15 |
| <b>Κεφάλαιο 4</b>   | Εφαρμογή Έξυπνης Στάθμευσης .....                          | 18 |
|                     | 4.1 Εισαγωγή για την έξυπνη στάθμευση                      | 18 |
|                     | 4.2 Επισκόπηση υπαρχουσών λύσεων                           | 18 |
|                     | 4.3 Η εφαρμογή SPARK                                       | 23 |
| <b>Κεφάλαιο 5</b>   | Συμπεράσματα .....                                         | 51 |
|                     | 5.1 Συμπεράσματα                                           | 51 |
|                     | 5.2 Μελλοντικές δυνατότητες εφαρμογής                      | 52 |
| <b>Βιβλιογραφία</b> | .....                                                      | 54 |



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

---

|                                                |   |
|------------------------------------------------|---|
| 1.1 Έξυπνες Πόλεις .....                       | 1 |
| 1.2 Διαδίκτυο Των Πραγμάτων.....               | 2 |
| 1.3 Το Πρόβλημα Της Στάθμευσης Στις Πόλεις ... | 4 |
| 1.4 Η Προτεινόμενη Λύση .....                  | 4 |
| 1.5 Μεθοδολογία.....                           | 5 |
| 1.6 Δομή Της Διπλωματικής .....                | 6 |

---

### 1.1 Έξυπνες Πόλεις

Έξυπνες πόλεις χαρακτηρίζονται οι πόλεις οι οποίες χρησιμοποιούν αυτόνομα δίκτυα και διαδικτυακές εφαρμογές για την παρακολούθηση και τον έλεγχο λειτουργιών μέσα στην πόλη [16]. Σκοπός των έξυπνων πόλεων είναι να αποδώσουν στο μέγιστο όσον αφορά την διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας, να διευκολύνουν τους κατοίκους στην χρήση των δημόσιων υπηρεσιών, να διαχειρίζονται αποδοτικά το οδικό δίκτυο κυκλοφορίας και γενικά να χρησιμοποιούν έξυπνες καινοτομίες για καλύτερη ποιότητα ζωής στις πόλεις.



Εικόνα 1-Έξυπνη Πόλη [17]

Για την υλοποίηση εφαρμογών στις έξυπνες πόλεις χρησιμοποιούμε μια ξεχωριστή τεχνολογία δικτύων η οποία ονομάζεται ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Στόχος είναι να χτιστούν αυτόνομα δίκτυα τα οποία θα μας παρέχουν διάφορες μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο τις οποίες θα επεξεργαζόμαστε και είτε θα τι μεταφέρουμε στους πολίτες για ενημέρωση είτε θα εκτελούμε κάποια λειτουργία.

Παραδείγματα εφαρμογών που χρησιμοποιούνται είναι η παρακολούθηση του οδικού δικτύου για να αλλάζουν με δυναμικό τρόπο τα φώτα τροχαίας, η παρακολούθηση φραγμάτων για το υψόμετρο του νερού, η έξυπνη διαχείριση των χώρων στάθμευσης και δίκτυα για αυτόματο πότισμα των δημόσιων πάρκων.

Συνήθεις παράδειγμα έξυπνης πόλεις στην Ευρώπη είναι η πόλη της Βαρκελώνης όπου έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες στους κάδους των απορριμμάτων για να ειδοποιούν τους εργάτες του δήμου πότε είναι πλήρης. Επίσης η ύδρευση στα δημόσια πάρκα ελέγχεται από ένα έξυπνο σύστημα που παρακολουθεί συνεχώς την υγρασία και θέτει σε λειτουργία το σύστημα ποτίσου μόνο όταν είναι ανάγκη.

Μια έξυπνη πόλη δεν δημιουργείτε μόνο για την εξοικονόμηση των πόρων αλλά και για να υποφέρει επιπλέον έσοδα στην πόλη. Στην Βαρκελώνη εκτιμάτε ότι από τον περιορισμό στην κατανάλωση νερού το οικονομικό κέρδος θα αγγίζει τα 42.2 εκατομμύρια ευρώ [18].

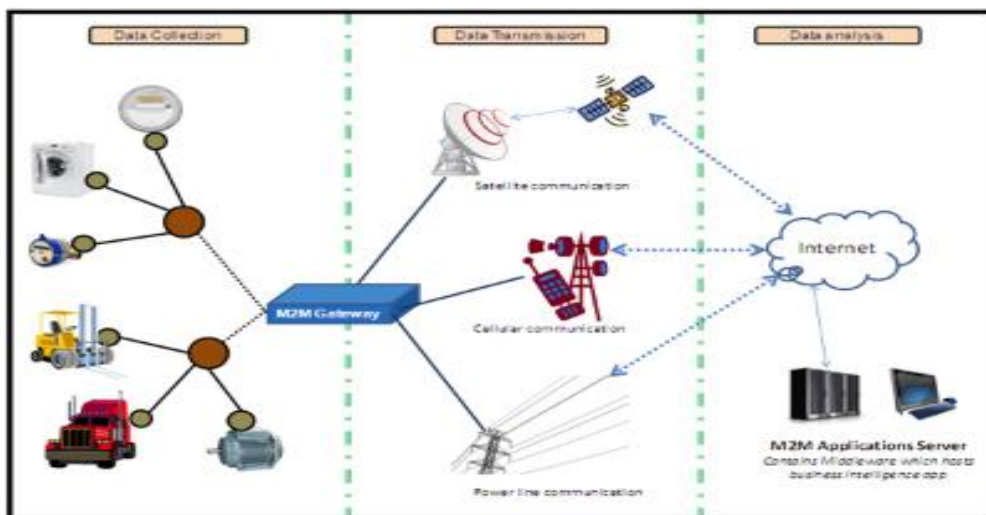
Η μετατροπή των πόλεων σε έξυπνες πόλεις μας αποφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Η ζωή στην πόλη γίνεται πιο ξεκούραστη, αποφεύγετε η συμφόρηση στο οδικό δίκτυο, γίνεται καλύτερη διαχείριση των πόρων όπως το νερό, τα καύσιμα και η ηλεκτρική ενέργεια και επωφελείται σημαντικά το περιβάλλον.

## **1.2 Διαδίκτυο Των Πραγμάτων (Internet of things) [19]**

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων είναι μια μελλοντική κατάσταση κατά την οποία όλα τα αντικείμενα που χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητα μας θα είναι ασύρματα συνδεδεμένα κάτω από το ίδιο δίκτυο. Οι συσκευές που χρησιμοποιούμε χρόνο με τον χρόνο γίνονται όλο και πιο μικρές και το μεγαλύτερο ποσοστό έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί με το διαδίκτυο.

Σύμφωνα με έρευνες [20] ο μέσος άνθρωπος έχει τουλάχιστο 2 συσκευές οι οποίες έχουν την δυνατότητα να ενώνονται με το διαδίκτυο. Μέχρι το 2015 ο αριθμός αναμένεται να αυξηθεί στις 7 συσκευές κατά μέσο όρο και παγκόσμιος υπολογίζεται ότι θα υπάρχουν 25 δισεκατομμύρια συσκευές συνδεδεμένες στο διαδίκτυο. Το 2020 ο αριθμός των συσκευών στο διαδίκτυο αναμένεται ότι θα διπλασιαστεί φτάνοντας τα 50 δισεκατομμύρια.





Εικόνα 2-Διαδίκτυο των πραγμάτων [19]

Οι συσκευές που θα έχουν την δυνατότητα να είναι συνδεδεμένες με το διαδίκτυο δεν θα είναι μόνο υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα αλλά οτιδήποτε συσκευή αρχίζοντας από οικιακές συσκευές, ρούχα μέχρι και τρόφιμα. Σκοπός αυτού του οράματος είναι όλες οι συσκευές και τα αντικείμενα να είναι συνδεδεμένα κάτω από το ίδιο δίκτυο έτσι ώστε να είναι δυνατό να μπορούμε να αντλούμε πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του κάθε αντικειμένου αλλά και να μπορούμε να αλληλεπιδράσουμε μαζί του.

Το τι θα μπορούμε να κάνουμε όταν όλες οι συσκευές μιλούν με το διαδίκτυο είναι να συγχρονίσουμε τις οικιακές συσκευές του σπιτιού μας με συνήθειες της καθημερινότητας μας. Για παράδειγμα όταν έρθει η ώρα που θα πρέπει να ξυπνήσουμε το πρωί να ξεκινά το κλιματιστικό για να ανεβάσει την θερμοκρασία του δωματίου μας, να ανάβει ο θερμοσίφωνας για να έχει ζεστό νερό να κάνουμε μπάνιο και η καφετιέρα να μας ετοιμάζει τον καφέ μας.

Σήμερα υπάρχουν πολλά ενδιαφέροντα έργα τα οποία ενσωματώνουν σε αντικείμενα της καθημερινότητας μας την δυνατότητα να συνδέονται στο διαδίκτυο. Σε εκθέσεις πληροφορικής παρουσιάστηκαν έξυπνα αντικείμενα όπως βρεφικά ρούχα τα οποία καταγράφουν την αναπνοή και τη θέση του μωρού και ενημερώνουν μέσω διαδικτύου τους γονείς, οικιακές συσκευές που ελέγχονται μέσω διαδικτύου και μπάλες καλαθόσφαιρας οι οποίες έχουν πάνω τους ενσωματωμένους αισθητήρες.

Λόγω του ότι με την ολοκλήρωση του διαδικτύου των πραγμάτων κάθε άνθρωπος ή αντικείμενο θα μπορεί να εντοπιστεί υπάρχουν πολλά ζητήματα ασφαλείας και προστασίας προσωπικών δεδομένων τα οποία πρέπει να επιλυθούν. Ζητήματα όπως ο τρόπος εκμετάλλευσης των προσωπικών δεδομένων, η λεπτομερής παρακολούθηση, η λήψη αυτόματων αποφάσεων και η απουσία δυνατότητας να μείνει κάποιος ανώνυμος απασχολούν

πολύ την επιστημονική κοινότητα και κάνουν την πρακτική εφαρμογή του διαδικτύου των πραγμάτων ακόμη πιο περίπλοκη.

### **1.3 Το Πρόβλημα Της Στάθμευσης Στις Πόλεις**

Στις μεγάλες πόλεις, λόγω του αυξημένου πληθυσμού παρατηρείτε συχνά συμφόρηση στους δρόμους με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δυστυχήματα και να καθιστάτε η κυκλοφορία στις πόλεις δύσκολη. Ένα άλλο φαινόμενο είναι η δημιουργία περιοχών στις οποίες συγκεντρώνεται αυξημένος αριθμός ατόμων όπως εμπορικά κέντρα και τουριστικές περιοχές. Συνέπεια του ότι υπάρχει πολυκοσμία σε μια περιοχή είναι ότι θα υπάρχει και αυξημένη έλευση αυτοκινήτων τα οποία θα πρέπει να σταθμεύσουν κάπου.

Έρευνες δείχνουν [6] ότι το 30% της συμφόρησης του οδικού δικτύου οφείλεται στους οδηγούς που ψάχνουν για παρκινγκ. Αυτό έχει σαν συνέπειες τον εκνευρισμό των οδηγών, την αχρείαστη σπατάλη καύσιμων, την ρύπανση του περιβάλλοντος, ηχορύπανση και την σπατάλη χρόνου.

Για να αποφύγουμε αυτές τις συνέπειες πρέπει να αναπτύξουμε λύσεις που να κάνουν σωστή διαχείριση των διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης. Οι τεχνολογίες που έχουμε σήμερα μας επιτρέπουν να εφαρμόσουμε έξυπνες λύσεις πετυχαίνοντας αποτελεσματική χρήση και διαχείριση των παρκινγκ. Με την χρήση αισθητήρων μπορούμε να αντιληφθούμε όταν κάποιο αυτοκίνητο σταθμεύει σε κάποια θέση ή φύγει από κάποια θέση και έτσι να αλληλεπιδρούμε με κάποιο σύστημα που μέσω αυτού θα ενημερώνονται οι χρήστες. Η Navigant Research ( <http://www.navigantresearch.com/> ) προβλέπει ότι μέχρι το 2020 θα εγκατασταθούν περισσότερες από 950,000 έξυπνες θέσεις σε όλο τον κόσμο.

### **1.4 Η Προτεινόμενη Λύση**

Προφανώς το πρόβλημα της στάθμευσης στις πόλεις δεν μπορεί να λυθεί εντελώς γιατί ο αριθμός των αυτοκινήτων αυξάνεται συνεχώς και ούτος η άλλος δεν μπορούμε να έχουμε χώρο στάθμευσης για κάθε αυτοκίνητο. Δημιουργώντας πολυώροφα κτήρια ή ακόμα και υπόγεια μπορούμε να αυξήσουμε τους χώρους στάθμευσης σε περιοχές όπου δεν υπάρχει αρκετός χώρος.

Παρόλα αυτά το ριζικό πρόβλημα δεν λύνεται. Ακόμη και με αρκετούς χώρους στάθμευσης σε πολυώροφα κτήρια δεν μπορούν να ανατραπούν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι οδηγοί γιατί πολύ απλά δεν θα γνωρίζουν που υπάρχει διαθέσιμος χώρος στάθμευσης και θα περιπλανώνται άσκοπα.

Αυτό που μπορεί να λύσει τα προβλήματα της στάθμευσης στις πόλεις ή τουλάχιστο να βελτιώσει τις συνθήκες σε αρκετά μεγάλο βαθμό είναι να ξέρει ο οδηγός που υπάρχει ανά πάσα στιγμή χώρος στάθμευσης για να πάει να σταθμεύσει. Με αυτό τον τρόπο οι οδηγοί δεν θα περιπλανώνται άσκοπα και έτσι θα μειωθεί η συμφόρηση στους δρόμους και κατά συνέπεια η ρύπανση του περιβάλλοντος, η ηχορύπανση και η σπατάλη καυσίμων και χρόνου.

Για να ξέρει ο οδηγός σε πραγματικό χρόνο που υπάρχει διαθέσιμη θέση στάθμευσης πρέπει με κάποιο τρόπο να παρακολουθούνται οι θέσεις και όταν κάποια θέση κρατηθεί να μπορούμε να το καταλαβαίνουμε και να το μεταφέρουμε στον χρήστη. Παρομοίως όταν κάποια θέση ελευθερωθεί θα θέλουμε να μπορεί να το δει ο οδηγός για να πάει να σταθμεύσει.

Η λύση που προτείνουμε είναι η δημιουργία ενός δικτύου που αποτελείται από ασύρματους κόμβους αισθητήρων το οποίο θα εγκατασταθεί στον χώρο στάθμευσης και θα παρακολουθεί την κατάσταση των θέσεων. Κάθε θέση θα έχει εγκατεστημένο ένα ασύρματο κόμβο ο οποίος θα αισθάνεται, εκτελώντας κάποιες μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο, πότε έχει αυτοκίνητο σταθμευμένο στην συγκεκριμένη θέση και ακολούθως θα στέλνει τις μετρήσεις του στον εξυπηρετητή. Ο εξυπηρετητής με βάση τις τιμές από τους αισθητήρες θα υπολογίζει αν μια θέση είναι κρατημένη ή ελεύθερη και θα αναπαριστά το στιγμιότυπο του χώρου στάθμευσης στον τελικό χρήστη σε πραγματικό χρόνο.

Έτσι ο χρήστης μπορεί να γνωρίζει εκ των προτέρων που υπάρχει διαθέσιμη θέση στάθμευσης, μπορεί να δει συνολικά πόσες ελεύθερες θέσεις υπάρχουν και επίσης με την χρήση κάποιου αλγόριθμου μπορεί να ξέρει και ποια είναι η πιο κοντινή θέση προς αυτόν.

## **1.5 Μεθοδολογία**

Η μεθοδολογία που ακολούθησα για την διεκπεραίωση της διπλωματικής ήταν αρχικά να μελετήσω την τεχνολογία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων για να μπορέσω να καταλάβω την λογική που έπρεπε να ακολουθεί η εφαρμογή. Στη συνέχεια μελέτησα την είδη υπάρχουσα εφαρμογή η οποία είχε ξεκινήσει από προηγούμενο φοιτητή. Η εφαρμογή ήταν σε αρχικό στάδιο. Μπορούσε να υποστηρίξει μόνο δέκα κόμβους στο δίκτυο με συγκεκριμένους αριθμούς ταυτότητας και χρησιμοποιούσε μόνο αισθητήρα φωτός.

Αρχικά έπρεπε να διορθώσω την εφαρμογή για να είναι πιο ευέλικτη στον αριθμό των κόμβων που υποστηρίζει και να μην έχει περιορισμό στους αριθμούς ταυτότητας που χρησιμοποιούμε. Στην συνέχεια εντάξαμε στην εφαρμογή περισσότερους τρόπους για να αισθανόμαστε. Συγκεκριμένα εκμεταλλευτήκαμε αισθητήρες που είχαμε διαθέσιμους και η εφαρμογή τώρα μπορεί να χρησιμοποιήσει τέσσερα είδη αισθητήρων : αισθητήρα φωτός, αισθητήρα μαγνητικού πεδίου, αισθητήρα πίεσης και αισθητήρα υπέρυθρων ακτινών.

Ακολουθώντας για να δημιουργήσουμε αξιοπιστία στο δίκτυο μας προσθέσαμε την δυνατότητα να έχουμε δύο αισθητήρες σε κάθε θέση για να μπορούμε να επαληθεύουμε την κατάσταση της θέσης στάθμευσης. Ο τύπος των δύο αισθητήρων δεν μας περιορίζει ενώ ταυτόχρονα μπορούμε να έχουμε σε κάποιες θέσεις ένα αισθητήρα και σε κάποιες άλλες δύο αισθητήρες. Τέλος μελετήσαμε κάποιες συγκεκριμένες περιπτώσεις και καταγράψαμε μετρήσεις για να δούμε την συμπεριφορά του δικτύου όσον αφορά την επικοινωνία και την αξιοπιστία των κόμβων.

## **1.6 Δομή Της Διπλωματικής**

Στην παρούσα διπλωματική θα αρχίσουμε μελετώντας τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Στο Κεφάλαιο 2 θα δούμε τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα αλλά και τους περιορισμούς που έχουμε σε αυτή την ιδική κατηγορία δικτύων.

Στο Κεφάλαιο 3 θα ασχοληθούμε με τον τρόπο που προγραμματίζουμε τους κόμβους και την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε.

Στο Κεφάλαιο 4 θα ασχοληθούμε με το πρόβλημα της στάθμευσης στις πόλεις και θα παρουσιάσουμε προτάσεις που προτείνουν μεγάλες εταιρίες που μελετούν και προσφέρουν λύσεις για εφαρμογές έξυπνου παρκινγκ. Θα παρατηρήσουμε τον τρόπο που επιλύουν το πρόβλημα και την τεχνολογία που χρησιμοποιεί η κάθε εταιρία.

Στη συνέχεια του ίδιου κεφαλαίου θα παρουσιάσουμε την λύση που προτείνουμε εμείς και θα αναλύσουμε την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις λεπτομέρειες των υλικών. Θα δώσουμε την βασική δομή του δικτύου των αισθητήρων αλλά και της εφαρμογής που διαχειρίζεται τις πληροφορίες που παίρνουμε από το δίκτυο των αισθητήρων. Επίσης θα κάνουμε αξιολόγηση της λύσης όσον αφορά την επικοινωνία στο δίκτυο, την χρησιμότητα των υπηρεσιών που προσφέρουμε στον χρήστη και κατά πόσο η εφαρμογή ανταποκρίνεται στα κριτήρια και τους στόχους σε σχέση με τις προτάσεις που μελετήσαμε από άλλες εταιρίες.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5, θα παρουσιάσουμε συμπεράσματα που εξάγαμε από όλη την μελέτη που έγινε κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής και θα προτείνουμε μελλοντικές υπηρεσίες που μπορούν να αναπτυχθούν επεκτείνοντας την εφαρμογή της έξυπνης στάθμευσης.

# Κεφάλαιο 2

## Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

---

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Χαρακτηριστικά Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.....            | 7  |
| 2.3 Εφαρμογές και Χρήσεις των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων..... | 8  |
| 2.4 Κόμβοι Αισθητήρων.....                                      | 9  |
| 2.5 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κόμβων Αισθητήρων.....               | 10 |

---

### 2.1 Χαρακτηριστικά Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensors Networks WSN ) είναι μία υποκατηγορία των δικτύων MANETs (Mobile ad hoc networks) [1]. Σε αυτή την κατηγορία δικτύων το δίκτυο αποτελείται από πολλούς κόμβους που επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους. Η πληροφορία τις πιο πολλές φορές για να φτάσει στον προορισμό της μεταφέρεται από κόμβο σε κόμβο (hop-by-hop). Αυτού του είδους τα δίκτυα βρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου η πρόσβαση στην περιοχή δεν είναι εύκολη ή η δημιουργία ενσύρματου δικτύου δεν είναι και η καλύτερη λύση είτε από πλευράς υλοποίησης του δικτύου είτε από οικονομικής πλευράς. Παραδείγματα χρήσης των WSN είναι σε δάση για εντοπισμό φωτιάς κάνοντας ανάλυση της αναλογίας του οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα, παρακολούθηση περιβάλλοντος μετρώντας την ένταση του αέρα ή την υγρασία, εντοπισμός κάποιου που εισήλθε στον χώρο που παρακολουθείται από το δίκτυο ή ακόμα και σε συναυλίες για έλεγχο του ήχου σε συγκεκριμένα σημεία.

Ένα δίκτυο μπορεί να αρχίζει από μερικές δεκάδες έως και κάποιες εκατοντάδες κόμβους. Οι κόμβοι είτε αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον είτε διεξάγουν μετρήσεις τις οποίες μεταφέρουν από κόμβο σε κόμβο σε κάποιο κεντρικό σημείο όπου γίνεται ο υπολογισμός.

Οι κύριοι τρόποι που μπορούμε να αναπτύξουμε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι να κάνουμε τυχαία κατανομή των κόμβων είτε να τοποθετήσουμε τους αισθητήρες με μια προκαθορισμένη τοπολογία. Επίσης οι κόμβοι μπορεί να εισέρχονται στο δίκτυο δυναμικά αλλάζοντας την θέση τους ανάλογα με την εφαρμογή.

### **Χαρακτηριστικά [1]**

Οι κόμβοι στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων λόγω της χρήσης τους έχουν τα δικά τους χαρακτηριστικά. Από τα χαρακτηριστικά παρατηρούμε ότι η χρήση των κόμβων πρέπει να για συγκεκριμένο σκοπό, οι ασύρματοι αισθητήρες δεν είναι γενικής χρήσης.

- **Χαμηλή κατανάλωση :** Η διάρκεια ζωής ενός κόμβου εξαρτάται συνήθως από μια μπαταρία. Έτσι όσο πιο χαμηλή είναι η κατανάλωση ενέργειας τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η διάρκεια ζωής του κόμβου. Επομένως η εφαρμογή που θα σχεδιαστεί πρέπει να λαμβάνει υπόψη αυτόν το παράγοντα και να κάνει όσο το δυνατό εξοικονόμηση ενέργειας.
- **Χαμηλό κόστος :** Το χαμηλό κόστος αγοράς των κόμβων είναι σημαντικό. Όπως αναφέραμε και γρηγορότερα ένα δίκτυο μπορεί να περιέχει μεγάλο αριθμό κόμβων. Ένα παράδειγμα είναι ένα δίκτυο σε κάποιο δάσος για παρακολούθηση πυρκαγιάς. Για αυτό το δίκτυο θα χρειαστεί μεγάλος αριθμός κόμβων, συνεπώς θα χρειαστεί και μεγάλο κεφάλαιο για υλοποίηση του δικτύου.
- **Απλότητα :** Ο περιορισμός που έχουμε στην κατανάλωση ενέργειας και η χαμηλή υπολογιστική δύναμη των κόμβων αισθητήρων μας οδηγούν στη σχεδίαση απλών αλλά αποδοτικών αλγορίθμων έτσι ώστε να κρατούμε την λειτουργία του όσο το δυνατό απλούστερη.
- **Απόδοση :** Σε αυτού του είδους τα δίκτυα δεν μας ενδιαφέρει τόσο η ταχύτητα αποστολής των δεδομένων όσο η αξιοπιστία στην μετάδοση. Έτσι προτιμούμε να χαμηλώσουμε την ταχύτητα και να κερδίσουμε στο ότι δεν θα έχουμε αναμεταδόσεις πακέτων.

### **2.2 Εφαρμογές Και Χρήσεις Των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων [1]**

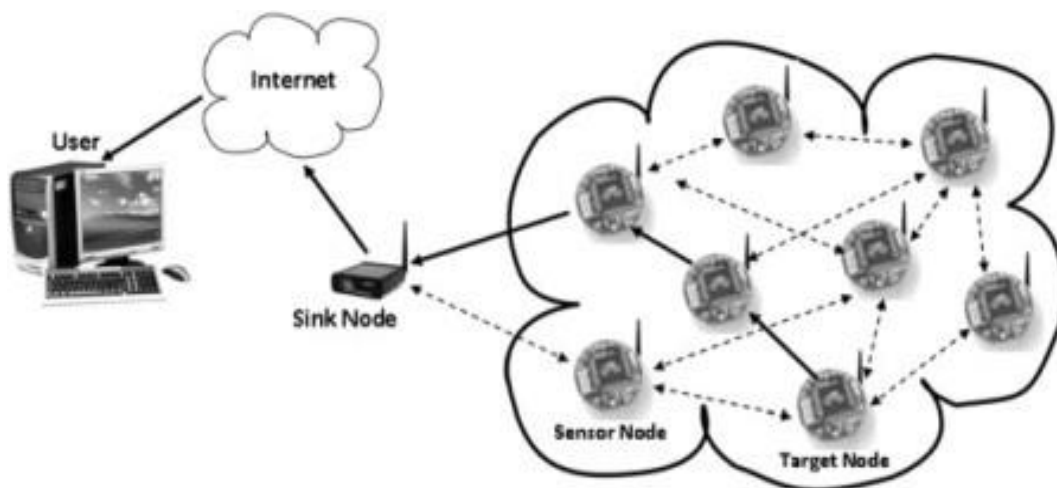
Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η λύση μας σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει ενσύρματη κάλυψη επικοινωνίας, σταθερή παροχή ενέργειας ή η τοπολογία του εδάφους είναι δύσβατη. Έτσι τα συναντούμε σε εφαρμογές όπως :

- **Στρατιωτικές εφαρμογές :** Αρχικά τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αναπτύχθηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς ενώ στη συνέχεια επεκτάθηκαν και στους υπόλοιπους τομείς. Σκοπός ήταν ο απομακρυσμένος έλεγχος του πεδίου μάχης, ο εντοπισμός παράνομου εισβολέα σε στρατιωτικές περιοχές, ο έλεγχος στρατιωτικών μηχανών κτλ.

- **Παρακολούθηση Περιοχής :** Η παρακολούθηση περιοχής είναι μια κοινή χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο έχει αναπτυχτεί για να παρακολουθήσουμε ένα γεγονός. Πολλοί διασκορπισμένοι αισθητήρες στην περιοχή εντοπίζουν κίνηση, φως θερμοκρασία κ.α.
- **Παρακολούθηση ποιότητας των υδάτων :** Η παρακολούθηση σε ποτάμια, φράγματα ή λίμνες για την ποιότητα των νερών με χρήση ασύρματων αισθητήρων. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για έλεγχο του δικτύου διανομής του νερού.
- **Εντοπισμός κατολισθήσεων :** Χρήση ασύρματων αισθητήρων για μέτρηση δονήσεων και εντοπισμό κατολισθήσεων. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να προβλέψουμε κατολισθήσεις πολύ πριν συμβούν στην πραγματικότητα.
- **Ανίχνευση δασικών πυρκαγιών :** Ένα δίκτυο μπορεί να εγκατασταθεί σε κάποιο δάσος για να γρήγορη ανίχνευση πυρκαγιάς. Οι αισθητήρες μπορεί να μετρούν θερμοκρασία ή την ποιότητα του αέρα και έτσι θα ανιχνευτεί η φωτιά. Έτσι θα ενεργήσει πιο γρήγορα η πυροσβεστική.

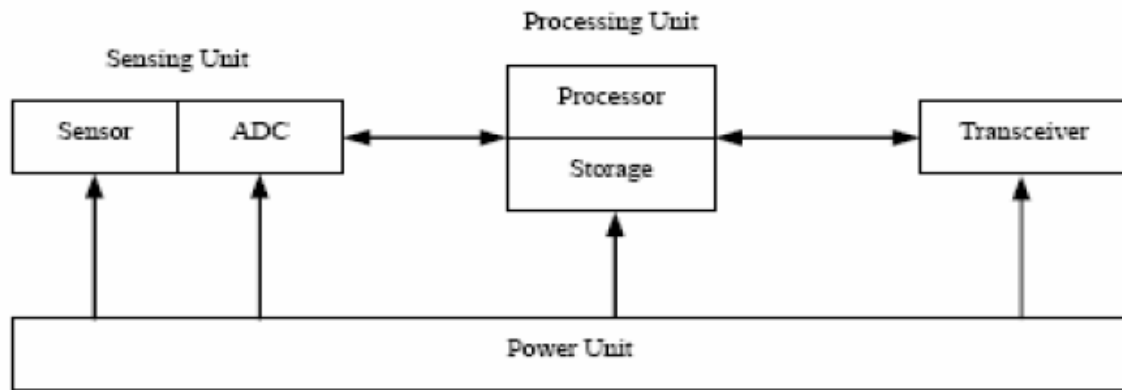
### 2.3 Κόμβοι Αισθητήρων

Ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων αποτελείται από κόμβους αισθητήρες. Κάθε κόμβος είναι αυτόνομος. Στο δίκτυο υπάρχουν κόμβοι για συλλογή πληροφοριών από το περιβάλλον και αναμετάδοση των δεδομένων. Επίσης υπάρχει και ο ριζικός κόμβος (Sink) ο οποίος συλλέγει τα μηνύματα των υπόλοιπων και τα μεταφέρει στην έξοδο του δικτύου για επεξεργασία της πληροφορίας.



Εικόνα 3- Γενική δομή ασύρματου δικτύου αισθητήρων [1]

Υπάρχουν πολλά είδη κόμβων αισθητήρων. Όμως όλα τα είδη έχουν μια βασική δομή.



Εικόνα 4-Στοιχία δομής κόμβου αισθητήρα [1]

Κάθε μονάδα αποτελείται από :

- **Πηγή ενέργειας :** Ως αυτόνομη μονάδα κάθε κόμβος έχει την δική του πηγή ενέργειας. Συνήθως τις πλήστες φορές είναι μπαταρία.
- **Μνήμη :** Η μνήμη σε αυτές τις περιπτώσεις είναι περιορισμένη. Χρησιμοποιείται για να κρατούμε κάποιες πληροφορίες για τον κόμβο και για προσωρινή φύλαξη κάποιων μετρήσεων.
- **Πομποδέκτης :** Χρησιμοποιείτε για την επικοινωνία των κόμβων και την μετάδοση πληροφοριών. Τις πλήστες φορές η επικοινωνία γίνεται είτε με υπέρυθρες, είτε με ραδιοσυχνότητα.
- **Αισθητήρες :** Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για να διαβάζουμε δεδομένα από το περιβάλλον. Κάποιοι από τους αισθητήρες είναι αισθητήρες φωτός, κίνησης, υγρασίας και θερμοκρασίας.
- **Μικροεπεξεργαστής :** Παίρνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες ή από άλλους κόμβους που υπάρχει επικοινωνία και τα επεξεργάζεται. Η υπολογιστική δύναμη είναι περιορισμένη.

## 2.4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κόμβων Αισθητήρων

Υπάρχουν πολλά είδη ασύρματων κόμβων αισθητήρων. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα είναι τα Wasmote της εταιρίας Libelium, τα Sensit της εταιρίας Nedap AVI και τα Crossbow. Για την υλοποίηση της εφαρμογής μας θα χρησιμοποιήσουμε κόμβους αισθητήρες Crossbow της οικογένειας TelosB λόγο του ότι είναι πιο εύκολο να τους προγραμματίσουμε και έχουν πιο χαμηλό κόστος.

Οι αισθητήρες της οικογένειας TelosB είναι κόμβοι ασύρματων δικτύων (χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας ) και είναι συμβατοί με το πρότυπο IEEE 802.15.4 [12]. Οι



αισθητήρες που περιέχονται στους κόμβους είναι αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτός.



Εικόνα 5- Αισθητήρας τύπου CM5000[12]

#### **Τεχνικά χαρακτηριστικά:**

- Μικροελεγκτής οικογένειας MSP430
- Μνήμη flash 48KB, Data Ram 10KB, External flash 1MB
- Ενσωματωμένο ADC
- Αισθητήρες φωτός Hamamatsu® S1087 Series
- 1 Αισθητήρα θερμοκρασίας
- 1 Αισθητήρα Υγρασίας
- Διαστάσεις : 81.90mm x 32.50mm x 6.55mm
- Βάρος : 17.7g
- Ενέργεια : 3V (2xAA Battery Holder Provided)

Όσον αφορά την επικοινωνία με άλλες συσκευές το TelosB είναι συμβατό με συσκευές που υποστηρίζουν 802.15.4. Η επικοινωνία με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή επιτυγχάνεται μέσω της θύρας USB που υπάρχει ενσωματωμένη στην συσκευή. Σε περιβάλλον Linux με την εντολή `motelist` μπορούμε να δούμε ποιες συσκευές είναι συνδεδεμένες στον υπολογιστή [12].

```
Setting up for TinyOS 2.1.1
~ $ motelist
Reference Device          Description
-----
XBQJEJET7 /dev/ttyUSB0    XBOW Crossbow Telos Rev.B
```

Εικόνα 6- Εκτέλεση εντολής `motelist`

# Κεφάλαιο 3

## Προγραμματισμός Κόμβων Αισθητήρων

---

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 3.1 Το Λειτουργικό Σύστημα TinyOS .....    | 12 |
| 3.2 Hardware Abstraction Architecture..... | 14 |
| 3.3 Βασικά στοιχεία της γλώσσας nesC ..... | 15 |

---

Για τον προγραμματισμό των κόμβων χρησιμοποιούμε την γλώσσα nesC [8]. Η nesC είναι βασισμένη σε συστατικά (component-based), προώθηση γεγονότων(event-driven) γλώσσα προγραμματισμού. Χρησιμοποιεί συστατικά (components) τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η διαδικασία σύνδεσης των συστατικών ονομάζεται wiring. Η nesC είναι επέκταση της γλώσσας C και σχεδιάστηκε για την δημιουργία εφαρμογών που τρέχουν στο TinyOS λειτουργικό σύστημα [8] .

### 3.1 Το Λειτουργικό Σύστημα TinyOS

Το TinyOS είναι το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της εφαρμογής για αυτό τον λόγο θα το παρουσιάσουμε πιο κάτω .

Το TinyOS είναι ένα λειτουργικό σύστημα ανοικτού κώδικα που σχεδιάστηκε για να τρέχει σε embedded συσκευές που χρησιμοποιούνται σε κατανομημένα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Λόγο των περιορισμών που έχουμε στους κόμβους των ασύρματων δικτύων όπως οι περιορισμένοι πόροι και η περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας το λειτουργικό θα πρέπει να ανταποκρίνεται αναλόγως. Κάποια από τα χαρακτηριστικά του TinyOS είναι ότι α) έχει μικρό μέγεθος, β) ελαχιστοποιεί την κατανάλωση, γ) έχει την δυνατότητα επαναπρογραμματισμού και δ) είναι αξιόπιστο.

Δεν υποστηρίζει multithreading και για αυτόν το λόγο κάνει χρήση του event-driven μοντέλου. Το event-driven είναι ένα μοντέλο το οποίο μας επιτρέπει να εκτελούμε παράλληλα διεργασίες πετυχαίνοντας έτσι την ελαχιστοποίηση της ενέργειας και την χρήση μνήμης. Ένας άλλος τρόπος που χρησιμοποιείται από το TinyOS για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι ότι το σύστημα βρίσκεται συνέχεια σε Sleep mode. Όταν μια διεργασία πρέπει να εκτελεστεί τότε ο επεξεργαστής θα ξυπνήσει, συνήθως μέσω ενός event , θα εξυπηρετήσει την διεργασία και στην συνέχεια θα ξαναμεί σε Sleep mode [7].

## **Στοιχεία που συνθέτουν το TinyOS**

### **Συστατικά (Components)**

Όπως στα παραδοσιακά λειτουργικά έχουμε τις διεργασίες έτσι και στο TinyOS υπάρχει κάτι ανάλογο που ονομάζεται Component. Ένα Component έχει τον δικό του χώρο μνήμης για να αποθηκεύει την κατάσταση που βρίσκεται και τα δεδομένα που κρατεί [7].

### **Εντολές (Commands)**

Υλοποιούνται στα Components. Είναι συναρτήσεις και χρησιμοποιούνται για να κάνουν αιτήσεις σε Components χαμηλότερου επιπέδου. Μέσα τους μπορεί να καλούνται άλλα commands ή tasks αλλά δεν μπορούν να καλούνται events [7].

### **Γεγονότα (Events)**

Υπάρχουν σύγχρονα και ασύγχρονα Events. Ένα σύγχρονο Event συνήθως μας ειδοποιεί για την λήξη κάποιας λειτουργίας. Τα ασύγχρονα Events συνήθως προέρχονται από hardware interrupts. Μέσω ενός Event μπορούμε να καλέσουμε Event ψηλότερου επιπέδου ή commands και tasks χαμηλότερου επιπέδου [7].

### **Διεργασίες (Tasks)**

Είναι λειτουργίες που απαιτούν μεγαλύτερη διάρκεια εκτέλεσης. Έχουν χαμηλότερη προτεραιότητα από τα Commands και τα Events. Κάποιο Task δεν μπορεί να διακοπεί από άλλο Task ή σύγχρονο Event. Για αυτό το λόγο καλό θα ήταν να σπάζουμε την λειτουργία κάπου Task σε μικρότερα Tasks [7].

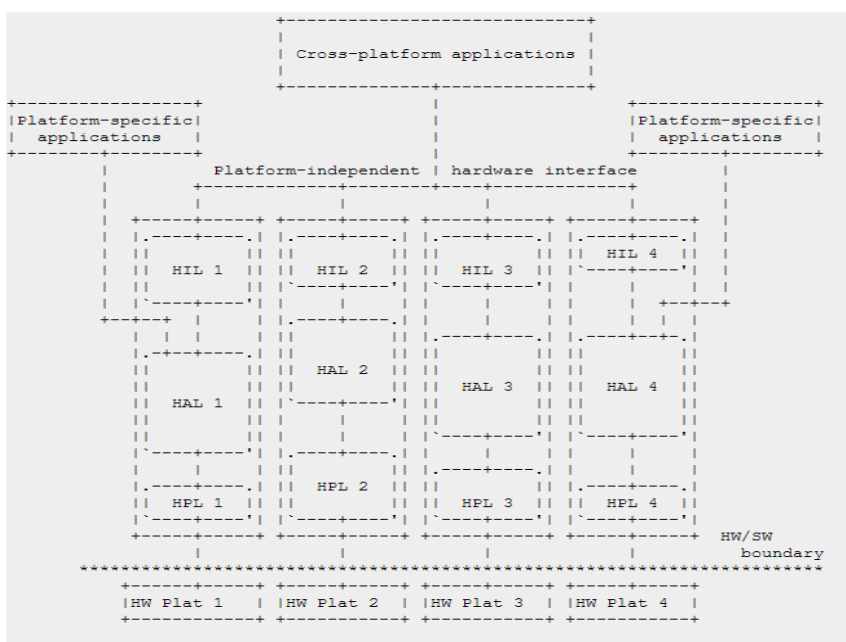
### **Χρονοπρογραμματιστής (Scheduler)**

Εκτελεί χρονοπρογραμματισμό των διεργασιών. Βάζει κάθε διεργασία που δημιουργείται σε μια στοίβα και με βάση την λογική που ακολουθεί που συνήθως είναι λογική FIFO τις δίνει στον επεξεργαστή. Όταν η στοίβα αδειάζει ο χρονοπρογραμματιστής βάζει τον επεξεργαστή σε sleep mode [7].

### 3.2 Hardware Abstraction Architecture (HAA)

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή οι εφαρμογές στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων πρέπει να παραμένουν απλές όσον αφορά την πολυπλοκότητα τους. Οι κυριότεροι λόγοι είναι η χαμηλή υπολογιστική δύναμη των κόμβων αισθητήρων και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Για να το πετύχουμε αυτό πρέπει ο κώδικας που γράφουμε με κάποιο τρόπο να είναι ανεξάρτητος πλατφόρμας. Δηλαδή για παράδειγμα μία εφαρμογή να μπορεί να τρέξει ή σε πλατφόρμα της οικογένειας mica ή σε πλατφόρμα της οικογένειας telos χωρίς καμία αλλαγή στον κώδικα της εφαρμογής. Επόμενος πρέπει να υπάρχει **αφαιρετικότητα** ανάμεσα στην πλατφόρμα που θα χρησιμοποιήσουμε και στην λογική που θα υλοποιήσουμε την εφαρμογή. Στο TinyOS για να επιτευχθεί αυτού του είδους **αφαιρετικότητα** σχεδιάστηκαν τρία επίπεδα στρωμάτων έτσι ώστε οι ιδιαιτερότητες του υλικού να προσαρμόζονται σταδιακά με τις ιδιαιτερότητες του κώδικα. Έτσι οι εφαρμογές είναι ανεξάρτητες πλατφόρμας ενώ παράλληλα χρησιμοποιούν όλες τις δυνατότητες του υλικού.

Στην πιο κάτω εικόνα φαίνεται ο διαχωρισμός των στρωμάτων που υπάρχουν ανάμεσα στην πλατφόρμα και την εφαρμογή. Κάθε στρώμα έχει τις δικές του αρμοδιότητες και εξαρτάτε από τις διεπαφές που προέρχονται από το αμέσως κατώτερο στρώμα. Όσο ερχόμαστε από το τελευταίο επίπεδο προς τα πάνω οι εξαρτήσεις υλικού-εφαρμογής μειώνονται και έτσι δίνεται στον προγραμματιστή μεγαλύτερη ελευθερία όσον αφορά την σχεδίαση της εφαρμογής, την υλοποίηση και την επαναχρησιμοποίηση κώδικα [13] [14].



Εικόνα 7- Επίπεδα αρχιτεκτονικής [13]

Τα τρία στρώματα *αφαιρετικότητας* υλικού είναι :

#### Επίστρωμα Παρουσίασης (Hardware Presentation Layer HPL)

Είναι το κατώτερο στρώμα από τα τρία. Είναι απευθείας τοποθετημένο πάνω από το υλικό και δουλειά του είναι να παρουσιάζει τις ιδιαιτερότητες του υλικού. Η επικοινωνία από το HPL προς το υλικό γίνεται είτε μέσω θύρας εισόδου/εξόδου είτε μέσω της μνήμης. Από την αντίθετη πλευρά όταν το υλικό θέλει να επικοινωνήσει με το HPL σηματοδοτεί ένα διακόπτη. Μέσω αυτών των καναλιών επικοινωνίας κρύβεται η πολυπλοκότητα του υλικού και εξάγονται πιο απλές διεπαφές για το υπόλοιπο σύστημα [13] [14].

#### Επίστρωμα Προσαρμογής (Hardware Adaptation Layer HAL)

Είναι το μεσαίο στρώμα και βρίσκεται πάνω από το HPL και κάτω από το HIL. Χρησιμοποιεί τις διεπαφές που παρέχονται από τα components του κατώτερου επιπέδου, του HPL δηλαδή, έτσι χτίζεται ένα είδος αφαίρεσης που κρύβει τις ιδιαιτερότητες του υλικού και κάνει ανεξάρτητη την εφαρμογή. Οι διεπαφές του HAL εκθέτουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που δημιουργούν την καλύτερη δυνατή αφαίρεση με σκοπό την απλοποίηση της ανάπτυξης εφαρμογών ενώ παράλληλα κάνουν αποτελεσματική χρήση των πόρων [13] [14].

#### Επίστρωμα Διεπαφής (Hardware Interface Layer HIL)

Το τελευταίο στρώμα στην αρχιτεκτονική αφαίρεσης του TinyOs διαμορφώνεται από το HIL το οποίο παίρνει από το HAL τις αφαιρέσεις της συγκεκριμένης πλατφόρμας και τις μετατρέπει σε διεπαφές ανεξάρτητες πλατφόρμας που χρησιμοποιούνται από τις εφαρμογές. Χρησιμοποιώντας τις διεπαφές που μας παρέχει το HIL στην ανάπτυξη των εφαρμογών κρύβουμε τις διαφορές ανάμεσα στις διάφορες πλατφόρμες και τις ιδιαιτερότητες του υλικού [13] [14].

### **3.3 Βασικά στοιχεία της γλώσσας nesC**

#### Διεπαφές (Interfaces)

Ένα από τα κύρια στοιχεία της γλώσσας nesC είναι τα Interfaces. Τα Interfaces είναι λειτουργίες που παρέχονται από κάποιο component προς άλλα components. Αυτός που παρέχει το Interface ονομάζεται provider ενώ αυτός που το χρησιμοποιεί ονομάζεται user. Ένα Interface περιέχει απλά δηλώσεις από commands και events. Για την υλοποίηση των commands είναι υπεύθυνοι αυτοί που τα παρέχουν (providers) ενώ για την υλοποίηση των

events είναι υπεύθυνοι αυτοί που τα χρησιμοποιούν (users). Ένα παράδειγμα φαίνεται πιο κάτω [8] [9] [10] [11].

```
interface SendMsg {  
    command result_t send(uint16_t address, uint8_t length, TOS_MsgPtr msg);  
    event result_t sendDone(TOS_MsgPtr msg, result_t success);  
}
```

### **Ενότητες (Modules)**

Ένα Module μπορεί να παρέχει κάποιο Interface, να χρησιμοποιεί κάποιο Interface ή μπορεί να είναι και τα δύο, να είναι και provider και user. Αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος δηλώνονται τα interface που παρέχονται ή χρησιμοποιούνται από το Module ενώ στο δεύτερο μέρος υπάρχει η υλοποίηση του component του Module [8] [9] [10] [11].

```
module myFirstModuleC  
{  
    uses interface Boot;  
    provides interface StdControl;  
}  
  
implementation  
{  
    event void Boot.booted()  
    {  
        call StdControl.start();  
        call StdControl.stop();  
    }  
}
```

### **Διαμόρφωση (Configuration)**

Το Configuration είναι ένα component που πρέπει να έχουν όλες οι εφαρμογές του tinyOS. Πρέπει να περιέχεται στον ίδιο φάκελο με το Module component. Η χρησιμότητα του Configuration είναι να συνδέει το component της εφαρμογής μας με άλλα components που υπάρχουν στο σύστημα [8] [9] [10] [11].

```
configuration myFirstModuleAppC  
{  
}
```

## **implementation**

```
{  
components myFirstModuleC, MainC;  
myFirstModuleC.Boot ->MainC.Boot;  
MainC.StdControl -> myFirstModuleC.Boot;  
}
```

# Κεφάλαιο 4

## Εφαρμογή Έξυπνης Στάθμευσης

---

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 4.1 Εισαγωγή για την Έξυπνη Στάθμευση ..... | 18 |
| 4.2 Επισκόπηση Υπαρχουσών Λύσεων.....       | 18 |
| 4.3 Η Εφαρμογή SPARK.....                   | 23 |

---

### 4.1 Εισαγωγή για την έξυπνη στάθμευση

Με τον όρο έξυπνη στάθμευση χαρακτηρίζουμε ένα χώρο στάθμευσης ο οποίος αισθάνεται πότε ένα αυτοκίνητο σταθμεύει σε κάποια από τις θέσεις στάθμευσης του. Για να παίρνουμε την πληροφορία για κάθε θέση πρέπει να αναπτύξουμε ένα σύστημα το οποίο παρακολουθεί την κάθε θέση και μας ενημερώνει για την κατάσταση της. Ακολουθώντας τα δεδομένα πρέπει να περνούν από επεξεργασία για να αποφασίσουμε την κατάσταση της κάθε θέσης και να παίρνουμε την τελική πληροφορία την οποία θα παρουσιάζουμε στον χρήστη. Για να έχει νόημα η εφαρμογή πρέπει να ανταποκρίνεται σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε ο χρήστης να αντιλαμβάνεται τις αλλαγές και να δρα αναλόγως.

Λόγω του ότι το δίκτυο αποτελείται από ασύρματους κόμβους αισθητήρων έχουμε πολλούς περιορισμούς όπως η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που θα χρησιμοποιήσουμε, το είδος της επικοινωνίας και η περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας για αυτό κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του έξυπνου παρκινγκ πρέπει να τα λαμβάνουμε υπόψη.

Με την υλοποίηση του έξυπνου παρκινγκ κάνουμε καλύτερη διαχείριση των θέσεων στάθμευσης, προσφέρουμε στους οδηγούς την πληροφορία για το πού υπάρχει ακριβώς ελεύθερη θέση στάθμευσης και έτσι εξοικονομούν χρόνο και καύσιμα ενώ παράλληλα επωφελείται και το περιβάλλον.

Λύσεις παρέχονται από εταιρίες που μελετούν εφαρμογές για έξυπνες πόλεις. Πιο κάτω θα παρουσιάσουμε κάποιες λύσεις και θα τις συγκρίνουμε με την λύση που θα προτείνουμε.

### 4.2 Επισκόπηση Υπαρχουσων Λύσεων

Για να αναπτύξουμε μια σφαιρική εικόνα γύρο από τις λύσεις που υπάρχουν γύρο από το πρόβλημα της στάθμευσης στις πόλεις μελετήσαμε προτάσεις που προσφέρονται από



εταιρίες που ασχολούνται με το έξυπνο παρκινγκ. Πιο κάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που χρησιμοποιεί η κάθε εταιρία.

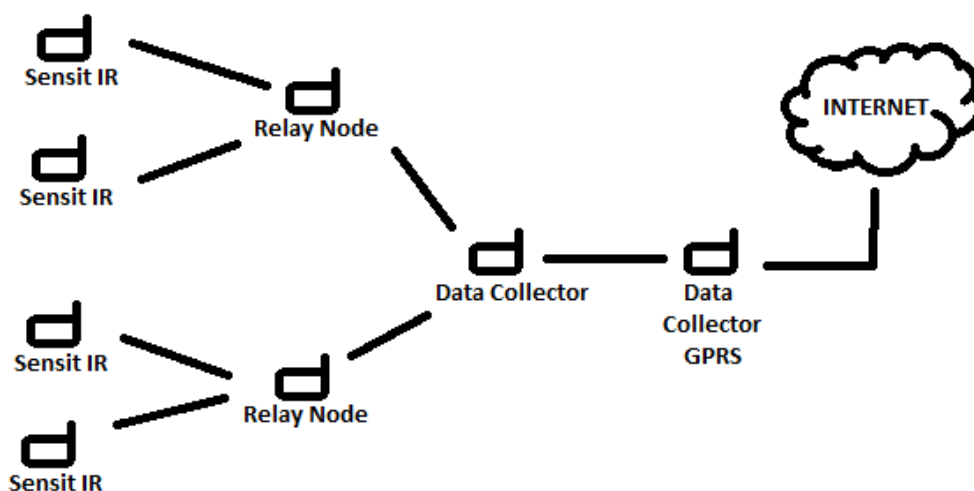
| Εταιρία/Χαρακτηριστικά | Τύπος κόμβων    | Είδος Αίσθησης              | Εμβέλεια επικοινων. Κόμβου αισθητήρα | Περιγραφή δικτύου αισθητήρων                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| WorldSensing [2]       | Fastprk sensors | magnetic                    | 500 m                                | Κάθε κόμβος αισθητήρας στέλνει τις μετρήσεις του σε μια πύλη που καλύπτει 1km <sup>2</sup> και από εκεί στέλλονται μέσω διαδικτύου σε βάση δεδομένων                                                                                   |
| FYBR [3]               | Fybr sensors    | 3-axis magnetometer & radar | -----                                | Κάθε κόμβος επικοινωνεί απευθείας με τουλάχιστο δυο αναμεταδότες οι οποίοι στέλνουν τα δεδομένα για ανάλυση.                                                                                                                           |
| Urbiotica [4]          | U-spot          | magnetometer                | 50 m                                 | Ο κάθε κόμβος U-spot στέλνει τις μετρήσεις του σε ένα U-router δρομολογητή ο οποίος τα μεταφέρει σε ένα U-box για να τα προωθήσει στο διαδίκτυο.                                                                                       |
| NEDAP AVI [5]          | Sensit IR       | Magnetic & IR               | 25 m                                 | Οι κόμβοι Sensit IR στέλνουν τις μετρήσεις τους στα Relay Node. Κάποιος αριθμός Relay Node στέλνουν τα δεδομένα σε ένα Data Collector το οποίο τα προωθεί σε ένα Data Collector IP65 GPRS για να τα στείλει μέσω GPRS για επεξεργασία. |
| Libelium [6]           | Wasp mote       | magnetic                    | 7000 m                               | Οι κόμβοι αισθητήρες στέλνουν τις μετρήσεις τους σε αναμεταδότες οι οποίοι τις προωθούν με multihop στους                                                                                                                              |

|  |  |  |  |                                                                                        |
|--|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  | κόμβους Meshlium και<br>ακολουθώς μεταφέρονται για<br>επεξεργασία μέσω Wi-Fi ή<br>GPRS |
|--|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------|

Από τις πιο πάνω εταιρίες οι εταιρίες WorldSensing, FYBR και Urbiotica ασχολούνται κυρίως με την εγκατάσταση συστημάτων ενώ οι εταιρίες Libelium και NEDAP AVI ασχολούνται και με την μελέτη και παραγωγή δικής τους τεχνολογίας κόμβων αισθητήρων και μας δίνουν περισσότερες πληροφορίες για την τεχνολογία που χρησιμοποιούν. Για αυτό τον λόγο πιο κάτω θα αναλύσουμε τις λύσεις που προτείνουν οι δύο εταιρίες σε μεγαλύτερο βαθμό.

#### 4.2.1 Λύση από την Nedap Identification Systems

Η λύση που προτείνεται από την Nedap Identification Systems είναι μέσω του αισθητήρα Sensit. Κάθε αισθητήρας αντιπροσωπεύει μια θέση στάθμευσης και σκοπός του είναι να εντοπίζει την έλευση κάποιου οχήματος και να στέλνει τα δεδομένα σε ένα κεντρικό εξυπηρετητή. Συγκεκριμένα ο αισθητήρας SENSIT IR παρέχει δυο τεχνολογίες εντοπισμού οχήματος, υπέρυθρων και μαγνητικού πεδίου, έτσι μας επιτρέπει να ανιχνεύουμε βανδαλισμούς στον χώρο στάθμευσης.



Εικόνα 8-Δίκτυο αισθητήρων SENSIT

**Πως δουλεύει** - Όπως αναφέραμε και πιο πάνω σε κάθε θέση στάθμευσης υπάρχει ένας αισθητήρας SENSIT ο οποίος είναι εφοδιασμένος με εσωτερική μπαταρία με χρόνο ζωής περισσότερο από 10 χρόνια. Οι αισθητήρες του χώρου στάθμευσης επικοινωνούν ασύρματα με τους κόμβους Relay Node που κάνουν αναμετάδοση των δεδομένων σε κόμβους Data

Collector οι οποίοι με της σειρά τους τα προωθούν στους Data Collector IP65 GPRS για να τα στείλει μέσω GPRS για επεξεργασία. Κάθε αισθητήρας χρησιμοποιεί και υπέρυθρες και μαγνητικό πεδίο για εντοπισμό των οχημάτων έτσι η απόκριση του συστήματος ζωντανού χρόνου και πολύ αξιόπιστη.

**Ευκολία Εγκατάστασης** - Όσον αφορά την ευκολία εγκατάστασης του δικτύου η χρήση του SENSIT δεν απαιτεί πολλές κατασκευαστικές αλλαγές. Με άλλες μεθόδους για την εγκατάσταση των κόμβων στις θέσεις στάθμευσης πρέπει να κοπούν δρόμοι ή πεζοδρόμια πράγμα το οποίο είναι δαπανηρό και χρονοβόρο. Επίσης σε άλλες μεθόδους απαιτείτε η χρήση εξωτερικής πηγής ενέργειας και η σύνδεση του δικτύου με το ηλεκτρικό δίκτυο.

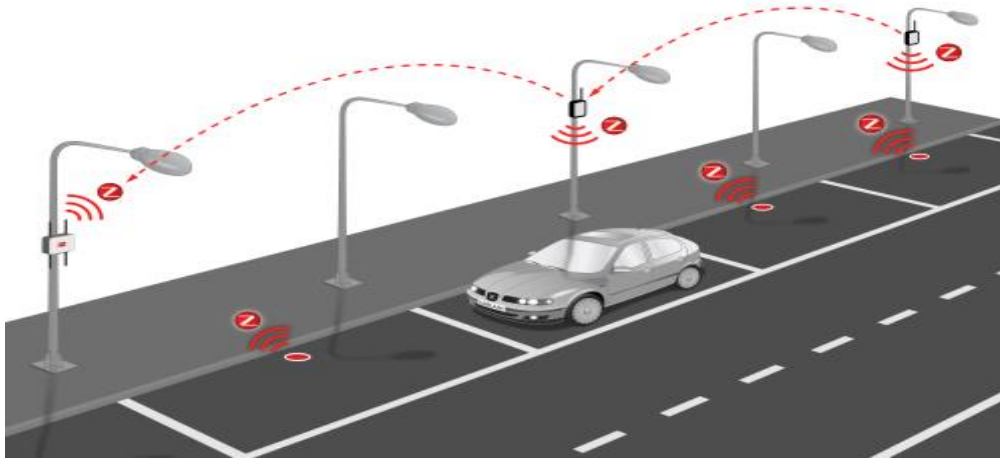


**Εικόνα 9- Χρήση αισθητήρων στους αυτοκινητόδρομους για τα φορτηγά [5]**

**Εφαρμογή στους αυτοκινητόδρομους για τα φορτηγά** – για λόγους ασφαλείας και απόδοσης οι οδηγοί των φορτηγών πρέπει να ξεκουράζονται κατά την διάρκεια μεγάλων διαδρομών. Η Nedap έκανε χρήση των αισθητήρων και στους μεγάλους αυτοκινητόδρομους. Έτσι οι οδηγοί μπορούν μέσω μιας εφαρμογής ή μέσω του διαδικτύου να βρουν πληροφορίες όσον αφορά τις ελεύθερες θέσεις σε κάποια περιοχή του αυτοκινητόδρομου [5].

#### **4.2.2 Λύση από την Libelium**

Η δεύτερη λύση που θα μελετήσουμε είναι το New Smart Parking. Είναι μέρος της λύσης που δίνει η εταιρία Libelium για έξυπνες πόλεις [6].



Εικόνα 10- Λογική Δίκτυου Libelium [6]

Σε κάθε θέση στάθμευση υπάρχει ένας ασύρματος κόμβος αισθητήρα. Οι κόμβοι που χρησιμοποιούνται είναι τύπου Wasmote και η επικοινωνία στο δίκτυο γίνεται μέσω ZigBee radio που παρέχουν οι κόμβοι. Οι κόμβοι Wasmote υποστηρίζουν προγραμματισμό από μακριά (over the air programming-OTA) και έτσι από την στιγμή που θα τοποθετηθούν στην θέση τους δεν χρειάζεται να έχουμε πρόσβαση πάνω τους ξανά για αρκετό καιρό. Με τις κατάλληλες μπαταρίες η διάρκεια ζωής ενός κόμβου είναι μεγαλύτερη των πέντε χρόνων.

Με το OTA η διαδικασία αναβάθμισης του λογισμικού είναι πιο εύκολη γιατί δεν χρειάζεται να ανασυρθούν οι κόμβοι από της θέση τους έτσι έχουμε χαμηλό κόστος συντήρησης του δικτύου.

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω η επικοινωνία των κόμβων γίνεται μέσω του ZigBee. Για να επιτευχθεί επικοινωνία σε όλο το δίκτυο υπάρχουν κόμβοι για δρομολόγηση οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στα φώτα τροχαίας. Για λόγους απόδοσης οι κοντινοί κόμβοι από τον κόμβο που συλλέγει τα μηνύματα επικοινωνούν απευθείας και όχι μέσω των κόμβων δρομολόγησης.



Εικόνα 11- Εγκατάσταση αισθητήρων [6]

Οι κόμβοι αισθητήρες που είναι θαμμένοι κάτω από τις θέσεις στάθμευσης είναι μέσα σε θήκη φτιαγμένη από πλαστικό PVC για προστασία. Ο λόγος που χρησιμοποιείτε PVC είναι ότι το PVC δεν παρεμποδίζει την ραδιοεπικοινωνία [6].

### 4.3 Η εφαρμογή SPARK

Πιο πάνω παρουσιάστηκαν προτάσεις από εταιρίες που ασχολούνται με έργα για σχεδιασμό έξυπνων λύσεων για πόλεις. Είδαμε με ποιους τρόπους επιλύουν το πρόβλημα της στάθμευσης, ποιά τεχνολογία χρησιμοποιούν, πως αισθάνονται ότι μια θέση είναι κρατημένη ή ελεύθερη και με ποιο μέσο επιτυγχάνεται η επικοινωνία ανάμεσα στους κόμβους. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η λύση που προτείνουμε και θα γίνει ανάλυση της υλοποίησης. Η εφαρμογή **SPARK** ξεκίνησε από προηγούμενο φοιτητή και βρίσκεται σε αρχικό στάδιο. Σκοπός της διπλωματικής είναι η εφαρμογή να επεκταθεί και να εξελιχθεί σε μια ολοκληρωμένη λύση για το πρόβλημα της στάθμευσης στις πόλεις.

#### 4.3.1 Ανάγκες και υποθέσεις εργασίας

Για την υλοποίηση της εφαρμογής υποθέτουμε ότι έχουμε ένα χώρο στάθμευσης για τον οποίο γνωρίζουμε τον ακριβή αριθμό των θέσεων που υπάρχουν στον χώρο και ότι κάθε θέση έχει εγκατεστημένο τουλάχιστον ένα αισθητήρα. Επίσης υποθέτουμε ότι υπάρχει μια είσοδος για τα αυτοκίνητα λόγω του ότι ο αλγόριθμος για την πιο κοντινή θέση λαμβάνει υπόψη του την τοποθεσία της θέσης σε σχέση με την είσοδο του χώρου στάθμευσης. Στην οθόνη ο χρήστης θα ενημερώνεται και για την πιο κοντινή θέση από την είσοδο άρα υποθέτουμε ότι υπάρχει κάποιο είδος αρίθμησης των θέσεων.

Στην εφαρμογή που αναλύουμε τα δεδομένα που παραλαμβάνουμε από τους κόμβους προϋποθέτουμε ότι υπάρχει κάποιο αρχείο κειμένου το οποίο συσχετίζει τις ταυτότητες των κόμβων αισθητήρων με την ακριβή τοποθεσία της θέσης. Επίσης το αρχείο μπορεί να περιέχει περισσότερες πληροφορίες για την κάθε θέση όπως τον τύπο του αισθητήρα που θα εγκατασταθεί στην θέση ή αν η θέση είναι θέση για ανάπηρους.

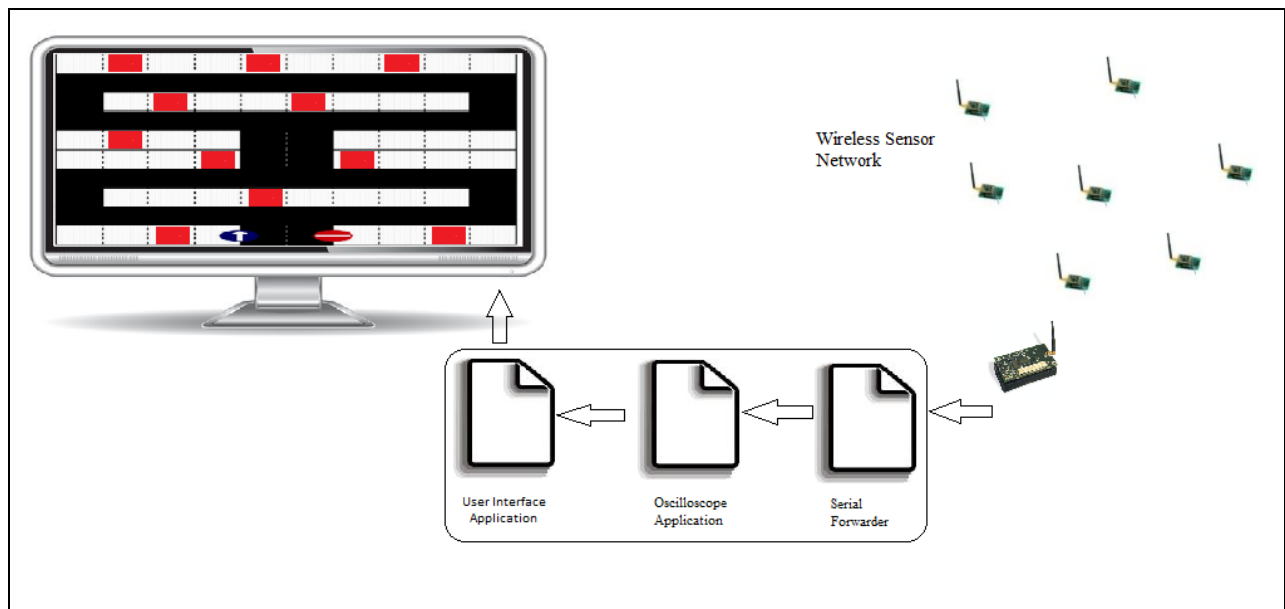
Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείτε αισθητήρας φωτός υποθέτουμε ότι τις βραδινές ώρες ο χώρος στάθμευσης έχει μια ελάχιστη τιμή φωτός που μας επιτρέπει να αντιλαμβανόμαστε την διαφορά όταν υπάρχει αυτοκίνητο σταθμευμένο στην θέση που παρακολουθείται από τον αισθητήρα. Για τους υπόλοιπους τύπους αισθητήρων δεν υπάρχει κανένας περιορισμός.

Τέλος υποθέτουμε ότι όλα τα αυτοκίνητα σταθμεύουν στις θέσεις με σωστό τρόπο και όχι πάνω από τις διαχωριστικές γραμμές. Αυτό διασφαλίζει την σωστή διάγνωση από τους κόμβους αισθητήρες.

#### 4.3.2 Η λύση SPARK

Η εφαρμογή της έξυπνης στάθμευσης αποτελείται από πέντε βασικά συστατικά :

- Το δίκτυο ασύρματων αισθητήρων
- Το MultyHopOscilloscope
- Το Serialforwarder
- Την εφαρμογή Oscilloscope
- Την εφαρμογή για γραφική απεικόνιση του παρκινγκ



Εικόνα 12- Γενική δομή εφαρμογής SPARK

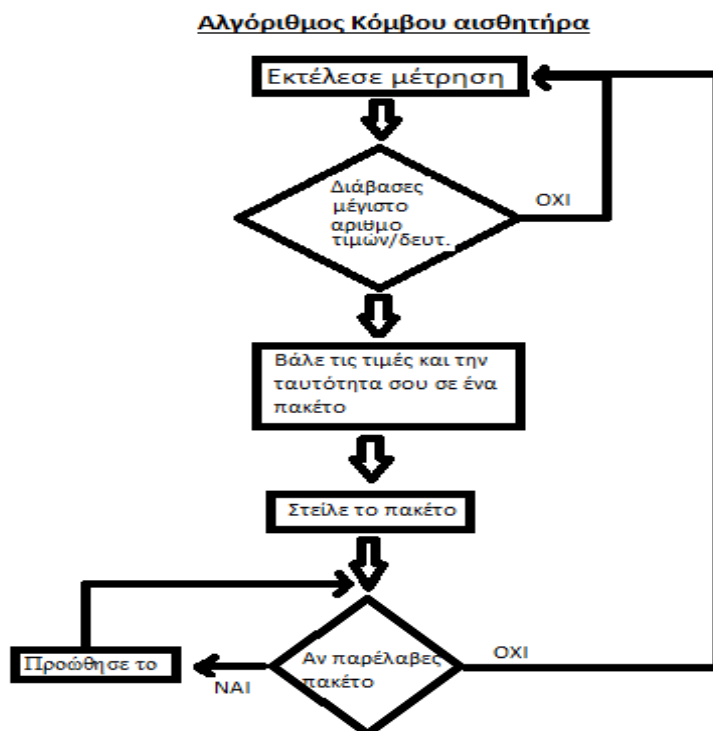
Η κεντρική ιδέα του έξυπνου παρκινγκ είναι ότι με κάποιο τρόπο πρέπει να αισθανόμαστε πότε ένα αυτοκίνητο παρκάρει σε μία θέση στάθμευσης, ακολούθως να στέλνουμε την πληροφορία σε κάποιο κεντρικό εξυπηρετητή, όπου αυτός με της σειρά του να επεξεργάζεται την πληροφορία και αναλόγως να παρουσιάζει στον χρήστη τις ελεύθερες και κρατημένες θέσεις του χώρου στάθμευσης. Επίσης υπολογίζεται με κάποιο αλγόριθμο και η πιο κοντινή θέση προς τον χρήστη.

Συγκεκριμένα για να μπορούμε να αισθανθούμε πότε κάποιο όχημα στάθμευσε σε μια συγκεκριμένη θέση χρησιμοποιούμε ασύρματους αισθητήρες τους οποίους έχουμε εγκαταστήσει σε κάθε θέση. Κάθε αισθητήρας εκτελεί κάποιο συγκεκριμένο αριθμό

μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο και στη συνέχεια ο καθένας στέλνει τις μετρήσεις του σε ένα κεντρικό κόμβο ο οποίος επικοινωνεί ενσύρματα με τον εξυπηρετητή. Για να μπορούμε να διαχωρίσουμε τα μηνύματα του κάθε κόμβου δίνουμε στον καθένα τους ένα μοναδικό αναγνωριστικό αριθμό. Με βάση τον αριθμό αυτό επίσης διασύνδεουμε τον κόμβο αισθητήρα με την συγκεκριμένη θέση για να ξέρουμε σε ποια θέση είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας.

Πιο κάτω θα παρουσιάσουμε τα συστατικά της εφαρμογής πιο συγκεκριμένα.

**Δίκτυο ασύρματων αισθητήρων-** Σε κάθε θέση στάθμευσης υπάρχουν τοποθετημένοι ασύρματοι αισθητήρες. Κάποια θέση μπορεί να περιέχει ένα ή δύο αισθητήρες και ο λόγος είναι ότι θέλουμε να επαληθεύουμε τις μετρήσεις για να αποτρέψουμε ή να καταλάβουμε τυχόν βλάβες ή σφάλματα στο δίκτυο. Όλοι οι αισθητήρες είναι στο ίδιο επίπεδο ιεραρχίας εκτός από τον κόμβο ρίζα που παραλαμβάνει όλα τα μηνύματα και τα παραδίδει στον εξυπηρετητή. Οι αισθητήρες αναγνωρίζονται μέσω ενός αριθμού ο οποίος είναι μοναδικός για τον καθένα στο δίκτυο. Οι κόμβοι που είναι εγκατεστημένοι στην ίδια θέση έχουν την ίδια ταυτότητα όμως για να μπορούμε να διαχωρίζουμε ποια μηνύματα είναι από τον πρώτο κόμβο και ποια από τον δεύτερο οι τιμές του δεύτερου κόμβου είναι σε διαφορετικό φάσμα. Κάθε αισθητήρας εκτελεί συγκεκριμένο αριθμό μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο τις οποίες στέλνει ασύρματα προς τον κεντρικό κόμβο. Ο κεντρικός κόμβος με την σειρά του μεταφέρει τις τιμές που στέλνουν οι κόμβοι στον εξυπηρετητή.



Εικόνα 13- Αλγόριθμος Κόμβου

Οι κόμβοι που θα χρησιμοποιήσουμε για να κτίσουμε το δίκτυο είναι τύπου CM5000 TelosB.

**MultyHopOscilloscope**- Το **MultyHopOscilloscope** είναι το πρόγραμμα που τρέχει κάθε κόμβος στο δίκτυο. Είναι γραμμένο σε γλώσσα nesC. Κάθε κόμβος εκτελεί κάποιο αριθμό μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο. Στη συνέχεια ο καθένας στέλνει τις μετρήσεις του με μηνύματα μέσω ραδιοσυχνοτήτων. Το κάθε μήνυμα περιέχει την ταυτότητα του κόμβου και την τιμή που διάβασε μέσω του αισθητήρα. Τα μηνύματα διασχίζουν το δίκτυο από κόμβο σε κόμβο μέχρι να φτάσουν στον κόμβο ρίζα. Ο κόμβος ρίζα είναι προαποφασισμένο ποιος θα είναι και η ταυτότητα που θα του δώσουμε είναι συγκεκριμένη και θα διαφοροποιήσει τον αλγόριθμο που θα τρέχει σε σχέση με τους υπόλοιπους κόμβους στο δίκτυο.

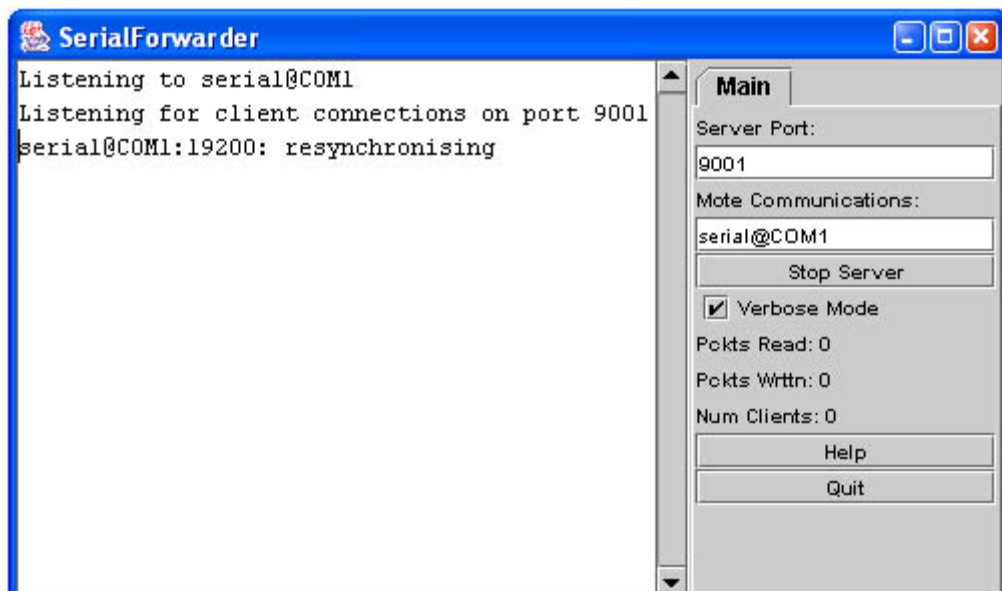
```
if (local.id == 69){  
    call Leds.led00n();  
    call Leds.led10n();  
    call Leds.led20n();  
    call RootControl.setRoot();  
}
```

Το πιο πάνω κομμάτι κώδικα αποτελεί μέρος του MultyHopOscilloscopeC.nc. Ο αισθητήρας με την ταυτότητα «69» θα θέσει τον εαυτό του ως ρίζα στο νοητό δέντρο που θα κτιστεί από τους αισθητήρες του δικτύου και θα είναι ο τελικός παραλήπτης όλων των μηνυμάτων. Επίσης είναι αυτός που θα είναι απευθείας συνδεδεμένος ενσύρματα με τον εξυπηρετητή και θα μεταβιβάσει μέσω σειριακής θύρας τα μηνύματα όλων των άλλων.

**Serialforwarder**- Όπως αναφέραμε και πιο πάνω οι μετρήσεις των αισθητήρων καταλήγουν στον εξυπηρετητή μέσω της σειριακής θύρας. Το **Serialforwarder** είναι ένα πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιούμε για να διαβάζουμε πακέτα δεδομένων από μια σειριακή θύρα και να τα προωθούμε στο διαδίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η επικοινωνία των διαφόρων προγραμμάτων με το δίκτυο αισθητήρων. Για να ξεκινήσουμε το **Serialforwarder** μεταφερόμαστε στον κατάλογο tools/java και εκτελούμε την εντολή

```
java net.tinyos.sf.SerialForwarder -comm serial@COM1:<baud  
rate>
```





Εικόνα 14- Serial Forwarder

Οι παράμετροι που δίνουμε είναι από ποια σειριακή θύρα να διαβάσει τα πακέτα (COM1) και το baud rate με το οποίο επικοινωνεί.

**Oscilloscope**–Χρησιμοποιώντας το **Serialforwarder** πήραμε από την σειριακή είσοδο τα πακέτα που μας μετάφερε ο ριζικός κόμβος του δικτύου ασύρματων αισθητήρων και τα οδηγήσαμε στο δίκτυο για να μπορούν τα διάφορα προγράμματα να τα διαβάσουν. Τώρα με την χρήση του **Oscilloscope** θα απεικονίσουμε γραφικά τα δεδομένα που μας στέλνει ο κάθε κόμβος του δικτύου. Όπως αναφέραμε και πιο πάνω ο κάθε κόμβος εκτελεί μετρήσεις τις οποίες στέλλει με μηνύματα και επίσης στο κάθε μήνυμα συμπεριλαμβάνει και την ταυτότητα του. Οπότε το **Oscilloscope** μας απεικονίζει σε γραφική παράσταση τί τιμή διάβασε ο κάθε κόμβος και έτσι είναι πιο εύκολο να καταλάβουμε τι συμβαίνει κάνοντας συγκρίσεις.



Εικόνα 15- Oscilloscope

Στο πιο πάνω στιγμιότυπο φαίνονται οι τιμές που παραλαμβάνουμε από τους τρεις κόμβους. Στη αριστερή στήλη (Mote) είναι οι ταυτότητες των κόμβων και στην δεξιά στήλη φαίνονται τα χρώματα με τα οποία απεικονίζονται οι τιμές που διαβάζουν. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε πιο εύκολα να μελετήσουμε την συμπεριφορά των αισθητήρων και να καταλήξουμε σε συμπεράσματα. Επίσης μπορούμε να αλλάξουμε την περίοδο δειγματοληψίας και να μετακινηθούμε στον οριζόντιο και κάθετο άξονα.

Ένας άλλος βασικός λόγος που χρησιμοποιούμε την εφαρμογή του **Oscilloscope** είναι για να οδηγούμε τα δεδομένα που παραλαμβάνουμε από την σειριακή θύρα στην εφαρμογή που θα κάνουμε γραφική απεικόνιση του παρκινγκ για να τα επεξεργαστούμε. Οι δύο εφαρμογές επικοινωνούν μέσω υποδοχής (socket). Το **Oscilloscope** γράφει τα δεδομένα στην υποδοχή και η εφαρμογή απεικόνισης του παρκινγκ διαβάζει από την υποδοχή, επεξεργάζεται τις μετρήσεις και παρουσιάζει στον χρήστη τα αποτελέσματα.

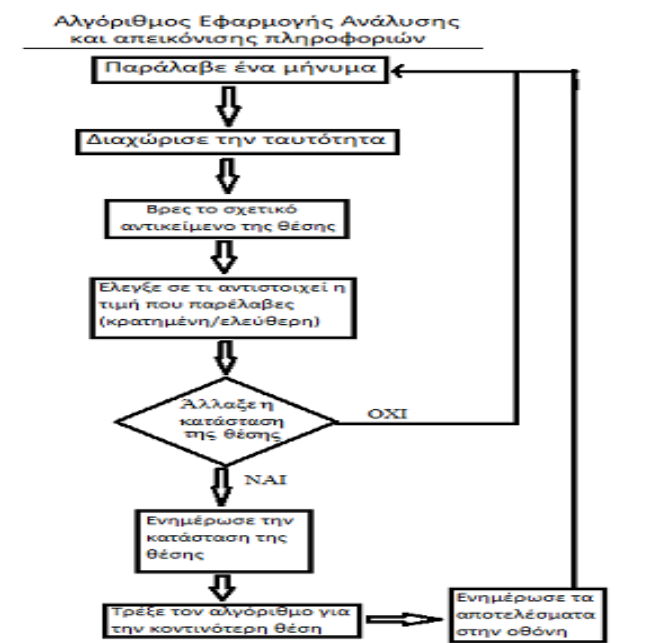
**Γραφική απεικόνιση του παρκινγκ-** Ο τελικός στόχος της εφαρμογής είναι να παρουσιάζουμε στον χρήστη που υπάρχει διαθέσιμος χώρος στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να πετύχουμε τα πλεονεκτήματα που αναφέραμε στην αρχή. Με το δίκτυο αισθητήρων μπορούμε να αισθανθούμε πότε ένα αυτοκίνητο σταθμεύει ή φεύγει από κάποια θέση στάθμευσης. Επομένως αυτό που έχει σειρά τώρα είναι να μεταφέρουμε την

πληροφορία στον χρήστη με εικονικό τρόπο έτσι ώστε να είναι εύκολο για τον καθένα να καταλάβει χωρίς πολλή σκέψη που υπάρχει χώρος για να σταθμεύσει .

Για να μπορέσουμε να συσχετίσουμε τις πραγματικές θέσεις στάθμευσης και τους αισθητήρες που βρίσκονται εγκατεστημένοι στις θέσεις με τις θέσεις που απεικονίζονται στην εφαρμογή χρησιμοποιούμε ένα αρχείο κειμένου κάθε γραμμή του οποίου περιγράφει μια θέση στάθμευσης. Για κάθε θέση κρατούμε την γραμμή που ανήκει, την θέση που βρίσκεται πάνω στη γραμμή, την ταυτότητα του κόμβου που εγκαταστάθηκε στην θέση, αν είναι θέση για αναπήρους και το βάρος της θέσης. Το βάρος το χρησιμοποιούμε για να ορίσουμε ποια θέση είναι πιο κοντά στην είσοδο του χώρου στάθμευσης. Όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός του βάρους τόσο πιο μεγάλη είναι και η απόσταση από την είσοδο.

Για να αποθηκεύσουμε τις πληροφορίες για κάθε θέση δημιουργούμε ένα αντικείμενο που περιέχει τα ανάλογα πεδία. Ξεκινώντας την εφαρμογή φορτώνεται το αρχείο και δημιουργείτε ένας πίνακας κατακερματισμού που έχει ως κλειδί την ταυτότητα του κάθε κόμβου η οποία είναι μοναδική και σαν τιμή το αντικείμενο που κρατεί τις πληροφορίες για την αντίστοιχη θέση στάθμευσης.

Στη συνέχεια ανοίγουμε μια υποδοχή με την οποία θα επικοινωνούμε με την εφαρμογή **Oscilloscope** και περιμένουμε να μας στέλνει τα δεδομένα που πήρε από το δίκτυο αισθητήρων.



Εικόνα 16- Αλγόριθμος Εφαρμογής ανάλυσης και απεικόνισης δεδομένων

Τα δεδομένα έχουν την μορφή «ταυτότητα, τιμή» όπου η ταυτότητα είναι η ταυτότητα του κόμβου που έχει στείλει το μήνυμα και η τιμή είναι η τιμή που διάβασε από τον αισθητήρα.

Όταν παραλάβουμε ένα μήνυμα από κάποιο κόμβο διαχωρίζουμε το μήνυμα στα δύο για να πάρουμε την ταυτότητα και την τιμή. Ακολουθώντας αποκτούμε πρόσβαση στο αντικείμενο που

αφορά τη θέση που είναι εγκατεστημένος ο αισθητήρας με τον αριθμό ταυτότητας που περιείχε το μήνυμα. Στη συνέχεια στέλνουμε την τιμή που παραλάβαμε σε μια μέθοδο η οποία θα μας πει αν η τιμή αντιστοιχεί σε κρατημένη ή ελεύθερη θέση. Αν η κατάσταση της θέσης παραμένει η ίδια δεν θα κάνουμε τίποτα και θα προχωρήσουμε στην επεξεργασία του επόμενου μηνύματος. Αν η κατάσταση τη θέσης έχει αλλάξει τότε ενημερώνουμε την κατάσταση της θέσης, τρέχουμε τον αλγόριθμο για να βρούμε την καινούρια κοντινότερη θέση και απεικονίζουμε την νέα κατάσταση του χώρου στάθμευσης στην οθόνη.

#### **Για να ξεκινήσουμε την εφαρμογή πρέπει :**

1. Να φορτώσουμε το MultyHopOscilloscope στους ασύρματους αισθητήρες που θα χρησιμοποιήσουμε.
2. Να ξεκινήσουμε τον Serialforwarder στην θύρα που συνδέσαμε τον κόμβο ριζά
3. Να τρέξουμε την εφαρμογή απεικόνισης του παρκινγκ
4. Να τρέξουμε την εφαρμογή Oscilloscope

#### **Εκμετάλλευση διαφορετικών ειδών αισθητήρων**

Στο MultyHopOscilloscope εξηγήσαμε πως ένας αισθητήρας εκτελεί κάποιες μετρήσεις τις οποίες αποστέλλει στον κόμβο ρίζα. Οι μετρήσεις αυτές αντιπροσωπεύουν τιμές που διαβάστηκαν από τον αισθητήρα του κόμβου και αναλόγως τις τιμές που έχουν μεταφράζονται αντίστοιχα σε κρατημένη ή ελεύθερη θέση στάθμευσης. Όπως και στην πραγματικότητα έτσι και εδώ δεν υπάρχει μόνο ένας τρόπος να αισθανθούμε έτσι πρέπει να αποφασίσουμε ποια από τις διαθέσιμες αισθήσεις θα χρησιμοποιήσουμε. Στη συνέχεια του υποκεφαλαίου αυτού θα δούμε πως διαβάζουμε από τους αισθητήρες, θα παρουσιάσουμε τα είδη αισθητήρων που θα χρησιμοποιήσουμε, τον τρόπο που αντιστοιχούμε τις τιμές στο αν είναι κρατημένη ή ελεύθερη η θέση, τον τρόπο εγκατάστασης στην θέση στάθμευσης και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του καθένα.

### Αισθητήρας φωτός

Ο αισθητήρας φωτός που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο EM1000. Είναι συμβατός με όλες τις σειρές CM3XXX και CM4XXX ασύρματων κόμβων αισθητήρων. Στην πλακέτα του αισθητήρα υπάρχουν δύο αισθητήρες φωτός, ένας αισθητήρας επιτάχυνσης και ένας αισθητήρας θερμοκρασίας. Το κόστος του ανέρχεται στα 55 ευρώ.



**Εικόνα 17- Αισθητήρας Φωτός [12]**

Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά

Ο αισθητήρας φωτός είναι τύπου Hamamatsu® S1087

#### Γενικά χαρακτηριστικά

Active area size: 1.3 x 1.3 mm

Effective active area: 1.6 mm<sup>2</sup>

Reverse voltage: 10V

Operating temperature: -10 to +60 °C

Storage temperature: -20 to +70 °C

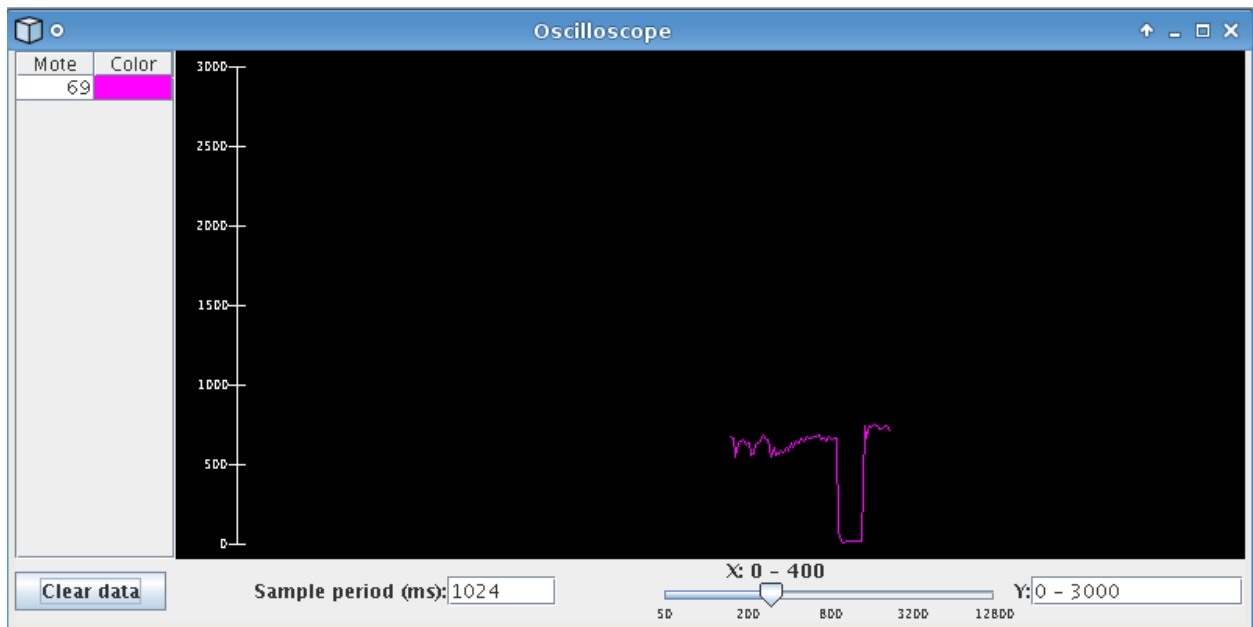
#### Ηλεκτρικά και οπτικά χαρακτηριστικά

Spectral response range: 320 to 730 nm

Peak sensitivity wavelength: 560 nm

### **Εγκατάσταση στον χώρο στάθμευσης**

Όσον αφορά την εγκατάσταση του κόμβου αισθητήρα φωτός δεν απαιτείτε καμία επιπλέον κατασκευή. Ο κόμβος θα τοποθετηθεί σε θήκη για να προστατεύεται από το νερό ή από οτιδήποτε άλλο στο περιβάλλον και θα θαφτεί κάτω από την θέση στάθμευσης. Όταν κάποιος σταθμεύσει στην συγκεκριμένη θέση οι τιμές που θα παραλαμβάνουμε από τον αισθητήρα θα μειωθούν αισθητά και έτσι θα καταλάβουμε ότι η θέση είναι κρατημένη. Στην αντίθετη περίπτωση όταν η θέση ελευθερωθεί οι τιμές που θα παραλαμβάνουμε από τον κόμβο θα είναι αρκετά πιο ψηλές και έτσι θα καταλάβουμε ότι η θέση ελευθερώθηκε.



Εικόνα 18- Συμπεριφορά αισθητήρα φωτός

Στην πιο πάνω εικόνα παρατηρούμε την συμπεριφορά του αισθητήρα φωτός μέσα από την εφαρμογή Oscilloscope. Όταν πάνω από τον αισθητήρα δεν υπάρχει τίποτα οι τιμές που διαβάζει είναι κοντά στο 1000 στην συγκεκριμένη περίπτωση. Όταν τοποθετήσουμε κάτι πάνω από τον αισθητήρα οι τιμές που παραλαμβάνουμε είναι αρκετά μικρότερες πράγμα το οποίο στην εφαρμογή του παρκινγκ σημαίνει ότι η θέση είναι κρατημένη. Στο τέλος όταν η θέση ελευθερωθεί οι τιμές επανέρχονται και πάλι κοντά στο 1000. Οι τιμές που διαβάζουν οι αισθητήρες είναι ανάλογες του φωτισμού που υπάρχει στον χώρο.

#### Πλεονεκτήματα

- Είναι από τις πιο διαδεδομένες λύσεις . Η χρήση του αισθητήρα φωτός είναι λύση σε πολλά προβλήματα έτσι κάποια θέματα σχετικά με την χρήση του αισθητήρα ή ακόμα και κάποια προβλήματα που μπορεί να τύχει να συναντήσουμε έχουν είδη μελετηθεί και έτσι μπορούμε να βρούμε λύσεις.
- Μπορεί να εγκατασταθεί οπουδήποτε. Λόγω του ότι ο τρόπος που αισθανόμαστε είναι το φώς μπορούμε να εγκαταστήσουμε τον κόμβο οπουδήποτε. Για την εγκατάσταση του κόμβου δεν χρειάζεται οτιδήποτε επιπρόσθετο όπως σε άλλα είδη αισθητήρων που θα μελετήσουμε στην συνέχεια.

#### Μειονεκτήματα

- Σε ανοικτούς χώρους η τιμή του φωτός είναι μεταβαλλόμενη. Για παράδειγμα καθ όλη την διάρκεια της μέρας ο ήλιος κινείται έτσι οι τιμές που θα διαβάζουμε από τον

αισθητήρα θα είναι διαφορετικές και σε διάστημα αρκετών ορών θα έχουν και μεγάλη διαφορά. Επομένως απαιτητέ η ανάγκη για ένα πιο δυναμικό σύστημα.

- Είναι εύκολο να επηρεαστεί η αξιοπιστία του αισθητήρα από εξωτερικούς παράγοντες. Για παράδειγμα όταν έχει στιγμιαία συννεφιά οι τιμές που θα διαβάζουμε θα είναι πολύ πιο χαμηλές. Αυτό όμως δεν πρέπει να ερμηνευτεί από το σύστημα ότι οι τιμές αυτές είναι πιο χαμηλές λόγω του ότι κάποιος έχει σταθμεύσει στην θέση.
- Οι τιμές που παίρνουμε από τον αισθητήρα δεν είναι σταθερές άρα σε κάποιες περιπτώσεις και ιδιαίτερα σε τόπους με χαμηλό φωτισμό δεν είναι εύκολο να διαχωρίσουμε αν υπάρχει ή όχι αυτοκίνητο στην θέση.

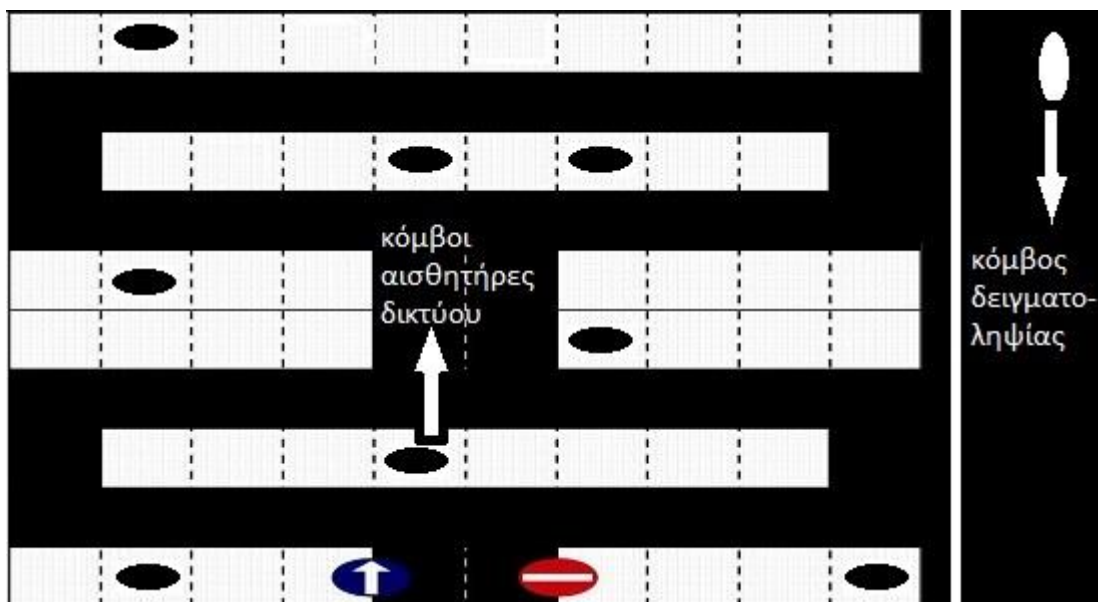
#### Λύση για χρήση του αισθητήρα φωτός σε ανοιχτούς χώρους

Το σημαντικότερο μειονέκτημα του αισθητήρα φωτός σε ανοιχτούς χώρους είναι ότι η τιμή του φωτός σε ένα συγκεκριμένο σημείο μεταβάλλεται συνεχώς κατά το διάστημα της μέρας. Επίσης μεταβάλλεται αναλόγως των καιρικών συνθηκών για παράδειγμα την μια μέρα μπορεί να είναι συννεφιά και την άλλη να έχει ηλιοφάνεια. Για αυτό τον λόγο δεν μπορούμε να ξέρουμε αν η τιμή που λαμβάνουμε από τον αισθητήρα φωτός αντιστοιχεί σε κρατημένη ή ελεύθερη θέση.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση ενός επιπλέον αισθητήρα ο οποίος θα έχει τον ρόλο του δειγματολήπτη. Ο αισθητήρας δεν θα είναι εγκατεστημένος σε κάποια θέση στάθμευσης αλλά θα είναι τοποθετημένος κάπου αλλού για να είναι πάντα ελεύθερος. Με αυτό τον τρόπο θα ξέρουμε την τιμή που αντιστοιχεί στην ελεύθερη θέση και έτσι όλες οι τιμές που θα έρχονται από τους αισθητήρες θα συγκρίνονται με την τιμή του αισθητήρα δειγματολήπτη.

Λόγο του ότι στο δίκτυο αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιούμε διαφόρων ειδών αισθητήρες θα πρέπει να ξέρουμε το είδος που χρησιμοποιείτε στην κάθε θέση για να διαχειριστούμε την πληροφορία ανάλογος του είδους του αισθητήρα. Για αυτό τον λόγο επεκτείνουμε την πληροφορία στο αρχείο που χρησιμοποιούμε στην εφαρμογή για συσχέτιση των θέσεων με τους αισθητήρες και προσθέτουμε το είδος του αισθητήρα που είναι εγκατεστημένος στην κάθε θέση.

Με αυτό τον τρόπο ξέρουμε ποιες ταυτότητες αισθητήρων αφορούν αισθητήρες φωτός και συγκρίνουμε την τιμή που στέλνουν με την τιμή που μας στέλνει ο κόμβος δειγματολύπτης.



Εικόνα 19- Περίπτωση χρήσης κόμβου για δειγματοληψία

### Αισθητήρας Μαγνητικού Πεδίου

Ο δεύτερος αισθητήρας που θα μελετήσουμε είναι αισθητήρας μαγνητικού πεδίου. Ο αισθητήρας που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο SE1000 ο οποίος είναι συμβατός με τους κόμβους της οικογένειας CMXX00. Στην πλακέτα υπάρχει ένας αισθητήρας υπέρυθρων και ένας αισθητήρας μαγνητικού πεδίου. Το κόστος του αισθητήρα ανέρχεται στα 80 ευρώ.



Εικόνα 10- Αισθητήρας μαγνητικού πεδίου [12]

### Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά

Contact Type : N.C.(οι επαφές κλίνουν όταν υπάρχει μαγνητισμός )

Max Switching Current : 0.3A

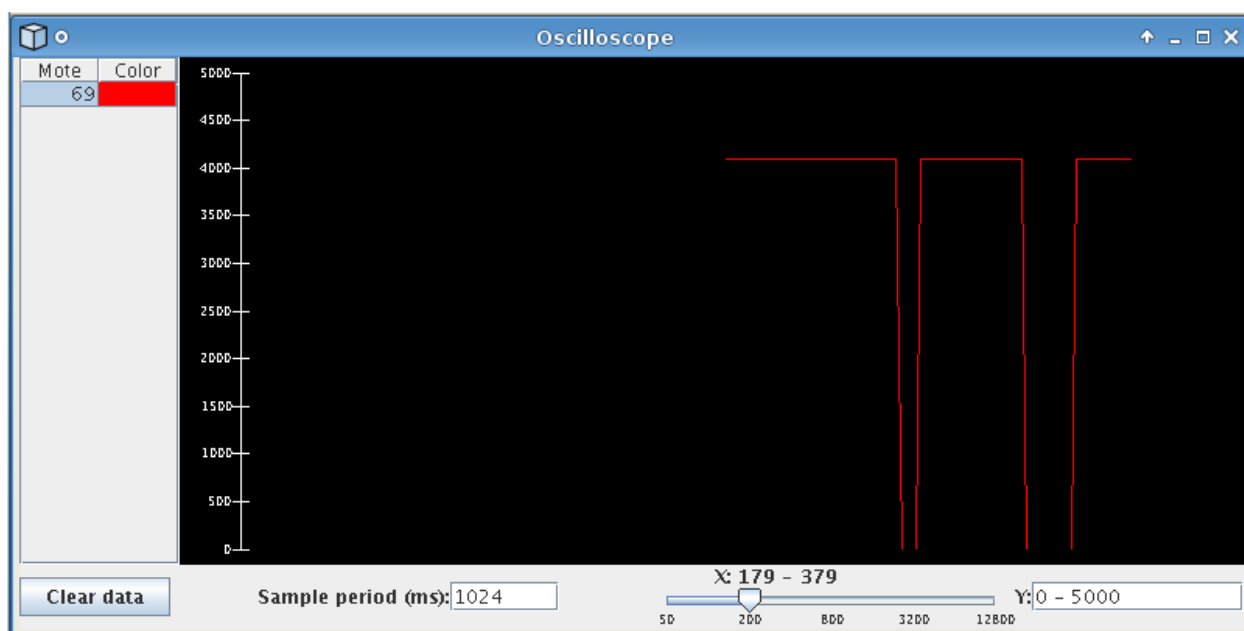
Max. Carry Current : 1.0A

Operating Temperature Range : 32°F ~ 120°F (0°C ~ 49°C)



Εγκατάσταση στον χώρο στάθμευσης

Ο αισθητήρας αποτελείται από δύο επαφές. Όταν οι επαφές ακουμπήσουν η μια την άλλη το κύκλωμα κλείνει και οι τιμές που παίρνουμε από τον αισθητήρα είναι  $\sim 0$ . Όταν οι επαφές απομακρυνθούν το κύκλωμα ανοίγει και οι τιμές που παίρνουμε είναι  $\sim 4500$ . Προφανώς δεν γίνεται να τοποθετήσουμε σε όλα τα αυτοκίνητα μια επαφή για να καταλαβαίνουμε πότε θα σταθμεύσει ένα αυτοκίνητο οπότε πρέπει να τοποθετήσουμε τον κόμβο σε κάποια πλατφόρμα. Ο τρόπος που θα χρησιμοποιήσουμε τον αισθητήρα είναι με την χρήση μιας πλατφόρμας. Όταν κάποιο αυτοκίνητο σταθμεύσει στην θέση και πατήσει πάνω στην πλατφόρμα με κάποιο μηχανισμό οι δύο επαφές θα έρχονται η μια κοντά στην άλλη και έτσι θα καταλαβαίνουμε ότι στην συγκεκριμένη θέση υπάρχει αυτοκίνητο.



Εικόνα 11- Συμπεριφορά αισθητήρα μαγνητικού πεδίου 11

Στην εικόνα φαίνεται πως συμπεριφέρεται ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου όταν ανοιγοκλείνουμε τις επαφές. Στα διαστήματα όπου οι τιμές που διαβάζουμε είναι κοντά στο 4500 οι επαφές είναι μακριά η μια από την άλλη. Στην αντίστροφη περίπτωση όταν οι επαφές κολλήσουν η μια στην άλλη οι τιμές κατεβαίνουν κατακόρυφα και μηδενίζονται.

#### Πλεονεκτήματα

- Όπως φαίνεται και από την εφαρμογή Oscilloscope οι τιμές που παίρνουμε είναι σταθερές έτσι είναι πολύ εύκολο να τις μεταφράσουμε σε κρατημένη ή ελεύθερη θέση.

- Δεν επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες ή καιρικά φαινόμενα όπως ο αισθητήρας φωτός.
- Είναι πολύ εύκολο στην χρήση του λόγω του ότι συμπεριφέρεται σαν ένας απλός διακόπτης

#### Μειονεκτήματα

- Το κύριο μειονέκτημα χρήσης του αισθητήρα μαγνητικού πεδίου είναι ότι πρέπει να κατασκευαστεί πλατφόρμα για να τοποθετηθεί ο κόμβος.

Αυτό έχει ως συνέπεια :

- α. Το κόστος εγκατάστασης ανά κόμβο είναι ψηλότερο
- β. Απαιτείτε περισσότερη μελέτη και δουλειά για τον σχεδιασμό και δημιουργία της πλατφόρμας.

#### Αισθητήρας Πίεσης

Ο αισθητήρας πίεσης είναι ο τρίτος αισθητήρας που θα μελετήσουμε σχετικά με την χρήση του στην εφαρμογή του έξυπνο παρκινγκ. Το όνομα του αισθητήρα είναι MTS-CO1000. Περιέχει ένα αισθητήρα πίεσης, γυροσκόπιο και αισθητήρα επιτάχυνσης. Είναι συμβατό με όλους τους κόμβους της οικογένειας CMXX00. Το κόστος του αισθητήρα ανέρχεται στα 116 ευρώ.



Εικόνα 12- Αισθητήρας Πίεσης [12]

Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά

Thickness : 0.008 (0.208 mm)

Length : 8"

Width : 14 mm

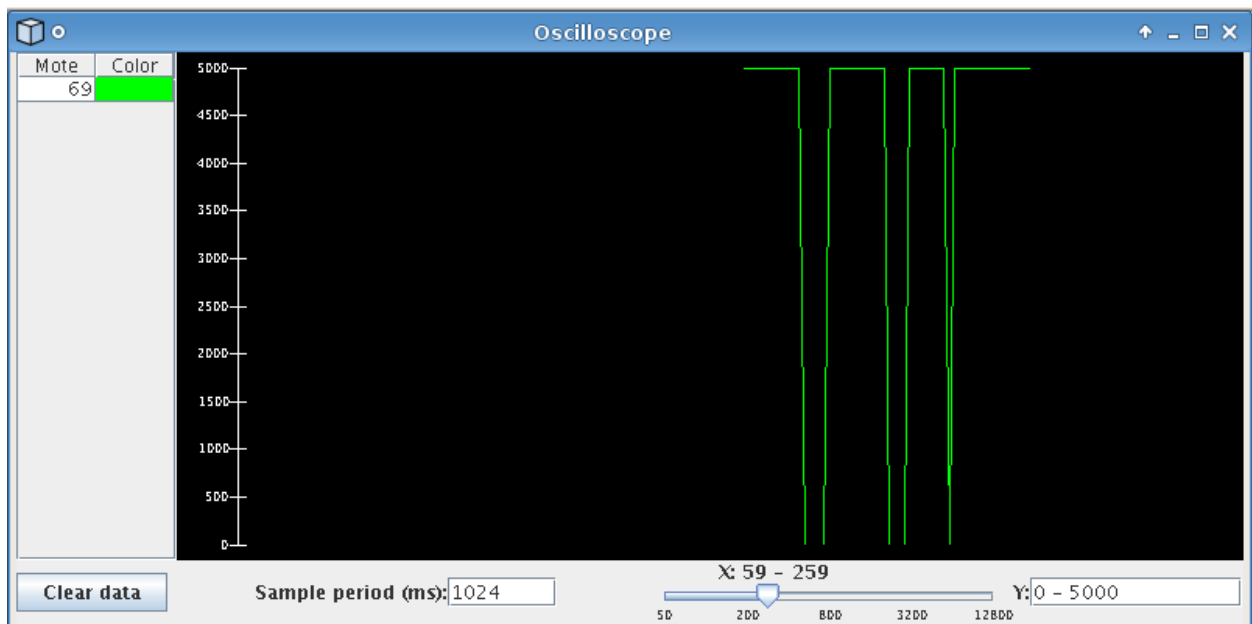
Sensing Area : 9.53 mm diameter

Response Time : <5 microseconds

Error : +/- 3%

Εγκατάσταση στον χώρο στάθμευσης

Η χρήση του αισθητήρα πίεσης είναι παρόμοια με την χρήση του αισθητήρα μαγνητικού πεδίου. Και εδώ θα πρέπει να σχεδιάσουμε κάποιου είδους πλατφόρμα ούτως ώστε όταν ένα αυτοκίνητο σταθμεύσει στην θέση που παρακολουθείτε από τον αισθητήρα με κάποιο τρόπο να εφαρμοστεί πίεση στο συγκεκριμένο σημείο στον αισθητήρα και να καταλάβουμε ότι κάποιος έχει σταθμεύσει .



Εικόνα 13-Συμπεριφορά αισθητήρα πίεσης

Παρατηρούμε και εδώ ότι η συμπεριφορά του αισθητήρα πίεσης είναι ίδια με την συμπεριφορά του αισθητήρα μαγνητικού πεδίου. Όταν δεν ασκείται πίεση οι τιμές που λαμβάνουμε από τον αισθητήρα είναι κοντά στο 5000 πράγμα το οποίο το μεταφράζουμε σαν ελεύθερη θέση. Όταν ασκηθεί πίεση στην άκρη του αισθητήρα οι τιμές μηδενίζονται και έτσι καταλαβαίνουμε ότι η θέση είναι κρατημένη.

Πλεονεκτήματα

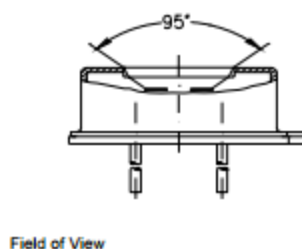
- Ο αισθητήρας συμπεριφέρεται ως διακόπτης έτσι είναι εύκολο να καταλάβουμε πώς να τον χρησιμοποιήσουμε.
- Οι τιμές που διαβάζουμε είναι σταθερές άρα είναι ξεκάθαρο πότε μια θέση είναι κρατημένη ή ελεύθερη
- Ο αισθητήρας είναι αρκετά αξιόπιστος και σε εξωτερικούς χώρους αφού δεν επηρεάζεται από καιρικά φαινόμενα.
- Με τον αισθητήρα πίεσης μπορούμε να αντιληφθούμε οχήματα με μικρότερο όγκο όπως μηχανές. Σε αντίθεση με τον αισθητήρα φωτός μπορεί η μηχανή να μην καλύπτει πλήρως τον αισθητήρα και να μην αισθανθούμε ότι η θέση κρατήθηκε.

#### Μειονεκτήματα

- Χρειάζεται επιπρόσθετη πλατφόρμα για την εγκατάσταση του αισθητήρα πράγμα το οποίο θα αυξήσει το κόστος της εφαρμογής ανά θέση στάθμευσης.
- Αν τοποθετηθεί ένα αντικείμενο πάνω στην θέση θα ασκηθεί πίεση και θα φαίνεται ότι κάποιος στάθμευσε στην θέση οπότε αυτή η λύση είναι ευαίσθητη στους κακόβουλους χρήστες.

#### Αισθητήρας με χρήση υπέρυθρων ακτινών

Ο τέταρτος και τελευταίος αισθητήρας που θα μελετήσουμε είναι αισθητήρας υπέρυθρων ακτινών. Ο αισθητήρας που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο SE1000. Είναι ο ίδιος τύπος αισθητήρα που χρησιμοποιούμε και για αισθητήρα μαγνητικού πεδίου.



**Εικόνα 14- Αισθητήρας υπέρυθρων ακτινών [12]**

Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά

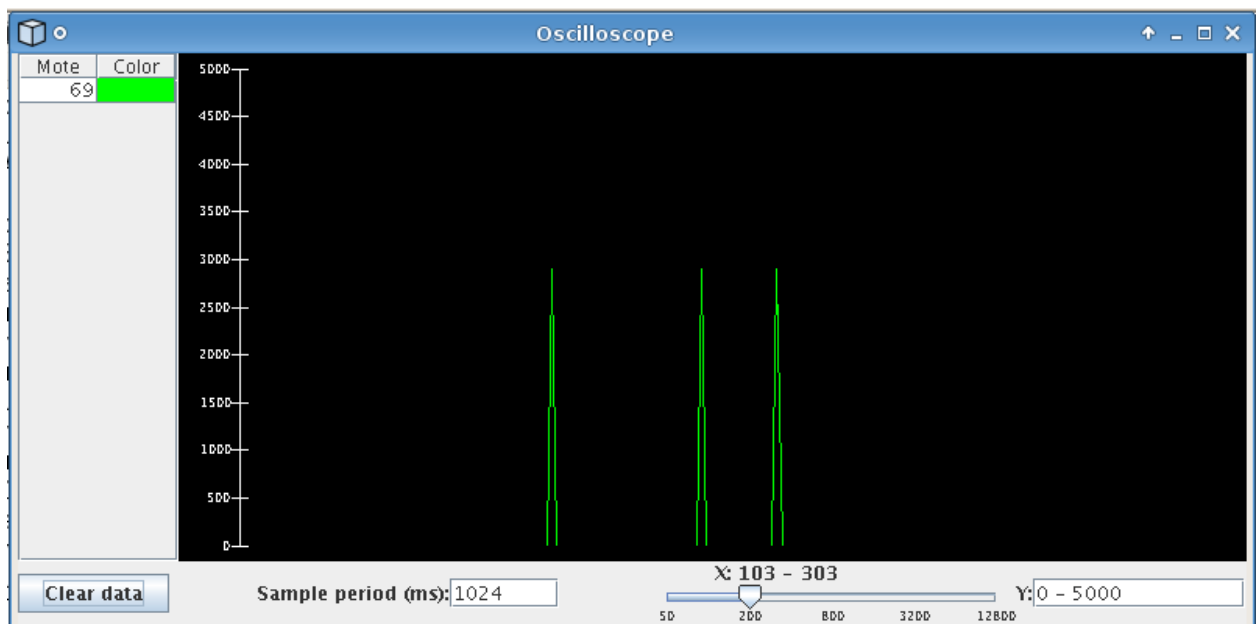
Field of View, vertical : 95 °

Field of View, horizontal : 90°

Operating Temperature : -40 - 85C°

Εγκατάσταση στον χώρο στάθμευσης

Η χρήση του αισθητήρα υπέρυθρων ακτινών διαφέρει από τους υπόλοιπους αισθητήρες που είδαμε πιο πάνω. Σε αυτή την περίπτωση ο αισθητήρας δεν δουλεύει σαν διακόπτης αλλά μας ειδοποιεί όταν γίνεται ένα γεγονός. Το γεγονός αυτό είναι ότι κάτι μπήκε στην εμβέλεια του αισθητήρα. Στην περίπτωση της εφαρμογής μας το γεγονός είναι μια ξεχωριστή μεγαλύτερη τιμή την οποία λαμβάνουμε από τον αισθητήρα. Η εγκατάσταση του αισθητήρα δεν απαιτεί κάτι επιπρόσθετο όπως οι αισθητήρες πίεσης και μαγνητικού πεδίου αισθητήρας μπορεί να θραυτεί κάτω από την θέση στάθμευσης όπως και στην περίπτωση του αισθητήρα φωτός ή στην οροφή.



Εικόνα 15- Συμπεριφορά αισθητήρα υπέρυθρων ακτινών

Στην πιο πάνω εικόνα παρατηρούμε την συμπεριφορά του αισθητήρα. Κάθε κορυφή δημιουργήθηκε όταν υπήρξε κάποια αλλαγή στο περιβάλλον εμβέλειας του αισθητήρα. Η αλλαγή είναι η έλευση ή η αποχώρηση ενός αυτοκινήτου στην θέση στάθμευσης. Στην πράξη αρχικά η θέση είναι ελεύθερη. Όταν κάποιο αυτοκίνητο σταθμεύσει θα παρατηρήσουμε μια κορυφή και η θέση θα γίνει κρατημένη. Όταν το αυτοκίνητο φύγει από την θέση θα παρατηρήσουμε άλλη μια κορυφή οπότε θα μετατρέψουμε την θέση και πάλι σε ελεύθερη.

Πλεονεκτήματα

- Ο αισθητήρας υπέρυθρων ακτινών αντιλαμβάνεται πιο γρήγορα την αλλαγή στον χώρο οπότε έχει πλεονέκτημα έναντι των υπόλοιπων στο θέμα του χρόνου απόκρισης.

- Δεν χρειάζεται κάποιου είδους επιπρόσθετη πλατφόρμα για την εγκατάσταση του στον χώρο στάθμευσης.
- Επηρεάζεται το λιγότερο από καιρικά φαινόμενα και άλλους εσωτερικούς παράγοντες.

#### Μειονεκτήματα

- Το κύριο μειονέκτημα του αισθητήρα υπέρυθρων ακτινών είναι ότι είναι πολύ ευαίσθητος. Αυτό τον καθιστά όχι και τόσο αξιόπιστο στην λειτουργία του.
- Το δεύτερο μειονέκτημα που έχει είναι ότι δεν κρατά την κατάσταση που βρίσκεται. Όπως παρατηρήσαμε στο Oscilloscope όταν γίνει ένα γεγονός ο αισθητήρας μας δίνει μια ψηλή τιμή και ακολούθως επιστρέφει στο 0. Έτσι δεν ξέρουμε ποιο είναι το γεγονός. Σε αντίθεση οι υπόλοιποι αισθητήρες έχουν σταθερή τιμή και στην περίπτωση που η θέση είναι κρατημένη και στην περίπτωση που η θέση είναι ελεύθερη έτσι φαίνεται σε ποια κατάσταση βρισκόμαστε χωρίς να ξέρουμε την προηγούμενη κατάσταση.
- Επακόλουθο του δεύτερου μειονεκτήματος είναι ότι εάν παρέμβει κάτι στην εμβέλεια του αισθητήρα αυτό θα φανεί σαν ένα γεγονός και για τον λόγο που αναφέραμε πιο πάνω θα δημιουργηθεί σφάλμα.

#### Χρήση δεύτερου αισθητήρα στην θέση στάθμευσης

Η επίλυση διαφόρων ζητημάτων όπως η αξιοπιστία, ο εντοπισμός λαθών και ο μικρός χρόνος απόκρισης έχουν ιδιαίτερη σημασία την σωστή λειτουργία μιας εφαρμογής. Στην περίπτωση μας θέλουμε για την κάθε θέση που ελέγχεται από το δίκτυο μας να είμαστε σίγουροι :

- Για τις τιμές που παίρνουμε από τους αισθητήρες
- Όταν υπάρχει είτε τεχνικό πρόβλημα είτε πρόβλημα που δημιουργήθηκε από οποιοδήποτε άλλο παράγοντα όπως εξάντληση της πηγής ενέργειας του κόμβου ή πρόκληση κακόβουλης ζημιάς στο δίκτυο να μπορούμε να το εντοπίσουμε
- Να παρουσιάζεται σε πραγματικό χρόνο η κατάσταση του παρκινγκ στον τελικό χρήστη χωρίς καθυστερήσεις.

Για να πετύχουμε τους πιο πάνω στόχους θα εγκαταστήσουμε σε κάθε θέση δεύτερο αισθητήρα ο οποίος θα είναι διαφορετικού τύπου. Με αυτό τον τρόπο με βάση τις τιμές που παίρνουμε από τους δύο αισθητήρες οι οποίοι πρέπει να συμφωνούν ως προς την κατάσταση που βρίσκεται η θέση στάθμευσης επαληθεύουμε την εγκυρότητα των αισθητήρων. Εάν οι δύο αισθητήρες δεν συμφωνούν τότε η κατάσταση της θέσης δεν ορίζεται και χρωματίζεται διαφορετικά στην εικόνα που παρουσιάζεται στον χρήστη. Έτσι δημιουργείτε ένα επίπεδο αξιοπιστίας ως προς την εικόνα που δίνουμε στον χρήστη.

Επίσης αν οι δύο αισθητήρες δεν συμφωνούν αυτό σημαίνει ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα. Το πρόβλημα μπορεί να είναι τεχνικό όπως βλάβη στον κόμβο ή απώλεια ενέργειας, είτε μπορεί να προκλήθηκε κακόβουλα από κάποιο άνθρωπο όπως να τοποθετήθηκε ένα αντικείμενο πάνω από τον αισθητήρα. Και στις δύο περιπτώσεις η διαφωνία των δύο κόμβων θα μας δείξει ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα και έτσι θα παρέμβουμε στο δίκτυο για να επιλύσουμε το πρόβλημα.

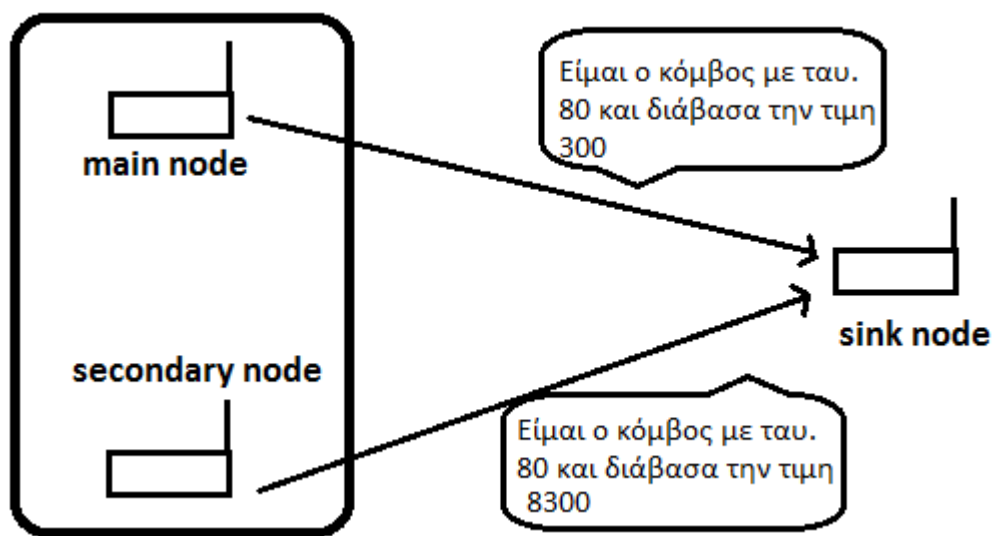
Η χρήση δύο αισθητήρων μας επιτρέπει να συνδυάσουμε τα πλεονεκτήματα των δύο τύπων και να αγνοούμε τα μειονεκτήματα του καθενός. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση αισθητήρα μαγνητικού πεδίου και αισθητήρα υπέρυθρων. Ο αισθητήρας υπέρυθρων αντιλαμβάνεται πιο γρήγορα την αλλαγή στον χώρο όμως είναι πολύ ευαίσθητος. Έτσι μπορούμε να τον συνδυάσουμε με τον αισθητήρα μαγνητικού πεδίου και να έχουμε γρήγορο χρόνο απόκρισης που μας δίνουν οι υπέρυθρες και αξιοπιστία που μας δίνει ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο συνδυασμός αισθητήρα φωτός με αισθητήρα πίεσης. Αναφέραμε ότι ο αισθητήρας φωτός δεν προτιμάτε σε ανοικτούς χώρους λόγω του ότι η τιμή του φωτός είναι μεταβαλλόμενη. Έτσι μπορούμε να τον συνδυάσουμε με τον αισθητήρα πίεσης για να επαληθεύουμε την κατάσταση της θέσης στάθμευσης.

### Εφαρμογή στην πράξη

Η χρήση δεύτερου αισθητήρα για κάθε θέση στάθμευσης είναι ένας τρόπος να δημιουργήσουμε ένα επίπεδο αξιοπιστίας στο δίκτυο μας. Προφανώς όμως όπως και κάθε λύση έχει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Το πρώτο μειονέκτημα είναι ότι αφού το πλήθος των αισθητήρων θα διπλασιαστεί πιθανότατα θα διπλασιαστεί και το ολικό κόστος του δικτύου και αφού το κόστος είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην υλοποίηση της εφαρμογής δεν μπορούμε να το παραβλέψουμε.

Ένα άλλο πρόβλημα που δημιουργείται με αυτή την λύση είναι ότι θα αυξηθεί η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου που τρέχει στον εξυπηρετητή. Τώρα τα μηνύματα που θα λαμβάνει ο εξυπηρετητής θα είναι διπλάσια ενώ θα πρέπει να συσχετίζει δύο ταυτότητες με κάποια συγκεκριμένη θέση και ταυτόχρονα να κρατεί ενημερωμένη την κατάσταση της

θέσης με βάση και τους δύο αισθητήρες. Ο τρόπος που διαχειριζόμαστε αυτή την περίπτωση είναι ότι ο πρώτος αισθητήρας είναι ο κύριος αισθητήρας και ο δεύτερος αισθητήρας είναι ο αισθητήρας συνεργάτης. Δεν πρέπει αναγκαστικά όλες οι θέσεις να έχουν και τους δύο αισθητήρες αλλά όλες οι θέσεις έχουν τουλάχιστον τον κύριο αισθητήρα. Οι δύο αισθητήρες στέλλουν τα μηνύματα με τις τιμές που διαβάζουν χρησιμοποιώντας την ίδια ταυτότητα. Για να μπορούμε να διαχωρίσουμε τις τιμές που στέλνει ο καθένας μετατοπίζουμε το φάσμα τιμών του αισθητήρα συνεργάτη σε ψηλότερες τιμές. Με αυτό τον τρόπο ξέρουμε ότι αν η τιμή είναι μικρότερη από κάποιο αριθμό «χ» που ορίζουμε τότε η τιμή προήλθε από τον κύριο αισθητήρα ενώ αν είναι μεγαλύτερη από την τιμή «χ» τότε την έχει στείλει ο αισθητήρας συνεργάτης.



Εικόνα 16- Χρήση δευτέρου κόμβου σε κάθε θέση

Το τελευταίο ζήτημα που πρέπει να λυθεί είναι το πρόβλημα της διαφωνίας. Όπως αναφέραμε πιο πάνω τώρα η κατάσταση της θέσης στάθμευσης θα πρέπει να καθορίζεται με βάση την διάγνωση και των δύο αισθητήρων. Όποτε θα πρέπει να ορίσουμε πως θα πρέπει να διαχειριστούμε την περίπτωση που οι δύο αισθητήρες θα έχουν διαφωνία. Η περίπτωση αυτή δημιουργείται όταν ένας από τους δύο αισθητήρες ή και οι δύο αυτοί που διαβάζουν δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε λόγω βλάβης του αισθητήρα, είτε λόγω εξάντλησης της πηγής ενέργειας ή ακόμα και από τοποθέτηση ξένου αντικείμενου στο πεδίο του αισθητήρα. Αν συμβεί οτιδήποτε από τα πιο πάνω θα πρέπει να το εντοπίσουμε και να παρέμβει ο τεχνικός για να το διορθώσει οπότε ο τρόπος που διαχειριζόμαστε την κατάσταση αυτή είναι να χρωματίζουμε με διαφορετικό χρώμα την θέση στάθμευσης στην οθόνη και η θέση να μπαίνει σε κατάσταση «Μη ορισμένη».



Λόγω του ότι σε μια θέση στάθμευσης ο κύριος αισθητήρας και ο αισθητήρας συνεργάτης το πιο πιθανό να είναι διαφορετικού τύπου θα παρατηρούμε μια διαφορά στον χρόνο απόκρισης ανάμεσα στους δύο αισθητήρες. Αυτό μπορεί να μεταφραστεί σαν διαφωνία γιατί ο ένας από τους δύο αισθητήρες θα αντιληφθεί πιο γρήγορα την αλλαγή. Αν μεταφράσουμε σαν διαφωνία αυτή την διαφορά απόκρισης τότε θα δώσουμε στον χρήστη λάθος πληροφορία. Για να αποτρέψουμε αυτό το γεγονός επιτρέπουμε στους δύο κόμβους να έχουν κάποιο αριθμό συνεχόμενων διαφωνιών. Έτσι δίνουμε την ευκαιρία στον πιο αργό αισθητήρα να ενημερώσει την κατάσταση του. Αν ο αριθμός των διαφωνιών ξεπεράσει τον μέγιστο επιτρεπόμενο αριθμό τότε θεωρούμε ότι υπάρχει πρόβλημα και η θέση μεταβαίνει σε κατάσταση «Μη ορισμένη».

#### **4.3 Αξιολόγηση λειτουργίας**

Αφού μελετήσαμε τις τεχνολογίες που θα χρησιμοποιήσουμε εντοπίσαμε ιδιότητες και περιορισμούς που πρέπει να είχαμε υπόψη μας. Στη συνέχεια με βάση την έρευνα που είχαμε κάνει υλοποιήσαμε την εφαρμογή και παρουσιάσαμε την λύση στο πρόβλημα μας. Αυτό που πρέπει να κάνουμε στην συνέχεια όπως και σε όλες τις εφαρμογές είναι να αξιολογήσουμε την λύση μας όσον αφορά την λειτουργία και την αποτελεσματικότητα.

##### **4.3.1 Αξιολόγηση εφαρμογής σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των WSN**

Στο Κεφάλαιο 2 μελετήσαμε τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Μέρος την μελέτης αναφέρεται στα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες που έχουν αυτού του είδους τα δίκτυα. Επομένως πρέπει να ελέγξουμε αν η εφαρμογή λαμβάνει υπόψη τα κριτήρια αυτά.

Το πρώτο χαρακτηριστικό αναφέρεται στην κατανάλωση ενέργειας. Λόγω του ότι η πηγή ενέργειας είναι περιορισμένη πρέπει οι κόμβοι να έχουν όσο το δυνατό λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Λόγω του ότι η επικοινωνία είναι με την χρήση multi-hop μοντέλου τα μηνύματα στέλνονται σε κοντινές αποστάσεις και έτσι δεν χρειάζεται μεγάλο ποσοστό ενέργειας για να σταλούν τα μηνύματα. Όμως υπάρχει το μειονέκτημα ότι οι κόμβοι είναι συνέχεια σε λειτουργία για να προωθούν τα μηνύματα των υπόλοιπων ενώ θα μπορούσαν αφού εκτελέσουν τις μετρήσεις τους να μουν σε κατάσταση sleep-mode και έτσι να εξοικονομείτε ενέργεια. Επίσης με την χρήση του multi-hop θα υπάρχουν κόμβοι στο

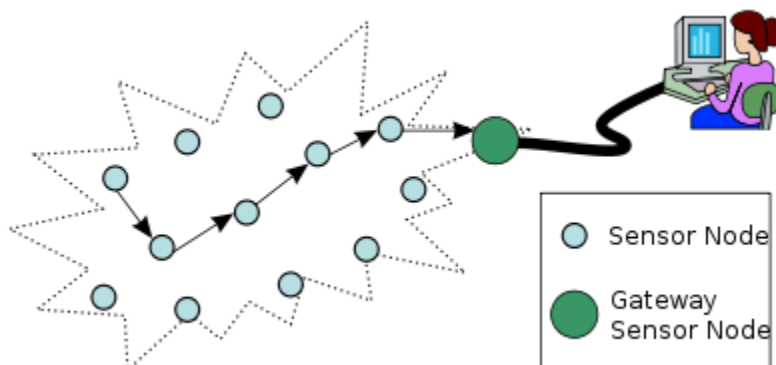
δίκτυο, κυρίως οι κόμβοι που είναι κοντά στον ριζικό κόμβο, οι οποίοι θα προωθούν πολλά μηνύματα και έτσι θα εξαντλείτε πιο γρήγορα η πηγή ενέργειας τους.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι η χαμηλή υπολογιστική ισχύ που έχουν οι κόμβοι αισθητήρες. Ο αλγόριθμος που θα τρέχει ο κάθε κόμβος πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο απλός και να κάνει αποδοτική χρήση της μνήμης. Στην δική μας περίπτωση όπως φαίνεται και στο Κεφάλαιο 4.3 ο αλγόριθμος είναι αρκετά απλός και η μνήμη που χρησιμοποιεί είναι μόνο για να φυλάει προσωρινά τις μετρήσεις του κάθε δευτερολέπτου πριν να τις στείλει.

Τελευταίο χαρακτηριστικό είναι η απόδοση του δικτύου όσον αφορά την αξιόπιστη μεταφορά των μηνυμάτων. Η αποστολή των μηνυμάτων πρέπει να είναι επιτυχής για δύο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι για να μην γίνεται αναμετάδοση των μηνυμάτων και ο δεύτερος λόγος είναι για να ανταποκρίνεται όσο πιο γρήγορα η εφαρμογή στον χρήστη. Όσον αφορά την δική μας εφαρμογή όταν οι κόμβοι είναι σε κοντινές αποστάσεις δεν χάνονται πακέτα και η εφαρμογή ανταποκρίνεται με μέγιστο χρόνο καθυστέρησης δύο δευτερολέπτων από την στιγμή που θα αλλάξει η κατάσταση μιας θέσης.

#### 4.3.2 Αξιολόγηση Επικοινωνίας στο δίκτυο των αισθητήρων

Το δίκτυο από το οποίο παρακολουθούνται οι θέσεις στάθμευσης αποτελείται από ασύρματους αισθητήρες. Η πληροφορία ανταλλάσσεται με μηνύματα τα οποία θα πρέπει να καταλήξουν στον κόμβο που είναι συνδεδεμένος με τον εξυπηρετητή για να μεταφερθούν από την σειριακή θύρα στην εφαρμογή. Προφανώς στο δίκτυο υπάρχουν κόμβοι οι οποίοι είναι σε μεγαλύτερη απόσταση από την ακτίνα εμβέλειας του ριζικού κόμβου. Έτσι θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα είδος επικοινωνίας στο οποίο να μην χρειάζεται οι κόμβοι να έχουν απευθείας επαφή με τον ριζικό κόμβο.



Εικόνα 17- Επικοινωνία με ad-hoc multi-hop [1]

Ο τρόπος που επιτυγχάνεται η επικοινωνία ανάμεσα στους αισθητήρες είναι με ad-hoc multi-hop. Με αυτό τον τρόπο τα μηνύματα μεταφέρονται από κόμβο σε κόμβο μέχρι να φτάσουν στον ριζικό κόμβο. Έτσι μπορούμε να κτίσουμε ένα δίκτυο κερδίζοντας τα οφέλη που μας προσφέρει το multi-hop.

#### Πλεονεκτήματα κάνοντας χρήση του δικτύου multi-hop

- Εύκολη κάλυψη σε περιοχές που δεν υπάρχει ενσύρματη εγκατάσταση
- Μεγαλύτερη ευκολία στην επέκταση του δικτύου
- Δεν έχουμε κόστος καλωδίωσης
- Λιγότερη κατανάλωση ενέργειας λόγω χαμηλότερης μεταφοράς ενέργειας

Οι κόμβοι που χρησιμοποιούμε στο δίκτυο είναι της οικογένειας telosb. Αφού το δίκτυο βασίζεται στην επικοινωνία ανάμεσα στους κόμβους θα πρέπει να ελέγξουμε τα όρια σχετικά με την απόσταση που μπορούμε να έχουμε ανάμεσα σε δύο κόμβους.

#### Δοκιμές όσον αφορά την επικοινωνία των κόμβων

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν δοκιμές που έγιναν για να παρατηρήσουμε πως συμπεριφέρεται το δίκτυο όσον αφορά την απόστασης ανάμεσα των κόμβων, μέχρι που παραμένει ικανοποιητικός ο ρυθμός επικοινωνίας και πως συμπεριφέρεται το multi-hop πρωτόκολλο με μεγαλύτερο αριθμό από κόμβους.

Για να ανακαλύψουμε το όριο της απόστασης μεταξύ των κόμβων παρατηρούμε τον ρυθμό που καταφθάνουν τα πακέτα και τον ρυθμό που χάνονται πακέτα. Οι αισθητήρες εκτελούν δύο μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο οπότε θέλουμε να κρατηθεί όσο το δυνατό αυτός ο ρυθμός για να ανταποκρίνεται γρήγορα η εφαρμογή που παρουσιάζει τις αλλαγές στον τελικό χρήστη.

#### Δοκιμή 1

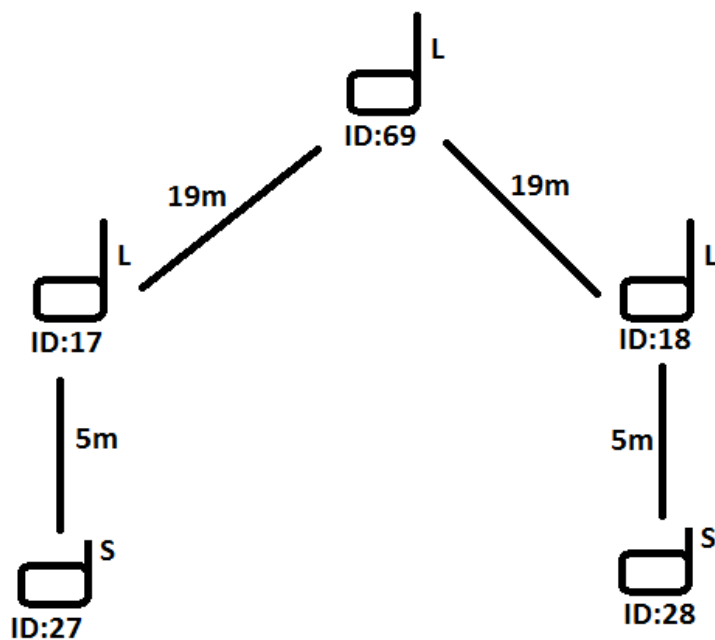
Η πρώτη δοκιμή αφορά την απόσταση επικοινωνίας ανάμεσα στα είδη των κόμβων που χρησιμοποιούμε. Ο πρώτος τύπος είναι ο CM3000 ο οποίος έχει ενσωματωμένη εσωτερική antena και ο δεύτερος τύπος είναι ο CM5000 ο οποίος έχει εξωτερική βάση για antena. Για τον τύπο CM5000 θα δοκιμάσουμε δύο είδη μεγέθους antenών, μικρή και μεγάλη antena. Οι

αποστάσεις που οι κόμβοι μπορούν να στείλουν τα μηνύματα τους χωρίς να χάνονται πακέτα είναι :

| Αποστολέας/Παραλήπτης | CM3000 | CM5000 μικρή<br>αντένα | CM5000 μεγ.<br>αντένα |
|-----------------------|--------|------------------------|-----------------------|
| CM3000                | 6m     | 11m                    | 13m                   |
| CM5000 μικρή αντένα   | 10m    | 14m                    | 17m                   |
| CM5000 μεγ. αντένα    | 15m    | 22m                    | 30m                   |

## Δόκιμη 2

Αφού ανακαλύψαμε τα όρια στην απόσταση επικοινωνίας σειρά έχει να δοκιμάσουμε το είδος της επικοινωνίας που θα χρησιμοποιήσουμε αν όντως μας εξυπηρετεί. Σε αυτή την δοκιμή μελετήσαμε το πιο κάτω δίκτυο.



Εικόνα 18- Δίκτυο δοκιμής 2

Ο κόμβος με αριθμό ταυτότητας 69 είναι ο ριζικός κόμβος ο οποίος είναι απευθείας συνδεδεμένος με τον εξυπηρετητή. Οι κόμβοι με αριθμό ταυτότητας 17,18 είναι τύπου CM5000 με μεγάλη αντένα και οι κόμβοι με αριθμό ταυτότητας 27 και 28 είναι τύπου CM3000 .

Σε αυτή την περίπτωση θέλουμε να δούμε αν πράγματι το μοντέλο που επιλέξαμε για να επικοινωνούν οι κόμβοι δουλεύει όπως το περιμένουμε. Οι κόμβοι 27,28 είναι αδύνατο να

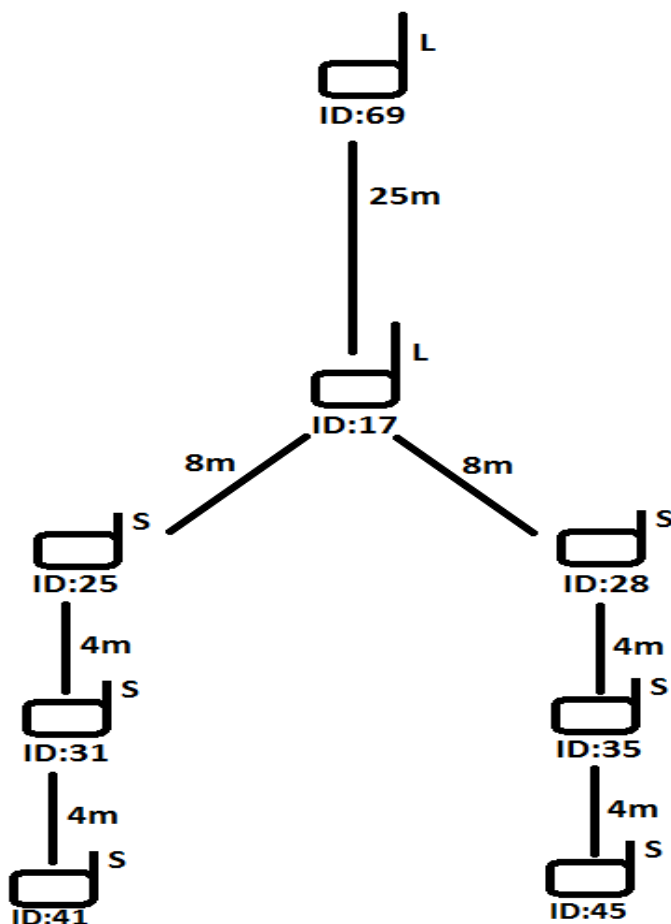
επικοινωνήσουν με τον ριζικό κόμβο απευθείας λόγω του ότι η απόσταση που βρίσκονται είναι μεγαλύτερη από την απόσταση που μπορούν να επικοινωνήσουν ένας κόμβος CM3000 και ένας κόμβος CM5000.

Παρόλα αυτά στον ριζικό κόμβο καταφθάνουν μηνύματα από όλους τους κόμβους του δικτύου. Στην αντίθετη περίπτωση όταν απενεργοποιήσουμε τους κόμβους με αριθμό ταυτότητας 17,18 τα μηνύματα των κόμβων 27,28 δεν φτάνουν στον ριζικό κόμβο.

Οπότε αυτό που συμπεραίνουμε είναι ότι τα μηνύματα των κόμβων 27,28 έφταναν στον ριζικό κόμβο μέσω των κόμβων 17,18 και ότι όντως το multi-hop μοντέλο επικοινωνίας που χρησιμοποιούμε δουλεύει και μεταφέρει τα μηνύματα από κόμβο σε κόμβο.

### Δοκιμή 3

Στην δοκιμή 2 συμπεράναμε ότι το μοντέλο επικοινωνίας που χρησιμοποιούμε όντως δουλεύει όπως το περιμέναμε. Στην πράξη όμως ένας κόμβος μπορεί να μεταφέρει μηνύματα πολλών άλλων κόμβων. Αυτό που θέλουμε να μελετήσουμε σε αυτή την δοκιμή είναι να δούμε πως συμπεριφέρεται ένας κόμβος ο οποίος λειτουργεί σαν γέφυρα μεταξύ μιας γειτονιάς κόμβων και του υπόλοιπου δικτύου. Για αυτή την δοκιμή χρησιμοποιήσαμε το πιο κάτω δίκτυο.



Εικόνα 19- Δίκτυο δοκιμής 3

Στο πιο πάνω δίκτυο οι κόμβοι με αριθμό ταυτότητας 69,17 είναι τύπου CM5000 με μεγάλη αντένα ενώ οι υπόλοιποι κόμβοι του δικτύου είναι τύπου CM3000.

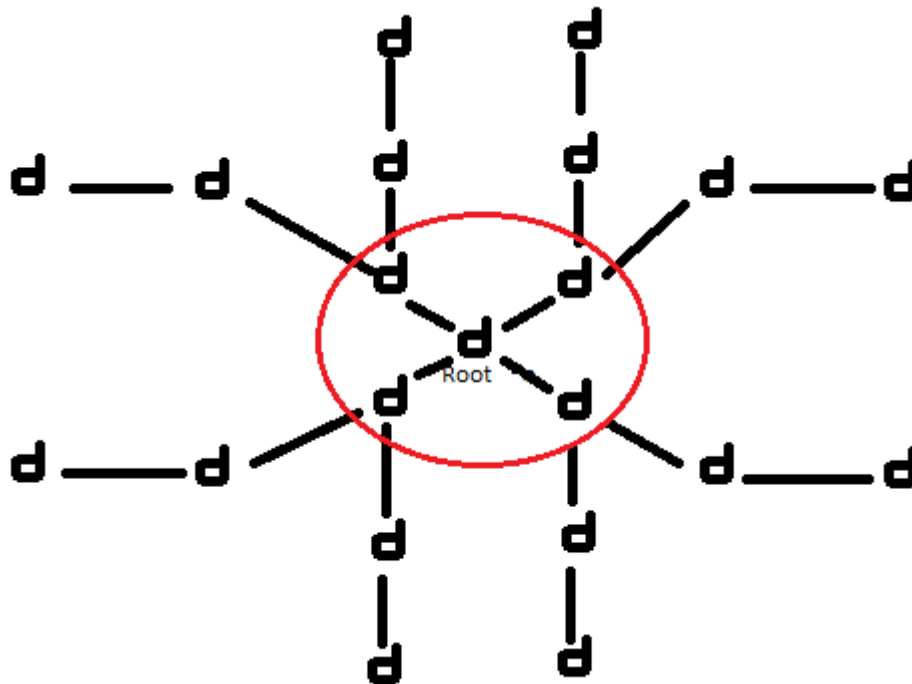
Όπως φαίνεται και από το σχήμα υπάρχει μια γειτονία κόμβων οι οποίοι έχουν απόσταση μεγαλύτερη των 25 μέτρων από το υπόλοιπο δίκτυο και ο κοντινότερος κόμβος της γειτονιάς είναι ο κόμβος με αριθμό ταυτότητας 69. Τα μηνύματα της γειτονιάς μεταφέρονται στον κόμβο 69 μέσω του κόμβου 17 ο οποίος έχει απόσταση από τον κόμβο 69 περίπου 25 μέτρα. Τώρα ο κόμβος 17 μεταφέρει όλα τα μηνύματα των υπόλοιπων για αυτό τον λόγο αναμένουμε να υπάρχει μια μικρή καθυστέρηση. Η καθυστέρηση αυτή όμως για να είναι ανεκτή δεν πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ωστόσο να καθυστερεί το τελικό αποτέλεσμα γιατί θέλουμε η εφαρμογή που παρουσιάζει την κατάσταση του χορού στάθμευσης στον τελικό χρήστη να ανταποκρίνεται όσο το δυνατό σε πραγματικό χρόνο.

Για να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά του δικτύου σε αυτή την περίπτωση καταγράφουμε την χρονική στιγμή που παραλάβαμε στην εφαρμογή τα μηνύματα του κάθε κόμβου. Στη συνέχεια υπολογίζουμε κάθε πόσα δευτερόλεπτα λαμβάναμε μήνυμα από κάθε κόμβο αντίστοιχα και έτσι βλέπουμε αν η διαφορά ανάμεσα σε διαδοχικά μηνύματα είναι ανεκτή.

Κάθε κόμβος στο δίκτυο εκτελεί δύο μετρήσεις το δευτερόλεπτο και ακολούθως τις στέλνει. Συμφώνα με τις μετρήσεις που κάναμε παραλαμβάναμε στην εφαρμογή κατά μέσο όρο κάθε 2 δευτερόλεπτα μήνυμα από κάθε κόμβο. Έτσι με την τρίτη δοκιμή φτάσαμε στο συμπέρασμα ότι δεν μας επηρεάζει αισθητά αν ένας κόμβος λειτουργεί σαν γέφυρα αφού ο κόμβος 17 μετάφερε τα μηνύματα άλλων έξι κόμβων και δεν είχαμε μεγάλες καθυστερήσεις.

#### Επικοινωνία και κατανάλωση ενέργειας

Πιο πάνω αναφέραμε ότι ο τρόπος που επικοινωνούν οι κόμβοι είναι με το multi-hop μοντέλο επικοινωνίας. Αυτό που συμβαίνει σε αυτό το μοντέλο επικοινωνίας είναι ότι τα μηνύματα των πιο απομακρυσμένων κόμβων μεταφέρονται μέσω των πιο κοντινών κόμβων. Οπότε αναμένουμε ένας αριθμός κόμβων οποίοι βρίσκονται στον πύρινα του δικτύου να μεταφέρουν αρκετά μεγαλύτερο αριθμό πακέτων από ότι οι πιο εξωτερικοί κόμβοι. Αυτό εξαρτάτε και από την θέση του ριζικού κόμβου. Δηλαδή αν ο ριζικός κόμβος βρίσκεται στην άκρη του δικτύου και το δίκτυο αναπτύσσεται σαν ένα δέντρο προφανώς οι πρώτοι κόμβοι θα μεταφέρουν όλα τα μηνύματα του υπόλοιπου δέντρου. Μια καλύτερη περίπτωση είναι ο ριζικός κόμβος να είναι στη μέση του δικτύου.



Εικόνα 20- Περίπτωση όπου ο ριζικός κόμβος είναι στη μέση

Ένα μήνυμα αποτελείται από τον μέγιστο αριθμό δειγμάτων  $N$  ανά δευτερόλεπτο και την ταυτότητα. Κάθε δείγμα αναπαριστάται με ένα αριθμό των 16 bits και άλλα 16 bits η ταυτότητα του κόμβου. Οπότε το μέγεθος του κάθε μηνύματος είναι  $16 \text{ bits} * (N+1)$ . Στην πιο πάνω εικόνα οι κόμβοι στον πυρήνα του δικτύου που είναι στον κόκκινο κύκλο είναι υπεύθυνοι να προωθήσουν και τα μηνύματα των υπόλοιπων που δεν έχουν απευθείας επικοινωνία με τον ριζικό κόμβο. Επομένως ένας κόμβος στον πυρήνα θα πρέπει να προωθήσει  $X * \text{το μέγεθος του μηνύματος}$  όπου  $X$  είναι ο αριθμός των κόμβων που υπάρχουν στον κλώνο του δικτύου των οποίων θα μεταφέρει τα μηνύματα τους.

Το πρόβλημα σε αυτό το σενάριο είναι ότι αφού οι κοντινοί κόμβοι προς τον ριζικό επιβαρύνονται περισσότερο τότε η κατανάλωση ενέργειας είναι πιο μεγάλη με αποτέλεσμα ο χρόνος ζωής αυτών των κόμβων να είναι πιθανώς πιο σύντομος.

Μια εναλλακτική λύση για το αυτό το πρόβλημα είναι να δημιουργήσουμε ένα στρώμα πιο ψηλό στην ιεραρχία του δικτύου που θα αναλαμβάνει την μεταφορά των μηνυμάτων. Έτσι οι κόμβοι αισθητήρες θα είναι υπεύθυνοι μόνο για την εκτέλεση των μετρήσεων και θα δίνουν στο πιο ψηλό επίπεδο τα μηνύματα για να τα προωθήσει. Οι κόμβοι αισθητήρες θα κάνουν όλοι ακριβώς την ίδια δουλειά και έτσι θα έχουμε σταθερή και λιγότερη κατανάλωση ενέργειας από αυτούς. Επίσης οι κόμβοι αισθητήρες αφού εκτελέσουν τον μέγιστο αριθμό μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο θα μπορούν να κοιμηθούν για να μην καταναλώνουν ενέργεια.

### 4.3.3 Ευελιξία και επεκτασιμότητα εφαρμογής

Στο Υποκεφάλαιο 4.2 εξηγήσαμε ότι ο τρόπος που συσχετίζουμε στην εφαρμογή τους κόμβους του δικτύου με τις θέσεις του χώρου στάθμευσης είναι μέσω ενός αρχείου το οποίο περιέχει γραμμές που περιγράφουν κάθε μια από τις θέσεις του χώρου στάθμευσης και επίσης περιέχουν τον αριθμό της ταυτότητας του κόμβου που είναι εγκατεστημένος σε κάθε θέση.

Η εφαρμογή μπορεί να διαχειριστεί οποιοδήποτε αριθμό από κόμβους και κάθε κόμβος μπορεί να έχει οποιοδήποτε αριθμό για ταυτότητα αρκεί τον χαρακτηρίζει μοναδικά. Το μόνο που πρέπει να αλλάξει στην εφαρμογή είναι να προστεθούν οι αντίστοιχες εγγραφές στο αρχείο που αναφέραμε στην αρχή.

Επίσης η εφαρμογή μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε χώρο στάθμευσης. Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει φωτισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο από τα υπόλοιπα είδη αισθητήρων. Σε κάθε θέση μπορεί να εγκατασταθεί οποιοδήποτε είδος αισθητήρα. Με αυτό τον τρόπο δεν μας περιορίζει το περιβάλλον και οι εγκαταστάσεις του χώρου στάθμευσης. Στην περίπτωση που σε κάποια θέση θα γίνει χρήση και δεύτερου αισθητήρα και πάλι δεν έχουμε περιορισμό στο είδος του αισθητήρα. Μπορεί οι δύο αισθητήρες να είναι του ίδιου ή διαφορετικού τύπου.

Τέλος στην εφαρμογή διατηρούμε ξεχωριστά στιγμιότυπα για τις θέσεις οπότε είναι πολύ εύκολο αν έχουμε την ανάγκη να προσθέσουμε πληροφορία για τις θέσεις να επεκτείνουμε το σύστημα.



# Κεφάλαιο 5

## Συμπεράσματα

---

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 5.1 Συμπεράσματα .....                     | 51 |
| 5.2 Μελλοντικές δυνατότητες εφαρμογής..... | 52 |

---

### 5.1 Συμπεράσματα

Η επαφή με την κατηγορία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι μια διαφορετική εμπειρία η οποία μπορεί να σε κάνει να σκεφτείς ιδέες και καινοτομίες που με άλλες τεχνολογίες θεωρείς ότι είναι ακατόρθωτο να μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη. Βέβαια ακόμα υπάρχουν ζητήματα όπως η κατανάλωση ενέργειας ή θέματα ασφαλείας τα οποία μας περιορίζουν, όμως σύντομα θα υπάρχουν λύσεις λόγω του ότι η μελέτη έχει επικεντρωθεί σε αυτού του είδους τα δίκτυα. Σήμερα όλο και περισσότερες εταιρίες επενδύουν στην επιστήμη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων έτσι πλησιάζουμε όλο και πιο πολύ στην εποχή που όλες οι συσκευές θα μιλούν με το διαδίκτυο, στην εποχή του internet of things.

Με την χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων υλοποιήσαμε μια εφαρμογή η οποία επιλύει σε αρκετά μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της στάθμευσης στις πόλεις το οποίο είναι ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζουν κάθε μέρα και κάθε ώρα εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο. Είδαμε ότι με την χρήση της έξυπνης στάθμευσης μπορούμε να απλοποιήσουμε την καθημερινότητα των ανθρώπων ενώ παράλληλα προστατεύουμε και το περιβάλλον.

Μέσα από την μελέτη που κάναμε για τις λύσεις που προτείνουν μεγάλες εταιρίες που ασχολούνται με το ίδιο πρόβλημα καταλάβαμε ότι για την λύση του προβλήματος δεν αρκεί απλά να οργανώσουμε ένα δίκτυο για να παρακολουθούμε τις θέσεις αλλά απαιτητέ και αρκετή δουλειά στο να διαχειριζόμαστε την πληροφορία με αποδοτικό και ευφυές τρόπο. Ένα μεγάλο μέρος του ανταγωνισμού μεταξύ των εταιριών κρίνεται μέσω της πλατφόρμας που θα παρουσιάσουν στον χρήστη τα αποτελέσματα.

Κάτι άλλο που παρατηρήσαμε είναι ότι ο τύπος αισθητήρα που χρησιμοποιούν οι περισσότερες λύσεις είναι ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου. Αυτό ήταν αναμενόμενο λόγω του ότι αυτό που προσπαθούμε να εντοπίσουμε είναι αυτοκίνητα. Όμως για να κάνουμε πιο ευέλικτη την εφαρμογή και πιο αξιόπιστη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε συνδυασμό αισθητήρων για να επαληθεύουμε τα αποτελέσματα και να ανιχνεύουμε τυχόν βλάβες του δικτύου.

Όσον αφορά την οργάνωση του δικτύου των αισθητήρων παρατηρήσαμε ότι προτιμάτε το δίκτυο να χτίζεται με κάποια μορφή ιεραρχίας όπου οι κόμβοι αισθητήρες είναι υπεύθυνοι μόνο για να εκτελούν μετρήσεις και υπάρχει πιο ψήλο επίπεδο για την επικοινωνία και για την συλλογή των δεδομένων. Έτσι αφαιρείτε η ευθύνη της επικοινωνίας από τους κόμβους αισθητήρες και γίνεται πιο απλός ο αλγόριθμος που τρέχουν με συνέπεια την εξοικονόμηση ενέργειας.

## **5.2 Μελλοντικές Δυνατότητες Εφαρμογής**

Αφού έχουμε την δυνατότητα να παρακολουθούμε σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση ενός χώρου στάθμευσης τότε μπορούμε να επεκτείνουμε την εφαρμογή προσθέτοντας καινούριες δυνατότητες κάνοντας τον χώρο στάθμευσης «έξυπνότερο».

Στο στάδιο που βρίσκεται τώρα η εφαρμογή έχει την δυνατότητα να παρακολουθεί τον χώρο στάθμευσης και να παρουσιάζει την κατάσταση του χώρου σε μια οθόνη. Επίσης παρουσιάζει στον χρήστη πόσες ελεύθερες και πόσες κρατημένες θέσεις υπάρχουν και την κοντινότερη θέση σε σχέση με την είσοδο του χώρου στάθμευσης. Προφανώς οι μελλοντικές υπηρεσίες που μπορούμε να παρέχουμε στον χρήστη είναι πολύ πιο πολλές και αρκετά πιο ευφυείς.

Μπορούμε να διατηρούμε μια βάση δεδομένων και όποτε αλλάζει η κατάσταση κάποιας θέσης η εφαρμογή να την ενημερώνει και να παρέχουμε πρόσβαση σε εφαρμογές έξυπνων συσκευών για να παίρνουν τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο.

Μια ακόμα μελλοντική δυνατότητα που μπορεί να προστεθεί εύκολα στην εφαρμογή είναι να καταγράφεται ο συνολικός χρόνος που κρατείται η θέση από το συγκεκριμένο αυτοκίνητο. Η πληροφορία μπορεί να μεταφέρεται σε ένα άλλο σύστημα όπου θα υπολογίζεται η χρέωση του πελάτη. Επιπλέον μπορούμε να αναλύσουμε τα δεδομένα και να παράγουμε κάποια στατιστικά στοιχεία όπως για παράδειγμα ποιος είναι ο μέσος χρόνος που σταθμεύουν οι πελάτες του χώρου στάθμευσης ή ποιες είναι οι ώρες και οι μέρες που υπάρχει μεγαλύτερη κινητικότητα στην περιοχή.

Επίσης μια άλλη δυνατότητα που μπορούμε να προσθέσουμε είναι να εγκαταστήσουμε αισθητήρες σε οικίες και να δώσουμε στους ιδιοκτήτες την δυνατότητα να ενοικιάζουν τον χώρο τους τις ώρες ή τις μέρες που θα λείπουν από σπίτι. Έτσι εμείς θα κερδίζουμε περισσότερους χώρους στάθμευσης και οι ιδιοκτήτες πιθανώς θα κερδίζουν λεφτά.

Κάτι άλλο που θα ήταν χρήσιμο στους δημόσιους χώρους στάθμευσης είναι να συνδέσουμε το σύστημα μας με ένα σύστημα που θα ελέγχει τα παρκόμετρα. Όταν ο αισθητήρας εντοπίσει ότι κάποιος στάθμευσε σε μια θέση να ελέγχουμε αν έχει πληρώσει και αν δεν

πλήρωσε να αντιδρούμε αναλόγως. Έτσι θα μειωθεί ο αριθμός των οδηγών που δεν πληρώνουν στα παρκόμετρα και θα αυξηθούν τα έσοδα της πόλης.

Μια τελευταία δυνατότητα είναι να εγκαταστήσουμε άλλους αισθητήρες σε κάθε θέση για να καταλαβαίνουμε πότε ένα αυτοκίνητο έχει σταθμεύσει σωστά στην θέση του. Έτσι θα υπάρχει κάποιος έλεγχος και θα αποτρέψουμε τις περιπτώσεις όπου ασυνείδητοι οδηγοί σταθμεύουν πάνω από τις διαχωριστικές γραμμές των θέσεων και κρατούν δύο θέσεις στάθμευσης.

Οι δυνατότητες που μπορούμε να προσθέσουμε είναι πολύ περισσότερες και τα οφέλη ακόμα πιο πολλά. Με την χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων το περιβάλλον που ζούμε μπορεί να αισθανθεί και με την συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας οι δυνατότητες μας γίνονται όλο και πιο μεγάλες.

## Βιβλιογραφία

- [1] Wikipedia “Wireless sensors networks” [Online] Available at :  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_sensor\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network)
  
- [2] WorldSensing “WordSensing smart city solution” [Online] Available at :  
<http://www.worldsensing.com/our-solutions/fastprk.html>
  
- [3] FYBR “ACCURACY FROM THE GROUND UP” [Online] Available at :  
<http://fybr-tech.com/how-fybr-works/our-system/>
  
- [4] Urbiotica “Parking and mobility” [Online] Available at :  
<http://www.urbiotica.com/solutions/parking-and-mobility/>
  
- [5] NEDAP AVI “Vehicle Detection” [Online] Available at :  
<http://www.nedapidentification.com/solutions/vehicle-detection.html>
  
- [6] Libellium “Libellium Word” [Online] Available at :  
[http://www.libellium.com/smart\\_santander\\_smart\\_parking/](http://www.libellium.com/smart_santander_smart_parking/)
  
- [7] TinyOS “TinyOS documentation Wiki” [Online] Available at :  
[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Main\\_Page](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Main_Page)
  
- [8] nesC 1.2 Language Reference Manual David Gay, Philip Levis, David Culler, Eric Brewer  
August 2005 [Online] Available at :  
<http://www.tinyos.net/dist-2.0.0/tinyos-2.0.0beta1/doc/nesc/ref.pdf>
  
- [9] TinyOS/Motes, nesC Tutorial Presented by Ke LiuDept. Of Computer Science, SUNY  
Binghamton Spring, 2005 [Online] Available at :  
<http://www.cs.binghamton.edu/~kliu/ta/cs527/nesc-tutorial.pdf>
  
- [10] Embedded computing projects, Learning TinyOS & nesC, Rahav Dor Spring 2014  
[Online] Available at : <http://www.cse.wustl.edu/~lu/cse467s/slides/tinyos-tutorial.pdf>
  
- [11] Cadena 2.0: nesC Tutorial A guide to using Cadena to develop nesC/TinyOS applications  
Todd Wallentine [Online] Available at :  
<http://cadena.projects.cis.ksu.edu/update/web/nesc-tutorial.pdf>

- [12] Advanticsys “Wireless Sensors Networks ” [Online] Available at :  
<http://www.advanticsys.com/shop/wireless-sensor-networks-c-7.html>
  
- [13] Hardware Abstraction Architecture by Vlado Handziski, Joseph Polastre, Jan-Hinrich Hauer, Cory Sharp, Adam Wolisz, David Culler, David Gay [Online] Available at :  
<http://www.tinyos.net/tinyos-2.1.0/doc/html/tep2.html>
  
- [14] A Prototype Implementation of the TinyOS Hardware Abstraction Architecture for Ferroelectric RAM, Sebastian A. Bachmaier, Material Testing Institute Universität Stuttgart Stuttgart, Germany [Online] Available at :  
[http://www.ti5.tuhh.de/events/fgsn09/proceedings/fgsn\\_039.pdf](http://www.ti5.tuhh.de/events/fgsn09/proceedings/fgsn_039.pdf)
  
- [15] Mote-PC communication and SerialForwarder (TOS 2.1.1 and later) [Online] Available at :  
[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Mote-PC\\_serial\\_communication\\_and\\_SerialForwarder\\_\(TOS\\_2.1.1\\_and\\_later\)](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Mote-PC_serial_communication_and_SerialForwarder_(TOS_2.1.1_and_later))
  
- [16] Smart City [Online] Available at :  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_city](http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_city)
  
- [17] ScheiderElectric [Online] Available at:  
[http://www2.schneider-electric.com/sites/corporate/en/solutions/sustainable\\_solutions/smart-cities.page](http://www2.schneider-electric.com/sites/corporate/en/solutions/sustainable_solutions/smart-cities.page)
  
- [18] Citybranding [Online] Available at :  
[http://www.citybranding.gr/2014/04/blog-post\\_10.html](http://www.citybranding.gr/2014/04/blog-post_10.html)
  
- [19] Internet of things [Online] Available at :  
<http://www.zdnet.com/the-internet-of-things-outlook-for-2014-everything-connected-and-communicating-7000024930/>
  
- [20] European office Cyprus [Online] Available at :  
<http://www.eoc.org.cy/index.php?id=3598>