

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΧΩΡΟΥ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Νάφας Αλέξανδρος
Πάτρα, Οκτώβριος 2010

Επιβλέπων καθηγητής
Π. Σπυράκης

Συνεπιβλέπων
Γ. Μυλωνάς

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	5
2	Ερευνητικό Υπόβαθρο	11
2.1	BikeNet	11
2.1.1	Αρχιτεκτονική	12
2.1.2	Λογισμικό	17
2.1.3	Διαχείριση BAN	19
2.1.4	Υπηρεσίες Ανταλλαγής Δεδομένων	20
2.1.5	Επαλήθευση μετρήσεων	22
2.1.6	Διαχείριση αιτήσεων	22
2.1.7	Υπηρεσίες server	22
2.1.8	Πειραματική Αξιολόγηση	24
2.1.9	Ερμηνεία αποτελεσμάτων	30
2.1.10	Αξιολόγηση του muling	33
2.1.11	Εφαρμογή του συστήματος σε μεγαλύτερη κλίμακα	36
2.1.12	Συμπεράσματα	38
2.2	Car-Park	39
2.2.1	Σχετική έρευνα	40
2.2.2	Αρχιτεκτονική	41
2.2.3	Επίπεδο αισθητήρων	42
2.2.4	Πρωτόκολλο δρομολόγησης	43
2.2.5	Επίπεδο MAC	44
2.2.6	Δειγματοληψία	44
2.2.7	Πειραματική αξιολόγηση	45
2.2.8	Συμπεράσματα	48

2.3	Traffic surveillance	49
2.3.1	Εντοπισμός οχήματος	50
2.3.2	Ταχύτητα οχήματος και εκτίμηση μαγνητικού μήκους	52
2.3.3	Κατηγοριοποίηση οχημάτων	54
2.3.4	Ταυτοποίηση οχημάτων	58
2.3.5	Συμπεράσματα	59
3	Διερεύνηση προβλήματος	61
3.1	Παρακολούθηση του χώρου στάθμευσης μιας υποδομής	61
3.2	Εκτέλεση υπολογισμών	63
3.3	Επικοινωνία κόμβων	65
3.4	Τοποθέτηση Αισθητήρων	66
3.5	Κόστος και ευελιξία	67
3.6	Σχεδιασμός διεπαφής χρήστη	67
3.7	Εφαρμογές συστήματος	69
4	Περιγραφή των AMR	72
4.1	Περί των μαγνητικών αισθητήρων	72
4.2	Αισθητήρες γήινου μαγνητικού πεδίου	74
4.2.1	Ανισοτροπική μαγνητοαντίσταση (AMR)	75
4.2.2	Χαρακτηριστικά του αισθητήρα AMR	76
4.3	Εφαρμογές του αισθητήρα AMR	77
4.3.1	Εντοπισμός οχημάτων	77
4.3.2	Κατηγοριοποίηση οχημάτων	79
4.3.3	Κατεύθυνση και παρουσία οχημάτων	81
5	Αρχιτεκτονική συστήματος	87
5.1	Περιγραφή του συστήματος	88
5.2	Hardware	89
5.2.1	Mica2	89
5.2.2	iSense	90
5.2.3	Επιλογή κατάλληλου αισθητήρα	92
5.2.4	Basestation	93
5.2.5	Server	94

5.2.6	Προστασία/τροφοδοσία των αισθητήρων	94
5.3	Λογισμικό	94
5.3.1	Octopus	95
5.3.2	iShell	95
5.3.3	Δειγματοληψία μαγνητομέτρου	97
5.4	Υπηρεσίες server	99
5.4.1	Applet	99
5.4.2	Google Maps	107
5.4.3	Επικοινωνία με την βάση δεδομένων	107
5.5	Οργάνωση αρχείων	109
5.5.1	Αισθητήρες	109
5.5.2	Βάση δεδομένων	109
5.5.3	Servlet	110
5.5.4	Applet	110
5.5.5	Google maps	112
5.5.6	Event genarator	112
6	Πειραματική αξιολόγηση	113
6.1	Διαμόρφωση αισθητήρα	113
6.1.1	Περιγραφή διαμορφώσεων	113
6.1.2	Πειραματική διαδικασία	117
6.1.3	Συμπεράσματα	125
6.2	Τεχνικές δυσκολίες	126
6.2.1	Βαθμονόμηση	126
6.2.2	Απόκλιση τιμών	127
7	Συμπεράσματα και μελλοντική επέκταση	129

1 Εισαγωγή

Η πρόσφατη πρόοδος στην τεχνολογία των μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων, στην ασύρματη επικοινωνία και στα ψηφιακά ηλεκτρονικά έχουν διευκολύνει την ανάπτυξη πολυλειτουργικών αισθητήρων χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος που είναι μικροί σε μέγεθος και επικοινωνούν ασύρματα σε μικρές αποστάσεις. Αυτές οι μικροσκοπικές συσκευές που αποτελούνται από μονάδες αισθητήρων, επεξεργασίας δεδομένων και επικοινωνίας, εκμεταλλεύονται την ιδέα των δικτύων αισθητήρων βασισμένων στη συλλογική συνεισφορά ενός μεγάλου αριθμού κόμβων.

Τα δίκτυα αισθητήρων αντιπροσωπεύουν μια σημαντική βελτίωση σε σχέση με τους συμβατικούς αισθητήρες και εφαρμόζονται με τους δύο παρακάτω τρόπους:

- Μπορούν να τοποθετηθούν μακριά από το ίδιο το φαινόμενο που παρακολουθείται. Σύμφωνα με αυτή τη προσέγγιση απαιτούνται μεγάλοι αισθητήρες που χρησιμοποιούν πολύπλοκες τεχνικές για να ξεχωρίσουν τα επιθυμητά δεδομένα από το θόρυβο του περιβάλλοντος.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες οι οποίοι μόνο να παίρνουν μετρήσεις. Οι τοποθεσίες των αισθητήρων και η τοπολογία του δικτύου επιλέγονται προσεκτικά. Οι αισθητήρες μεταδίδουν σε τακτά χρονικά διαστήματα τα δεδομένα που αφορούν το φαινόμενο, στους κεντρικούς κόμβους όπου εκτελούνται υπολογισμοί και γίνεται η συγχώνευση τους.

Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων οι οποίοι τοποθετούνται πυκνά είτε μέσα στο φαινόμενο είτε πολύ κοντά σε αυτό. Η τοποθεσία των αισθητήρων δε χρειάζεται να καθοριστεί από πριν. Αυτό επιτρέπει την τυχαία τοποθέτησή τους σε μη προσβάσιμες περιοχές ή σε επιχειρήσεις ανακούφισης καταστροφών. Από την άλλη πλευρά, αυτό σημαίνει επίσης ότι τα πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι των δικτύων αισθητήρων πρέπει να διαθέτουν ικανότητες αυτοοργάνωσης. Ένα ακόμη μο-

ναδικό χαρακτηριστικό των δικτύων αισθητήρων είναι η συνεργασία των κόμβων. Οι αισθητήρες εξοπλίζονται με ένα επεξεργαστή. Σε αντίθεση με την απευθείας αποστολή των ανεπεξέργαστων δεδομένων στους κόμβους που είναι υπεύθυνοι για τη συγχώνευση, οι κόμβοι χρησιμοποιούν τις επεξεργαστικές ικανότητες τους για να εκτελέσουν τοπικά τους υπολογισμούς, και μεταδίδουν μόνο τα απαραίτητα και μερικώς επεξεργασμένα δεδομένα.

Τα χαρακτηριστικά που περιγράφονται παραπάνω εξασφαλίζουν μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών για τα δίκτυα αισθητήρων. Ορισμένοι από τους τομείς εφαρμογής είναι η υγεία, ο στρατός και η ασφάλεια. Για παράδειγμα, η φυσική κατάσταση ενός ασθενή μπορεί να παρακολουθείται από το γιατρό του ακόμη και από απόσταση. Αυτό είναι πιο βολικό για τον ασθενή ενώ παράλληλα επιτρέπει στο γιατρό να κατανοήσει καλύτερα την παρούσα κατάσταση του ασθενούς. Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση ξένων χημικών παραγόντων στον αέρα και στο νερό. Μπορούν επίσης να βοηθήσουν στον καθορισμό του τύπου, της συγκέντρωσης και της τοποθεσίας των ρύπων. Στην ουσία τα δίκτυα αισθητήρων παρέχουν στο χρήστη γνώση και καλύτερη κατανόηση του περιβάλλοντος. Οραματιζόμαστε ότι στο μέλλον τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων θα αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας, σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι οι προσωπικοί υπολογιστές στις μέρες μας.

Η πραγματοποίηση αυτών και άλλων εφαρμογών των δικτύων αισθητήρων απαιτούν τεχνικές ασύρματης επικοινωνίας. Παρότι έχει προταθεί ένα πλήθος πρωτοκόλλων και αλγορίθμων για τη παραδοσιακή ασύρματη επικοινωνία, δεν είναι κατάλληλο για τα μοναδικά χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις εφαρμογών των δικτύων αισθητήρων. Οι διαφορές μεταξύ των δικτύων αισθητήρων και των ad hoc δικτύων αναφέρονται παρακάτω:

- Ο αριθμός των κόμβων σε ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερος από αυτόν ενός ad hoc δικτύου.
- Οι αισθητήρες τοποθετούνται πυκνά.
- Οι αισθητήρες είναι επιρρεπείς σε σφάλματα.
- Η τοπολογία του δικτύου αισθητήρων αλλάζει με μεγάλη συχνότητα.
- Οι αισθητήρες χρησιμοποιούν κυρίως επικοινωνία με broadcast μηνύματα ενώ

τα ad hoc δίκτυα βασίζονται στην επικοινωνία από σημείο σε σημείο.

- Οι αισθητήρες διαθέτουν περιορισμούς στην τροφοδοσία, στις υπολογιστικές ικανότητες και στη μνήμη.
- Οι αισθητήρες μπορεί να μην έχουν παγκόσμια ταυτοποίηση (ID) λόγω του μεγάλου αριθμού τους.

Καθώς ένας μεγάλος αριθμός αισθητήρων τοποθετούνται με μεγάλη πυκνότητα, οι γειτονικοί κόμβοι μπορεί να είναι πολύ κοντά ο ένας στον άλλον. Συνεπώς η multihop επικοινωνία σε ένα δίκτυο αισθητήρων αναμένεται να καταναλώνει λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τη παραδοσιακή επικοινωνία. Επιπλέον τα επίπεδα ισχύος μετάδοσης μπορεί να κρατηθούν χαμηλά για χρήση σε μυστικές αποστολές. Η επικοινωνία multihop μπορεί επίσης να ξεπεράσει κάποια από τα προβλήματα διάδοσης σήματος που αντιμετωπίζονται σε ασύρματες μεταδόσεις μεγάλης απόστασης.

Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς των αισθητήρων είναι η ανάγκη για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι αισθητήρες είναι εξοπλισμένοι με περιορισμένες και γενικώς αναντικατάστατες πηγές ενέργειας. Συνεπώς, ενώ τα παραδοσιακά δίκτυα στοχεύουν στην υψηλή ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών (QoS), τα πρωτόκολλα δικτύων αισθητήρων πρέπει να εστιάσουν κυρίως στην εξοικονόμηση ενέργειας. Πρέπει να έχουν ενσωματωμένους μηχανισμούς trade-off που να δίνουν στον χρήστη την επιλογή επέκτασης του χρόνου λειτουργίας του δικτύου εις βάρος της απόδοσης ή της καθυστέρησης μετάδοσης.

Στην παρούσα έρευνα θα εξεταστεί η εφαρμογή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στην παρακολούθηση χώρων στάθμευσης. Στις μέρες μας είναι κοινό φαινόμενο να βλέπουμε μεγάλα πλήθη σε μέρη όπως εμπορικά κέντρα ή στάδια κατά τις ώρες αιχμής. Στα εμπορικά κέντρα, οι εκπτώσεις και οι εποχιακές προσφορές μπορούν να προσελκύσουν χιλιάδες καταναλωτές. Οι περισσότεροι από αυτούς επισκέπτονται τα εμπορικά κέντρα με το όχημα τους και δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι οι χώροι στάθμευσης είναι πλήρεις κατά την διάρκεια αυτών των περιόδων. Παρόλα αυτά, έρευνες πάνω στις συνήθειες των οδηγών έδειξαν ότι αυτό δεν τους εμποδίζει από το να σχηματίζουν ουρές έξω από το αγαπημένο τους parking για σημαντικές χρονικές περιόδους.

Μια νέα γενιά υπηρεσιών πληροφόρησης αρχίζει να αναπτύσσεται με σκοπό να αντικα-

ταστήσει την παραδοσιακή πινακίδα “Πλήρες/Διαθέσιμο” στην είσοδο των parking. Οι υπηρεσίες αυτές έρχονται στην μορφή πληροφόρησης μέσω κινητών τηλεφώνων, PDAs, RDS-TMC, συστημάτων πλοήγησης και UTM¹. Τα πρώτα παραδείγματα συστημάτων παρακολούθησης χώρων στάθμευσης παρουσιάστηκαν στην Ιαπωνία [3] και στην Φιλανδία [4], τα οποία καθοδηγούσαν τα οχήματα προς τις διαθέσιμες θέσεις.

Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες συστημάτων παρακολούθησης parking που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες – συστήματα βασισμένα σε μετρητές, σε εικόνα, σε ενσύρματους αισθητήρες και σε ασύρματους αισθητήρες.

Τα συστήματα βασισμένα σε μετρητή χρησιμοποιούν αισθητήρες για να μετρήσουν τον αριθμό των οχημάτων που εισέρχονται προς και εξέρχονται από τον χώρο στάθμευσης. Αυτοί μπορεί να είναι είτε μπάρες είτε επαγωγικοί βρόχοι τοποθετημένοι στις εισόδους και στις εξόδους. Τα συστήματα αυτά μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των ελεύθερων θέσεων μέσα σε έναν κλειστό χώρο, αλλά δεν έχουν την δυνατότητα να καθοδηγήσουν τα οχήματα στις ακριβείς τοποθεσίες των θέσεων.

Η δεύτερη κατηγορία συστημάτων βασίζεται σε τεχνικές ανάλυσης εικόνας που λαμβάνεται από κάμερες. Υπάρχουν επιχειρήματα σχετικά με τη βιωσιμότητα αυτών των τεχνικών, καθώς είναι υψηλό το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τους. Επίσης, οι αισθητήρες κάμερας παράγουν έναν μεγάλο όγκο δεδομένων που είναι δύσκολο να μεταφερθούν μέσα σε ένα ασύρματο δίκτυο. Παρόλα αυτά, οι κατάλληλοι χώροι εφαρμογής ενός τέτοιου συστήματος, όπως τα εμπορικά κέντρα, διαθέτουν ήδη εγκατεστημένο σύστημα παρακολούθησης με κάμερες. Έτσι το μόνο που χρειάζεται είναι η σύνδεση στο ήδη υπάρχων κύκλωμα καμερών, η μετατροπή του βίντεο σε ψηφιακή μορφή και η εκτέλεση επεξεργασίας εικόνας πάνω στο βίντεο. Με αυτόν τον τρόπο δεν εισάγεται κόστος εγκατάστασης νέων συσκευών, ενώ δεν απαιτείται η χρήση ασύρματου δικτύου καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ήδη υπάρχουσα καλωδίωση.

Τα συστήματα βασισμένα σε ενσύρματους αισθητήρες χρησιμοποιούν αισθητήρες εντοπισμού, όπως αισθητήρες υπερήχων, για να παρακολουθούν την καθεμία από τις θέσεις παρκαρίσματος. Οι αισθητήρες αυτοί είναι συνδεδεμένοι σε μια κεντρική μονάδα ελέγχου που διαχειρίζεται και αποθηκεύει τις πληροφορίες σχετικά με την χρήση του parking. Οι πληροφορίες αυτές έπειτα απεικονίζονται σε πίνακες τοποθετημένους σε στρατηγικά σημεία του parking, που σκοπό έχουν να καθοδηγήσουν τους

¹Urban Traffic Management and Control

οδηγούς προς τις κενές θέσεις. Σημαντικό μειονέκτημα των συστημάτων ενσύρματων αισθητήρων είναι ότι απαιτούν εκτενή και πολύπλοκη καλωδίωση από τις θέσεις στάθμευσης μέχρι την κεντρική μονάδα ελέγχου. Επίσης, το κόστος αυτό αυξάνει όσο αυξάνει το μέγεθος του χώρου και ο αριθμός των θέσεων, καθιστώντας αυτήν την λύση μη συμφέρουσα για εφαρμογή σε μεγάλους χώρους.

Η τέταρτη κατηγορία, η οποία και θα μελετηθεί σε αυτήν την έρευνα, είναι τα συστήματα βασισμένα σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση, ένας κόμβος τοποθετείται σε κάθε θέση. Ο κόμβος αυτός με την βοήθεια κάποιου αισθητήρα (π.χ. μαγνητόμετρο), εντοπίζει την παρουσία οχημάτων και στέλνει την πληροφορία αυτή στην κεντρική μονάδα ελέγχου μέσω ασύρματης επικοινωνίας. Έτσι, δεν υπάρχει η ανάγκη για εγκατάσταση νέας καλωδίωσης ή τροποποίηση μιας ήδη υπάρχουσας υποδομής. Επίσης, το κόστος των αισθητήρων είναι πολύ χαμηλό, κάτι που καθιστά αυτή τη λύση πολύ ελκυστική.

Τα παραδείγματα εφαρμογής αυτής της προσέγγισης είναι ήδη πολλά. Οι Tang, Zheng και Cao ανέπτυξαν ένα τέτοιο σύστημα [5], χρησιμοποιώντας motes της Crossbow. Οι κόμβοι που χρησιμοποιήσαν αποτελούνταν από αισθητήρες φωτός, θερμοκρασίας και ήχου. Επίσης, οι Benson, O'Donovan, O'Sullivan, Roedig and Sreenan ανέπτυξαν ένα παρόμοιο σύστημα [9], το οποίο αναλύεται εκτενέστερα σε παρακάτω ενότητα (2.2). Μερικές ακόμα έρευνες που έγιναν στο συγκεκριμένο θέμα παρουσιάζονται στα [6] και [7]. Κάποιες από τις εταιρίες που ασχολούνται ενεργά αυτή την στιγμή στον τομέα είναι οι ParkingCarma [12], Streetline Networks [13] και VehicleSense [14], ενώ σημαντική έρευνα πραγματοποιείται σε διάφορα πανεπιστήμια ανά τον κόσμο, όπως στο Berkeley της Αμερικής [15] και στο EPFL της Ελβετίας [16].

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός απλοϊκού τέτοιου συστήματος, βασισμένου σε μαγνητόμετρα. Διερευνώνται τα διάφορα θέματα που μπορεί να προκύψουν κατά την εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες, καθώς και το σύνολο των δυνατοτήτων που μπορεί να προσφέρει ο συγκεκριμένος αισθητήρας εκτός από τον απλό εντοπισμό των οχημάτων. Οι δυνατότητες αυτές συμπεριλαμβάνουν τον υπολογισμό ταχύτητας και κατεύθυνσης κίνησης, την κατηγοριοποίηση και την ταυτοποίηση του οχήματος. Εξετάζεται η αξιοπιστία δύο διαφορετικών αισθητήρων για αυτές τις χρήσεις. Τέλος, υλοποιείται ένα πλήρες σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης των μετρήσεων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες. Το σύστημα αυτό

προσφέρει στον χρήστη ένα πλήθος υπηρεσιών που αποσκοπούν στην διευκόλυνση της διαχείρισης του χώρου στάθμευσης.

2 Ερευνητικό Υπόβαθρο

Για την καλύτερη κατανόηση όλων των ζητημάτων που ενδέχεται να προκύψουν κατά την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος, μελετήθηκε η ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία στον τομέα αυτό. Από όλες τις έρευνες επιλέχθηκαν τρεις βασικότερες, οι οποίες και παρουσιάζονται συνοπτικά στις επόμενες ενότητες. Η πρώτη εξετάζει την εφαρμογή ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε ποδήλατα, η δεύτερη επικεντρώνεται στα προβλήματα επικοινωνίας που μπορεί να προκύψουν κατά την εφαρμογή σε έναν χώρο στάθμευσης, και η τρίτη κάνει χρήση των αισθητήρων στην παρακολούθηση της κυκλοφορίας στους δρόμους.

2.1 BikeNet

Το BikeNet [8] αναπτύχθηκε στο τμήμα επιστήμης υπολογιστών του κολλεγίου του Dartmouth και είναι ένα εκτεταμένο κινητό δίκτυο αισθητήρων που απευθύνεται σε ποδηλάτες. Σκοπός του είναι να καλύψει την ανάγκη για συλλογή δεδομένων όσον αφορά την μέτρηση της φυσικής κατάστασης και τις διάφορες πλευρές της ποδηλασίας γενικότερα. Τα ήδη υπάρχοντα συστήματα περιορίζονται στην καταγραφή απλών δεδομένων όπως η ταχύτητα, η απόσταση που διανύεται και οι θερμίδες που καταναλώθηκαν. Παρόλα αυτά, επικρατεί η τάση για την ανάπτυξη πιο εξελιγμένων συστημάτων, σε σημείο που στο μέλλον, τα ποδήλατα θα πωλούνται με ενσωματωμένα τέτοια συστήματα.

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους λόγους όπως η μέτρηση της φυσικής κατάστασης για λόγους υγείας, ο ανταγωνισμός μεταξύ γεωγραφικά απομακρυσμένων ποδηλατών, η επιλογή μιας ήσυχης και ασφαλούς διαδρομής για μια ήρεμη βόλτα και η καταγραφή στατιστικών δεδομένων για μελλοντική ανάλυση. Επίσης, τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμεύουν

στην παρακολούθηση της κατάστασης του περιβάλλοντος (όπως επίπεδα ρύπανσης, θορύβου κτλ.).

Ορισμένες από τις δυνατότητες του συστήματος, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω, είναι οι εξής:

Λειτουργία εκτός σύνδεσης, μέσω της μεταφοράς δεδομένων μεταξύ κόμβων που συναντιούνται και την εκμετάλλευση ευκαιριακών σημείων πρόσβασης.

Μέτρηση απόδοσης και φυσικής κατάστασης, όπως στιγμιαία και μέση ταχύτητα, διανυόμενη απόσταση, θερμίδες, κλίση εδάφους, χτύποι καρδιάς και γαλβανική απόκριση δέρματος (ως δείκτης του στρες ή συναισθηματικής φόρτισης).

Καταγραφή περιβαλλοντικών δεδομένων, όπως επίπεδα ρύπανσης, θορύβου, αλλεργιογόνων και ανωμαλότητα του εδάφους.

Μακροχρόνια ανάλυση αποδόσεων, μέσω της επιλεκτικής καταχώρησης των δεδομένων που συλλέγονται από κάθε άτομο σε κοινή βάση δεδομένων, με σκοπό τον εντοπισμό τάσεων της εποχής.

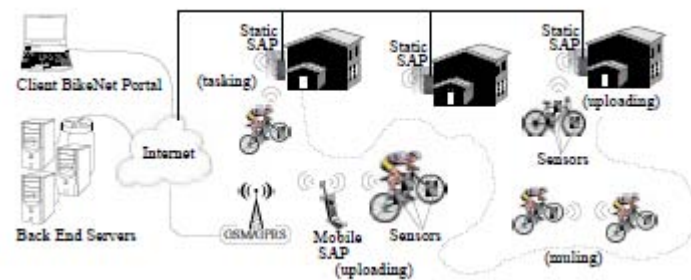
Τοπική αναπαράσταση των δεδομένων που συλλέγονται την ίδια στιγμή από τους αισθητήρες όπως π.χ. στην οθόνη κάποιου κινητού.

Απομακρυσμένη πρόσβαση και παρουσίαση των δεδομένων, μέσω ειδικά διαμορφωμένης δικτυακής πύλης.

2.1.1 Αρχιτεκτονική

Το σύστημα έχει σχεδιαστεί ώστε να προσφέρει μια ανθρωποκεντρική λύση για την λήψη μετρήσεων μεγάλης κλίμακας, εκμεταλλευόμενο την κινητικότητα των αισθητήρων για την μεταφορά εντολών και δεδομένων.

Στο σχήμα 2.1 απεικονίζονται τα 3 επίπεδα της αρχιτεκτονικής του συστήματος. Αρχικά, οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τον ποδηλάτη και το περιβάλλον. Όταν δύο ποδηλάτες συναντηθούν, ανταλλάσσουν δεδομένα (muling). Έτσι, όταν κάποιος από αυτούς βρεθεί στην εμβέλεια ενός στατικού ή κινητού σημείου πρόσβασης (SAP – sensor access point) ενημερώνει τη βάση δεδομένων καθώς και δέχεται νέες εντολές. Το κινητό SAP μπορεί να αποτελείται από ένα ποδήλατο εξοπλισμένο



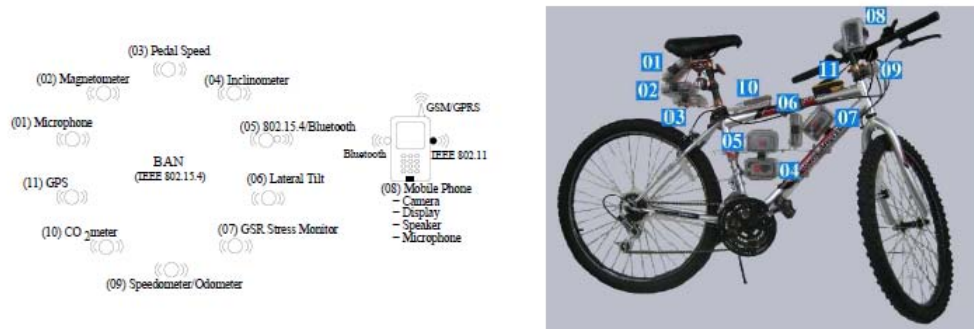
Σχήμα 2.1: Η αρχιτεκτονική του BikeNet

με κινητό τηλέφωνο συνδεδεμένο στο διαδίκτυο (μέσω GSM ή GPRS). Τέλος, οι χρήστες έχουν πρόσβαση στα αποθηκευμένα δεδομένα μέσω της δικτυακής πύλης. Παρακάτω αναλύεται το κάθε επίπεδο ξεχωριστά.

Επίπεδο αισθητήρων

Το επίπεδο αισθητήρων ενσωματώνει έναν μεγάλο αριθμό αισθητήρων Moteiv Tmote Invent, που τοποθετούνται τόσο πάνω στο ποδήλατο όσο και πάνω στον ίδιο τον ποδηλάτη. Όλοι αυτοί οι αισθητήρες δημιουργούν ένα BAN (bicycle area network) μέσα στο οποίο η επικοινωνία πραγματοποιείται με βάση του πρωτοκόλλου IEEE 802.15.4. Η αρχιτεκτονική του BAN έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε νέοι κόμβοι να μπορούν να προστεθούν και να αφαιρεθούν δυναμικά, σύμφωνα με τις προτιμήσεις του χρήστη. Στο σχήμα 2.2 φαίνεται ένα πλήρως εξοπλισμένο BAN καθώς και η ενσωμάτωσή του πάνω σε ένα ποδήλατο.

Οι μετρήσεις του επιταχυνσιόμετρου χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί η κλίση του μονοπατιού καθώς και η πλευρική κλίση του ποδηλάτου. Μαγνητικά reed relays τοποθετούνται στα πετάλια και στη ρόδα, τα οποία σε κάθε περιστροφή στέλνουν ένα σήμα. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται η γωνιακή ταχύτητα του πεταλιού και της ρόδας και ως εκ τούτου η ταχύτητα κίνησης του ποδηλάτου. Η κατεύθυνση του ποδηλάτου υπολογίζεται βρίσκοντας την απόκλιση σε σχέση με το μαγνητικό πεδίο της γης, με τη βοήθεια ενός μαγνητόμετρου. Επίσης, το μαγνητόμετρο μπορεί να λειτουργήσει και σαν ανιχνευτής μετάλλων, και συγκεκριμένα αυτοκινήτων, τα οποία λόγω της μεγάλης μεταλλικής μάζας τους αλλοιώνουν το μαγνητικό πεδίο γύρω τους.



Σχήμα 2.2: Αναπαράσταση ενός δικτύου BAN και η εφαρμογή του πάνω σε ένα ποδήλατο

Ακόμη, χρησιμοποιείται μια μονάδα GPS, η οποία με τακτά μηνύματα παρέχει στους υπόλοιπους κόμβους του BAN μια ενιαία αντίληψη του χρόνου και της τοποθεσίας που βρίσκονται. Τέλος, ένας ατμοσφαιρικός αισθητήρας μετρά τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα ενώ μέσω καλωδίων που συνδέονται στα δάκτυλα του ποδηλάτη μετριέται η γαλβανική απόκριση δέρματος, ως ένδειξη του στρες.

Η τροφοδοσία των αισθητήρων στην παρούσα υλοποίηση γίνεται από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, παρόλα αυτά σε κάποια εμπορική έκδοση θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και η ενέργεια από τα πετάλια ή άλλες πηγές.

Επίπεδο SAP

Το επίπεδο των σημείων πρόσβασης προσφέρει μια αξιόπιστη και ασφαλής διασύνδεση από το επίπεδο των αισθητήρων στους servers του συστήματος. Αυτό επιτρέπει στους αισθητήρες να αποθηκεύουν τις μετρήσεις τους στις βάσεις δεδομένων, καθώς και να δέχονται εντολές από τους servers. Τα SAP μπορεί να είναι είτε στατικά είτε κινητά.

Ένα στατικό SAP (βλ. σχήμα 2.3) αποτελείται από ένα Tmote Invent συνδεδεμένο στη USB θύρα ενός Aruba AP-70 IEEE 802.11 a/b/g. Το Aruba τρέχει μια τροποποιημένη έκδοση των linux το οποίο καθιστά εύκολη την ενσωμάτωση του λογισμικού του BikeNet για την προώθηση των μηνυμάτων που λαμβάνονται από τον κόμβο.

Ένα κινητό SAP αποτελείται από ένα Nokia N80 συνδεδεμένο με ένα Bluetooth/802.15.4 gateway. Έτσι τα μηνύματα που φτάνουν στο gateway προωθούνται μέσω bluetooth



Σχήμα 2.3: Στατικό SAP

στο N80 το οποίο με τη σειρά του τα προωθεί στους servers μέσω GSM/GPRS σύνδεσης. Επίσης, οι servers μπορούν να επικοινωνήσουν με το SAP με μηνύματα SMS για να του αναθέσουν διάφορες διεργασίες ή ερωτήματα που αφορούν τους αισθητήρες.

Επίπεδο Server

Το επίπεδο αυτό αποτελείται από servers συνδεδεμένους με ethernet, οι οποίοι παρέχουν πρακτικά απεριόριστο χώρο αποθήκευσης και υπολογιστική ισχύ. Σ' αυτούς συνδέονται οι χρήστες είτε για να υποβάλουν ερωτήματα που αφορούν τους αισθητήρες ή για να ανακτήσουν και να αναπαραστήσουν αποθηκευμένα δεδομένα. Οι υπηρεσίες που παρέχουν περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω.

Προστασία των αισθητήρων

Λόγω της υπαίθριας φύσης του BikeNet έπρεπε να ληφθούν μέτρα για να προστατευθούν οι αισθητήρες από τις καιρικές συνθήκες (π.χ. βροχή, χιόνι) τοποθετώντας τους μέσα σε πλαστικά αδιάβροχα κουτιά (βλ. σχήμα 2.4). Τα κουτιά αυτά περιέχουν αφρολέξ το οποίο σταθεροποιεί τους αισθητήρες και τους προστατεύει από κραδασμούς. Επίσης, οι τρύπες που έγιναν για να περαστούν τα καλώδια καλύφθηκαν με σιλικόνη, ώστε να διατηρηθεί η αδιαβροχότητα.



Σχήμα 2.4: Αδιάβροχα κουτιά προστασίας των αισθητήρων

Βαθμονόμηση/Επαλήθευση

Παρά τις προσπάθειες για την τοποθέτηση των επιταχυνσιόμετρων στις ακριβώς σωστές γωνίες σε σχέση με το έδαφος, παρατηρήθηκε ότι για κάθε ποδήλατο χρειάστηκε ξεχωριστή ρύθμιση ώστε να επιστρέφονται ακριβείς τιμές. Ο λόγος είναι γιατί ακόμα και μια μικρή απόκλιση στη γωνία τοποθέτησης μπορεί να οδηγήσει σε τεράστια απόκλιση στον υπολογισμό της κλίσης του εδάφους, λόγω της παρουσίας της αντίστροφης εφαπτομένης στον τύπο. Έτσι η βαθμονόμηση έγινε στο εργαστήριο συγκρίνοντας την έξοδο του επιταχυνσιόμετρου με ένα σύνολο γνωστών κλίσεων. Η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια ενός αλφαδιού λείζερ.

Όσον αφορά τους μαγνητικούς αισθητήρες κρίθηκε απαραίτητο το calibration ώστε να ληφθεί υπόψη ο μεταλλικός σκελετός του ποδηλάτου, καθώς και η μαγνητική απόκλιση της περιοχής όπου διεξήχθησαν τα πειράματα.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ορθότητα των μετρήσεων των αισθητήρων, τοποθετήθηκαν στο κράνος του ποδηλάτη τέσσερα κινητά τηλέφωνα Nokia N80 έτσι ώστε να κοιτούν προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5. Τα κινητά αυτά κατέγραφαν συνεχώς βίντεο το οποίο αναλύθηκε αργότερα ώστε να επιβεβαιωθούν γεγονότα που εντοπίστηκαν από τους αισθητήρες, όπως π.χ. η διασταύρωση με ένα αυτοκίνητο.

Επίσης, ο ποδηλάτης είχε στη διάθεση του ένα κουμπί, το ButtonMote, το οποίο είναι προγραμματισμένο να καταγράφει τον χρόνο και την τοποθεσία της κάθε στιγμής



Σχήμα 2.5: Κράνος εξοπλισμένο με κάμερες

που πατήθηκε. Έτσι, το ButtonMote χρησιμοποιήθηκε στο τεστάρισμα διαφόρων αισθητήρων όπως ο ανιχνευτής μετάλλων, όπου ο ποδηλάτης πατούσε το κουμπί κάθε φορά που συναντιόταν με ένα αυτοκίνητο.

2.1.2 Λογισμικό

Για λόγους δομικότητας, οι διάφορες λειτουργίες που απαιτούνται μέσα σε ένα BAN έχουν διαχωριστεί σε ρόλους και σε κάθε αισθητήρα έχει ανατεθεί ένας από αυτούς τους ρόλους. Οι ρόλοι αυτοί είναι αρχικά οι PedalSensor και WheelSensor που είναι υπεύθυνοι για τον υπολογισμό της γωνιακής ταχύτητας του πεταλιού και της ρόδας αντίστοιχα. Από αυτές τις πληροφορίες μπορούμε έπειτα να συμπεράνουμε την στιγμιαία και μέση ταχύτητα, τη διανυόμενη απόσταση καθώς και την ταχύτητα του ποδηλάτου (gear). Ο ρόλος του TiltSensor είναι να μετράει τη γωνία κλίσης του σκελετού σε σχέση με το διάνυσμα βαρύτητας, επιτρέποντας τον υπολογισμό των πλαγιών και την χαρτογράφηση του εδάφους κατά μήκος της διαδρομής ενός ποδηλάτη. Ο LateralTiltSensor μετρά την πλευρική κλίση του ποδηλάτου.

Ο CompassSensor μετρά την γωνία του ποδηλάτου σε σχέση με τις μαγνητικές γραμμές της γης. Ο MetalDetector μετρά τις παραμορφώσεις του μαγνητικού πεδίου της γης που προκαλούνται από διερχόμενα οχήματα. Ο ρόλος του SyncSprinker είναι να παρέχει στους κόμβους του BAN μια κοινή αντίληψη του τόπου και του χρόνου μέσω περιοδικών αναμεταδόσεων. Ο LocalDisplay παρέχει ένα μέσο απεικόνισης των

δεδομένων τοπικά.

Ο CO₂Sensor μετρά το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει τον ποδηλάτη, απ' όπου μπορούμε να συμπεράνουμε εάν διασχίζει αστική ή επαρχιακή περιοχή. Ο SoundSensor μετρά τα επίπεδα θορύβου ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ενεργοποίηση λειτουργιών μέσω φωνής ή για ακουστικό σχολιασμό της διαδρομής. Ο CameraSensor καταγράφει εικόνες ή βίντεο όταν ενεργοποιηθεί από συγκεκριμένα γεγονότα που καθορίζει ο χρήστης.

Τέλος, ο PersonalNode είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο των υπόλοιπων αισθητήρων, την εκτέλεση των ειδικών προτιμήσεων του χρήστη, καθώς και την σηματοδότηση της έναρξης και του τερματισμού μιας διαδρομής. Επίσης, αναλαμβάνει να αναζητήσει όλους τους διαθέσιμους αισθητήρες που βρίσκονται στην εμβέλεια του BAN και να τους αναθέσει τους ρόλους τους. Η παρουσία του είναι απαραίτητη, σε αντίθεση με όλους τους υπόλοιπους ρόλους που είναι προαιρετικοί και εξαρτώνται από τις προτιμήσεις του χρήστη.

Η ανάθεση των ρόλων στους αισθητήρες γίνεται ως εξής: ο PersonalNode διαθέτει μια λίστα με τις προτιμήσεις του χρήστη, που περιέχει τους απαραίτητους και τους επιθυμητούς ρόλους. Τις λίστες αυτές τις εκπέμπει περιοδικά μέσα σε ένα “hello” μήνυμα. Κάθε κόμβος που λαμβάνει αυτό το μήνυμα, το εξετάζει και αν οι δυνατότητες του καλύπτουν κάποιον από τους ρόλους, τότε απαντά με ένα “hello reply” όπου περιλαμβάνονται οι ρόλοι που προσφέρεται να αναλάβει. Εάν ο κόμβος έχει ήδη ανατεθεί σε άλλο PersonalNode τότε αγνοεί το “hello” μήνυμα. Μόλις ο PersonalNode λάβει την απάντηση, τότε καταγράφει τον κόμβο και τον ρόλο που του αναθέτει και απαντά με ένα “hello reply ack” για να ολοκληρωθεί η διαδικασία. Σε περίπτωση που ο κόμβος δε λάβει απάντηση στο “hello reply” τότε συνεχίζει να επανεκπέμπει το μήνυμα έως N φορές, μέχρι τελικά να υποθέσει πως βρέθηκε εκτός εμβέλειας του PersonalNode οπότε και επαναφέρεται στην αρχική του κατάσταση. Όπως είναι λογικό, τα επόμενα μηνύματα “hello” του PersonalNode δεν περιέχουν ρόλους οι οποίοι έχουν ήδη ανατεθεί σε αισθητήρες.

2.1.3 Διαχείριση BAN

Ο συγχρονισμός και το localization του δικτύου επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του SyncSprinkler που αναφέρθηκε παραπάνω. Οι ακριβείς τιμές για την ώρα και την τοποθεσία παρέχονται από μια μονάδα GPS. Σε όλους τους κόμβους του BAN, η ώρα ενημερώνεται τόσο εξωτερικά μέσω των μηνυμάτων του SyncSprinkler, όσο και εσωτερικά μέσω ενός τοπικού ρολογιού ώστε να πετυχαίνεται μεγαλύτερη ακρίβεια μεταξύ των μεταδόσεων του SyncSprinkler.

Όταν ο PersonalNode έχει εξασφαλίσει συνδέσεις με όλους τους αισθητήρες που απαιτούνται από τον χρήστη, τότε ένα LED υποδεικνύει ότι το σύστημα είναι έτοιμο. Η έναρξη των μετρήσεων γίνεται από ένα κουμπί στο PersonalNode, το οποίο στέλνει ένα μήνυμα “start” σε όλους τους κόμβους του BAN, ειδοποιώντας τους πως η διαδρομή έχει ξεκινήσει και πρέπει να αρχίσουν να καταγράφουν δεδομένα. Ακόλουθο πάτημα του κουμπιού του PersonalNode υποδεικνύει πως η διαδρομή έχει τελειώσει και ειδοποιεί τους κόμβους να σταματήσουν την λήψη μετρήσεων.

Η λήψη μετρήσεων από τους αισθητήρες μπορεί να είναι είτε συνεχόμενη ή ενεργοποιούμενη από κάποιο γεγονός. Στην πρώτη περίπτωση, οι προτιμήσεις του χρήστη που εκτελούνται από τον PersonalNode παραμετροποιούν τη διαδικασία της δειγματοληψίας, η οποία ξεκινάει αμέσως μετά την λήψη του μηνύματος “start”. Η συνεχής λήψη μετρήσεων στο BikeNet είναι κατάλληλη για ρόλους όπως αυτός του TiltSensor, καθώς η χαρτογράφηση του εδάφους πρέπει να είναι συνεχόμενη. Αντίθετα, κάποιοι αισθητήρες μπορεί να καταναλώνουν πολλή ενέργεια ή να μην έχει νόημα η λήψη μετρήσεων από αυτούς παρά μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες (π.χ. περιοχές ενδιαφέροντος).

Για αυτή την περίπτωση έχουν υλοποιηθεί τα triggers. Η υλοποίηση των triggers στο BikeNet υποστηρίζει τον ορισμό των συνθηκών που πρέπει να πληρούνται καθώς και των ενεργειών που πρέπει να εκτελεστούν. Μόλις ο PersonalNode λάβει ένα trigger, διαχωρίζει τις συνθήκες (π.χ. “κλίση εδάφους > 5 μοίρες”) και τις στέλνει στους κατάλληλους κόμβους (π.χ. TiltSensor). Όταν κάποια συνθήκη ικανοποιηθεί, το αντίστοιχο μέλος του BAN ειδοποιεί τον PersonalNode, ο οποίος εκτελεί τις ενέργειες μόνο όταν πληρούνται όλες οι συνθήκες. Οι ενέργειες που μπορούν να εκτελεστούν είναι η λήψη φωτογραφιών, η καταγραφή βίντεο και ήχου, η εμφάνιση δεδομένων στο



Σχήμα 2.6: Bluetooth/802.15.4 gateway

LocalDisplay, η αλλαγή παραμέτρων δειγματοληψίας κάποιου αισθητήρα, η μεταφορά δεδομένων από έναν αισθητήρα σε άλλον, η αναπαραγωγή ήχου από το ηχείο και το αναβόσβημα των LEDs.

Το πρωτόκολλο τοπικής απεικόνισης χρησιμοποιείται από το LocalDisplay για να αναζητά δεδομένα από άλλους κόμβους του BAN. Το LocalDisplay εκτελείται από ένα N80 το οποίο έχει στηριχθεί πάνω στο τιμόνι του ποδηλάτου και επικοινωνεί με το BAN με τη βοήθεια ενός ειδικά κατασκευασμένου Bluetooth/802.15.4 gateway (σχήμα 2.6).

Το LocalDisplay εκπέμπει περιοδικά αιτήματα για δεδομένα. Τα δεδομένα που επιστρέφουν οι αισθητήρες στο LocalDisplay εξαρτώνται από τις προτιμήσεις του χρήστη και μπορεί είναι η ταχύτητα, η απόσταση που έχει διανυθεί, η γωνία κλίσης του ποδηλάτου, ο ρυθμός περιστροφής των πεταλιών και η ώρα της ημέρας. Για μεγαλύτερη ευελιξία, τα δεδομένα αυτά στέλνονται σε πακέτα της μορφής (τύπος, μήκος, τιμή).

2.1.4 Υπηρεσίες Ανταλλαγής Δεδομένων

Στο σύστημα BikeNet παρουσιάζονται τρεις τύποι ανταλλαγής δεδομένων: tasking, muling και uploading. Το tasking και το uploading πραγματοποιούνται μεταξύ των αισθητήρων και των SAP, ενώ το muling πραγματοποιείται μόνο μεταξύ αισθητήρων. Από προεπιλογή το BikeNet λειτουργεί σε delay-tolerant mode όπου ο PersonalNode ενός BAN κρατάει δεδομένα από όλους τους αισθητήρες του δικτύου του (μέχρι το

σημείο που του επιτρέπει η μνήμη του) και τα ανεβάζει στο τέλος της διαδρομής είτε μέσω καλωδίου είτε ασύρματα. Το uploading των δεδομένων μέσω κινητών SAP ή στατικών SAP που συναντιούνται στη διαδρομή υποστηρίζει την εξυπηρέτηση των αιτημάτων από εφαρμογές του χρήστη που τρέχουν στους server του συστήματος και απαιτούν συχνή ενημέρωση.

Κατά το tasking, ένα SAP επικοινωνεί με τους διαθέσιμους αισθητήρες για να αρχικοποιήσει τον PersonalNode με τις προσωπικές ρυθμίσεις του χρήστη, με βάση τις οποίες ο PersonalNode θα χτίσει αργότερα το BAN. Πέρα από την αρχικοποίηση του BAN, το tasking είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των αιτημάτων που προέρχονται από τους server και τους χρήστες της δικτυακής πύλης του συστήματος, στα οποία ο PersonalNode απαντά με την λήψη των ζητούμενων μετρήσεων από τους κατάλληλους αισθητήρες.

Κατά το muling, δεδομένα μεταφέρονται μεταξύ αισθητήρων που βρίσκονται εκτός εμβέλειας κάποιου στατικού ή κινητού SAP. Ένα απλό πρωτόκολλο muling είναι υλοποιημένο σε κάθε αισθητήρα, παρόλα αυτά η επιλογή για την ενεργοποίηση αυτού του χαρακτηριστικού αφήνεται στον χρήστη. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί μια ανταλλαγή τύπου advertisement-accept-data, όπου το μήνυμα advertisement προσδιορίζει τον όγκο των δεδομένων που ο παροχέας θέλει να στείλει, το accept δηλώνει τον όγκο που είναι διατεθειμένος να δεχτεί ο αποδοχέας και το μήνυμα data περιέχει τα ίδια τα πακέτα δεδομένων. Επιπλέον, η μέθοδος Stop-and-wait-ARQ με μέγιστο τριών επανεκπομπών έχει υιοθετηθεί στην αποστολή των δεδομένων ώστε να εξασφαλίζεται η αξιόπιστη μεταφορά τους. Η υλοποίηση του συστήματος επιτρέπει τη δημιουργία αντιγράφων των δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες αλλά όχι των δεδομένων που λαμβάνονται από την υπηρεσία muling. Αυτό συμβαίνει ώστε να διατηρείται κάποιος έλεγχος στον αριθμό των αντιγράφων που κυκλοφορούν.

Όταν ένα δίκτυο BAN εισέρχεται στην εμβέλεια ενός στατικού ή κινητού SAP, τότε συμβαίνει το uploading, όπου οι κόμβοι του BAN επιχειρούν να ανεβάσουν τα δεδομένα που έχουν λάβει στη βάση δεδομένων του συστήματος. Το πρωτόκολλο του uploading είναι παρόμοιο με αυτό του muling. Όταν ένα SAP λάβει πακέτα δεδομένων, τα προωθεί στους server του συστήματος. Η απόφαση για την αποδοχή νέων συνδέσεων γίνεται με βάση την συμφόρηση γύρω από το SAP.

2.1.5 Επαλήθευση μετρήσεων

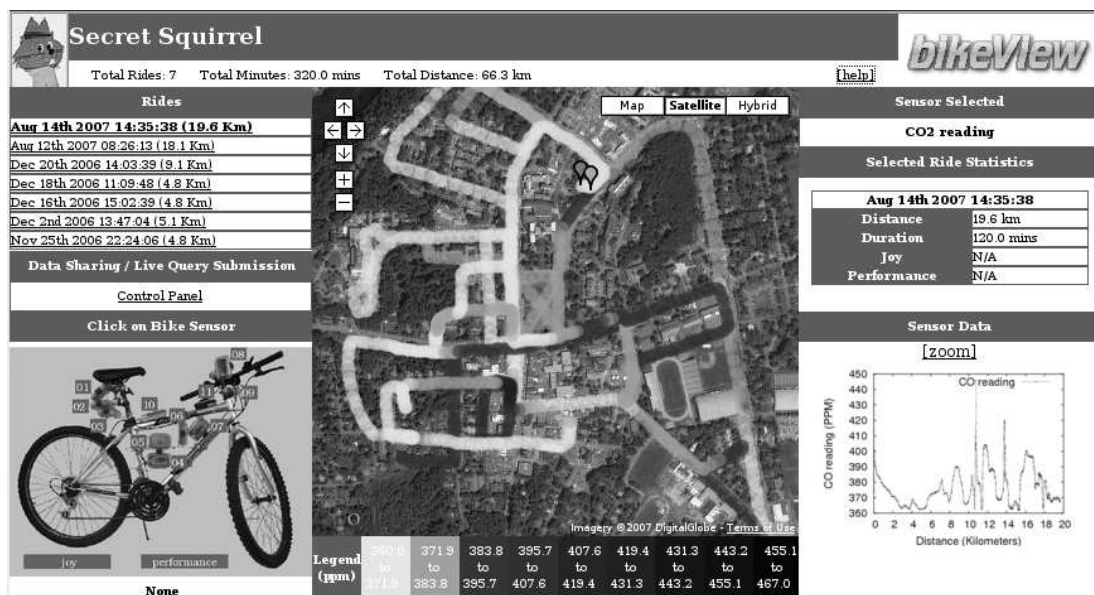
Τα SAPs είναι εξοπλισμένα με συγκεκριμένους αισθητήρες, οι οποίοι μπορούν να παρέχουν ground truth μετρήσεις. Οι μετρήσεις ground truth αναφέρονται σε μια αξιόπιστη, ακριβής και συνεχώς προσβάσιμη πηγή δεδομένων. Μια χρήση των ground truth δεδομένων είναι σαν φίλτρο στα δεδομένα που ανεβάζουν οι αισθητήρες, προτού προωθηθούν από το SAP στη βάση δεδομένων. Το φίλτρο ground truth μπορεί να εφαρμοστεί για να επαληθεύσει ή να ακυρώσει μετρήσεις που στέλνονται από τους αισθητήρες, όταν οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση με τις μετρήσεις ground truth (π.χ. μέτρηση θερμοκρασίας στο ίδιο μέρος την ίδια ώρα). Επιπλέον, οι ground truth μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξυπηρέτηση αιτημάτων που προέρχονται από χρήστες του συστήματος και αφορούν την ίδια την τοποθεσία του SAP, καθώς επίσης και αιτήσεις από BAN που βρίσκονται στην εμβέλεια του SAP και ζητούν να επιβεβαιώσουν τις δικές τους μετρήσεις (self-calibration).

2.1.6 Διαχείριση αιτήσεων

Το σύστημα διαχείρισης αιτήσεων του SAP αναλαμβάνει αιτήσεις τόσο από τους χρήστες της δικτυακής πύλης του συστήματος όσο και από τον PersonalNode ενός BAN. Αρχικά, καλεί μια ρουτίνα ανεύρεσης πόρων για να προσδιορίσει τους διαθέσιμους αισθητήρες που μπορούν να ικανοποιήσουν το αίτημα. Η ρουτίνα αυτή ελέγχει τους ground truth αισθητήρες του ίδιου του SAP, αλλά και αισθητήρες από τυχόν BAN που βρίσκονται στην εμβέλεια του SAP. Μόλις η λίστα με τους διαθέσιμους πόρους ολοκληρωθεί, το SAP επιλέγει έναν από αυτούς και του αναθέτει την εξυπηρέτηση του αιτήματος. Ένα παράδειγμα εφαρμογής αυτής της διαδικασίας, στην περίπτωση χρήσης κινητού SAP μέσω κινητού τηλεφώνου, είναι η αίτηση για καταγραφή εικόνας, βίντεο ή ήχου είτε από το BAN είτε από την δικτυακή πύλη.

2.1.7 Υπηρεσίες server

Οι υπηρεσίες του server του BikeNet περιλαμβάνουν την δικτυακή πύλη (σχήμα 2.7), η οποία παρέχει γραφική απεικόνιση των δεδομένων που συλλέγονται, καθώς και επιτρέπει την υποβολή αιτημάτων σε BANs σε πραγματικό χρόνο μέσω σύνδεσης



Σχήμα 2.7: Δικτυακή πύλη του BikeNet

GPRS, δεδομένου ότι είναι εξοπλισμένα με κινητό τηλέφωνο. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το BAN που τον ενδιαφέρει και να διαμορφώσει το αίτημα με τη βοήθεια ενός συνόλου επιλογών. Το αίτημα αυτό αποστέλλεται μέσω δικτύου τηλεφώνου στο επιλεγμένο κινητό SAP. Με τον τρόπο αυτό δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα να πληροφορηθεί για την τοποθεσία ενός BAN και να λάβει εικόνες από την κάμερά του ή ήχο από το μικρόφωνό του.

Η βάση δεδομένων παρέχει έναν χώρο για την μακροχρόνια αποθήκευση των δεδομένων που συλλέγονται από τον κάθε ποδηλάτη ξεχωριστά αλλά αποτελεί και ένα ιδανικό μέρος για την συνάθροιση όλων αυτών των δεδομένων. Η άδεια πρόσβασης σε αυτές τις πληροφορίες καθορίζεται από την πολιτική που έχει επιλέξει ο χρήστης. Τα εργαλεία εξόρυξης δεδομένων παρέχουν ένα σύνολο από συνήθεις στατιστικές συναρτήσεις και μετασχηματισμούς που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης για την ανάκτηση και την παρουσίαση των δεδομένων. Στα εργαλεία αυτά περιλαμβάνονται διαγράμματα διασποράς για να αναζητηθούν συσχετισμοί μεταξύ των δεδομένων, μετασχηματισμοί Fourier (FFTs) για να εξεταστεί η περιοδικότητα, υπολογισμός μέσων για την εξομάλυνση των μετρήσεων και την αναζήτηση τάσεων, και παρεμβολές για την ευθυγράμμιση των δειγμάτων σύμφωνα με την απόσταση. Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται μια μέθοδος για να φιλτράρει τις ανεπιθύμητες δονήσεις στον TiltSensor

όταν υπολογίζεται η κλίση του μονοπατιού. Το BikeView που φαίνεται στο σχήμα 2.7, αποτελεί έναν κομψό τρόπο αναπαράστασης των δεδομένων, όπου ο χρήστης μπορεί εύκολα να αναζητήσει διαδρομές και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους. Στόχος είναι οι χρήστες να μοιράζονται πληροφορίες με τη δημιουργία ομάδων όπου μπορούν να δημοσιεύουν τα δεδομένα τους σε άλλους.

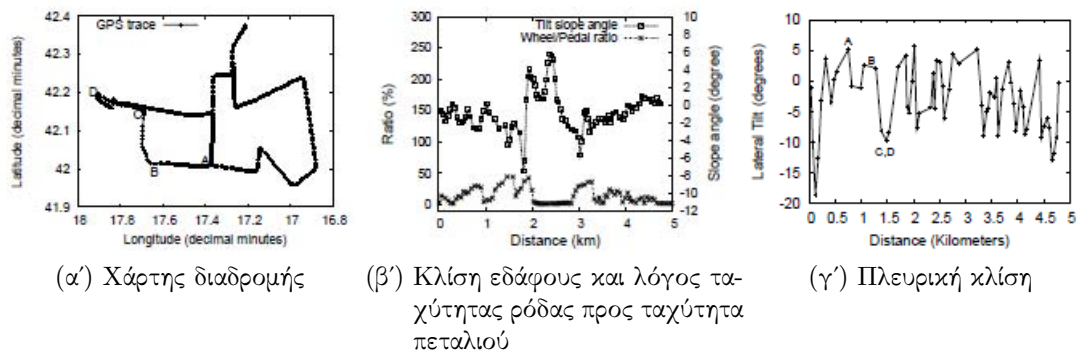
Η βάση δεδομένων κατάστασης του συστήματος περιέχει τόσο στατικές πληροφορίες (όπως π.χ. η φυσικές διευθύνσεις των Tmote Invent και οι δυνατότητες των αισθητήρων τους) όσο και δυναμικές (π.χ. τελευταία γνωστή τοποθεσία ενός SAP ή BAN). Συγκεκριμένα, καταγράφει ποια BAN βρίσκονται ανά πάσα στιγμή στην εμβέλεια ενός κινητού ή στατικού SAP. Αυτό διευκολύνει τη δρομολόγηση των αιτήσεων από τη δικτυακή πύλη στο συγκεκριμένο BAN που απευθύνεται. Παράλληλα, οι πληροφορίες αυτές βοηθούν γενικότερα στην αποσφαλμάτωση και στη διαχείριση του δικτύου.

2.1.8 Πειραματική Αξιολόγηση

Για την αξιολόγηση του συστήματος, οι ερευνητές του BikeNet κατασκεύασαν πέντε πλήρως εξοπλισμένα ποδήλατα, χρησιμοποιώντας Tmote Invent motes και κινητά τηλέφωνα Nokia N80. Επίσης, εγκαταστάθηκε ένας αριθμός κινητών και στατικών SAPs και υλοποιήθηκε μια λειτουργική δικτυακή πύλη που παρείχε υπηρεσίες υποβολής αιτημάτων και ανάκτησης δεδομένων. Σ' αυτό το μέρος παρουσιάζονται επιλεγμένα αποτελέσματα από διάφορα πειράματα που αποσκοπούν:

- (1) στην ποσοτικοποίηση της εμπειρίας του ποδηλάτη από τις μετρήσεις που έχουν ληφθεί και αφορούν τον ίδιο τον ποδηλάτη και το περιβάλλον του,
- (2) στην μελέτη της απόδοσης των κύριων υποσυστημάτων του BikeNet,
- (3) στην μέτρηση της απόδοσης σε πραγματικό χρόνο ενός ανεπτυγμένου συστήματος τοποθετημένου στο πανεπιστήμιο του Dartmouth και σε γειτονικές περιοχές της πόλης του Hanover, NH, USA.

Γίνεται χρήση ενός κοινού μονοπατιού που καλείται ground truth route. Το μονοπάτι αυτό περιλαμβάνει τόσο κεντρικούς δρόμους στη μέση της πόλης, όπου η κίνηση των αυτοκινήτων και των πεζών είναι αυξημένη, όσο και ήσυχα στενάκια με λίγη



Σχήμα 2.8

ή καθόλου κίνηση. Η διαδρομή εκθέτει τον ποδηλάτη σε μια ποικιλία εδάφους με ανηφόρες και κατηφόρες. Τυπικά, η διαδρομή ground truth παίρνει 25-30 λεπτά για να την διασχίσει κάποιος και έχει μήκος σχεδόν 5 χιλιόμετρα. Τα πειράματα διεξήχθησαν σε ώρα αιχμής και στη μέση της ημέρας που η κίνηση είναι μειωμένη. Οι διαδρομές μαγνητοσκοπούνται χρησιμοποιώντας το βίντεο-κράνος¹ (βλ. σχήμα 2.5) με σκοπό την επικύρωση των μετρήσεων που παίρνονται.

Στο μέρος αυτό παρουσιάζεται μια σειρά από γραφήματα που χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά του ποδηλάτη και τις συνθήκες του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής.

Καταγραφή συμπεριφοράς του ποδηλάτη

Το σχήμα 2.8β' δείχνει την κλίση του εδάφους που μετρήθηκε από τον TiltSensor σε συνάρτηση με την απόσταση. Η κλίση υπολογίζεται από τον τύπο $s = \arctan(x/y)$, όπου x και y είναι οι τιμές του επιταχυνσιόμετρου για τους άξονες x και y αντίστοιχα. Η ακρίβεια των μετρήσεων μεγιστοποιείται όταν το ποδήλατο είναι στάσιμο, ενώ το σφάλμα αυξάνεται με την ταχύτητα και την ανωμαλότητα του εδάφους εξαιτίας των κινήσεων του ποδηλάτη και των δονήσεων που δε φιλτράρονται. Τα αποτελέσματα ταιριάζουν (με μικρότερη από 10% απόκλιση) με τις τιμές της κλίσης που πάρθηκαν χειροκίνητα για την ground truth διαδρομή.

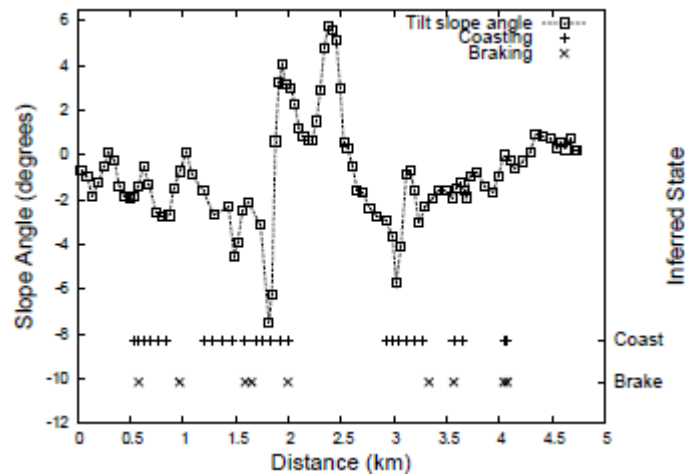
¹το βίντεο-κράνος δεν είναι μέρος του συνηθισμένου εξοπλισμού BikeNet

Το σχήμα 2.8γ' απεικονίζει την πλευρική κλίση συναρτήσει της απόστασης. Η πλευρική κλίση υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε και για τον TiltSensor. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε για την ορμητικότητα του ποδηλάτη στις στροφές. Από το γράφημα μπορούμε να συνδέσουμε τις αυξήσεις στην πλευρική κλίση με στροφές σε σημεία που αναμένονται και από τον χάρτη GPS της διαδρομής που φαίνεται στο σχήμα 2.8α'. Θετική πλευρική γωνία υποδεικνύει δεξιά στροφή του ποδηλάτου, ενώ αρνητική γωνία υποδεικνύει αριστερή στροφή. Στο σχήμα 2.8γ' σημειώνονται τέσσερα σημεία (A, B, C, D) ως δείγματα της πλευρικής κλίσης που αντιστοιχούν σε τέσσερα σημεία του χάρτη GPS όπου ο ποδηλάτης πραγματοποίησε δύο δεξιές και δύο αριστερές στροφές αντίστοιχα. Η απότομη αριστερή γωνία (σχεδόν -20 μοιρών) οφείλεται στο ανέβασμα του ποδηλάτη στην αρχή της διαδρομής.

Η ποσοτικοποίηση θεμάτων που αφορούν την φυσική κατάσταση του ποδηλάτη συμπεριλαμβάνουν την ταχύτητα του ποδηλάτου, την κλίση του εδάφους, την ταχύτητα² που θέτει στα πετάλια όταν ανεβαίνει μια πλαγιά και την τοποθεσία της διαδρομής. Στο σχήμα 2.8β', μαζί με την κλίση του εδάφους, απεικονίζεται και ο λόγος της ταχύτητας της ρόδας προς την ταχύτητα του πεταλιού. Ο λόγος αυτός μας δίνει μια ένδειξη σχετικά με την ταχύτητα που βρίσκεται το ποδήλατο σε ένα δεδομένο σημείο της διαδρομής. Ο δείκτης αυτός είναι πιο αξιόπιστος όταν ο ποδηλάτης ανεβαίνει σε πλαγιά, καθώς όταν τσουλάει στην κατηφόρα μπορεί να μην κινεί πολύ τα πετάλια. Ένας δυνατός ποδηλάτης μπορεί να χρησιμοποιήσει υψηλότερη ταχύτητα όταν ανεβαίνει ανηφόρα. Στο σχήμα 2.8β' είναι προφανή τα σημεία όπου ο ποδηλάτης αλλάζει ταχύτητες για να ανέβει ανηφόρες (από 1 έως 1.25χλμ και 2 έως 2.7χλμ περίπου), όπου ο λόγος Wheel/Pedal είναι σχεδόν ίσος με 1.

Γνωρίζοντας την κλίση του μονοπατιού σε συνδυασμό με την ταχύτητα της ρόδας και του πεταλιού, μπορούμε να συμπεράνουμε αν ο ποδηλάτης τσουλάει ή φρενάρει. Σε κάθε ποδήλατο υπάρχει ένα πεπερασμένο σύνολο από τιμές του λόγου ταχύτητας πεταλιού προς την ταχύτητα ρόδας που είναι πιθανές όταν τα πετάλια παρέχουν ώθηση στο ποδήλατο. Το πλήθος αυτών των τιμών είναι ίσο με τον αριθμό των ταχυτήτων που έχει το ποδήλατο. Εάν ο λόγος αυτός δεν συμπίπτει με μια από τις επιτρεπόμενες τιμές, τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο ποδηλάτης τσουλάει χωρίς να κάνει συνεχόμενα πετάλι. Το φρενάρισμα μπορεί να εντοπιστεί με παρόμοιο τρόπο. Εάν

²από τον αγγλικό όρο gear



Σχήμα 2.9: Σημεία τσουλήματος και φρεναρίσματος

η ταχύτητα της ρόδας μειώνεται παρόλο που το ποδήλατο βρίσκεται σε κατηφόρα, τότε είναι πολύ πιθανό ο ποδηλάτης να φρενάρει. Επιπλέον, φρενάρισμα μπορεί να εντοπιστεί όταν το ποδήλατο βρίσκεται σε ανηφόρα και η ταχύτητα του μειώνεται πιο γρήγορα από ότι επιβάλλει η κλίση του εδάφους. Παρόλα αυτά, η περίπτωση αυτή είναι πιο δύσκολη να εντοπιστεί καθώς επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως η συνδυασμένη μάζα του ποδηλάτου και του αναβάτη και η σύνθεση του εδάφους.

Το σχήμα 2.9 δείχνει την κλίση του εδάφους κατά μήκος της ground truth διαδρομής. Εφαρμόζοντας τις τεχνικές που αναλύθηκαν παραπάνω, εντοπίζουμε σημεία που ο ποδηλάτης φρέναρε στα 1.6χλμ, 3.3χλμ και 4.1χλμ, κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε και από τον ίδιο τον ποδηλάτη. Στα σημεία αυτά παρατηρούμε μια απότομη μείωση στην ταχύτητα της ρόδας, τη στιγμή που το ποδήλατο βρισκόταν σε κατηφόρα. Παρομοίως, αν η ταχύτητα του πεταλιού είναι κοντά στο μηδέν και η ταχύτητα της ρόδας είναι υψηλή, τότε μπορούμε εύκολα να υποθέσουμε ότι ο ποδηλάτης τσουλάει. Στο γράφημα βλέπουμε τέτοιες περιόδους χοντρικά από το 1.25χλμ έως το 2χλμ και από το 2.7χλμ έως το 3.3χλμ.

Συνθήκες περιβάλλοντος

Πέρα από τα γεωγραφικά δεδομένα και τους μετρητές φυσικής κατάστασης, οι ποδηλάτες ενδιαφέρονται για το περιβάλλον και την ασφάλεια μιας διαδρομής, ως δείκτες

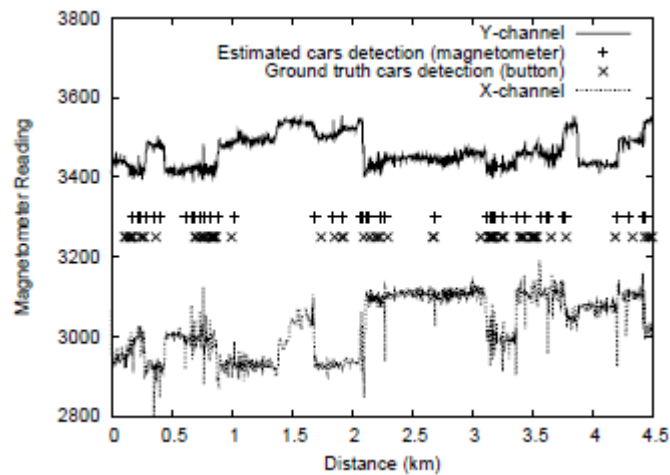
της συνολικής απόλαυσης της ποδηλατικής εμπειρίας. Οι ερευνητές του BikeNet προσπάθησαν να προσδιορίσουν διάφορες απόψεις του περιβάλλοντος, όπως η κίνηση των αυτοκινήτων, η ποιότητα του αέρα και τα επίπεδα του θορύβου.

Η παρουσία οχημάτων είναι συχνά ανεπιθύμητη για ποδηλάτες οι οποίοι ανησυχούν για την ασφάλεια, τον θόρυβο και την ρύπανση. Για τον εντοπισμό της κίνησης στους δρόμους κάθε BAN είναι εξοπλισμένο με έναν ανιχνευτή μετάλλων. Όταν ο ανιχνευτής περνά δίπλα από ένα μεγάλο μεταλλικό αντικείμενο, το μαγνητικό πεδίο της γης παραμορφώνεται και έτσι εντοπίζεται η παρουσία ενός αυτοκινήτου. Οι μετρήσεις του ανιχνευτή μετάλλων συγκρίνονται με τα ground truth δεδομένα, τα οποία συλλέγονται με τη βοήθεια ενός ButtonMote που πατάει ο ποδηλάτης κάθε φορά που συναντιέται με ένα αυτοκίνητο.

Η απόσταση μέχρι την οποία μπορεί να εντοπίσει αξιόπιστα ένα αυτοκίνητο ανακαλύφθηκε ότι είναι 2 μέτρα, γι' αυτό δεν επιχειρείται ο εντοπισμός οχημάτων που έρχονται από την αντίθετη λωρίδα³. Κάθε πάτημα του κουμπιού καταγράφει την ώρα και την τοποθεσία από το GPS. Το σχήμα 2.10 δείχνει τα ανεπεξέργαστα δεδομένα για τους άξονες x και y του μαγνητόμετρου σε συνάρτηση με την απόσταση που διανύθηκε. Στο ίδιο γράφημα απεικονίζονται τα γεγονότα του ButtonMote καθώς και τα σημεία στα οποία οι τιμές του μαγνητομέτρου υποδεικνύουν την παρουσία αυτοκινήτου. Ο αλγόριθμος εντοπισμού δουλεύει πάνω στα δεδομένα και των δύο αξόνων ως εξής: αρχικά, υπολογίζεται ο εκθετικά σταθμισμένος κινούμενος μέσος όρος των μετρήσεων. Εάν η διαφορά μεταξύ αυτού του μέσου όρου και της τρέχουσας τιμής είναι μεγαλύτερη από ένα όριο και αν η τρέχουσα τιμή αποτελεί τοπικό μέγιστο, τότε εντοπίζεται η παρουσία αυτοκινήτου. Η τιμή αυτού του ορίου καθώς και το βάρος στάθμισης του μέσου όρου βρίσκονται έπειτα από εκπαίδευση κατά το πρώτο χιλιόμετρο και χρησιμοποιούνται για το υπόλοιπο της διαδρομής. Αν και υπάρχουν ασυμφωνίες μεταξύ των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου εντοπισμού και των ground truth δεδομένων, επιτυγχάνεται ο αρχικός σκοπός ο οποίος δεν ήταν η ακριβής καταμέτρηση των οχημάτων αλλά η ανίχνευση περιοχών με μεγάλη κίνηση.

Ως ένδειξη της ποιότητας του αέρα που περιβάλλει τον ποδηλάτη στη διαδρομή του χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες που μετρούν το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα. Το σχήμα 2.11α⁴ δείχνει τις μετρήσεις που πάρθηκαν κατά την διάρκεια της διαδρομής

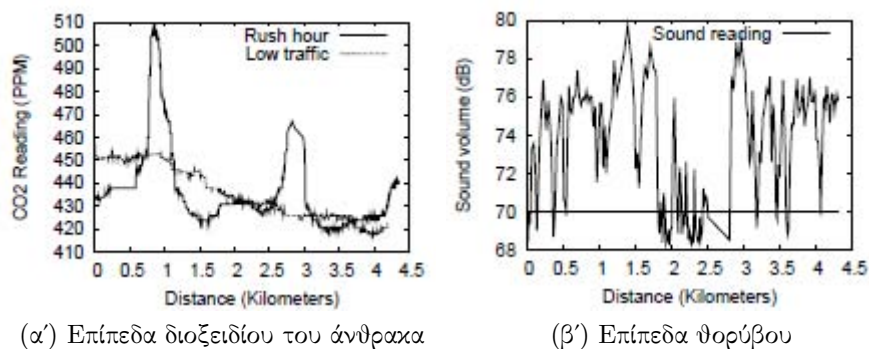
³απόσταση μεγαλύτερη των τριών μέτρων



Σχήμα 2.10: Μετρήσεις μαγνητομέτρου

του σχήματος 2.8α', τόσο σε ώρα αιχμής όσο και σε ώρα μειωμένης κίνησης. Οι κορυφές που παρατηρούνται στην ώρα αιχμής μετρήθηκαν σε στιγμές που ο ποδηλάτης διέσχιζε κεντρικούς δρόμους, όπου η παρουσία οχημάτων είναι αυξημένη. Μάλιστα, η διαφοροποίηση στα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα που μετρήθηκε στους δρόμους είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στις εξατμίσεις των αυτοκινήτων. Και ενώ το διοξείδιο του άνθρακα έχει χαμηλή τοξικότητα στα επίπεδα που καταγράφηκαν, μπορεί να λειτουργήσει ως δείκτης για άλλες πιο βλαβερές ουσίες που προέρχονται από εξατμίσεις αυτοκινήτων όπως υδρογονάνθρακες, νιτρώδες οξείδια και αιωρούμενα σωματίδια. Έτσι, από τις μετρήσεις του διοξειδίου του άνθρακα μπορούμε να συμπεράνουμε πόσο ευχάριστη είναι μια διαδρομή για τον ποδηλάτη από την άποψη της ρύπανσης. Το στιγμιότυπο της δικτυακής πύλης του σχήματος 2.7 στη σελίδα 23 δείχνει τον χάρτη CO_2 των δρόμων του Hanover το απόγευμα μιας καθημερινής καλοκαιριού.

Ακόμα ένας τρόπος για τον εντοπισμό περιοχών με μεγάλη πυκνότητα οχημάτων είναι η μέτρηση της έντασης του ήχου. Στο σχήμα 2.11β' φαίνονται τα επίπεδα του ήχου σε decibels κατά μήκος του ground truth μονοπατιού. Η μέγιστη τιμή της έντασης είναι γύρω στα 80dB και καταγράφηκε σε σημείο όπου η διαδρομή περνά μέσα από κεντρικές διασταυρώσεις της πόλης και επικρατεί αυξημένη κίνηση. Το όριο πάνω από το οποίο η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει βλάβες είναι 70db.



(α') Επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα

(β') Επίπεδα θορύβου

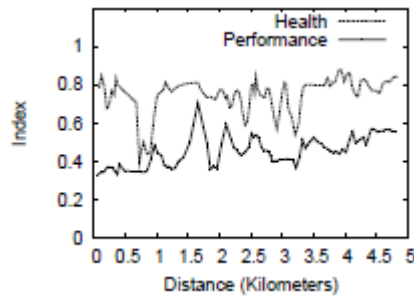
Σχήμα 2.11

2.1.9 Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Στα σχήματα 2.8β' έως 2.11β' είδαμε ένα πλήθος ανεπεξέργαστων δεδομένων και συμπερασμάτων πρώτου βαθμού. Σ' αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα μετρικών (υγεία και φυσική κατάσταση) με τη βοήθεια των οποίων οι ποδηλάτες και οι υπόλοιποι χρήστες του συστήματος μπορούν να κατανοήσουν και να επεξεργαστούν τα δεδομένα που προσφέρει το σύστημα BikeNet. Οι μετρικές αυτές είναι σταθμισμένοι συνδυασμοί διαφόρων τύπων δεδομένων που προέρχονται από τους διαθέσιμους αισθητήρες, αλλά μπορούν να επεκταθούν ώστε να περιλαμβάνουν και άλλους αισθητήρες. Τα βάρη αποτελούνται από το γινόμενο δύο υποβαρών:

- (1) την σημασία που δίνει ο χρήστης σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό
- (2) τον παράγοντα κανονικοποίησης

Το πρώτο βάρος καθορίζεται από τις προτιμήσεις του χρηστή, που αντανακλούν τις προσωπικές ευαισθησίες του (π.χ. ένας ποδηλάτης με άσθμα μπορεί να δίνει περισσότερο βάρος στα επίπεδα CO_2). Το δεύτερο βάρος χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση ενός χαρακτηριστικού σύμφωνα με το μέγιστο δυναμικό εύρος του. Οι μετρικές μπορούν να απεικονίζονται στην δικτυακή πύλη ή στην τοπική οθόνη του ποδηλάτου ώστε να εντοπίζονται διαφοροποιήσεις και περιοχές ενδιαφέροντος. Για παράδειγμα, στο σχήμα 2.12 βλέπουμε μια μεγάλη καμπή στον δείκτη υγείας ακριβώς πριν το 1χλμ όπου τα επίπεδα CO_2 κορυφώνονται (σχ. 2.11α'). Επίσης, οι χρήστες μπορούν να συγκρίνουν τον μέσο όρο των δεικτών μεταξύ διαφορετικών διαδρομών και ωρών της ημέρας ώστε να επιλέγουν την προτιμότερη διαδρομή για ένα συγκεκρι-



Σχήμα 2.12: Δείκτες υγείας και φυσικής κατάστασης

κριμένο σκοπό (π.χ. άσκηση, χαλαρωτική βόλτα). Καθώς αυξάνει η κάλυψη των διαδρομών, είναι δυνατή η δημιουργία μιας υπηρεσίας η οποία μπορεί ανά πάσα στιγμή να επιστρέφει την πιο υγιεινή διαδρομή μεταξύ δυο σημείων.

Δείκτης υγείας

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας και οι επιπτώσεις της στην δημόσια υγεία προκαλούν μεγάλο ενδιαφέρον σε πολλές αστικές κοινότητες. Στην Αυστρία, την Γαλλία και την Ελβετία υπολογίζεται ότι πάνω από 20,000 θάνατοι ενηλίκων, 290,000 επεισόδια βρογχίτιδας σε παιδιά και 500,000 χρούσματα άσθματος τον χρόνο οφείλονται σε σωματίδια που βρίσκονται στον αέρα και προέρχονται κυρίως από εξατμίσεις οχημάτων. Η ηχορύπανση αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα σε αστικές περιοχές. Σύμφωνα με το Γραφείο Ελέγχου και Περιστολής του Θορύβου, της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος⁴, η μακροχρόνια έκθεση σε θόρυβο πάνω από 70dB μπορεί να προκαλέσει απώλεια ακοής. Στο μεταξύ, ο μέσος όρος του θορύβου σε πόλεις με μέτρια κίνηση είναι 85dB, και σε μεγάλες πόλεις, όπως η Νέα Υόρκη, το επίπεδο φτάνει τα 90dB. Ως αποτέλεσμα, το 87% των κατοίκων των πόλεων της Αμερικής είναι εκτεθειμένο σε τόσο δυνατούς ήχους που κινδυνεύει από μείωση της ικανότητας ακοής. Ακόμα και στην μικρή πόλη του Hanover, NH, USA τα επίπεδα θορύβου ξεπερνούν τα 70dB σε κεντρικούς δρόμους.

Οι δυνατότητες του BikeNet δεν περιορίζονται μόνο στην χαρτογράφηση της ρύπανσης αλλά, σε πιο προσωπικό επίπεδο, είναι δυνατή η κατηγοριοποίηση των διαδρομών

⁴Environmental Protection Agency - EPA

σύμφωνα με την επίδραση που μπορεί να έχουν στην υγεία του ποδηλάτη. Στον υπολογισμό του δείκτη υγείας συμβάλλουν η ασφάλεια, ο θόρυβος και η ατμοσφαιρική ρύπανση σύμφωνα με τον τύπο:

$$Health = 1.0 - a_1 * CarDensity - a_2 * CO_2Level - a_3 * SoundLevel$$

Οι πληροφορίες για την πυκνότητα των αυτοκινήτων προέρχονται από την επεξεργασία των μετρήσεων του MetalDetector, ενώ τα επίπεδα του CO_2 και του ήχου από τα CO_2 Sensor και SoundSensor αντίστοιχα. Υψηλά επίπεδα CO_2 και μεγάλη πυκνότητα διερχομένων αυτοκινήτων υποδεικνύουν την παρουσία πολλών οχημάτων κοντά στον ποδηλάτη, κάτι το οποίο μπορεί να δημιουργήσει δυσάρεστες συνθήκες λόγω εξατμίσεων, θορύβου και αυξημένου κινδύνου. Παρομοίως, υψηλά επίπεδα ήχου υποδεικνύουν κίνηση, κόσμος, κραυγές, άνεμο κτλ. τα οποία μειώνουν τον δείκτη υγείας. Το σχήμα 2.12 δείχνει πως οι παράγοντες αυτοί μπορούν να επηρεάσουν την διαδρομή, καθώς και επισημαίνει τις περιοχές που πρέπει να αποφευχθούν.

Τα βάρη που χρησιμοποιήθηκαν για την προτίμηση του χρήστη είναι $1/3$ για όλα τα χαρακτηριστικά, δηλαδή υποθέτουμε ότι ο χρήστης δίνει το ίδιο βάρος και στα τρία. Τα δυναμικά εύρη⁵ για την πυκνότητα αυτοκινήτων, τα επίπεδα CO_2 και τα επίπεδα ήχου είναι 12, 100 και 70 αντίστοιχα. Άρα τα συνολικά βάρη που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

$$a_1 = \frac{1}{3} * \frac{1}{12}, a_2 = \frac{1}{3} * \frac{1}{100} \text{ και } a_3 = \frac{1}{3} * \frac{1}{70}.$$

Η μέση τιμή για τον δείκτη υγείας κατά την διάρκεια ολόκληρης της διαδρομής είναι 0.746 και η τυπική απόκλιση είναι 0.096.

Δείκτης φυσικής κατάστασης

Για ορισμένους ποδηλάτες, βασικός σκοπός είναι η σωματική άσκηση ή ο ανταγωνισμός. Γι' αυτούς έχει υλοποιηθεί ο δείκτης φυσικής κατάστασης/απόδοσης, ο οποίος υπολογίζεται από τον συνδυασμό των τιμών των WheelSensor, PedalSensor και Tilt-Sensor, ως εξής:

⁵η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής

$$Performance = b_1 * HillAngle + b_2 * \frac{WheelSpeed}{PedalSpeed} + b_3 * Distance$$

Όταν η γωνία κλίσης είναι θετική τότε ο δείκτης απόδοσης ανεβαίνει, ενώ όταν είναι αρνητική κατεβαίνει. Όταν ο λόγος wheel/pedal είναι υψηλός, τότε αυτό σημαίνει ότι ο ποδηλάτης χρησιμοποιεί υψηλή ταχύτητα (gear), δηλαδή η ρόδα διανύει μεγαλύτερη απόσταση με λιγότερες περιστροφές των πεταλιών, και άρα η απόδοση ανεβαίνει. Επίσης, η απόδοση ανεβαίνει ανάλογα με την απόσταση που έχει διανύσει ο ποδηλάτης. Ο δείκτης απόδοσης για ένα πέρασμα του ground truth μονοπατιού φαίνεται στο σχήμα 2.12. Τα βάρη υπολογίζονται παρόμοια με τον δείκτη υγείας και οι τιμές τους είναι:

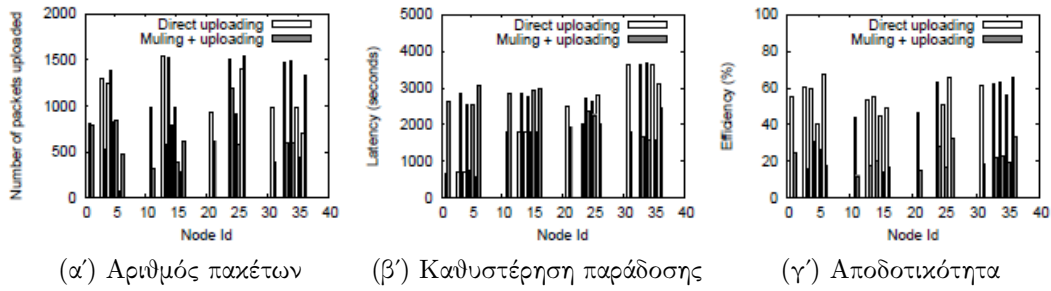
$$b_1 = \frac{1}{3} * \frac{1}{13}, b_2 = \frac{1}{3} * \frac{1}{80} \text{ και } b_3 = \frac{1}{3} * \frac{1}{5} .$$

Με την χρήση αυτών των βαρών, η μέση τιμή της απόδοσης για όλη τη διαδρομή είναι 0.253 και η τυπική απόκλιση 0.094.

2.1.10 Αξιολόγηση του muling

Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων, τα δεδομένα που λαμβάνονται αποθηκεύονται στην μνήμη flash του αισθητήρα. Τα δεδομένα αυτά πρέπει τελικά να φτάσουν στη βάση δεδομένων του συστήματος. Η μεταφορά αυτή μπορεί να γίνει είτε άμεσα από το BAN σε κάποιο SAP χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο uploading, είτε έμμεσα με την χρήση του πρωτόκολλου muling. Κάθε κόμβος γνωρίζει τα αναγνωριστικά όλων των υπολοίπων μελών του BAN που ανήκει, ως αποτέλεσμα της ανάθεσης ρόλων κατά την αρχικοποίηση του BAN. Έτσι, το muling πραγματοποιείται μόνο μεταξύ κόμβων που ανήκουν σε διαφορετικά BAN, με την εξαίρεση του PersonalNode ο οποίος δέχεται δεδομένα και από κόμβους του δικτύου του. Δεν υπάρχει συντονισμός στην ανταλλαγή των δεδομένων, αλλά κάθε κόμβος δρα ανεξάρτητα. Έτσι, οδηγούμαστε σε δύο βασικά σενάρια:

- (1) το ποδήλατο εισέρχεται στην εμβέλεια ενός SAP οπότε ανεβάζει απευθείας τα δεδομένα του ή



Σχήμα 2.13

- (2) το ποδήλατο βρίσκεται εκτός εμβέλειας SAP και βασίζεται στην κινητικότητα άλλων BAN που συναντά ώστε να φτάσουν τα δεδομένα του σε κάποιο SAP.

Σκοπός του πειράματος δεν είναι να δοκιμαστεί ο αλγόριθμος Stop-and-Wait ARQ που χρησιμοποιείται κατά την μεταφορά των δεδομένων, αλλά να αξιολογηθεί το οπορτουριστικό περιβάλλον του δικτύου ασύρματων αισθητήρων που δημιουργείται από την εφαρμογή των πρωτοκόλλων του BikeNet. Στα σχήματα 2.13α', 2.13β' και 2.13γ' βλέπουμε τα αποτελέσματα ενός πειράματος όπου συμμετείχαν τέσσερα ποδήλατα τα οποία ακολουθούσαν προδιαγεγραμμένες διαδρομές στην περίμετρο μιας κεντρικής πλατείας⁶ του κολλεγίου. Οι διαδρομές αυτές διασταυρώνονταν ώστε να δοθεί η δυνατότητα για muling. Δηλαδή, δύο ποδηλάτες περιτριγυρίζουν την πλατεία δεξιόστροφα και οι άλλοι δύο αριστερόστροφα. Η εμβέλεια εκπομπής των αισθητήρων είναι μικρότερη από 50 μέτρα, άρα η επικοινωνία μεταξύ των ποδηλατών είναι διακεκομμένη. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ευκαιρίες για ανταλλαγή δεδομένων καθώς οι συναντήσεις τους διαρκούν 10.75 δευτερόλεπτα κατά μέσο όρο. Έπειτα από δέκα λεπτά αλληλεπιδράσεων, οι ποδηλάτες φεύγουν από την πλατεία κατά διαστήματα 15 λεπτών και εισέρχονται στην εμβέλεια ενός SAP που έχει εγκατασταθεί 250 μέτρα μακριά.

Στο σχήμα 2.13α' βλέπουμε τον αριθμό των πακέτων που ανεβάζτηκαν απευθείας και των πακέτων που μεταφέρθηκαν στο SAP από άλλους κόμβους μέσω muling. Τα πακέτα περιέχουν μοναδικούς μετρητές ώστε να φιλτράρονται οι διπλότυπες εγγραφές. Ο άξονας x του γραφήματος αντιστοιχεί στα αναγνωριστικά των κόμβων του κάθε BAN. Οι κόμβοι με αναγνωριστικά 1 έως 6 ανήκουν στο BAN-1, οι 11 έως 16

⁶διαστάσεων περίπου 150x100 μέτρων

στο BAN-2, οι 21 έως 26 στο BAN-3 και οι 31 έως 36 στο BAN-4. Το γράφημα δείχνει ότι κατά τα διαστήματα αλληλεπίδρασης ανταλλάσσεται ένας μεγάλος αριθμός πακέτων. Συνολικά, συμπεραίνουμε ότι η πλειοψηφία των πακέτων ανεβάζονται απευθείας, παρόλα αυτά, είναι σημαντικός ο αριθμός των πακέτων που μεταφέρονται μέσω muling.

Το δεύτερο γράφημα (σχ. 2.13β') εξετάζει την καθυστέρηση (latency) του uploading και του muling. Η καθυστέρηση μετράται ως το χρονικό διάστημα από την στιγμή που παράγεται ένα πακέτο έως την στιγμή που ανεβάζεται σε κάποιο SAP είτε από τον αρχικό δημιουργό είτε από κάποιον άλλο κόμβο που το μετέφερε. Το αποτέλεσμα δείχνει καθαρά το όφελος του muling. Τα δεδομένα των BAN-3 και BAN-4 μεταφέρονται μέσω των BAN-1 και BAN-2, τα οποία καταφτάνουν πρώτα στο SAP, και έτσι παραδίδονται νωρίτερα απ' ό,τι με απευθείας uploading. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα του BAN-4 εμφανίζουν κατά μέσο όρο 1500 δευτερόλεπτα μικρότερο latency με το muling σε σχέση με το uploading.

Το muling επηρεάζει την απόδοση του συστήματος, λόγω των επιπλέον μεταδόσεων που απαιτούνται για να φτάσει το πακέτο από τον αρχικό κόμβο, στους ενδιάμεσους και τελικά στο SAP. Το σχήμα 2.13γ' απεικονίζει την αποδοτικότητα επικοινωνίας τόσο στην περίπτωση του muling όσο και στο direct uploading. Η αποδοτικότητα ορίζεται ως ο λόγος των bytes δεδομένων χρήσιμης πληροφορίας που μεταφέρονται προς τα συνολικά bytes που στέλνονται, συμπεριλαμβανομένων των διπλότυπων και των αναμεταδόσεων. Υψηλή αποδοτικότητα για ένα μεταφερόμενο πακέτο μπορεί να σημαίνει καλύτερη σύνδεση ή λιγότερη συμφόρηση μεταξύ αποστολέα και δέκτη, το οποίο συνεπάγεται λιγότερες αναμεταδόσεις. Ο αρχικός δημιουργός του πακέτου πάντα αποθηκεύει ένα αντίγραφο στην τοπική μνήμη του, ελπίζοντας να το ανεβάσει απευθείας σε κάποιο SAP. Στα πειράματα ο βαθμός αναπαραγωγής των πακέτων είναι 1, που σημαίνει ότι κάθε κόμβος επιτρέπεται να στείλει μόνο ένα αντίγραφο των δεδομένων του σε άλλον κόμβο. Επιπλέον δεν επιτρέπεται το multihop⁷, δηλαδή μόνο ο αρχικός κόμβος μπορεί να δημιουργήσει αντίγραφα των δεδομένων του. Στο σχήμα 2.13γ' φαίνεται πως η αποδοτικότητα του muling είναι μικρότερη από αυτή του uploading, όπως είναι και αναμενόμενο. Η πρώτη κυμαίνεται από 40% έως 68% ενώ

⁷κατά το multihop η επικοινωνία μεταξύ δύο τελικών κόμβων πραγματοποιείται μέσω μιας σειράς ενδιάμεσων κόμβων, των οποίων η λειτουργία είναι να μεταδίδουν πληροφορίες από το ένα σημείο στο άλλο

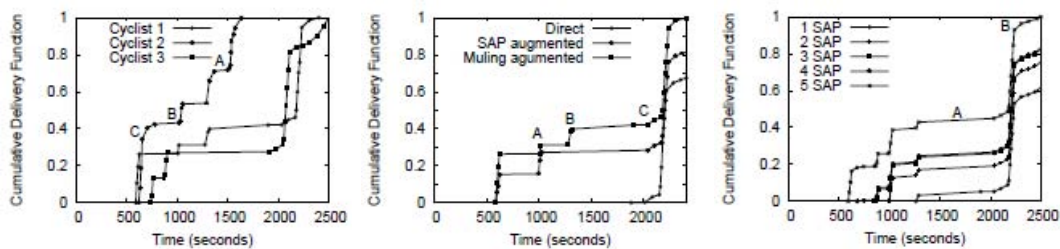
η δεύτερη από 12% έως 33%. Παρόλα αυτά, η διαφορά μεταξύ των δύο αποδόσεων αναπαριστά το κόστος της βελτίωσης του χρόνου παράδοσης.

2.1.11 Εφαρμογή του συστήματος σε μεγαλύτερη κλίμακα

Για το πείραμα αυτό οι ερευνητές του BikeNet κατασκεύασαν πέντε πλήρως εξοπλισμένα ποδήλατα και τοποθέτησαν επτά στατικά SAPs σε διάφορα σημεία του κολλεγίου και της πόλης του Hanover. Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από μια ομάδα τριών ποδηλατών το πρωινό της 20ης Νοεμβρίου 2006. Οι διαδρομές των τριών ποδηλατών και οι χρόνοι που ξεκίνησαν ήταν προσχεδιασμένα.

Οι ποδηλάτες 1 και 2 μένουν κοντά μεταξύ τους και μοιράζονται ένα μεγάλο μέρος της διαδρομής προς το πανεπιστήμιο. Προτού φτάσουν στο πανεπιστήμιο, συναντιούνται με τον ποδηλάτη 3 και οι ποδηλάτες 1 και 3 αποχωρούν μαζί για την βιβλιοθήκη, ενώ ο ποδηλάτης 2 κατευθύνεται προς το κτίριο Επιστήμης των Υπολογιστών. Ο μεγαλύτερος χρόνος διαδρομής είναι 40 λεπτά. Το πείραμα αποσκοπεί στην διερεύνηση της συμπεριφοράς των πρωτοκόλλων muling και uploading στην πράξη υπό πραγματικές συνθήκες.

Αρχικά, εξετάστηκε ο χρόνος που χρειάστηκε κάθε ποδηλάτης για να ανεβάσει τα δεδομένα του στον server μέσω direct uploading σε SAP. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 2.14α'. Αξίζει να σημειωθεί ότι σ' αυτή την περίπτωση, τα δεδομένα που ανεβάζονται στο SAP από ένα BAN συμπεριλαμβάνουν τόσο τα δεδομένα που προέρχονται από το ίδιο το BAN όσο και δεδομένα άλλων BAN που μπορεί να μεταφέρουν οι κόμβοι του. Στο γράφημα απεικονίζεται η αθροιστική συνάρτηση παράδοσης που ορίζεται ως το αθροιστικό ποσοστό των συνολικών πακέτων που παραδόθηκαν στον server, καθώς εξελίσσεται η διαδρομή. Για παράδειγμα, στα 520 δευτερόλεπτα ο ποδηλάτης 2 έχει παραδώσει το 40% των δεδομένων του, συμπεριλαμβανομένων και των δεδομένων που τυχόν να μεταφέρει από τους ποδηλάτες 1 και 3. Η αρχική έλλειψη δεδομένων που παρατηρείται στο διάγραμμα οφείλεται στην απουσία SAP στις αρχικές τοποθεσίες της διαδρομής. Οι ποδηλάτες 1 και 2 συναντούν το πρώτο SAP στον κεντρικό δρόμο του Hanover έπειτα από περίπου 520 δευτερόλεπτα. Παρόλο που ο αριθμός των SAP που τοποθετήθηκαν είναι σχετικά μικρός, βλέπουμε πως και τα τρία



(α') Χρόνοι παράδοσης των δε- (β') Απόδοση διαφορετικών (γ') Απόδοση σε συνάρτηση με τον αριθμό σημείων πρόσβασης

Σχήμα 2.14

ποδηλάτα καταφέρνουν να παραδώσουν σημαντικό μέρος των δεδομένων τους πριν το τέλος της διαδρομής. Για παράδειγμα οι ποδηλάτες 1 και 2 παραδίδουν περίπου το 50% και 40% αντίστοιχα των δεδομένων τους πριν την μέση της διαδρομής. Από το σχήμα βλέπουμε επίσης ότι τα δεδομένα στέλνονται από τα ποδηλάτα στα SAPs με γρήγορες ριπές. Το πλήθος των δεδομένων που μεταφέρονται επηρεάζεται σημαντικά από τους σύντομους χρόνους αλληλεπίδρασης, το οποίο είναι αποτέλεσμα της μικρής εμβέλειας των δικτύων που χρησιμοποιούνται από το BikeNet.

Το σχήμα 2.14β' δείχνει την παράδοση των πακέτων δεδομένων που παράγονται από έναν μόνο ποδηλάτη, στη συγκεκριμένη περίπτωση τον ποδηλάτη 1. Υπάρχουν τρία δυνατά σενάρια για την μεταφορά των πακέτων από τον ποδηλάτη στη βάση δεδομένων:

Άμεσο: όπου ο ποδηλάτης κρατάει όλα του τα δεδομένα, δε δημιουργεί αντίγραφα, και τα ανεβάζει μόνο όταν φτάνει στον τελικό προορισμό του

SAP-επαυξημένο: όπου ο ποδηλάτης εκμεταλλεύεται τα SAP που συναντά περιστασιακά στη διαδρομή για το uploading των δεδομένων του

Muling/SAP-επαυξημένο: όπου χρησιμοποιεί τόσο τα SAP όσο και τα υπόλοιπα BAN που διαστρώνεται μέσω του muling

Στο σχήμα 2.14β' βλέπουμε την απόδοση αυτών των τριών τύπων επικοινωνίας. Για ακόμη μια φορά παρατηρούμε το άμεσο όφελος του muling, καθώς παρόλο που ο ποδηλάτης βρίσκεται εκτός σύνδεσης για περίπου 15 λεπτά μεταξύ των σημείων A και C, η παράδοση των πακέτων στο ενδιάμεσο σημείο B συνεχίζεται.

Έπειτα, εξετάζουμε την επίδραση που έχει η αυξανόμενη προσθήκη SAPs στην καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων από τους τρεις ποδηλάτες. Στο σχήμα 2.14γ' φαίνεται η γραφική παράσταση της αθροιστικής συνάρτησης παράδοσης καθώς αυξάνεται ο αριθμός των SAP από ένα μέχρι πέντε. Στο σχήμα, απεικονίζεται η γραφική παράσταση για καθεμία από τις πέντε περιπτώσεις μέχρι το σημείο που παραδίδεται το 100% των δεδομένων όλων των ποδηλατών για την περίπτωση των πέντε SAP. Παρατηρούμε ότι στο σημείο αυτό, έχει παραδοθεί μόνο το 78% και 70% των δεδομένων των τριών και του ενός SAP αντίστοιχα. Όταν οι ποδηλάτες επιστρέφουν στο εργαστήριο, ακινητοποιούνται και ανεβάζουν τα δεδομένα τους. Αυτό φαίνεται από την απότομη κλίση στο σημείο Β που αντιπροσωπεύει την μεταφορά του μεγάλου όγκου δεδομένων που έχει απομείνει στις μνήμες των αισθητήρων. Σε αντίθεση, τα επίπεδα τμήματα της παράστασης (π.χ. σημείο Α) αντιπροσωπεύουν περιόδους όπου οι ποδηλάτες 2 και 3 βρίσκονται εκτός σύνδεσης και δεν υπάρχουν άλλοι αισθητήρες να μεταφέρουν τα δεδομένα τους σε κάποιο SAP. Τέλος, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η προσθήκη νέων SAP στο σύστημα επιφέρει μια μη-ομοιόμορφη βελτίωση στην απόδοση της παράδοσης δεδομένων. Η βελτίωση αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες όπως η πυκνότητα τοποθέτησης των SAP και η τοποθεσία τους σε σχέση με τις πιο πολυσύχναστες διαδρομές.

2.1.12 Συμπεράσματα

Παρουσιάστηκε η λεπτομερής σχεδίαση, υλοποίηση και αξιολόγηση του συστήματος ασύρματων αισθητήρων BikeNet, το οποίο ανήκει στο συνεχώς αυξανόμενο σύνολο συστημάτων που εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα των ομοτιμωτικών δικτύων αισθητήρων. Το BikeNet αντιπροσωπεύει το πρώτο ανεπτυγμένο σύστημα ασύρματων αισθητήρων που ποσοτικοποιεί διάφορες απόψεις της ποδηλατικής εμπειρίας. Υποστηρίζει την συλλογή και ανάλυση προσωπικών αλλά και περιβαλλοντικών δεδομένων κοινού ενδιαφέροντος. Μπορεί να λειτουργήσει είτε εντός είτε εκτός σύνδεσης και τα δεδομένα μπορούν να παρουσιαστούν τόσο τοπικά στον ποδηλάτη όσο και απομακρυσμένα στους χρήστες της δικτυακής πύλης του συστήματος.

Τα αρχικά αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά και δείχνουν κάποιες από τις χρησιμότητες που μπορούν να έχουν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στη ζωή μας, συμπε-

ριλαμβανομένου του πως επηρεαζόμαστε από το περιβάλλον μας και πως μπορούμε να ρυθμίσουμε τις δραστηριότητες μας ώστε να βελτιώσουμε την ποιότητα ζωής μας. Παρά το γεγονός ότι τα τρέχοντα πειράματα επικεντρώνονται στη λήψη μετρήσεων για το ποδήλατο και τον ίδιο τον ποδηλάτη, οι ερευνητές του συστήματος ειικάζουν ότι το BikeNet θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε άλλα οχήματα, όπως αυτοκίνητα, με μικρή τροποποίηση του λογισμικού.

2.2 Car-Park

Σε έρευνα [9] που πραγματοποιήθηκε στα University College Cork και Tyndall National Institute της Ιρλανδίας παρουσιάστηκε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων, βασισμένο στη χρήση ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Σκοπός των συστημάτων αυτών είναι ο έλεγχος της διαθεσιμότητας των θέσεων στάθμευσης και η γνωστοποίηση της πληροφορίας αυτής τόσο στους οδηγούς για την ευκολότερη καθοδήγηση τους, όσο και στους διαχειριστές για θέματα διαχείρισης και σχεδιασμού. Ο λόγος που επιλέχθηκαν ασύρματοι αισθητήρες για την συγκεκριμένη εφαρμογή είναι γιατί προσφέρουν μεγάλη ακρίβεια στον εντοπισμό οχημάτων, ενώ έχουν και το πλεονέκτημα ότι μπορούν να τοποθετηθούν σε κάποια ήδη υπάρχουσα υποδομή χωρίς να απαιτούν την εγκατάσταση νέας καλωδίωσης για την παροχή δικτύου και τροφοδοσίας. Για τον ίδιο λόγο προσφέρονται για χρήση και σε εξωτερικούς χώρους ή σε δρόμους.

Αρχικός σκοπός της έρευνας ήταν να χρησιμοποιηθεί κάποιο ήδη υπάρχων πρωτόκολλο για την επικοινωνία μεταξύ των αισθητήρων. Παρόλα αυτά, πρώτες δοκιμές έδειξαν ότι η χρήση των πρωτοκόλλων αυτών δε μπορούσε να οδηγήσει στη δημιουργία κάποιας αξιόπιστης εφαρμογής, εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού απώλειας μηνυμάτων. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα εντοπίστηκε στην απρόβλεπτη συμπεριφορά των επιπέδων MAC και δρομολόγησης. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη δημιουργία καινούργιων πρωτοκόλλων επικοινωνίας καθώς και στην εκτενή πειραματική ανάλυσή τους, που είχε ως αποτέλεσμα τον καθορισμό δύο βασικών προβλημάτων όσον αφορά την επικοινωνία.

Το πρώτο αφορά την τοπολογία του δικτύου αισθητήρων. Καθώς οι αισθητήρες τοποθετούνται στο κέντρο της θέσης στάθμευσης, όταν ένα αυτοκίνητο είναι παρκα-

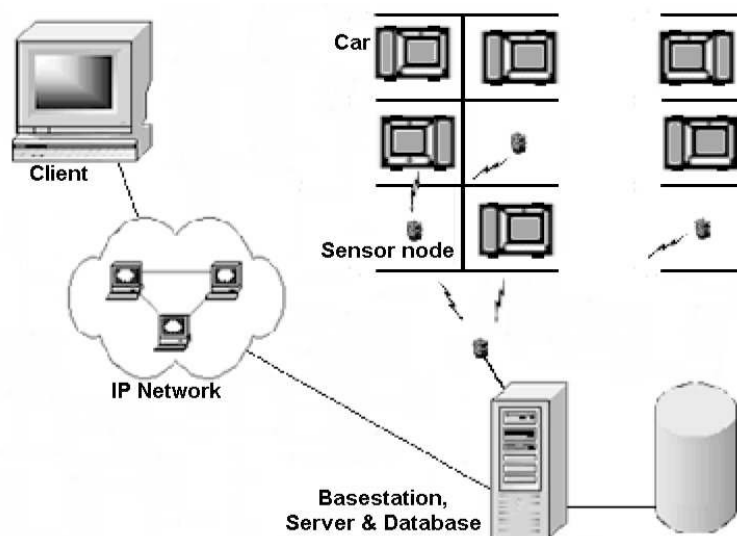
ρισμένο λειτουργεί ως ένα τεράστιο μεταλλικό αντικείμενο το οποίο περιορίζει την εμβέλεια του αισθητήρα. Αυτό καθιστά ανέφικτη την κατασκευή ενός προκαθορισμένου μηχανισμού δρομολόγησης, αφού το δίκτυο μπορεί να πέφτει κάθε φορά που παρεμβάλλεται ένα όχημα.

Το δεύτερο πρόβλημα στην επικοινωνία οφείλεται στις πραγματικές συνθήκες της ποιότητας μιας σύνδεσης και συγκεκριμένα στο σχετικά μεγάλο ποσοστό των χαμένων πακέτων. Τα περισσότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα με πολλαπλές εκπομπές του ίδιου πακέτου ή με acknowledgements. Ωστόσο, στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, παρατηρήθηκε ότι η σύνδεση μπορεί να πέσει για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (της τάξεως των δευτερολέπτων) κατά τη διάρκεια του οποίου δε μπορεί να υπάρξει καμία επικοινωνία, με αποτέλεσμα να μη χρησιμεύουν επανεκπομπές ή acknowledgements. Αντίθετα, παρατηρήθηκε ότι οι απώλειες αυτές δε σχετίζονται με τον χώρο, δηλαδή αν ένας κόμβος Α δε μπορεί να επικοινωνήσει με τον Β, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να επικοινωνεί με τον Γ ακόμα και αν οι Β και Γ απέχουν μόνο λίγα εκατοστά μεταξύ τους. Από αυτά συμπεραίνουμε ότι οι απώλειες πακέτων έχουν μεγαλύτερη χρονική συσχέτιση παρά χωρική και άρα θα ήταν πιο αποτελεσματικό να στέλνονται χωρικά και όχι χρονικά αντίγραφα του ίδιου πακέτου, ή αλλιώς, να χρησιμοποιούνται πολλαπλά μονοπάτια προς τον ίδιο προορισμό.

2.2.1 Σχετική έρευνα

Η πλειοψηφία των χώρων στάθμευσης στις μέρες μας χρησιμοποιούν ένα απλό σύστημα με μπάρα για να μετρήσουν τον αριθμό των οχημάτων που βρίσκονται σταθμευμένα ανά πάσα στιγμή και να πληροφορήσουν τους οδηγούς μέσω φωτεινών πινακίδων που είναι τοποθετημένες στους κοντινούς δρόμους. Συστήματα που παρακολουθούν την κάθε θέση ξεχωριστά είναι λιγότερο διαδεδομένα, με επικρατέστερο το SiPark [11] της Siemens το οποίο λειτουργεί με αισθητήρες υπερήχων τοποθετημένους στο ταβάνι πάνω από κάθε θέση. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη υλοποίηση δεν είναι ασύρματη, κάτι το οποίο αυξάνει το κόστος εγκατάστασης ενώ δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παρκάρισμα στους δρόμους.

Όσον αφορά τις ασύρματες λύσεις, αρκετά συστήματα βρίσκονται αυτή την στιγμή



Σχήμα 2.15: Αρχιτεκτονική συστήματος

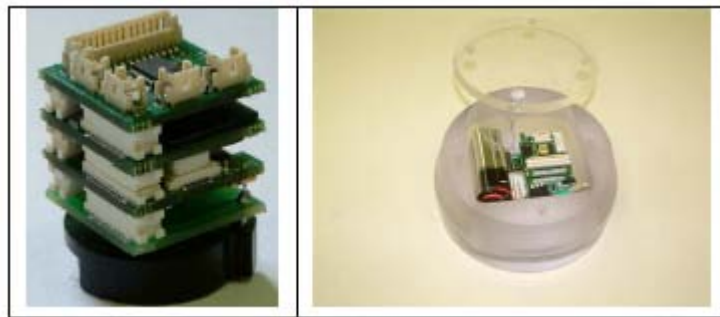
σε ανάπτυξη όπως π.χ. τα ParkingCarma [12], Streetline Networks [13] και VehicleSense [14], ενώ σημαντική έρευνα πραγματοποιείται σε διάφορα πανεπιστήμια ανά τον κόσμο, όπως το Berkeley της Αμερικής [15] και το EPFL της Ελβετίας [16]. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος παρκαρίσματος με ασύρματους αισθητήρες απαιτεί την υπερπήδηση κάποιων βασικών προβλημάτων, όπως αποδοτικότητα ενέργειας, τοπολογία και δρομολόγηση. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας δεν είναι να παρουσιάσει καινοτόμους αλγορίθμους που να λύνουν αυτά τα προβλήματα αλλά να τα εντοπίσει σε μια πρακτική εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος.

2.2.2 Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική του συστήματος φαίνεται στο σχήμα 2.15 και χωρίζεται σε 3 επίπεδα:

- (1) το επίπεδο των αισθητήρων
- (2) το επίπεδο προώθησης των μηνυμάτων
- (3) το επίπεδο αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων, καθώς και η διεπαφή χρήστη

Συνοπτικά, η διαδικασία κάθε μέτρησης έχει ως εξής: η εφαρμογή που τρέχει στους αισθητήρες είναι υπεύθυνη για την δειγματοληψία του μαγνητόμετρου σε τακτά χρο-



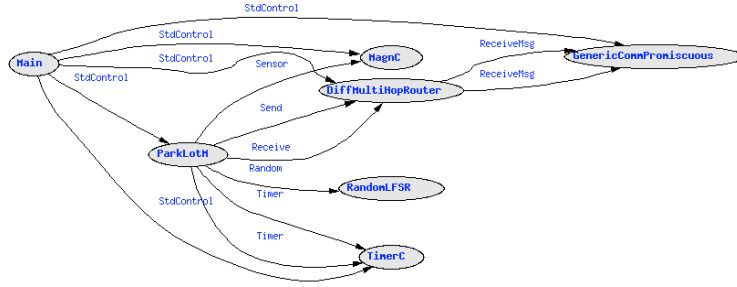
Σχήμα 2.16: Αισθητήρας και θήκη προστασίας του

νικά διαστήματα. Οι τιμές που λαμβάνονται ταξιδεύουν μέσω άλλων κόμβων στο basestation, όπου με την βοήθεια ενός serial-forwarder παραδίδονται στην κυρίως εφαρμογή του server που είναι γραμμένη σε Java. Έπειτα, οι τιμές αυτές εξετάζονται και αν κριθεί ότι υπήρξε κάποια αλλαγή στην κατάσταση ενός αισθητήρα τότε καταγράφεται η καινούργια κατάσταση.

2.2.3 Επίπεδο αισθητήρων

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι DSYS25. Πρόκειται για μια πλατφόρμα βασισμένη στο μικρο-ελεγκτή ATMEGA128L που έχει την δυνατότητα προσθήκης ξεχωριστών επιπέδων με διαφορετική λειτουργικότητα ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε περίπτωσης. Για τις ανάγκες του συγκεκριμένου συστήματος χρησιμοποιήθηκαν τα επίπεδα τροφοδοσίας, επεξεργασίας, επικοινωνίας και αισθητήρων. Στο σχήμα 2.16 φαίνεται μια μονάδα αισθητήρα καθώς και η πλαστική θήκη όπου τοποθετήθηκε για προστασία.

Όσον αφορά το λογισμικό οι αισθητήρες τρέχουν TinyOS. Στο σχήμα 2.17 φαίνεται το διάγραμμα με τις ξεχωριστές διεργασίες που τρέχουν σε κάθε κόμβο, βασικότερη από τις οποίες είναι η *ParkLot*. Καθήκον της *ParkLot* είναι να αφυπνίζεται με συχνότητα f που καθορίζεται από το basestation και αφού πάρει μια μέτρηση του μαγνητομέτρου μέσω της *Magn* να την προωθεί στο δίκτυο μέσω της *DiffMultiHopRouter*. Ο τρόπος λειτουργίας των διεργασιών αυτών περιγράφεται σε επόμενες ενότητες.



Σχήμα 2.17: Οργάνωση του λογισμικού

2.2.4 Πρωτόκολλο δρομολόγησης

Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε στο επίπεδο δρομολόγησης χωρίζεται σε 2 μέρη: αρχικά την κατασκευή της τοπολογίας του δικτύου και έπειτα τη χρήση του για την προώθηση μηνυμάτων με τιμές μετρήσεων. Προκειμένου να ανακαλύψει ο κάθε κόμβος τους γείτονες του και να στηθεί ένα δίκτυο, το basestation εκπέμπει ανά τακτά χρονικά διαστήματα ένα command message. Το μήνυμα αυτό περιέχει ένα sequence number mc_s , έναν hop-counter mc_h (που αρχικά τίθεται στο 0) και την συχνότητα δειγματοληψίας mc_f , που χρησιμοποιείται από την *ParkLot* για να καθορίσει το κάθε πότε λαμβάνονται μετρήσεις. Κάθε φορά που κάποιος κόμβος λαμβάνει αυτό το μήνυμα, αυξάνει το hop-counter και το προωθεί στους γείτονες του, ενώ αποθηκεύει το μικρότερο hop-counter που έχει λάβει ως την απόστασή του από το basestation. Έτσι σιγά-σιγά το μήνυμα φτάνει σε όλους τους κόμβους, οι οποίοι πλέον γνωρίζουν το ύψος τους από το basestation.

Η προώθηση μηνυμάτων γίνεται με data messages, τα οποία περιέχουν το *id* του κόμβου md_i , το sequence number md_s , την τιμή μέτρησης md_d και το hop-distance md_h . Επίσης, συμπεριλαμβάνεται ένας μετρητής κάθετης μετακίνησης md_v που αρχικοποιείται σε μια μικρή τιμή v και χρησιμεύει στην διάδοση του μηνύματος σε κόμβους ίδιου ύψους. Κάθε φορά που ένας κόμβος παραλαμβάνει ένα data message, αρχικά ελέγχει αν το έχει ξαναλάβει και αν ναι τότε το αγνοεί. Διαφορετικά, συγκρίνει το hop-distance md_h του μηνύματος με το δικό του ύψος h . Σε περίπτωση που $h > md_h$ το μήνυμα αγνοείται, ενώ αν $h < md_h$ τότε θέτει στο md_h το δικό του ύψος h , ξαναθέτει το md_v στην αρχική τιμή v και προωθεί το μήνυμα. Στην ειδική περίπτωση που $h = md_h$ και $md_v > 0$, τότε απλά μειώνει το md_v κατά ένα.

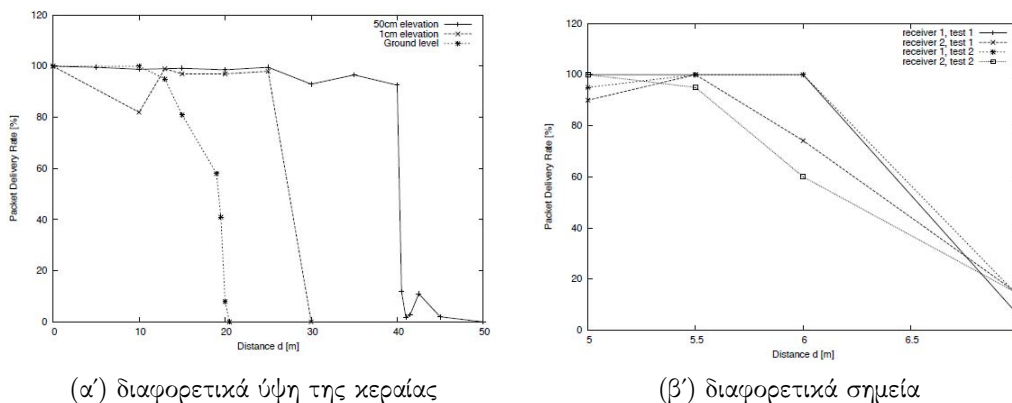
Ο αλγόριθμος που περιγράψαμε παραπάνω έχει σαν αποτέλεσμα την επιλεκτική εξαπλώση (selective flooding) των μηνυμάτων προς κόμβους που βρίσκονται κοντά στο basestation. Οι λόγοι που επιλέχθηκε ένα τέτοιο πρωτόκολλο είναι διάφοροι. Αρχικά, λόγω του ότι η συχνότητα δειγματοληψίας είναι σχετικά μικρή, τα μηνύματα που αποστέλλονται δεν είναι πολλά και έτσι δε δημιουργείται επικοινωνιακή συμφόρηση. Έπειτα, πρόκειται για ένα απλό πρωτόκολλο και εύκολο στην αποσφαλμάτωση, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες. Τέλος, προσφέρει μια λύση στο πρόβλημα της απώλειας επικοινωνίας που αναφέραμε παραπάνω, καθώς και να έχει πέσει η σύνδεση μεταξύ δυο κόμβων, το μήνυμα θα φτάσει στον προορισμό του μέσω άλλου μονοπατιού.

2.2.5 Επίπεδο MAC

Το επίπεδο MAC σχεδιάστηκε ώστε να στέλνει κάθε πακέτο σαν μια σειρά από πανομοιότυπα πακέτα (framelets), ώστε να έχουμε επιτυχή παράδοση όταν ο δέκτης λάβει έστω και ένα από αυτά τα πακέτα. Η τεχνική αυτή επιτρέπει στον εκπομπό να αναβοσβήνει περιοδικά, το οποίο είναι πιο αποδοτικό όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Για την αποφυγή συγχρούσεων, κάθε κόμβος πριν ξεκινήσει να εκπέμπει ακούει για άλλα πακέτα για χρονική διάρκεια ενός framelet. Σε περίπτωση που δε λάβει κανένα τότε προχωρά κανονικά με την αποστολή, διαφορετικά περιμένει για ένα τυχαίο μικρό χρονικό διάστημα και επαναλαμβάνει την διαδικασία.

2.2.6 Δειγματοληψία

Όπως αναφέρθηκε, η διεργασία *Magn* είναι υπεύθυνη για την λήψη μετρήσεων από το μαγνητόμετρο και ενεργοποιείται περιοδικά με συχνότητα f . Η δειγματοληψία γίνεται ως εξής: το μαγνητόμετρο δίνει στην έξοδο του ορθογώνιους παλμούς με συχνότητα αντιστρόφως ανάλογη της ισχύος του μαγνητικού πεδίου. Οι παλμοί αυτοί μετριοούνται για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα ($t_s = 200\text{ms}$) ενώ η διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες δυο φορές και υπολογίζεται ο μέσος όρος. Τέλος, ο αριθμός αυτός συγκρίνεται με ένα κατώφλι, το οποίο καθορίζεται όταν τοποθετείται για πρώτη φορά ο αισθητήρας. Αν η τιμή είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι τότε εντοπίζουμε την παρουσία οχήματος.



Σχήμα 2.18: Ποσοστά παράδοσης πακέτων

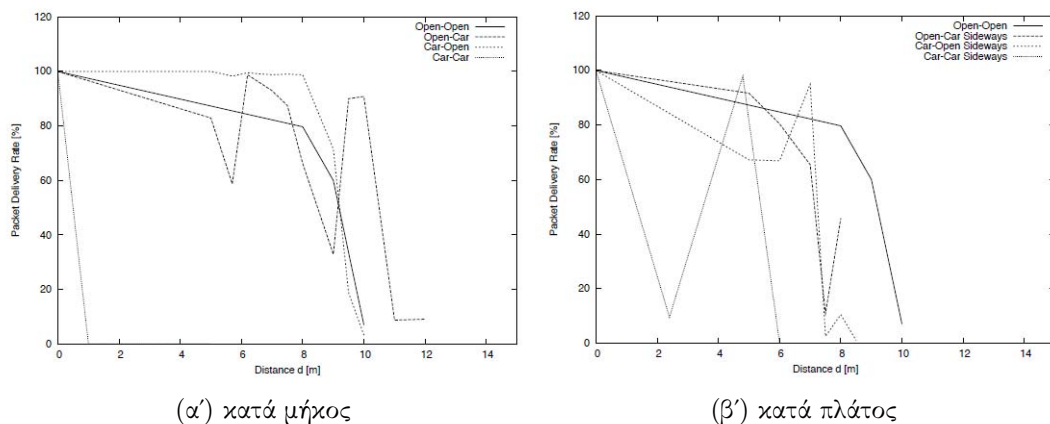
2.2.7 Πειραματική αξιολόγηση

Έπειτα από πειράματα διαπιστώθηκε ότι ο προσανατολισμός των αισθητήρων μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση και να αλλοιώσει τα αποτελέσματα των μετρήσεων, γεγονός που καθιστά αναγκαία την επί τούτου ρύθμιση του κάθε αισθητήρα την στιγμή που τοποθετείται. Επίσης, δυσκολίες προέκυψαν στον καθορισμό του κατωφλίου εντοπισμού ενός αυτοκινήτου, καθώς υπάρχουν πολλοί τύποι οχημάτων με διαφορετικό μέγεθος, σύνθεση και απόσταση από το έδαφος. Λόγω περιορισμένων πόρων, τα πειράματα βασίστηκαν σε δυο συγκεκριμένα οχήματα (ένα hatchback και ένα SUV), τα οποία αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν.

Έλεγχος Συνδεσιμότητας

Όσον αφορά τη συνδεσιμότητα μεταξύ των κόμβων πραγματοποιήθηκαν δυο πειράματα. Στο πρώτο εξετάστηκε η επίδραση του ύψους που είναι τοποθετημένοι οι αισθητήρες καθώς και της παρουσίας ανώμαλου εδάφους στην εμβέλεια επικοινωνίας τους. Αρχικά, δοκιμάστηκε η τοποθέτησή τους σε 3 διαφορετικά ύψη από το έδαφος: 50 cm, 1 cm και 0 cm. Τα αποτελέσματα, όπως φαίνονται στο σχήμα 2.18α', δείχνουν ότι η απόσταση της κεραίας από το έδαφος έχει μεγάλο αντίκτυπο στην εμβέλεια επικοινωνίας.

Έπειτα τοποθετήθηκαν δύο δέκτες σε ανώμαλο έδαφος και σε απόσταση 10 cm μεταξύ τους, αλλά και οι δύο απέιχαν ίση απόσταση από τον εκπομπό. Όπως βλέπουμε στο

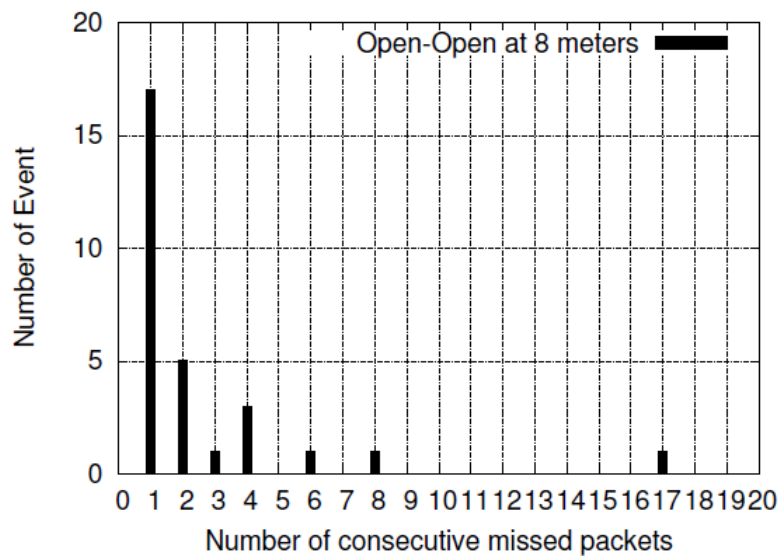


Σχήμα 2.19: Ποσοστά παράδοσης με την παρεμβολή αυτοκινήτων

σχήμα 2.18β', παρόλο που οι κόμβοι ήταν πολύ κοντά ο ένας με τον άλλον, η διαφορά στα αποτελέσματα είναι μεγάλη. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί σε δύο συμπεράσματα. Πρώτον, ότι μια μικρή μετακίνηση του κόμβου μπορεί να αυξήσει την εμβέλεια του, δηλαδή η χρήση ελαφρώς μετακινούμενων αισθητήρων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα επικοινωνίας. Παρόλα αυτά, η λύση αυτή δεν είναι εφαρμόσιμη στη δική μας περίπτωση. Δεύτερον, επιβεβαιώνεται η επιλογή του πρωτοκόλλου δρομολόγησης που χρησιμοποιήθηκε, αφού χάρη στη διάχυση των μηνυμάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν γειτονικοί κόμβοι για να τα προωθήσουν μέσα από ζώνες που δεν υπάρχει επικοινωνία.

Το δεύτερο πείραμα αφορούσε την επίδραση των οχημάτων στην εμβέλεια των αισθητήρων, δηλαδή την παρουσία αυτοκινήτου πάνω από τον πομπό ή τον δέκτη ή και τα δύο. Η κατεύθυνση της επικοινωνίας ήταν τόσο κατά μήκος όσο και κατά πλάτος του αυτοκινήτου και τα αποτελέσματα φαίνονται στα σχήματα 2.19α' και 2.19β'.

Όπως βλέπουμε η πλάγια επικοινωνία, δηλαδή κατά πλάτος των αυτοκινήτων, είναι λιγότερο αξιόπιστη. Όσον αφορά την εμβέλεια, από 0 έως 5 μέτρα έχουμε υψηλή αξιοπιστία, από 5 έως 10 η σύνδεση είναι σχετικά ασταθής, ενώ από 10 και πάνω σχεδόν αδύνατη. Τέλος, από το γράφημα του σχήματος 2.20 συμπεραίνουμε ότι η απώλεια πακέτων έχει υψηλή χρονική συσχέτιση, αφού υπήρξε και περίπτωση που χάθηκαν 17 συνεχόμενα πακέτα.

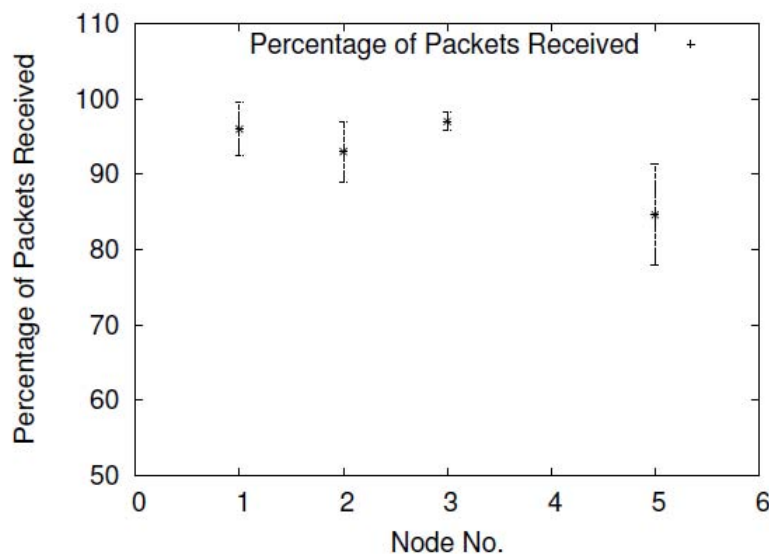


Σχήμα 2.20: Απώλειες πακέτων

Έλεγχος Δρομολόγησης

Η αξιολόγηση του αλγορίθμου δρομολόγησης έγινε μέσω ενός σεναρίου πραγματικών συνθηκών. Ένα basestation (κόμβος 0) μαζί με πέντε κόμβους (κόμβοι 1,2,3,4,5) τοποθετήθηκαν σε ένα 3x2 πλέγμα θέσεων, με τους κόμβους 0, 1 και 2 από αριστερά και τους υπόλοιπους από δεξιά. Επίσης, οι κόμβοι 3, 4 και 5 καλύφθηκαν από οχήματα. Το ποσοστό των μηνυμάτων που παραλήφθηκαν από κάθε κόμβο φαίνεται στο σχήμα 2.21, απ' όπου παρατηρούμε ότι το σύστημα πετυχαίνει αρκετά υψηλή αξιοπιστία, με εξαίρεση τον κόμβο 4 ο οποίος υπέστη βλάβη και παρέμεινε κλειστός κατά τη διάρκεια όλου του πειράματος.

Έπειτα από εξέταση των πακέτων που παρελήφθησαν, προέκυψαν δύο ακόμα ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Πρώτον, ότι τα πακέτα κάθε φορά ακολουθούσαν διαφορετική διαδρομή για να φτάσουν στο basestation, και δεύτερον, ότι η διαδρομή αυτή δεν ήταν πάντα η μικρότερη. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι παρά την χρήση στατικών συνθηκών, είναι πολύ δύσκολη η κατασκευή μιας σωστής τοπολογίας δικτύου.



Σχήμα 2.21: Αξιοπιστία κόμβων

2.2.8 Συμπεράσματα

Είδαμε στην πράξη πως η επικοινωνία σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων μπορεί να γίνει αρκετά απρόβλεπτη. Ορισμένοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την αξιοπιστία είναι η απόσταση μεταξύ των αισθητήρων, η ανωμαλία του εδάφους, καθώς και η παρουσία οχημάτων που παρεμβάλλονται. Επίσης, παρατηρήθηκαν τοπικά blackout επικοινωνίας⁸ σε μικρές περιοχές για εκτεταμένα χρονικά διαστήματα. Για τους λόγους αυτούς συμπεραίνουμε ότι η χρήση ενός στατικού πρωτοκόλλου δρομολόγησης δεν είναι εφαρμόσιμη αλλά χρειαζόμαστε μια πιο δυναμική προσέγγιση που να μας εγγυάται την συχνή ανακατασκευή του δικτύου.

Λόγω των blackout επικοινωνίας που αναφέρθηκαν, δε θα βοηθούσε η χρήση απλών μεθόδων επανεκπομπής ή acknowledgements. Μια λύση θα μπορούσε να είναι οι κόμβοι να περιμένουν για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι να επανέλθει η επικοινωνία, προτού επιχειρήσουν να ξαναστείλουν. Παρόλα αυτά η λύση αυτή θα εισήγαγε μεγάλη καθυστέρηση στο σύστημα, το οποίο δεν είναι επιθυμητό από τον χρήστη. Έτσι, καταλήγουμε στο ότι ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης είναι ο ελεγχόμενος κατακλυσμός και η διάχυση των μηνυμάτων.

⁸δηλαδή χρονικές περίοδοι όπου η επικοινωνία σε μια μικρή περιοχή καταρρέει εντελώς



Σχήμα 2.22: Εφαρμογή δικτύου αισθητήρων σε αυτοκινητόδρομο, διασταύρωση και parking

2.3 Traffic surveillance

Τα ασύρματα δίκτυα μαγνητικών αισθητήρων προσφέρουν μια αρκετά ελκυστική εναλλακτική σε σχέση με τους επαγωγικούς βρόχους⁹ στην παρακολούθηση της κίνησης στους δρόμους, όσον αφορά το κόστος, την ευκολία τοποθέτησης, τη συντήρηση και τις αυξημένες δυνατότητες μετρήσεων. Αυτά τα δίκτυα αποτελούνται από ένα σύνολο κόμβων και ένα σημείο πρόσβασης. Ένας κόμβος αποτελείται από ένα μαγνητόμετρο, ένα μικροεπεξεργαστή, μια κεραία και μια μπαταρία και τοποθετείται μέσα σε μια προστατευτική θήκη που προσκολλάται στη μέση μιας λωρίδας.

Πρόκειται για μια αυτο-ρυθμιζόμενη μονάδα η οποία είναι σχεδιασμένη να επεξεργάζεται μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο και να στέλνει τις χρήσιμες πληροφορίες στο σημείο πρόσβασης, το οποίο βρίσκεται στην άκρη του δρόμου και τροφοδοτείται είτε από καλώδιο είτε μέσω ηλιακής ενέργειας. Το σημείο πρόσβασης με τη σειρά του μεταδίδει τις πληροφορίες σε κάποιον τοπικό ελεγκτή ή στο TMC¹⁰. Στο σχήμα 2.22 φαίνονται πιθανές εφαρμογές ενός τέτοιου δικτύου.

Οι ασύρματοι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα να εξελίξουν τον τρόπο που συλλέγονται οι πληροφορίες σχετικά με τη κίνηση στους δρόμους, προσφέροντας πιο ακριβείς και πιο πυκνές μετρήσεις. Ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων προσφέρει πολύ μεγαλύτερη ευελιξία και χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης σε σχέση με συστήματα βρόχων, βίντεο ή ραντάρ. Η καταλληλότητα αυτών των δικτύων για χρήση σε μεγάλη κλίμακα τα καθιστά δυνατά να συλλέξουν δεδομένα που αυτή τη στιγμή δεν είναι διαθέσιμα αλλά απαιτούνται για την ανάλυση και τον έλεγχο του

⁹inductive loops - καλώδια που τοποθετούνται σε σχηματισμό πηνίου μέσα σε μικρά κοψίματα στην άσφαλτο και βασίζονται σε ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες για να εντοπίσουν διερχόμενα οχήματα

¹⁰traffic message channel

συστήματος μεταφοράς. Η εν λόγω έρευνα [10] εστιάζει στην εξαγωγή πληροφοριών από μαγνητικές μετρήσεις που πάρθηκαν πειραματικά. Ένα δίκτυο αισθητήρων πραγματοποιεί δυο λειτουργίες: πρώτον την ανίχνευση και μέτρηση, και δεύτερον την επικοινωνία. Σκοπός αυτής της έρευνας είναι να αναλύσει τη πρώτη από αυτές τις λειτουργίες και να δείξει πόσο επιτυχής είναι ο μαγνητικός αισθητήρας στον εντοπισμό οχημάτων.

Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται πέντε πειράματα. Το πρώτο αφορά τον εντοπισμό οχημάτων σε μια σηματοδοτημένη διασταύρωση κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος δυο ωρών. Ο συνολικός αριθμός οχημάτων που παρατηρήθηκαν είναι 793 ενώ ο σωστός εντοπισμός των οχημάτων έφτασε το ποσοστό του 98% σε αντίθεση με το 86% των επαγωγικών βρόχων. Το δεύτερο πείραμα διεξήχθη σε έναν χώρο στάθμευσης με σκοπό τον εντοπισμό σταθμευμένων οχημάτων.

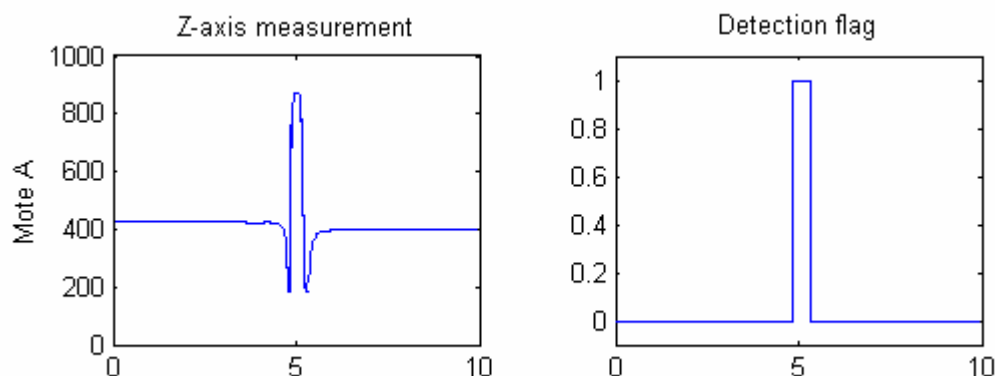
Το τρίτο πείραμα διήρκεσε μισή ώρα και αφορούσε την εκτίμηση της ταχύτητας των διερχομένων οχημάτων σε έναν τοπικό δρόμο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν πιο ακριβή απ' ό,τι με την χρήση βίντεο, ενώ τα μαγνητικά μήκη που υπολογίστηκαν βρέθηκαν να ταιριάζουν με τους τύπους των οχημάτων.

Το τέταρτο πείραμα περιλάμβανε την τετράωρη λήψη μετρήσεων σε έναν σταθμό δυναμικής ζύγισης οχημάτων (Weigh-in-Motion) στο San Leandro, CA. Συνολικά πάρθηκαν οι μαγνητικές υπογραφές 265 φορτηγών οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε κλάσεις οχημάτων. Ο αλγόριθμος πετυχαίνει 80% σωστή κατηγοριοποίηση σε πραγματικό χρόνο και χωρίς την χρήση του μαγνητικού μήκους.

Το πέμπτο πείραμα ήταν μια προκαταρκτική έρευνα στην χρήση αισθητήρων για την ταυτοποίηση οχημάτων. Τέσσερις κόμβοι τοποθετούνται κατά μήκος μιας λωρίδας με τρία διαφορετικά οχήματα να πραγματοποιούν επανειλημμένα περάσματα από πάνω τους. Το κάθε όχημα επαναταυτοποιείται επιτυχώς σε κάθε πέρασμα, ακόμα και όταν δεν είναι απολύτως ευθυγραμμισμένα.

2.3.1 Εντοπισμός οχήματος

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από έναν μοναδικό αισθητήρα που τοποθετήθηκε στην μέση ενός επαγωγικού βρόχου σε μια λωρίδα της λεωφόρου Martin Luther King, Berkeley, CA, στις 4 Οκτωβρίου 2004, 1-3 μμ. Η επαλήθευση των αποτελεσμάτων



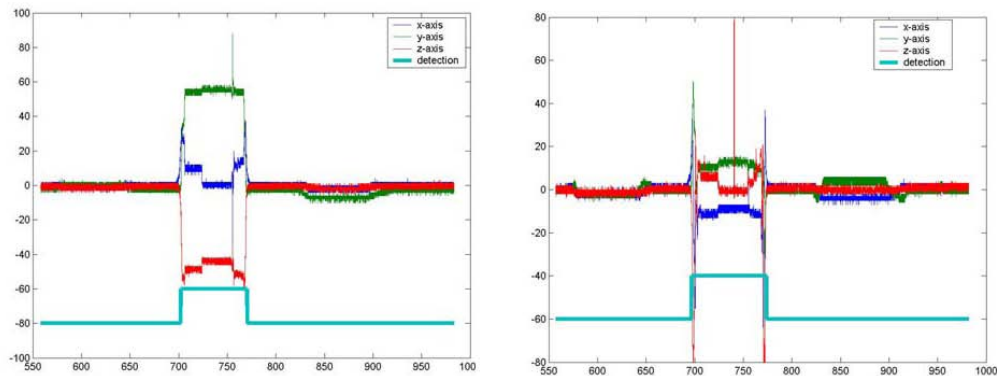
Σχήμα 2.23: Εντοπισμός οχήματος

έγινε με οπτική καταμέτρηση από το βίντεο που καταγράφηκε. Συνολικά παρατηρήθηκαν 793 οχήματα: επιβατικά ΙΧ (466), station wagons (41), SUVs (87), vans (82), pickups (87), φορτηγά (26), λεωφορεία (2) και μοτοσυκλέτες (2).

Το ποσοστό της επιτυχούς ανίχνευσης από τον αισθητήρα ήταν 98% (με 15 άστοχες μετρήσεις) σε αντίθεση με τον επαγωγικό βρόχο που έφτασε το 86% (111 άστοχες μετρήσεις).

Προκειμένου ο αισθητήρας να ανιχνεύσει ένα όχημα, μετρά το $\text{mag}(z)$, δηλαδή το μαγνητικό πεδίο στον κάθετο άξονα, και το $\text{mag}(x)$, το μαγνητικό πεδίο κατά την κατεύθυνση της κίνησης, με συχνότητα δειγματοληψίας 128 Hz. Η τιμή του $\text{mag}(z)$ συγκρίνεται με ένα κατώφλι απ' όπου προκύπτει μια ακολουθία από 0 και 1. Αν 10 συνεχόμενες τιμές είναι 1 (πάνω από το όριο), τότε εντοπίζεται η παρουσία οχήματος, ενώ αν οι τιμές του $\text{mag}(z)$ και του $\text{mag}(x)$ πέσουν κάτω από το όριο για πάνω από 0.25 secs τότε συμπεραίνεται ότι το όχημα έχει πλέον περάσει τον αισθητήρα. Έτσι, η μηχανή καταστάσεων που τρέχει στον κόμβο θέτει το bit εντοπισμού στο 1 για την διάρκεια που το όχημα βρίσκεται πάνω από τον αισθητήρα και διαφορετικά στο 0. Στο σχήμα 2.23 φαίνονται οι τιμές του $\text{mag}(z)$ κατά το πέρασμα ενός οχήματος (αριστερά) και το αντίστοιχο bit εντοπισμού (δεξιά).

Το δεύτερο πείραμα διεξήχθη σε έναν χώρο στάθμευσης. Τέσσερις κόμβοι τοποθετήθηκαν κατά μήκος μιας θέσης στάθμευσης. Στα γραφήματα του σχήματος 2.24 βλέπουμε τις τιμές των $\text{mag}(x)$, $\text{mag}(z)$, $\text{mag}(y)$ και το bit εντοπισμού για δυο από αυτούς τους κόμβους, ένας στη μέση (αριστερά) και ένας στο άκρο της θέσης (δεξιά).



Σχήμα 2.24: Μετρήσεις αισθητήρων σε χώρο στάθμευσης

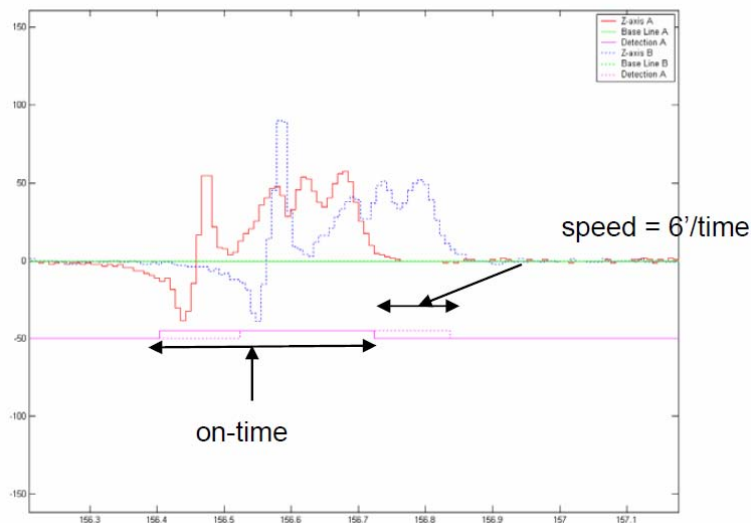
Κατά τη διάρκεια του πειράματος ένα αυτοκίνητο στάθμευσε αρχικά στην αριστερή θέση, έπειτα στη θέση που παρακολουθείται και τέλος στην δεξιά.

Χάρη στο γεγονός ότι οι αλλαγές του μαγνητικού πεδίου δεν εξαπλώνονται μακριά στον χώρο, το όχημα εντοπίστηκε μόνο όταν βρισκόταν στην κεντρική θέση και όχι στις γειτονικές. Το χαρακτηριστικό αυτό μπορεί επίσης να χρησιμεύσει στο να ξεχωρίζονται οχήματα που κινούνται σε διαφορετικές λωρίδες του δρόμου. Ο αλγόριθμος εντοπισμού είναι ουσιαστικά ο ίδιος με αυτόν του πρώτου πειράματος με μόνη εξαίρεση ότι εδώ δεν επιτρέπεται στον αισθητήρα να αυτορυθμίζεται όταν το detection flag παραμένει στο 1 για πολύ ώρα.

2.3.2 Ταχύτητα οχήματος και εκτίμηση μαγνητικού μήκους

Δύο αισθητήρες τοποθετήθηκαν με απόσταση περίπου 2 μέτρων κατά μήκος μιας λωρίδας της λεωφόρου Hearst στο Berkeley, στις 19 Απριλίου 2004. Το σχήμα 2.25 δείχνει τις μετρήσεις στον άξονα z καθώς και το detection flag όπως υπολογίζεται από τον αλγόριθμο που περιγράψαμε.

Η ταχύτητα του οχήματος εκτιμάται από τον λόγο της απόστασης μεταξύ των δύο αισθητήρων προς το χρονικό διάστημα που έκανε το όχημα να φτάσει από τον έναν στον άλλον. Το τελευταίο υπολογίζεται από την διαφορά στους χρόνους πτώσης του detection flag στους δυο αισθητήρες. Πηγές σφαλμάτων αυτής της προσέγγισης



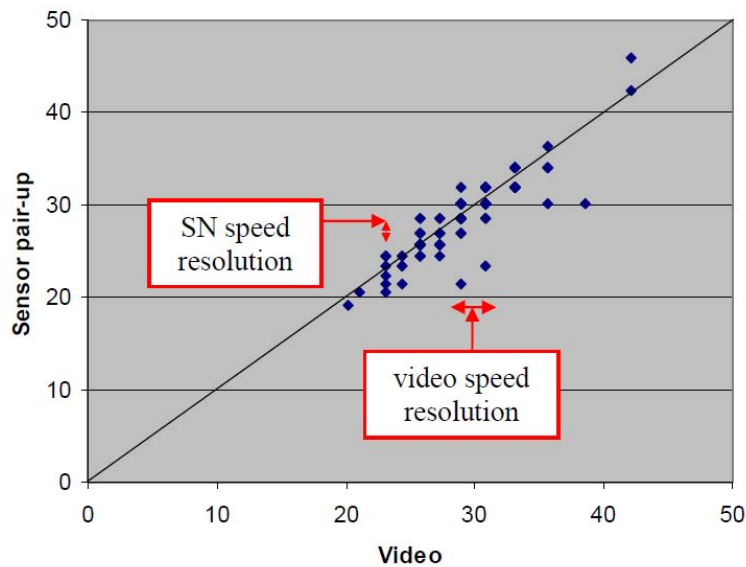
Σχήμα 2.25: Υπολογισμός ταχύτητας

αποτελούν κυρίως η έλλειψη συγχρονισμού και η διαφορά στην ευαισθησία του κάθε αισθητήρα.

Επίσης, τοποθετήθηκαν δυο κώνοι με απόσταση 7 μέτρων οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία αναφοράς για την επεξεργασία βίντεο. Στο σχήμα 2.26 βλέπουμε το γράφημα διασποράς για την εκτίμηση της ταχύτητας από τις δυο μεθόδους.

Παρατηρούμε πως τα αποτελέσματα γενικά συμβαδίζουν. Ωστόσο υπάρχει μια μικρή απόκλιση προς τα πάνω στη μέθοδο με το βίντεο, παρόλο που οι κώνοι είχαν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους. Αυτό δικαιολογείται από την συχνότητα δειγματοληψίας που είναι μόνο 30 Hz (καρέ ανά δευτερόλεπτο) στην περίπτωση του βίντεο, σε αντίθεση με τα μαγνητόμετρα που δειγματοληπτούν με συχνότητα 128 Hz.

Το on-time ή αλλιώς το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το όχημα βρίσκεται πάνω από τον αισθητήρα, υπολογίζεται από τη διαφορά των χρόνων ανύψωσης και πτώσης του detection flag. Από την στιγμή που γνωρίζουμε και την ταχύτητα του οχήματος, εάν την πολλαπλασιάσουμε με το on-time μπορούμε να υπολογίσουμε το μαγνητικό του μήκος. Στο σχήμα 2.27 βλέπουμε την κατανομή των εκτιμώμενων μηκών η οποία συμπίπτει με την κατανομή των τύπων οχημάτων που παρατηρήθηκαν.



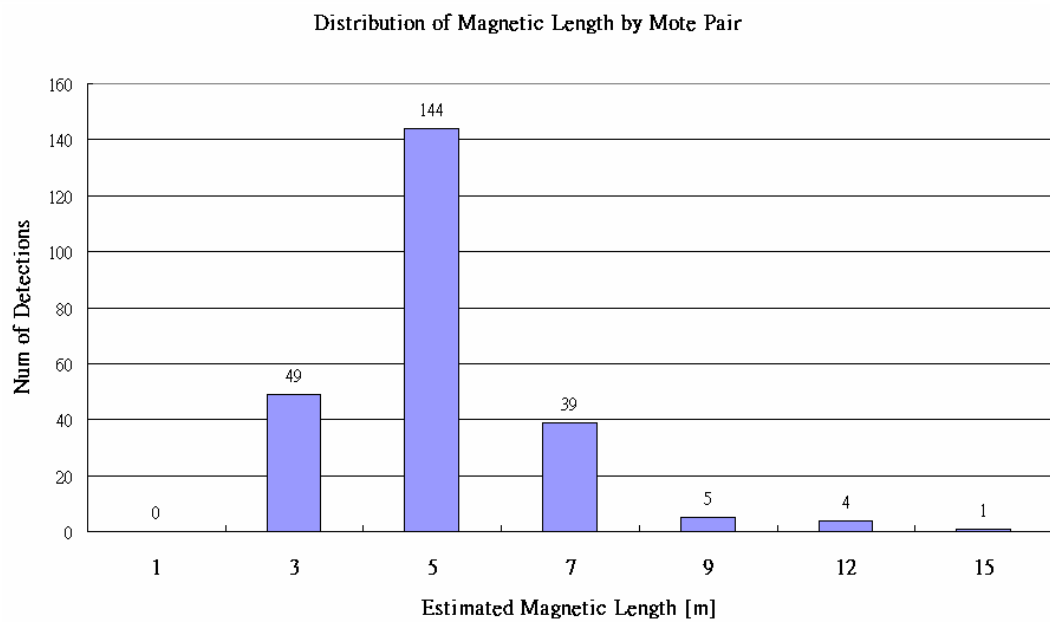
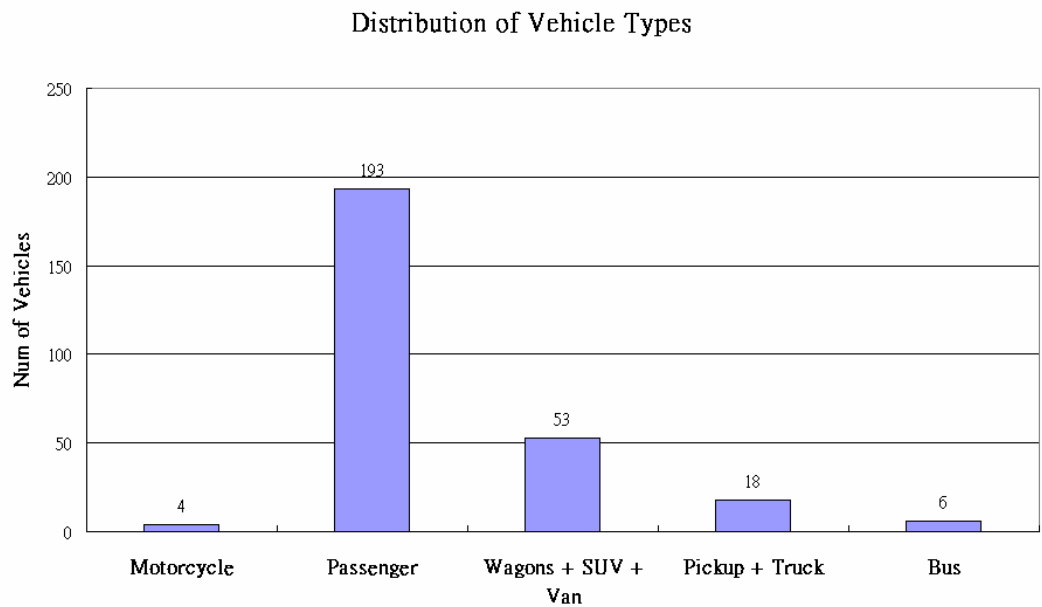
Σχήμα 2.26: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των αισθητήρων με το βίντεο

2.3.3 Κατηγοριοποίηση οχημάτων

Η κατηγοριοποίηση των οχημάτων σε κλάσεις απαιτεί πιο ακριβείς μετρήσεις. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής ενός απλού αλγορίθμου κατηγοριοποίησης βασισμένου σε μετρήσεις του μαγνητόμετρου και από τους 3 άξονες x , y και z , με συχνότητα δειγματοληψίας 128 Hz. Ο απλός αυτός αλγόριθμος ονομάστηκε “Hill Patterns Classification” και ενώ δε πρόκειται για τον καλύτερο όσον αφορά το ποσοστό σωστής κατηγοριοποίησης, είναι αρκετά απλός ώστε να μπορεί να εκτελεστεί σε πραγματικό χρόνο από τον μικροεπεξεργαστή του αισθητήρα.

Κατά την επεξεργασία της μαγνητικής υπογραφής ενός οχήματος εξάγουμε δυο πληροφορίες. Αρχικά, ο ρυθμός μεταβολής των συνεχόμενων δειγμάτων συγκρίνεται με ένα όριο και τίθεται +1 (-1) αν είναι θετικός (αρνητικός) και μεγαλύτερος από το όριο ή 0 αν είναι μικρότερος από το όριο. Το αποτέλεσμα είναι η απεικόνιση της μαγνητικής υπογραφής του οχήματος με ένα hill pattern που αποτελείται από λόφους και πεδιάδες. Η δεύτερη πληροφορία που εξάγουμε είναι το μαγνητικό μήκος. Οι πληροφορίες αυτές συνδυάζονται από έναν απλό αλγόριθμο που κατατάσσει τα οχήματα σε 5 τύπους (κατηγορίες 5, 6, 8, 9 και 11 του FHWA¹¹).

¹¹Federal Highway Administration



Σχήμα 2.27: Κατανομή οχημάτων και εκτίμηση μαγνητικού μήκους

Κατά το τέταρτο πείραμα πάρθηκαν μετρήσεις από έναν σταθμό δυναμικής ζύγισης οχημάτων (Weigh-in-Motion). Συνολικά συλλέχθηκαν οι μαγνητικές υπογραφές από 256 φορτηγά. Για την εκτίμηση του μαγνητικού μήκους χρησιμοποιήθηκε ένα ζευγάρι κόμβων που υπολόγιζε την ταχύτητα όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων έγινε οπτικά από το βίντεο που καταγράφηκε.

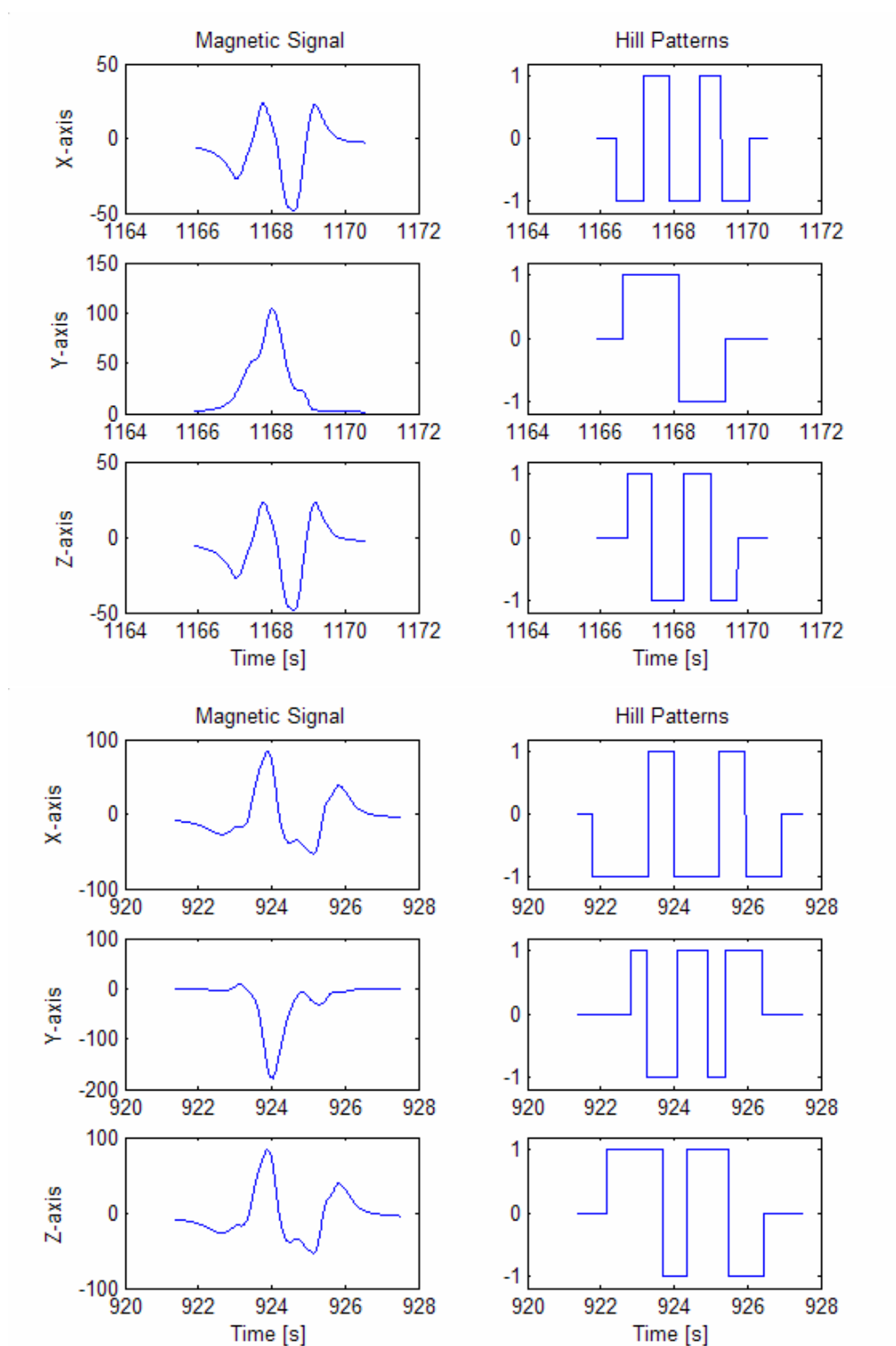
Στο σχήμα 2.28 βλέπουμε τις μαγνητικές υπογραφές και τα hill patterns για δυο φορτηγά κλάσης 5. Σε κάθε όχημα αντιστοιχούν 6 γραφήματα, όπου τα αριστερά δείχνουν τις τιμές του μαγνητόμετρου στους 3 άξονες $\text{mag}(x)$, $\text{mag}(y)$ και $\text{mag}(z)$, ενώ δεξιά τα αντίστοιχα hill patterns που προκύπτουν.

Στον πίνακα του σχήματος 2.29 παρουσιάζονται τα ποσοστά σωστής κατηγοριοποίησης με την χρήση διαφορετικών συνδυασμών των hill patterns. Βλέπουμε πως όταν συνδυάστηκαν τα hill patterns και των τριών αξόνων μαζί με το μαγνητικό μήκος, το 82% από τα 265 οχήματα κατηγοριοποιήθηκαν επιτυχώς. Αλλά, ακόμα όταν δε χρησιμοποιήθηκε το μαγνητικό μήκος, το ποσοστό δεν έπεσε κάτω από το 80%.

Κάθε αισθητήρας είναι εξοπλισμένος με ένα τσιπ HMC 1051Z της Honeywell, το οποίο μετατρέπει την ένταση του μαγνητικού πεδίου σε διαφορική τάση εξόδου και είναι ικανό να ανιχνεύσει ασθενή μαγνητικά πεδία που ξεκινούν από 30 microgauss (το πεδίο της γης είναι μεταξύ 250 και 650 milligauss). Φερρομαγνητικά υλικά όπως ο σίδηρος, που έχουν υψηλή διαπερατότητα μεταβάλλουν το μαγνητικό πεδίο της γης και ως αποτέλεσμα την τάση εξόδου του αισθητήρα. Η μεταβολή αυτή της τάσης δειγματοληπτείται στα 128 Hz για να πάρουμε το μαγνητικό αποτύπωμα.

Αντίθετα, ο επαγωγικός βρόχος είναι μια ενεργή συσκευή που αποτελείται από ένα χάλκινο βρόχο διαστάσεων 2×2 και διεγείρεται από δυναμικό συχνότητας 20 KHz, δημιουργώντας ένα μαγνητικό πεδίο. Αγωγίμο υλικό που περνάει πάνω από το βρόχο μειώνει την επαγωγή. Ο ελεγκτής επαγωγικού βρόχου μετρά τη μεταβολή στην επαγωγή. Οι ειδικοί ελεγκτές που χρησιμοποιούνται για κατηγοριοποίηση οχημάτων δειγματοληπτούν με ρυθμό 140 Hz περίπου.

Ο μικροσκοπικός μαγνητικός αισθητήρας μετρά την τοπική μεταβολή. Καθώς το όχημα διαπερνά τον αισθητήρα καταγράφει τις μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο που προκαλούνται από τα διαφορετικά μέρη του οχήματος. Αντίθετα, ο βρόχος 2×2 έχει σαν αποτέλεσμα την ενοποίηση του αποτυπώματος αγωγιμότητας κατά μήκος της απόστασης που διανύεται, το οποίο αφαιρεί διακεκριμένα χαρακτηριστικά από το



Σχήμα 2.28: Μαγνητική υπογραφή και hill patterns δύο φορτηγών κατηγορίας 5

Features	Correct Classification %
X-Hill and Magnetic Length	53.21
Y-Hill and Magnetic Length	62.64
Z-Hill and Magnetic Length	59.25
XYZ-Hills	81.51
XYZ-Hills and Magnetic Length	82.64

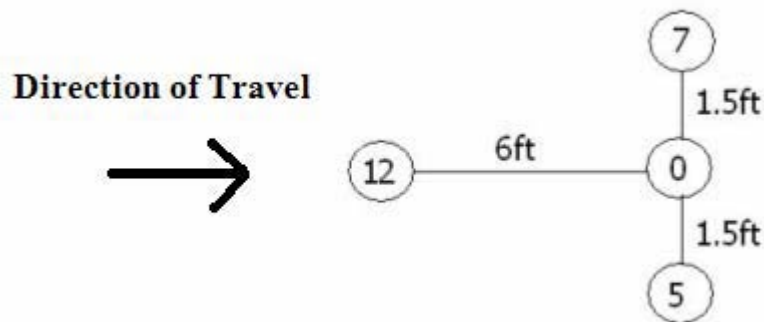
Σχήμα 2.29: Ποσοστά σωστής κατηγοριοποίησης

αποτύπωμα του οχήματος. Έτσι, ο συνηθισμένος βρόχος δεν είναι ιδανικός για κατηγοριοποίηση οχημάτων. Τα μαγνητικά αποτυπώματα από μαγνητόμετρα προσφέρουν πολύ περισσότερη λεπτομέρεια.

2.3.4 Ταυτοποίηση οχημάτων

Οι διάφορες τεχνικές ταυτοποίησης οχημάτων μπορούν να φανούν χρήσιμες στην παρακολούθηση της πορείας ενός οχήματος και στον υπολογισμό του χρόνου που έκανε να διανύσει μια απόσταση. Οι τεχνικές αυτές παίρνουν το αποτύπωμα ενός οχήματος από έναν αρχικό αισθητήρα και έπειτα το χρησιμοποιούν για να ταυτοποιήσουν το όχημα σε επόμενους αισθητήρες.

Τέσσερις κόμβοι τοποθετήθηκαν σε μια λωρίδα του Richmond Field Station, Richmond, CA, στις 23 Φεβρουαρίου του 2005 με τρόπο που φαίνεται στο σχήμα 2.30. Καταγράφονται πέντε σύνολα πληροφοριών για καθένα από τα τρία οχήματα που δοκιμάστηκαν: Toyota Tercel, Toyota Camry και Ford Taurus. Η ταχύτητα του οχήματος εκτιμάται από δύο από τους αισθητήρες και έπειτα χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση του μαγνητικού αποτυπώματος. Κατά το πρώτο πέρασμα καταγράφεται το πρότυπο αποτύπωμα του κάθε οχήματος. Σε κάθε επόμενο πέρασμα το αποτύπωμα που λαμβάνεται συγκρίνεται με όλα τα πρότυπα και εντοπίζεται το όχημα με το οποίο υπάρχει μεγαλύτερος βαθμός συσχέτισης. Παρόλο που το όχημα μπορεί να μην ευθυγραμμίζεται πλήρως με τους αισθητήρες, η μέθοδος αυτή εντόπισε όλες τις φορές το σωστό όχημα.



Σχήμα 2.30: Διαμόρφωση κόμβων για ταυτοποίηση

2.3.5 Συμπεράσματα

Σε παλαιότερη έρευνα [17] παρουσιάστηκε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που καταναλώνει τόσο λίγη ενέργεια ώστε ο αισθητήρας να μπορεί να ξεπερνά τα 3 χρόνια ζωής με τις ίδιες μπαταρίες. Η Sensys Networks με προσεκτικότερο σχεδιασμό επιτυγχάνει χρόνους ζωής που φτάνουν μέχρι και τα 7 χρόνια. Αυτό σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος, την ευκολία στην εγκατάσταση και συντήρηση καθώς και την μεγαλύτερη λεπτομέρεια στις μετρήσεις, υποδεικνύει ότι οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμεύσουν σαν θεμέλιο για την ανάπτυξη ενός ακριβούς, πυκνού και εκτεταμένου συστήματος παρακολούθησης της κίνησης στους δρόμους.

Επεκτάσεις του παρόντος συστήματος περιλαμβάνουν λήψη μετρήσεων από αυτοκινητόδρομους καθώς και από γέφυρες και υπερυψωμένους δρόμους όπου είναι δύσκολο να κοπεί το οδόστρωμα προκειμένου να τοποθετηθούν επαγωγικοί βρόγχοι. Η τωρινή απουσία ανίχνευσης σε αυτές τις τοποθεσίες (όπου συχνά παρατηρείται κυκλοφοριακό πρόβλημα) αφήνει ένα σημαντικό κενό στην παρακολούθηση της κυκλοφορίας.

Θα μπορούσαν ακόμη να ενσωματωθούν μετρήσεις διαφόρων τύπων στους αισθητήρες, όπως θερμοκρασία, ομίχλη κτλ. Σημαντικό πλεονέκτημα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων όσον αφορά αυτό το θέμα είναι πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ήδη υπάρχουσες δομές και πρωτόκολλα επικοινωνίας.

Το σύστημα PeMS [18] έχει αναδείξει την σημασία των δεδομένων κίνησης για την βελτίωση της κυκλοφορίας στους αυτοκινητόδρομους. Επίσης, μας δείχνει τη δυ-

σχολία της συντήρησης του συστήματος επαγωγικών βρόγχων στην California. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να αποτελέσουν μια ιδανική λύση για τον σχεδιασμό ενός συστήματος παρακολούθησης της κυκλοφορίας που θα βελτιώσει το υπάρχων σύστημα μεταφορών.

Αν και περιορισμένα, τα πειράματα της εν λόγω έρευνας έδειξαν ότι ένας μαγνητικός αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καταμέτρηση οχημάτων με ποσοστό ακρίβειας 98%, ενώ με δυο αισθητήρες μπορεί να εκτιμηθεί καλύτερα η ταχύτητα ενός οχήματος σε σύγκριση με μια κάμερα. Συγκεκριμένα, το ποσοστό επιτυχίας στον υπολογισμό της ταχύτητας και του μήκους του οχήματος ήταν 90%. Η κατηγοριοποίηση των οχημάτων με βάση το μαγνητικό τους αποτύπωμα επετεύχθη με ποσοστό ακρίβειας 80%.

3 Διερεύνηση προβλήματος

Το σύστημα που αναπτύχθηκε αποσκοπεί στην παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο του χώρου στάθμευσης μιας υποδομής, είτε αυτός είναι εσωτερικός είτε εξωτερικός. Η παρακολούθηση μπορεί να γίνεται για διάφορους λόγους όπως ασφάλεια, διευκόλυνση των χρηστών του χώρου ή λόγους διαχείρισης. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ασύρματων αισθητήρων σε όλες τις θέσεις στάθμευσης. Οι αισθητήρες αυτοί είναι εξοπλισμένοι με μαγνητόμετρα τα οποία μετρούν το μαγνητικό πεδίο γύρω τους. Ένα ογκώδες μεταλλικό αντικείμενο, όπως το αυτοκίνητο, προκαλεί διαταραχές στο μαγνητικό πεδίο, οι οποίες γίνονται αντιληπτές από τους αισθητήρες και έτσι εντοπίζεται η παρουσία οχήματος. Από τις μετρήσεις των αισθητήρων μπορούμε επίσης να εξάγουμε επιπλέον πληροφορίες όπως η ταχύτητα και ο τύπος του οχήματος. Η ακριβής λειτουργία των αισθητήρων ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης (AMR) περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο (Κεφ. 4).

3.1 Παρακολούθηση του χώρου στάθμευσης μιας υποδομής

Παρακάτω, αναλύονται οι βασικές υπηρεσίες που παρέχονται στον χρήστη από το σύστημα:

- **Χάρτης ελεύθερων και κατειλημμένων θέσεων**

Πρόκειται για την βασικότερη υπηρεσία του συστήματος. Σύμφωνα με τις μετρήσεις που λαμβάνονται από τους αισθητήρες, γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή πόσα οχήματα βρίσκονται μέσα στον χώρο και που ακριβώς είναι σταθμευμένα. Έτσι, μπορούμε να ξέρουμε πόσες και ποιες θέσεις είναι ελεύθερες ή κατειλημμένες. Την πληροφορία

αυτή την αναπαριστούμε σε έναν χάρτη, στον οποίο μπορεί ο χρήστης να έχει εύκολα πρόσβαση μέσω του διαδικτύου, ώστε να ενημερώνεται για το που βρίσκεται ελεύθερη θέση στην περιοχή που ψάχνει.

- **Παρακολούθηση της εισόδου του χώρου**

Τοποθετώντας αισθητήρες στην είσοδο του χώρου στάθμευσης μπορούμε να εντοπίσουμε τότε ένα όχημα εισέρχεται ή εξέρχεται. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνουμε την παρακολούθηση της διέλευσης μέσα και έξω από τον χώρο, αποφεύγοντας την ανάγκη για εγκατάσταση καμερών και άλλου απαραίτητου εξοπλισμού.

Επίσης, δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού της ταχύτητας του οχήματος όταν εισέρχεται ή εξέρχεται. Αυτό γίνεται με την τοποθέτηση δύο αισθητήρων στην είσοδο του parking. Γνωρίζοντας την ακριβή στιγμή που πέρασε το όχημα πάνω από τον κάθε αισθητήρα, καθώς και την απόσταση μεταξύ των δύο αισθητήρων, μπορούμε να υπολογίσουμε κατά προσέγγιση την ταχύτητα του οχήματος.

- **Καθοδήγηση στις ελεύθερες θέσεις**

Όταν το σύστημα εφαρμόζεται σε ένα μεγάλο κλειστό parking με πολλές θέσεις, μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμη η καθοδήγηση των οχημάτων προς τις ελεύθερες θέσεις. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγεται η συμφόρηση των οχημάτων και η ταλαιπωρία των οδηγών.

Κάτι τέτοιο μπορεί να υλοποιηθεί με την τοποθέτηση φωτεινών πινακίδων αποτελούμενων από LEDs μέσα στον χώρο οι οποίες θα υποδεικνύουν στα οχήματα την κατεύθυνση που πρέπει να ακολουθήσουν. Οι πινακίδες αυτές θα είναι τοποθετημένες στο δάπεδο ή στο ταβάνι σε κομβικά σημεία του χώρου και θα προβάλλουν τον αριθμό των ελεύθερων θέσεων που υπάρχουν στην άμεσα κοντινή περιοχή τους. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν κοντινές ελεύθερες θέσεις, τότε θα κατευθύνουν τον οδηγό προς την αμέσως επόμενη περιοχή όπου υπάρχει διαθέσιμη θέση, ενώ αν δεν υπάρχει καμία σε όλο το parking τότε θα προβάλλεται το ανάλογο μήνυμα.

- **Κοινοποίηση του αριθμού διαθέσιμων θέσεων**

Για την διευκόλυνση των οδηγών υποστηρίζεται η ανάρτηση φωτεινής πινακίδας στο εξωτερικό του χώρου, η οποία θα αναγράφει τον αριθμό των διαθέσιμων θέσεων. Έτσι, μπορεί να εξυπηρετηθεί καλύτερα το κοινό όταν οι απαιτήσεις για parking είναι αυξημένες.

Επιπλέον, η πληροφορία αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα ενοποιημένο σύστημα έξυπνου παρκαρίσματος που θα καλύπτει ολόκληρη την πόλη και θα είναι ενημερωμένο ανά πάσα στιγμή για τον αριθμό και την τοποθεσία όλων των διαθέσιμων θέσεων. Ο χρήστης του συστήματος μπορεί να ενημερωθεί για τις τοποθεσίες μέσω πινακίδων που θα είναι διασκορπισμένες στους δρόμους της πόλης αλλά και μέσω διαδικτύου και εφαρμογών που μπορεί να τρέξει στο κινητό του. Ακόμα και όταν ο οδηγός δε διαθέτει πρόσβαση στο διαδίκτυο, η ίδια υπηρεσία μπορεί να υλοποιηθεί με SMS στο κινητό, όπου ο χρήστης θα στέλνει ένα μήνυμα με τον κωδικό της περιοχής που βρίσκεται και θα του αποστέλλεται μια λίστα με τις διευθύνσεις των διαθέσιμων θέσεων στην περιοχή του. Ένα παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι το Streetline [13] που ήδη εφαρμόζεται στους δρόμους του San Francisco της Αμερικής.

• Κατηγοριοποίηση των οχημάτων

Κάθε όχημα περνώντας πάνω από το μαγνητόμετρο αφήνει ένα μαγνητικό αποτύπωμα. Εξετάζοντας αυτό το αποτύπωμα και εφαρμόζοντας του τα κατάλληλα φίλτρα μπορούμε να εξάγουμε διάφορα συμπεράσματα, όπως τον τύπο του οχήματος. Για τους σκοπούς της τρέχουσας εφαρμογής, χωρίζουμε τα οχήματα σε πέντε κατηγορίες:

- (1) ποδήλατα ή μοτοσυκλέτες
- (2) μικρά επιβατικά αυτοκίνητα
- (3) μεγάλα αυτοκίνητα (wagons, sedans κτλ.)
- (4) SUVs
- (5) βαν ή φορτηγά

Έτσι, εξετάζοντας τις μετρήσεις του αισθητήρα στην είσοδο του parking, καθώς και των αισθητήρων στις θέσεις παρκαρίσματος, μπορούμε να συμπεράνουμε την κατηγορία των οχημάτων που βρίσκονται παρκαρισμένα μέσα στον χώρο.

3.2 Εκτέλεση υπολογισμών

Η επεξεργασία των μετρήσεων για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τον εντοπισμό, την κατηγοριοποίηση και την εκτίμηση ταχύτητας ενός οχήματος απαιτεί την εκτέλεση πολύπλοκων υπολογισμών. Υπάρχουν δύο λύσεις για την επιλογή του

επιπέδου όπου μπορούν να εκτελούνται αυτές οι πράξεις: το επίπεδο των αισθητήρων και το επίπεδο του basestation.

Η πρώτη λύση συνεπάγεται την λήψη και επεξεργασία των μετρήσεων από τους ίδιους τους αισθητήρες και την μετέπειτα αποστολή των αποφάσεων που πάρθηκαν στο basestation. Αντίθετα, η δεύτερη λύση συνεπάγεται την απευθείας προώθηση των ανεπεξέργαστων δεδομένων στο basestation όπου και γίνονται όλοι οι υπολογισμοί και η λήψη αποφάσεων.

Το πλεονέκτημα της πρώτης προσέγγισης σε σχέση με την δεύτερη είναι ότι απαιτεί λιγότερη επικοινωνία μεταξύ των δύο επιπέδων. Ειδικά αν λάβουμε υπόψη την συχνότητα δειγματοληψίας των μαγνητόμετρων, που φτάνει τα 200 Hz, καταλήγουμε στο ότι ο αριθμός των μηνυμάτων που θα κυκλοφορούσαν στο δίκτυο αν ακολουθούσαμε αυτήν την προσέγγιση είναι απαγορευτικός. Παρόλα αυτά, η δεύτερη λύση παρέχει περισσότερη υπολογιστική ισχύ που χρειάζεται για την πολύπλοκη επεξεργασία των δεδομένων.

Όσον αφορά τον εντοπισμό οχημάτων, η επιλογή είναι σχετικά εύκολη καθώς ο υπολογισμός που απαιτείται για την απόφαση εντοπισμού ή όχι ενός οχήματος περιορίζεται στην σύγκριση της τιμής του μαγνητόμετρου με κάποιο προκαθορισμένο όριο. Εάν η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη τότε εντοπίζεται η παρουσία οχήματος, διαφορετικά θεωρούμε πως η θέση είναι ελεύθερη. Έτσι, η πράξη αυτή μπορεί εύκολα να εκτελείται από τον ίδιο τον αισθητήρα, παρά τη μικρή επεξεργαστική του ισχύ. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγουμε την συνεχής ροή δεδομένων του μαγνητόμετρου προς το basestation και περιορίζουμε την επικοινωνία σε ειδοποιήσεις όταν αλλάζει η κατάσταση του αισθητήρα και σε περιοδικές ενημερώσεις (π.χ. ανά λεπτό) διατήρησης αυτής της κατάστασης.

Το ίδιο ισχύει και για τον υπολογισμό της ταχύτητας, καθώς προϋποθέτει τον εντοπισμό του ίδιου οχήματος από δύο ξεχωριστούς αισθητήρες. Επιπλέον, ο μετέπειτα υπολογισμός της χρονικής διαφοράς μεταξύ των δύο εντοπισμών, για να είναι ακριβής, απαιτεί τα ρολόγια τους να είναι συγχρονισμένα. Αυτό συνεπάγεται την ούτως ή άλλως συχνή επικοινωνία μεταξύ των δυο αισθητήρων. Καταλήγουμε δηλαδή στο ότι δεν υπάρχει η ανάγκη για την εκτέλεση του υπολογισμού στο basestation.

Αντίθετα, για την κατηγοριοποίηση των οχημάτων, οι υπολογισμοί που απαιτούνται είναι πιο πολύπλοκοι που σημαίνει ότι θα μπορούσε να αξιοποιηθεί η μεγάλη υπολο-

γιστική ισχύς του basestation. Παρόλα αυτά, αν εφαρμόσουμε μια τροποποιημένη έκδοση του hill pattern classification που είδαμε στο [10], η μέθοδος κατηγοριοποίησης απλοποιείται αρκετά ώστε να μπορεί να εκτελεστεί από τον μικροεπεξεργαστή του αισθητήρα, χωρίς να αλλοιώνεται η ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι η προτιμότερη επιλογή είναι η πρώτη, δηλαδή οι υπολογισμοί να γίνονται απ' ευθείας από τους αισθητήρες. Με τον τρόπο αυτό συμβάλλουμε στην επικοινωνιακή συμφόρηση που θα δημιουργούσε η ασταμάτητη αποστολή δεδομένων από όλους τους αισθητήρες, καθώς και στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των μπαταριών.

3.3 Επικοινωνία κόμβων

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης που επιλέχθηκε για την επικοινωνία των κόμβων και την παράδοση των μηνυμάτων στο basestation είναι παρόμοιο με το selective flooding που περιγράφηκε στο [9]. Το πρωτόκολλο αυτό υποστηρίζει την επιλεκτική εξάπλωση των μηνυμάτων, με την χρήση πολλαπλών multihop μονοπατιών, προς την κατεύθυνση του basestation. Αποτελεί την καταλληλότερη λύση του προβλήματος της επικοινωνίας σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, το οποίο εφαρμόζεται υπό τις συνθήκες ενός parking.

Αρχικά, πρόκειται για ένα απλό και εύκολα υλοποιήσιμο πρωτόκολλο, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για εφαρμογή σε πραγματικές καταστάσεις. Έπειτα, η συχνότητα αποστολής μηνυμάτων είναι σχετικά μικρή (π.χ. ένα μήνυμα ανά λεπτό ανά αισθητήρα), που σημαίνει ότι τα μηνύματα που πρέπει συνολικά να κυκλοφορήσουν μέσα στο δίκτυο δεν είναι πολλά. Με τον τρόπο αυτόν, αποφεύγουμε την δημιουργία επικοινωνιακής συμφόρησης, ακόμη και αν το μέγεθος του χώρου είναι μεγάλο και ως αποτέλεσμα ο αριθμός των αισθητήρων αυξάνεται, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι το μήνυμα θα φτάσει στον προορισμό του. Επίσης, λόγω της περιορισμένης ανταλλαγής μηνυμάτων, εξοικονομείται ενέργεια από τον εκπομπό του αισθητήρα. Τέλος, ο αλγόριθμος δεν επηρεάζεται από προβλήματα απώλειας επικοινωνίας, καθώς ακόμη και να έχει πέσει η σύνδεση μεταξύ δυο κόμβων, το μήνυμα θα φτάσει στον προορισμό του μέσω άλλου μονοπατιού.



(α') Τοποθέτηση στην επιφάνεια της ασφάλτου



(β') Τοποθέτηση μέσα στην άσφαλτο

Σχήμα 3.1

3.4 Τοποθέτηση Αισθητήρων

Η ακριβής τοποθέτηση του αισθητήρα πάνω στη θέση παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς επηρεάζει τις τιμές του μαγνητόμετρου. Όπως είναι λογικό, η προτιμότερη τοποθέτηση είναι ακριβώς στο κέντρο της θέσης, όπου θα βρίσκεται στο μέσο του οχήματος και θα είναι πιο εύκολος ο εντοπισμός του. Όμως, η επιλογή αυτή αφήνει εκτεθειμένο τον αισθητήρα στα διερχόμενα οχήματα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με την τοποθέτηση του αισθητήρα μέσα σε σκληρή προστατευτική θήκη, η οποία εφάπτεται στο έδαφος όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1α'.

Παρόλα αυτά, επειδή η λύση αυτή δεν ήταν εφικτή στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, προτιμήθηκε η τοποθέτηση του στο μέσο της πλευράς που συνορεύει με κάποιον τοίχο ή πεζούλι. Έτσι, ο αισθητήρας είναι προστατευμένος, καθώς βρίσκεται σε σημείο που δε μπορεί εύκολα να φτάσει η ρόδα κάποιου οχήματος, ενώ ταυτόχρονα βρίσκεται αρκετά κοντά ώστε να μπορεί να εντοπίσει αξιόπιστα την παρουσία του.

Αξίζει βέβαια να σημειωθεί, ότι στο σημείο αυτό ο αισθητήρας είναι πιο επιρρεπής σε παρεμβολές γειτονικών οχημάτων, που όμως δε πρέπει να επηρεάσουν τα αποτελέσματα του εντοπισμού. Έτσι, απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή στην επεξεργασία των μετρήσεων του μαγνητόμετρου που σημαίνει την επιλογή του κατάλληλου άξονα για την λήψη μετρήσεων και τον καθορισμό του κατάλληλου κατωφλίου εντοπισμού έπειτα από πειραματικές διαδικασίες.

Ένα ακόμα θέμα είναι η κάθετη τοποθέτηση του αισθητήρα, δηλαδή σε τι ύψος πάνω

από το έδαφος θα βρίσκεται. Υπάρχει η επιλογή να τοποθετείται μέσα σε ρηχές εσοχές που σκάβονται στην επιφάνεια της ασφάλτου, παρέχοντας του έτσι μεγαλύτερη προστασία από οχήματα, πεζούς και καιρικές συνθήκες (σχ. 3.1β'). Ωστόσο, η λύση αυτή δεν υιοθετήθηκε καθώς εκτός από το αυξημένο κόστος, θα είχε και σοβαρές επιπτώσεις στην εμβέλεια επικοινωνίας των αισθητήρων, όπως είδαμε στο [9].

Τέλος, πρέπει να ληφθεί υπόψη η απόσταση μεταξύ των θέσεων, και ως εκ τούτου η απόσταση μεταξύ των αισθητήρων, καθώς και η παρεμβολή παρκαρισμένων και διερχομένων οχημάτων στα μονοπάτια σύνδεσης. Οι παραπάνω αποτελούν παράγοντες που αναμένεται να επηρεάσουν την συνδεσιμότητα του δικτύου και να προκαλέσουν προβλήματα στην επικοινωνία.

3.5 Κόστος και ευελιξία

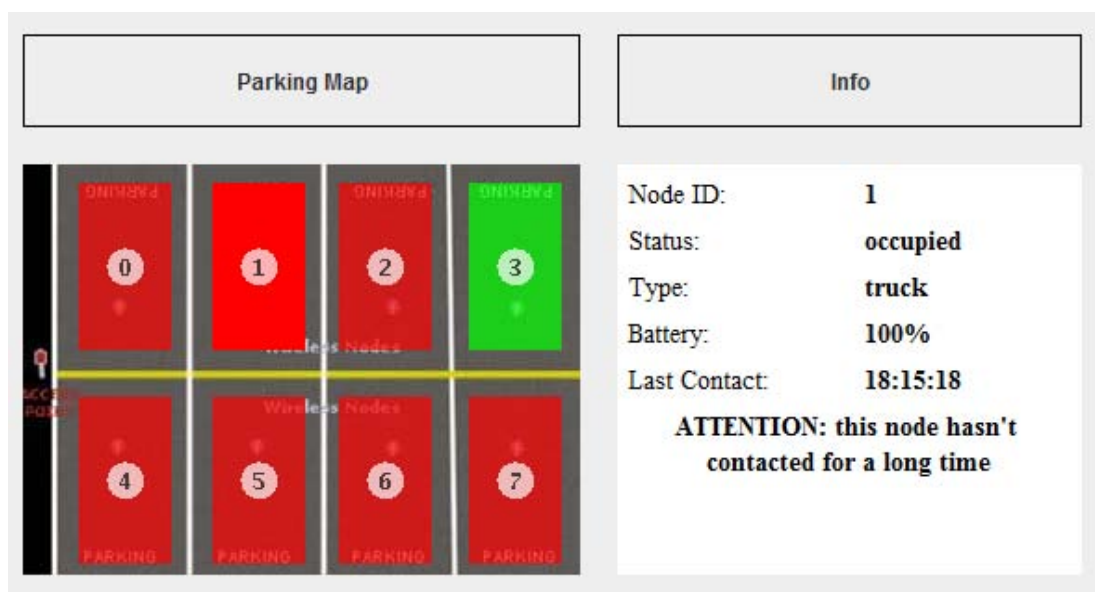
Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μια ιδανική επιλογή για χρήση σε συστήματα διαχείρισης parking, και γενικότερα σε εφαρμογές που απαιτούν τον εντοπισμό οχημάτων και κυκλοφορίας (π.χ. παρακολούθηση κίνησης στους δρόμους). Οι δύο βασικοί λόγοι για τους οποίους προτιμούνται είναι το χαμηλό κόστος και η ευελιξία τους.

Το κόστος προμήθευσης των αισθητήρων είναι μικρό σε σχέση με άλλα παρόμοια συστήματα σχεδιασμένα να εντοπίζουν οχήματα, όπως οι κάμερες. Ωστόσο, αυτό δεν επηρεάζει την ακρίβεια μέτρησης τους, η οποία συχνά ξεπερνά αυτή των εναλλακτικών λύσεων, όπως αποδείχθηκε στο [10]. Το ίδιο ισχύει και για το κόστος εγκατάστασης.

Η εύκολη τοποθέτησή των ασύρματων αισθητήρων, τους καθιστά ιδανικούς για χρήση σε ήδη υπάρχουσες υποδομές, χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης νέας καλωδίωσης για την παροχή δικτύου και τροφοδοσίας. Έτσι, προσφέρονται για χρήση και σε εξωτερικούς χώρους ή σε δρόμους.

3.6 Σχεδιασμός διεπαφής χρήστη

Η διεπαφή του χρήστη είναι σχεδιασμένη ώστε να είναι απλή και φιλική. Είναι εύκολα προσβάσιμη μέσω ενός applet που βρίσκεται συνεχώς online, δίνοντας του τη

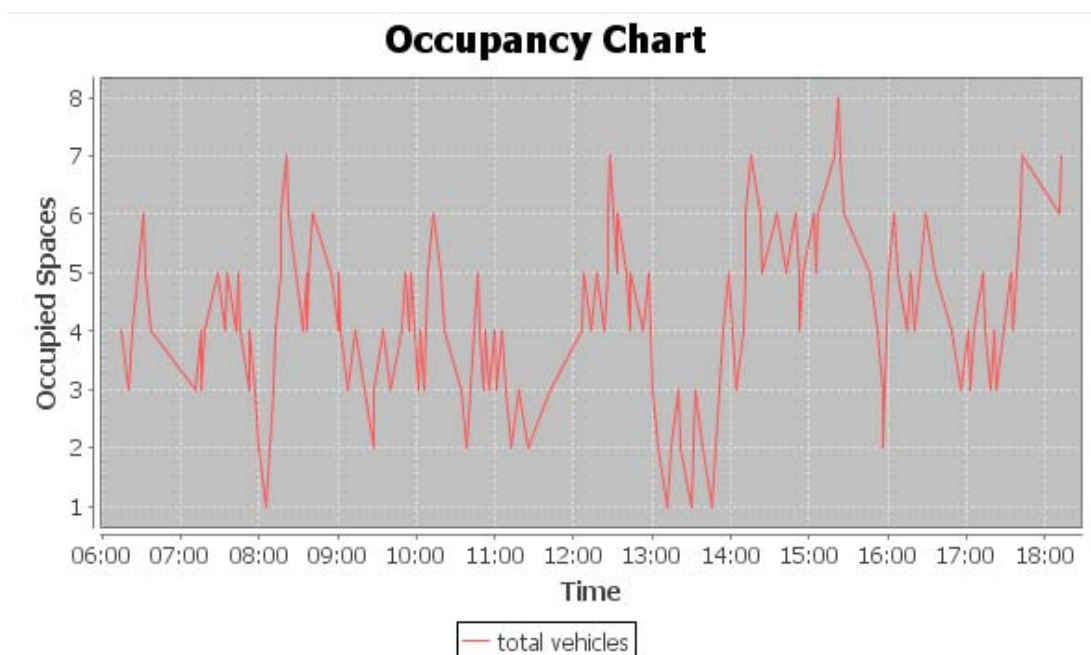


Σχήμα 3.2: Γραφική διεπαφή χρήστη

δυνατότητα να εκτελέσει την εφαρμογή από οποιονδήποτε υπολογιστή με σύνδεση στο διαδίκτυο. Η εφαρμογή είναι εύκολη στην κατανόηση και ενημερώνει τον χρήστη για τον αριθμό των οχημάτων που εντοπίζονται από τους αισθητήρες ανά πάσα στιγμή. Παρέχεται γραφική απεικόνιση του χάρτη του χώρου στάθμευσης μαζί με την αναπαράσταση των κατειλημμένων και ελεύθερων θέσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.

Εκτός από την κατάσταση του κόμβου (ελεύθερος/κατειλημμένος), δίνονται επιπλέον πληροφορίες όπως ο τύπος του οχήματος που έχει καταλάβει την θέση, η μπαταρία του κόμβου και η τελευταία φορά που έχει επικοινωνήσει ο κόμβος με το basestation. Έτσι, παρέχεται στον χρήστη μια γενική εικόνα της κατάστασης του parking, καθώς και του ίδιου του δικτύου αισθητήρων, ενημερώνοντας τον για τυχόν βλάβες ή δυσλειτουργίες των κόμβων ώστε να προβεί στις απαραίτητες ενέργειες αλλαγής μπαταριών, επανεκκίνησης ή αντικατάστασης των αισθητήρων.

Επίσης, δίνεται η δυνατότητα αναπαράστασης στατιστικών δεδομένων που αφορούν το parking. Το applet που έχει πρόσβαση στον server του συστήματος, μπορεί να ανακτήσει τα επιθυμητά δεδομένα από την βάση δεδομένων. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να ενημερώνεται για στατιστικά χρήσης του χώρου, όπως ο μέσος χρόνος διαμονής και ο τύπος των οχημάτων που χρησιμοποιούν τον χώρο. Στο σχήμα 3.3 φαίνεται



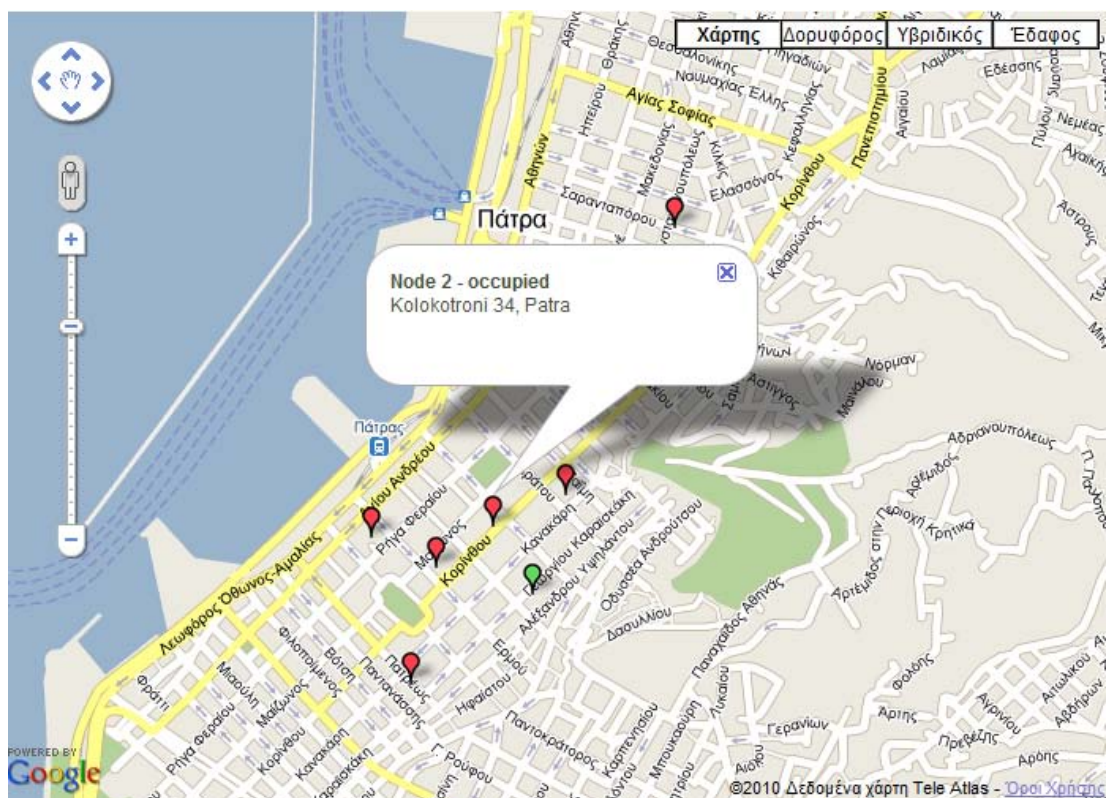
Σχήμα 3.3: Παράδειγμα στατιστικών δεδομένων που προσφέρονται στον χρήστη

η γραφική παράσταση του πλήθους των οχημάτων που στάθμευσαν στον χώρο για ένα χρονικό διάστημα 12 ωρών. Οι γραφικές αυτές παραστάσεις σχεδιάζονται με την βοήθεια του εργαλείου JFreeChart [19].

Εκτός από το applet, η πληροφορία διαθέσιμων θέσεων αναπαριστάται και σε google maps, για ευκολότερη πρόσβαση μέσω άλλων υπηρεσιών, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4. Στον χάρτη αναπαριστώνται όλοι κόμβοι που είναι τυχόν διασκορπισμένοι μέσα στην πόλη, καθώς και η κατάσταση τους. Ακόμα, αν ο χρήστης πατήσει πάνω σε έναν από αυτούς, του δίνεται η ακριβής διεύθυνση όπου είναι τοποθετημένος ο κόμβος.

3.7 Εφαρμογές συστήματος

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε μικρούς εσωτερικούς χώρους όσο και σε εξωτερικούς χώρους που απλώνονται σε μεγάλες εκτάσεις. Επίσης, δεν είναι απαραίτητο οι χώροι αυτοί να είναι κλειστοί με κάποιου είδους περίφραξη αλλά μπορεί να είναι και θέσεις στάθμευσης κατά μήκος των δρόμων μια πόλης. Συνεπώς, οι τομείς εφαρμογής του συστήματος



Σχήμα 3.4: Αναπαράσταση πληροφορίας σε Google Maps

κυμαίνονται από απομονωμένα parking έως ολόκληρες πόλεις.

Στις μέρες μας, παρατηρούμε μια ραγδαία αύξηση στον αριθμό των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν στους δρόμους. Το γεγονός αυτό, όπως είναι αναμενόμενο, δημιουργεί αρκετά προβλήματα, όπως το κυκλοφοριακό και η έλλειψη θέσεων στάθμευσης, ειδικά σε πυκνοκατοικημένες πόλεις. Μια λύση στο πρόβλημα εύρεσης θέσεων είναι η υλοποίηση ενός ενοποιημένου έξυπνου συστήματος παρκαρίσματος που καλείται να διαχειριστεί μέρος ή ολόκληρο το δυναμικό των θέσεων στάθμευσης. Το δυναμικό αυτό συμπεριλαμβάνει τόσο ιδιωτικά parking όσο και θέσεις κατά μήκος των δρόμων και είναι σε θέση να βοηθήσει τον χρήστη ανά πάσα στιγμή να σταθμεύσει το όχημα του στην περιοχή που επιθυμεί λαμβάνοντας υπόψη και τις τιμές χρέωσης.

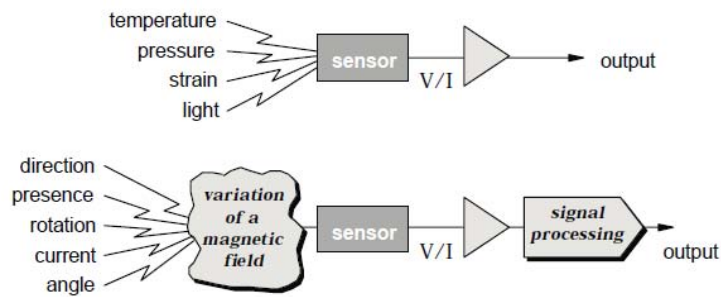
4 Περιγραφή των AMR

Οι μαγνητικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για πάνω από 2,000 χρόνια. Αρχικές εφαρμογές τους ήταν η εύρεση κατεύθυνσης και η πλοήγηση. Σήμερα, οι μαγνητικοί αισθητήρες αποτελούν ακόμα ένα πρωταρχικό μέσο πλοήγησης αλλά έχουν εξελιχθεί και σε περισσότερες χρήσεις. Η τεχνολογία για την μέτρηση μαγνητικών πεδίων έχει επίσης εξελιχθεί οδηγούμενη από την ανάγκη για αυξημένη ευαισθησία, μικρότερο μέγεθος και συμβατότητα με ηλεκτρονικά συστήματα. Ο αισθητήρας ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης (anisotropic magnetoresistive – AMR) είναι ένας μαγνητικός αισθητήρας, υλοποιημένος σε ολοκληρωμένο κύκλωμα, και βελτιστοποιημένος για χρήση μέσα στο μαγνητικό πεδίο της γης. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν οι βασικές αρχές λειτουργίας των AMR, καθώς και οι κυριότερες εφαρμογές τους.

4.1 Περί των μαγνητικών αισθητήρων

Μια μοναδική πτυχή της χρήσης των μαγνητικών αισθητήρων είναι ότι η μέτρηση μαγνητικών πεδίων δεν αποτελεί συνήθως την κύρια πρόθεση. Συνήθως, είναι επιθυμητή μια δευτερεύουσα παράμετρος, όπως η ταχύτητα της ρόδας, η παρουσία μαγνητικού μελανιού, ο εντοπισμός οχημάτων ή ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης. Αυτές οι παράμετροι δε μπορούν να μετρηθούν άμεσα, αλλά μπορούν να εξαχθούν από αλλαγές ή διαταραχές μαγνητικών πεδίων. Οι συμβατικοί αισθητήρες όπως αισθητήρες θερμοκρασίας, πίεσης, τεντώματος και φωτός μπορούν να μετατρέψουν άμεσα την επιθυμητή παράμετρο στην ανάλογη τάση εξόδου ή στο ανάλογο ρεύμα εξόδου (βλ. σχήμα 4.1).

Από την άλλη πλευρά, η χρήση μαγνητικών αισθητήρων για τον εντοπισμό κατεύθυνσης, παρουσίας, περιστροφής, γωνίας ή ηλεκτρικών ρευμάτων μπορεί μόνο να



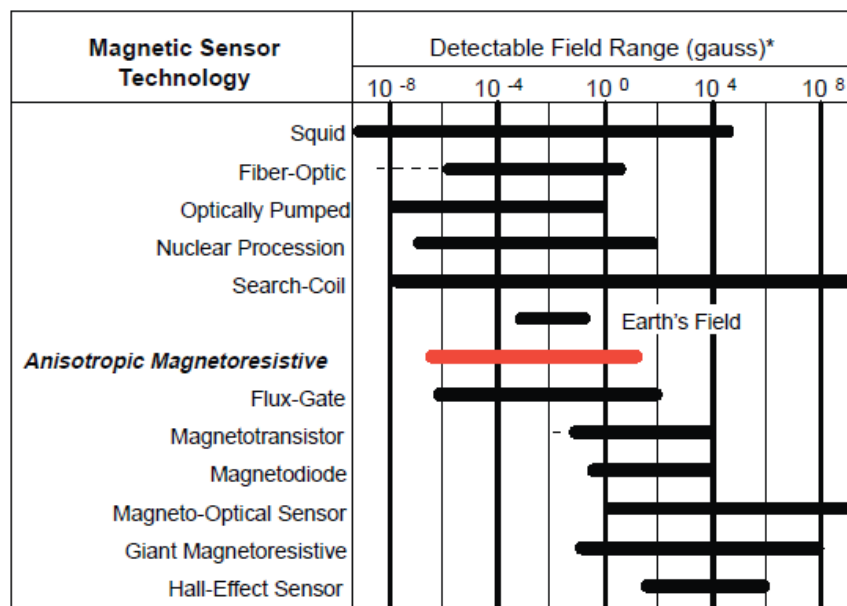
Σχήμα 4.1: Συμβατικοί και μαγνητικοί αισθητήρες

εντοπίζει έμμεσα αυτές τις παραμέτρους. Αρχικά, η μετρούμενη είσοδος πρέπει να δημιουργήσει ή να μεταβάλει ένα μαγνητικό πεδίο. Αυτή η διαφοροποίηση πεδίου μπορεί να προκληθεί από ένα ρεύμα μέσα σε ένα καλώδιο, από το πέρασμα ενός δοντιού τροχού πάνω από έναν μόνιμο μαγνήτη ή από την κίνηση ενός μεταλλικού αντικειμένου μέσα στο μαγνητικό πεδίο της γης. Μόλις ο μαγνητικός αισθητήρας εντοπίζει τη διαφοροποίηση πεδίου, το σήμα εξόδου απαιτεί κάποια επεξεργασία ώστε να μεταφραστεί στην επιθυμητή τιμή της παραμέτρου. Αυτό κάνει πιο δύσκολη την χρήση μαγνητικών αισθητήρων στην περισσότερες εφαρμογές. Ωστόσο, η κατανόηση της επίδρασης αυτών των διαφοροποιήσεων πεδίου μπορεί να οδηγήσει στην ακριβής και αξιόπιστη μέτρηση παραμέτρων που είναι δύσκολο να μετρηθούν με άλλους τρόπους.

Ένας τρόπος κατάταξης των διαφόρων μαγνητικών αισθητήρων είναι με βάση το εύρος πεδίου που αντιλαμβάνονται. Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν αυθαίρετα να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

- (1) ασθενούς πεδίου
- (2) μεσαίου πεδίου
- (3) ισχυρού πεδίου

Οι αισθητήρες που ανιχνεύουν μαγνητικά πεδία μικρότερα από 1 microgauss χαρακτηρίζονται ως αισθητήρες ασθενούς πεδίου. Αισθητήρες με εύρος 1 microgauss έως 10 gauss χαρακτηρίζονται αισθητήρες γήινου μαγνητικού πεδίου, ενώ αισθητήρες που ανιχνεύουν πεδία άνω των 10 gauss χαρακτηρίζονται αισθητήρες ισχυρού πεδίου. Ο πίνακας του σχήματος 4.2 παραθέτει τις διάφορες τεχνολογίες αισθητήρων μαζί με



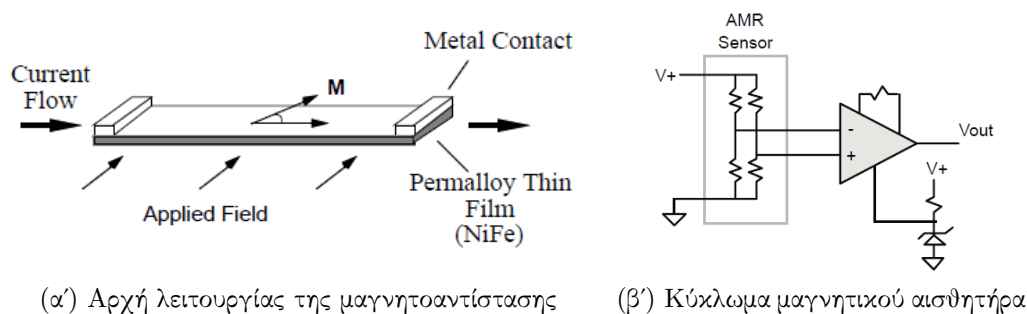
Σχήμα 4.2: Τεχνολογίες μαγνητικών αισθητήρων και τα εύρη πεδίων τους

το εύρος μαγνητικού πεδίου τους.

Η ανάλυση επικεντρώνεται στους αισθητήρες ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης, που είναι βελτιστοποιημένοι να λειτουργούν μέσα στο μαγνητικό πεδίο της γης. Οι αισθητήρες AMR μπορούν να εντοπίσουν αξιόπιστα τόσο την ένταση όσο και την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου της γης με ακρίβεια 1 στα 12,000.

4.2 Αισθητήρες γήινου μαγνητικού πεδίου

Το μαγνητικό εύρος των αισθητήρων μεσαίου πεδίου είναι ιδανικό για χρήση με το μαγνητικό πεδίο της γης. Μερικοί τρόποι χρήσης του μαγνητικού πεδίου της γης είναι ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης πυξίδας για την πλοήγηση, η ανίχνευση ανωμαλιών στο πεδίο για τον εντοπισμό οχημάτων και ο υπολογισμός της παραγωγής της αλλαγής του πεδίου για τον καθορισμό του ρυθμού απόκλισης.



Σχήμα 4.3

4.2.1 Ανισοτροπική μαγνητοαντίσταση (AMR)

Το φαινόμενο παρατηρήθηκε πρώτη φορά από τον William Thomson το 1856, χρειάστηκαν όμως πάνω από 100 χρόνια μέχρι η εξέλιξη της τεχνολογίας εναπόθεσης λεπτών στρωμάτων να επιτρέψει την κατασκευή ενός πρακτικού αισθητήρα για περαιτέρω χρήση. Ειδικότερα, ο αισθητήρας ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της μεταβολής της ειδικής αντίστασης ορισμένων φερρομαγνητικών κραμάτων, όταν επιβληθεί εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Οι αισθητήρες μαγνητοαντίστασης (MR) έρχονται σε μια ποικιλία σχημάτων και μορφών. Η πρόσφατη ανάπτυξη της αγοράς στους αισθητήρες MR αφορά τις κεφαλές ανάγνωσης υψηλής πυκνότητας για κασέτες και δίσκους. Μερικές κοινές εφαρμογές περιλαμβάνουν την μέτρηση της ταχύτητας ρόδας και του στροφαλοφόρου άξονα οχήματος, την πλοήγηση με πυξίδα, τον εντοπισμό οχημάτων, την μέτρηση ηλεκτρικού ρεύματος και πολλές άλλες.

Οι αισθητήρες ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης (AMR) μπορούν να ανιχνεύσουν στατικά πεδία συνεχούς ρεύματος καθώς και την ισχύ και την κατεύθυνση του πεδίου. Ο αισθητήρας είναι κατασκευασμένος από ένα λεπτό στρώμα κράματος νικελίου-σιδήρου (permalloy) εναποθετημένο πάνω σε ένα πλακίδιο σιλικόνης σχηματισμένο σαν μια λωρίδα αντίστασης (βλ. σχήμα 4.3α'). Οι ιδιότητες του λεπτού στρώματος AMR του επιτρέπουν να αλλάζει τιμή αντίστασης κατά 2-3% στην παρουσία μαγνητικού πεδίου.

Τυπικά, τέσσερις τέτοιες μαγνητοαντιστάσεις συνδέονται με διάταξη γέφυρας Wheatstone (σχ. 4.3β') ώστε να μπορεί να μετρηθεί τόσο η ένταση όσο και η κατεύθυνση του πεδίου κατά μήκος ενός άξονα. Συνηθισμένη τιμή για την αντίσταση γέφυρας

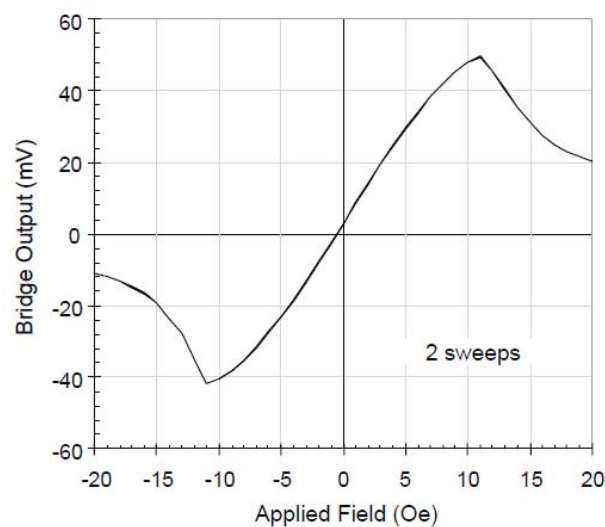
είναι 1 kΩ. Για τυπικούς αισθητήρες το εύρος ζώνης είναι 1-5 MHz. Η αντίδραση του φαινομένου μαγνητοαντίστασης είναι πολύ γρήγορη και δεν περιορίζεται από σπείρες ή ταλαντωμένες συχνότητες. Το βασικό πλεονέκτημα των AMR αισθητήρων είναι πως μπορούν να παραχθούν μαζικά πάνω σε φέτες σιλικόνης και έπειτα να ενσωματωθούν σε εμπορικά πακέτα ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την αυτόματη συναρμολόγηση των μαγνητικών αισθητήρων μαζί με άλλα κυκλώματα και εξαρτήματα.

4.2.2 Χαρακτηριστικά του αισθητήρα AMR

Οι αισθητήρες AMR παρέχουν έναν ιδανικό τρόπο μέτρησης τόσο της θέσης και της γωνίας όσο και της μετατόπισης ενός αντικειμένου στο μαγνητικό πεδίο της γης. Οι διατάξεις γέφυρας, όπως αυτή που περιγράφηκε παραπάνω, παρουσιάζουν υψηλό βαθμό προβλεψιμότητας όταν υποβληθούν σε μαγνητικά πεδία. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα των AMR αισθητήρων έναντι άλλων μηχανικών ή ηλεκτρικών εναλλακτικών λύσεων είναι:

- χαμηλό κόστος
- υψηλή ευαισθησία
- μικρό μέγεθος
- ανεκτικότητα στον θόρυβο
- αξιοπιστία
- υψηλή προσαρμοστικότητα
- ευκολία συναρμολόγησης

Χαρακτηριστικό του στρώματος permalloy είναι ότι μεταβάλλει την αντίσταση του (ΔR) όταν εκτίθεται σε μεταβολή του εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου – εξού και ο όρος μαγνητοαντίσταση. Αυτό προκαλεί την ανάλογη μεταβολή στην τάση εξόδου (βλ. σχήμα 4.4). Χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα AMR μαζί με έναν ενισχυτή, μπορούμε να πάρουμε ακριβείς μετρήσεις για ένα πεδίο όπως την ισχύ και την κατεύθυνση του.



Σχήμα 4.4: Καμπύλη μεταφοράς εξόδου του AMR

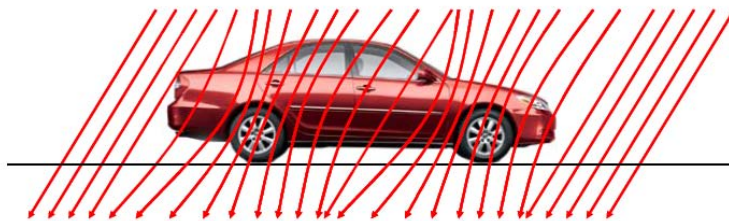
4.3 Εφαρμογές του αισθητήρα AMR

Οι αισθητήρες AMR που είναι διαθέσιμοι στις μέρες μας χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές ανίχνευσης σιδηρούχων αντικειμένων όπως αεροπλάνων, τρένων και αυτοκινήτων τα οποία επηρεάζουν το μαγνητικό πεδίο της γης.

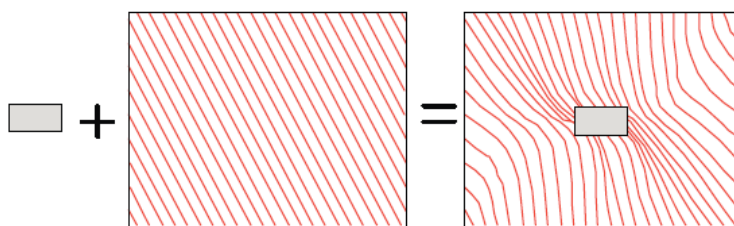
4.3.1 Εντοπισμός οχημάτων

Η επιφάνεια της γης διαθέτει ένα ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο που απλώνεται σε μεγάλη έκταση (ας πούμε μερικών τετραγωνικών χιλιομέτρων). Στο σχήμα 4.5 φαίνεται πως ένα σιδηρούχο αντικείμενο, όπως ένα αυτοκίνητο, προκαλεί μια τοπική διαταραχή σε αυτό το πεδίο ανεξαρτήτως αν κινείται ή όχι. Οι μαγνητικοί αισθητήρες μπορούν να αισθανθούν αυτή τη διαταραχή στο γήινο πεδίο εξαιτίας της παρουσίας του αυτοκινήτου και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές.

Οι εφαρμογές του μαγνητικού αισθητήρα που αφορούν τον εντοπισμό οχημάτων είναι πολλές. Ένας μονοδιάστατος αισθητήρας μπορεί εύκολα να ανιχνεύσει την παρουσία ενός οχήματος. Η απόσταση από την οποία μπορεί να το ανιχνεύσει φτάνει έως και τα 15 μέτρα, ανάλογα το μέγεθος και την σύσταση του οχήματος. Κάτι τέτοιο μπορεί να βρει εφαρμογή σε σύγχρονους χώρους στάθμευσης δίνοντας στους οδηγούς που



Σχήμα 4.5: Διαταραχή του πεδίου της γης από όχημα



Ferrous Object + Uniform Magnetic Field = Field Disturbance

Σχήμα 4.6: Διαταραχή ομοιόμορφου πεδίου από φερρομαγνητικό υλικό

εισέρχονται την πληροφορία για το που βρίσκονται οι περισσότερες κενές θέσεις για να σταθμεύσουν. Μια ακόμα εφαρμογή είναι η ανίχνευση τρενών που πλησιάζουν ώστε να γίνεται συντονισμός των διαβάσεων. Σε μια τέτοια εφαρμογή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν δύο αισθητήρες για την ανίχνευση της παρουσίας, της κατεύθυνσης και της ταχύτητας του τρένου, δίνοντας έτσι περισσότερες πληροφορίες στον ελεγκτή της διάβασης.

Η μαγνητική διαταραχή ενός μεγάλου σιδηρούχου αντικειμένου όπως ενός αυτοκινήτου μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μια σύνθεση πολλών διπολικών μαγνητών. Αυτά τα δίπολα έχουν διευθύνσεις βορρά και νότου προκαλώντας διαταραχές στο μαγνητικό πεδίο της γης. Οι διαταραχές είναι πιο εμφανείς στα σημεία που βρίσκεται η μηχανή και οι τροχοί αλλά αυτό μπορεί να αλλάξει αναλόγως με το τα υλικά που είναι κατασκευασμένο το εσωτερικό του οχήματος, η οροφή ή ο χώρος αποσκευών. Το αποτέλεσμα όπως και να έχει είναι μια χαρακτηριστική παραμόρφωση στο μαγνητικό πεδίο της γης, η οποία είναι μοναδική για κάθε σχήμα αυτοκινήτου (σχήμα 4.6).

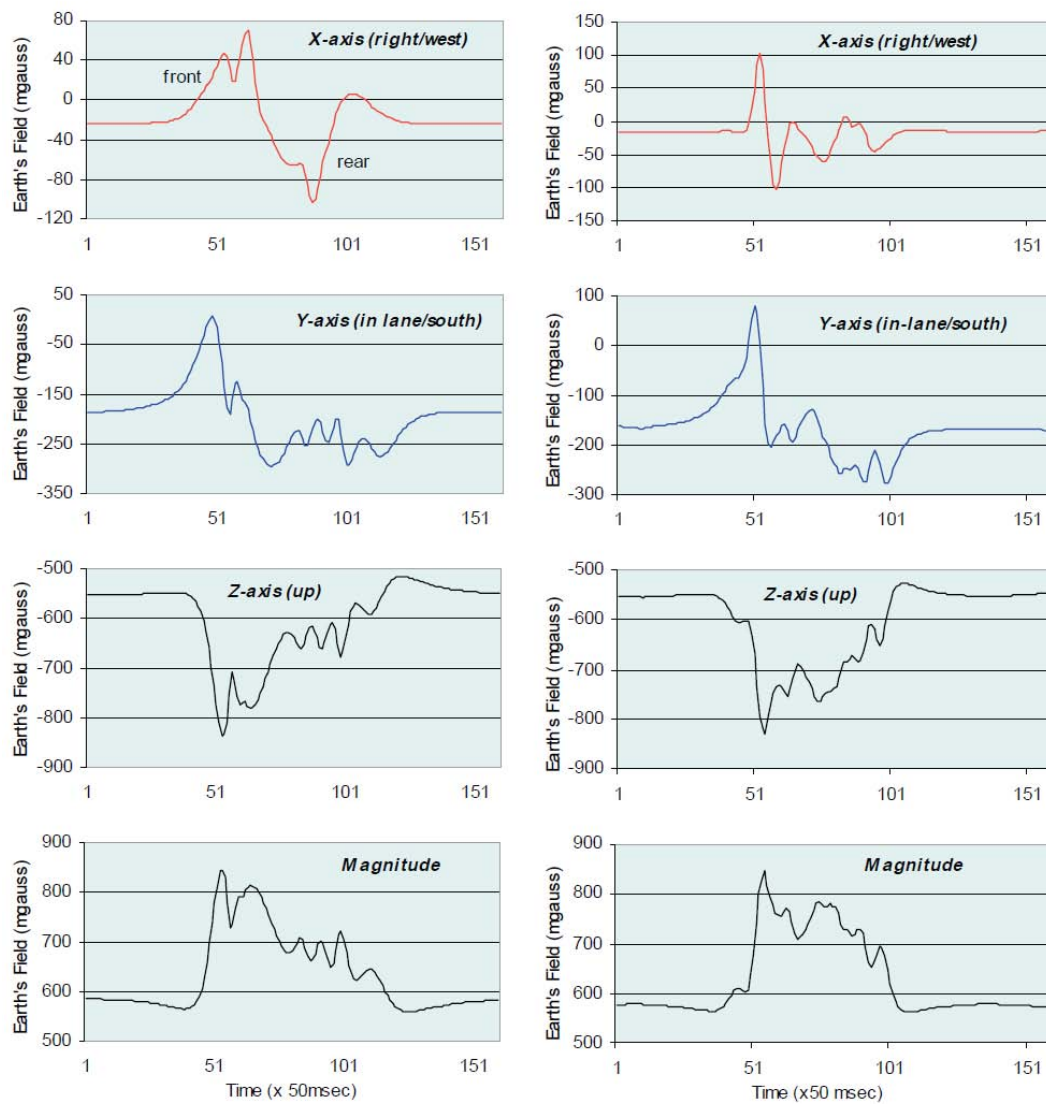
4.3.2 Κατηγοριοποίηση οχημάτων

Οι μαγνητικές διαταραχές που μετρούνται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατηγοριοποίηση των οχημάτων σε διάφορους τύπους όπως Ι.Χ., βαν, φορτηγά, λεωφορεία, νταλίκες και άλλα. Όταν ένα όχημα περάσει κοντά ή πάνω από έναν μαγνητικό αισθητήρα τότε ο αισθητήρας θα καταγράψει όλες τις διαφορετικές διπολικές ροπές των διαφόρων τμημάτων του οχήματος. Η χαρακτηριστική αυτή μεταβολή του πεδίου αποτελεί μια λεπτομερές μαγνητική υπογραφή του οχήματος.

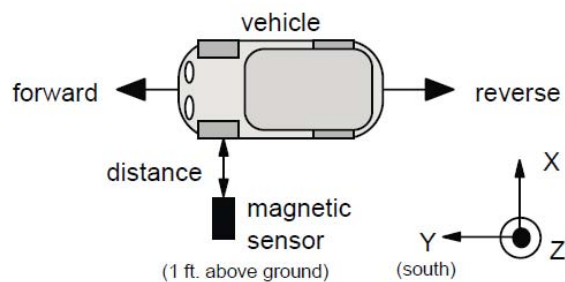
Τοποθετώντας έναν αισθητήρα AMR τριών αξόνων σε μια λωρίδα ενός αυτοκινητόδρομου μπορούμε να πάρουμε μια πολύ ακριβής εικόνα για τα οχήματα που πέρασαν από επάνω του. Στο σχήμα 4.7 βλέπουμε την έξοδο ενός τρισδιάστατου μαγνητόμετρου για δυο διαφορετικά οχήματα που πέρασαν από πάνω του. Οι αριστερές καμπύλες αντιστοιχούν σε όχημα τύπου βαν, ενώ οι δεξιές σε σεντάν. Οι τέσσερις καμπύλες για κάθε όχημα αντιπροσωπεύουν τους άξονες X,Y,Z και την συνολική διαταραχή στο μαγνητικό πεδίο της γης, καθώς τα οχήματα αυτά ταξιδεύουν προς το νότο. Έτσι θεωρούμε ότι ο άξονας X δείχνει προς την δύση, ο Y δείχνει προς το νότο και ο άξονας Z προς τον ουρανό. Το σημείο εκκίνησης κάθε καμπύλης είναι οι τιμές του μαγνητικού πεδίου της γης στο σημείο που βρίσκεται τοποθετημένος ο μαγνητικός αισθητήρας:

Το πεδίο στο συγκεκριμένο σημείο $(X,Y,Z) = (-24,-187,-554)$ milligauss

Ο τύπος του οχήματος μπορεί να καθοριστεί χρησιμοποιώντας αυτές τις διακυμάνσεις σε συνδυασμό με αλγόριθμους αναγνώρισης προτύπων. Από τις καμπύλες που προέκυψαν μπορούμε να κάνουμε κάποιες παρατηρήσεις σχετικά με το πώς τα οχήματα προκαλούν διακυμάνσεις στο μαγνητικό πεδίο της γης. Για παράδειγμα η μεγαλύτερη απόκλιση σε κάθε καμπύλη παρουσιάζεται την χρονική στιγμή που η μηχανή του οχήματος περνά πάνω από τον αισθητήρα (περίπου στο σημείο 51 του άξονα του χρόνου). Οι άξονες Y και Z παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες στα δύο οχήματα όμως στη συγκεκριμένη περίπτωση ο άξονας X είναι μοναδικός για κάθε τύπο οχήματος. Εάν γνωρίζουμε την ταχύτητα του οχήματος μπορούμε να υπολογίσουμε επακριβώς και το μήκος του. Χρησιμοποιώντας έναν δεύτερο αισθητήρα σε μικρή απόσταση από τον πρώτο, μπορούμε να μετρήσουμε το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί για να εμφανιστεί η διαταραχή του οχήματος στα διαγράμματα εξόδου των δυο αισθητήρων.



Σχήμα 4.7: Διαταραχές του πεδίου της γης από ένα βαν (αριστερά) και ένα αυτοκίνητο (δεξιά)



Σχήμα 4.8: Προσανατολισμός του αισθητήρα

Έτσι γνωρίζοντας την απόσταση και τον χρόνο που έκανε για να την διανύσει μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του οχήματος. Με την βοήθεια του τέταρτου κατά σειρά διαγράμματος στο σχήμα 4.7, που μας δείχνει την συνολική διαταραχή, βρίσκουμε το χρονικό διάστημα που παρέμεινε κάθε όχημα πάνω στον αισθητήρα. Η πληροφορία αυτή σε συνδυασμό με την ταχύτητα μας δίνει το μήκος του οχήματος. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως ο μήκος του οχήματος αποτελεί πολύ βασικό κριτήριο στην κατηγοριοποίηση των οχημάτων.

4.3.3 Κατεύθυνση και παρουσία οχημάτων

Για τον απλό εντοπισμό της παρουσίας και της κατεύθυνσης ενός οχήματος δεν απαιτείται τόση λεπτομέρεια όση στην κατηγοριοποίηση των οχημάτων. Επίσης δεν είναι επιθυμητό να γίνονται τομές στην ασφάλτο για την τοποθέτηση του μαγνητικού αισθητήρα στη μέση μιας λωρίδας κυκλοφορίας. Αντιθέτως είναι προτιμότερο να τοποθετείται στην άκρη του πεζοδρομίου κατά μήκος του αυτοκινητόδρομου που παρακολουθείται. Οι αισθητήρες AMR μπορούν εύκολα να ρυθμιστούν ώστε να εντοπίζουν οχήματα αξιόπιστα και με αυτόν τον τρόπο.

Μια τυπική εγκατάσταση αισθητήρα που αφορά στην παρουσία και στην κατεύθυνση οχημάτων φαίνεται στο σχήμα 4.8. Ο μαγνητικός αισθητήρας βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους και φαίνεται ο προσανατολισμός του σε σχέση με την κίνηση του οχήματος.

Για το πείραμα αυτό, ένα αυτοκίνητο (sedan) πέρασε δίπλα από τον αισθητήρα σε απόσταση 30 cm και 90 cm. Οι τιμές των αξόνων X, Y και Z που λήφθηκαν φαίνονται

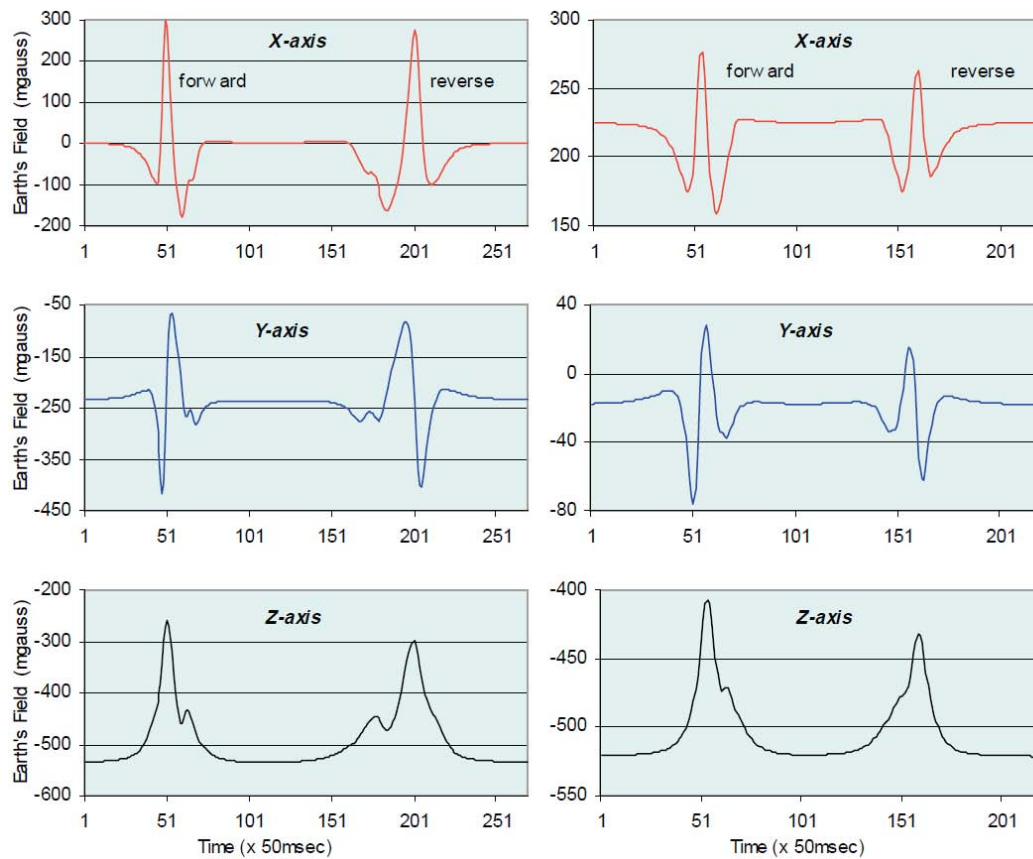
στο σχήμα 4.9 αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Η διαφορά ανάμεσα στις καμπύλες είναι ότι αριστερά ο αισθητήρας βρίσκεται σε απόσταση 30 cm από το όχημα το οποίο κινείται σε κατεύθυνση βορρά-νότου. Στα αριστερά ο αισθητήρας απέχει 90 cm από το όχημα το οποίο κινείται σε κατεύθυνση ανατολής-δύσης. Καθένα από τα επιμέρους διαγράμματα παρουσιάζει δύο διακυμάνσεις: η πρώτη οφείλεται στην εμπρός πορεία του αυτοκινήτου και η δεύτερη στην οπίσθια.

Όπως είναι φυσιολογικό στην περίπτωση του σχήματος 4.9(αριστερά) έχουν καταγραφεί πιο λεπτομερείς καμπύλες εξαιτίας της κοντινότερης απόστασης μεταξύ του αισθητήρα και του οχήματος. Επίσης το πλάτος των κορυφών δεξιά είναι μικρότερο από ότι αριστερά. Η ταχύτητα του οχήματος κατά την πίσω κίνηση είναι μικρότερη απ' ότι κατά την εμπρός, κάτι το οποίο φαίνεται και από τα διαγράμματα. Επιπλέον, μεγάλης σημασίας είναι η συμμετρία που παρουσιάζουν τα διαγράμματα για κίνηση του οχήματος προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Οι ομοιότητες στην κίνηση μεταξύ των διευθύνσεων βορρά-νότου και ανατολής-δύσης στα επιμέρους διαγράμματα είναι επίσης πολύ σημαντικές. Αυτό σημαίνει ότι ανεξαρτήτως της διεύθυνσης που κινείται μέσα στο μαγνητικό πεδίο της γης, το όχημα παράγει μια χαρακτηριστική υπογραφή που μας επιτρέπει να το αναγνωρίσουμε ανάμεσα σε άλλα οχήματα.

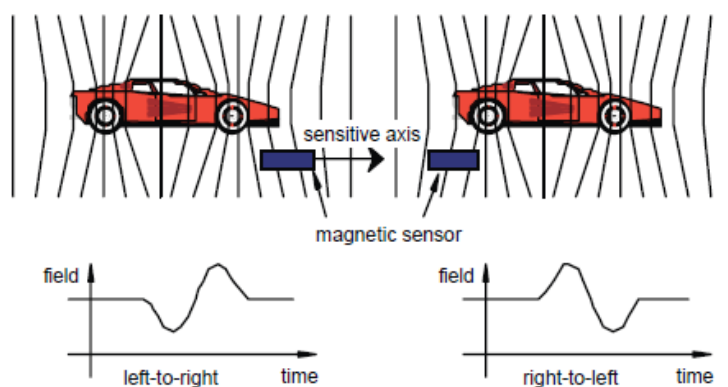
Κατεύθυνση οχήματος

Ο εντοπισμός της κατεύθυνσης των οχημάτων μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο σε θέματα ασφάλειας. Για παράδειγμα σε εισόδους αυτοκινητόδρομων που δεν είναι εμφανείς, σε τούνελ όπου ενεργοποιούν προειδοποιητικές φωτεινές πινακίδες, όπως επίσης και σε τραίνα για την διαχείριση διαβάσεων. Αναλύοντας την διαταραχή που προκαλεί το πέρασμα ενός οχήματος μπορούμε με την χρήση ενός μονοδιάστατου αισθητήρα να εντοπίσουμε την κατεύθυνση του οχήματος.

Ο αισθητήρας τοποθετείται ώστε ο άξονας του να βρίσκεται παράλληλα με την κίνηση του οχήματος όπως φαίνεται στο σχήμα 4.10. Στην περίπτωση που δεν εντοπίζεται κανένα όχημα, η έξοδος του αισθητήρα παραμένει σταθερή στην τιμή που οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο της γης. Καθώς ένα αυτοκίνητο αρχίζει να προσεγγίζει την περιοχή, οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου της γης θα αρχίσουν να συγχλίνουν προς αυτό. Εάν ο άξονας του αισθητήρα δείχνει προς τα δεξιά και το αυτοκίνητο



Σχήμα 4.9: Μαγνητικές υπογραφές του ίδιου οχήματος από διαφορετικές αποστάσεις



Σχήμα 4.10: Ανίχνευση κατεύθυνσης οχήματος

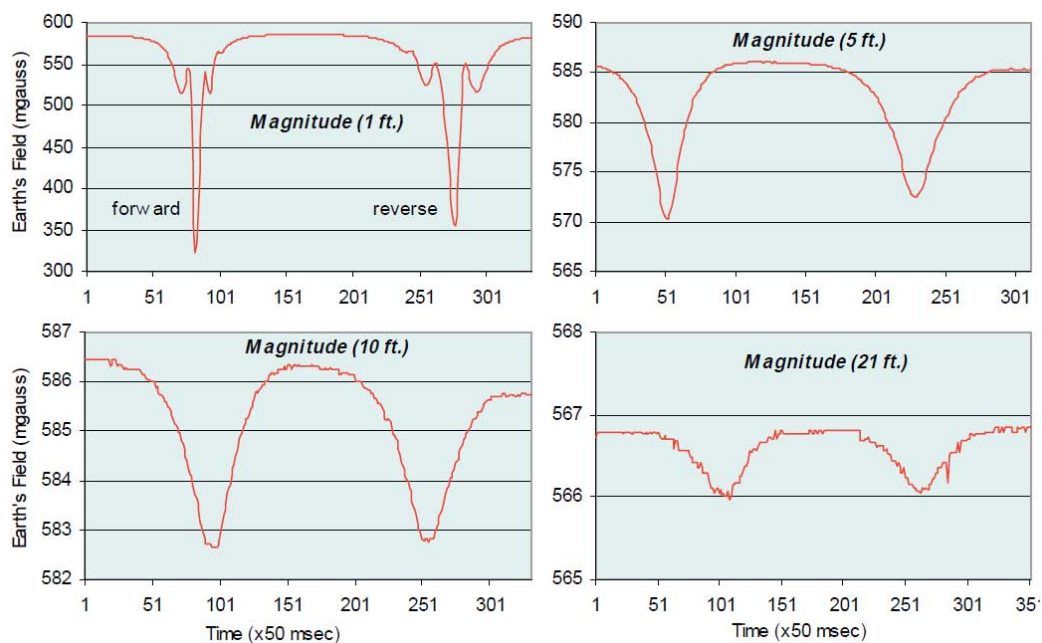
ταξιδεύει από αριστερά προς τα δεξιά, τότε θα παρατηρηθεί αρχικά μια μείωση στην τιμή της εξόδου του μαγνητομέτρου λόγω της κάμψης των μαγνητικών γραμμών προς τα αριστερά. Έτσι, η πρώτη μαγνητική απόκλιση από την αρχική τιμή είναι προς την αρνητική κατεύθυνση.

Στη συνέχεια όταν το αυτοκίνητο και ο αισθητήρας βρίσκονται στην ίδια ακριβώς ευθεία, τότε στην έξοδο παρατηρούμε ίδια τιμή με την αρχική. Καθώς το όχημα φεύγει προς τα δεξιά οι μαγνητικές γραμμές συγκλίνουν προς αυτό κατά την θετική μεριά του άξονα. Αυτό προκαλεί μια αύξηση σε σχέση με την αρχική τιμή. Τέλος όταν το όχημα βρίσκεται εκτός εμβέλειας τότε ο αισθητήρας επιστρέφει και πάλι στην αρχική του τιμή. Η διαδικασία αυτή απεικονίζεται στο πρώτο γράφημα του σχήματος 4.10. Με παρόμοιο τρόπο εξηγείται και η κίνηση του αυτοκινήτου από τα δεξιά προς τα αριστερά που φαίνεται στο δεύτερο γράφημα του σχήματος 4.10.

Το παραπάνω μοντέλο επιβεβαιώνεται και από το προηγούμενο πείραμα, αρκεί να εξετάσουμε τον άξονα Y που είναι παράλληλος στην φορά της κίνησης (βλ. σχήμα 4.9). Ο άξονας κοιτάει προς τα αριστερά ενώ το όχημα κινείται από τα δεξιά προς τα αριστερά, γι' αυτό και αρχικά παρατηρούμε πτώση στις τιμές του μαγνητόμετρου.

Παρουσία οχήματος

Σε έναν αισθητήρα όπου ο άξονας Z δείχνει προς τα επάνω μπορεί πολύ εύκολα να εντοπιστεί η παρουσία ενός οχήματος. Η καμπύλη κορυφώνεται όταν ο αισθητήρας



Σχήμα 4.11: Ισχύς μαγνητικών διαταραχών από διαφορετικές αποστάσεις

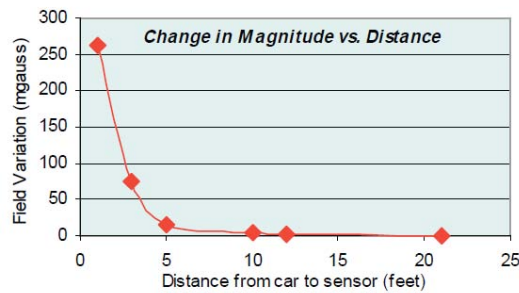
βρίσκεται στην ίδια ευθεία με το αυτοκίνητο. Παρόλα αυτά, όπως είδαμε, η απόσταση του αισθητήρα από το όχημα δεν επηρεάζει τον εντοπισμό αλλά καλό είναι να εφαρμόζονται κάτω όρια ώστε να εξαλείφονται παρεμβολές από γειτονικές λωρίδες ή από οχήματα που κινούνται σε απόσταση.

Ένας άλλος τρόπος να ανιχνεύσουμε την παρουσία ενός οχήματος είναι υπολογίζοντας την ισχύ της μαγνητικής διαταραχής:

$$Magnitude = (X^2 + Y^2 + Z^2)$$

Η διακύμανση της ισχύος υποδεικνύει την συνολική διαταραχή του μαγνητικού πεδίου της γης. Στο σχήμα 4.11 φαίνονται οι καμπύλες που δημιουργούνται από την κίνηση ενός αυτοκινήτου σε απόσταση 1, 5, 10 και 21 ποδιών από τον αισθητήρα.

Οι μορφές των διαγραμμάτων στο σχήμα 4.11 είναι παρόμοιες μεταξύ τους ωστόσο διαφέρουν κατά πολύ στην ισχύ του σήματος. Η αλλαγή στην ισχύ φαίνεται να μειώνεται απότομα για απόσταση από 1 μέχρι 5 πόδια. Στο σχήμα 4.12 φαίνεται αυτή η απότομη μείωση στην αλλαγή των τιμών. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να φανεί



Σχήμα 4.12: Πτώση ισχύος σε συνάρτηση με την απόσταση

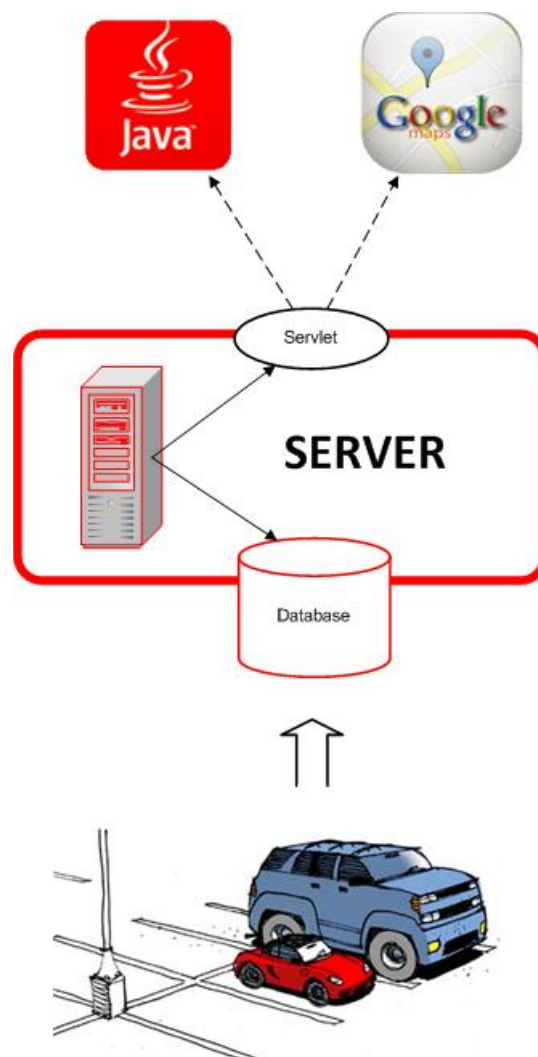
εξαιρετικά χρήσιμο όταν ο αισθητήρας απαιτείται να εντοπίσει οχήματα σε μια λωρίδα αυτοκινητόδρομου ενώ παράλληλα χρησιμοποιούνται και οι γειτονικές.

Συμπεραίνουμε ότι οι αισθητήρες AMR λειτουργούν καλά με τοποθέτηση στην άκρη του πεζοδρομίου σε αποστάσεις από ένα έως τέσσερα πόδια. Τόσο η παρουσία όσο και η κατεύθυνση των οχημάτων που περνούν κοντά του μπορούν να προσδιοριστούν αξιόπιστα. Το πλεονέκτημα αυτού του είδους ανίχνευσης είναι ότι δεν χρειάζεται να γίνουν τομές στην επιφάνεια της ασφάλτου καθώς αρκεί η τοποθέτηση του αισθητήρα σε ειδικό περίβλημα από αλουμίνιο.

Οι ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής εντοπισμού οχημάτων καθορίζουν το που τοποθετείται ο αισθητήρας και σε πόση απόσταση. Τοποθετώντας τον αισθητήρα μέσα στον δρόμο ώστε το αυτοκίνητο να περνά από πάνω του, μπορεί να επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τον υπολογισμό ταχύτητας και την κατηγοριοποίηση οχήματος. Από την άλλη, έχοντας τον αισθητήρα σε απόσταση μπορεί να είναι καταλληλότερο για τον απλό εντοπισμό οχημάτων και κατεύθυνσης.

5 Αρχιτεκτονική συστήματος

5.1 Περιγραφή του συστήματος



Σχήμα 5.1: Αρχιτεκτονική του συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος φαίνεται στο σχήμα 5.1. Όπως βλέπουμε αποτελείται από δύο βασικά επίπεδα:

- (1) το επίπεδο των αισθητήρων και
- (2) το επίπεδο των servers.

Το επίπεδο των αισθητήρων ευθύνεται για την λήψη των μετρήσεων και την απόφαση σχετικά με το αν εντοπίζεται όχημα ή όχι. Οι πληροφορίες αυτές διαβιβάζονται μέσω ενός ενδιάμεσου επιπέδου (του basestation) στην βάση δεδομένων που βρίσκεται στον server του συστήματος. Επίσης, στον server τρέχει το servlet της εφαρμογής, στο οποίο συνδέεται ο χρήστης μέσω του applet ή του google maps. Τόσο οι συσκευές όσο και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκαν στα επίπεδα αυτά αναλύεται στις παρακάτω ενότητες.

5.2 Hardware

Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται οι διαφορετικές συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος.

5.2.1 Mica2

Η αρχική επιλογή για την υλοποίηση του επιπέδου των αισθητήρων ήταν το Mica2 της Crossbow [20] που φαίνεται στο σχήμα 5.2. Το Mica2 είναι ένα mote τρίτης γενιάς που εφαρμόζεται στην κατασκευή ασύρματων δικτύων αισθητήρων χαμηλής ισχύος και τρέχει σε περιβάλλον TinyOS. Πρόκειται για ένα από τα πιο πρόσφατα ανεπτυγμένα εμπορικά διαθέσιμα μοντέλα και χρησιμοποιείται από εκατοντάδες ομάδες έρευνας σε ολόκληρο τον κόσμο.

Κατασκευάζεται από έτοιμα εξαρτήματα και περιλαμβάνει ένα μεγάλο σύνδεσμο διεπαφής παρέχοντας τη δυνατότητα προσάρτησης μιας σειράς από αισθητήρες. Υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος ασύρματων δικτύων ενώ δεν απαιτεί την χρήση προκαθορισμών πρωτοκόλλων, προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία. Διαθέτοντας μεγάλο πλήθος από I/O pins και δυνατότητες επέκτασης, το Mica2 είναι μια από τις καλύτερες επιλογές κόμβων-αισθητήρων σε περιπτώσεις όπου το μέγεθος και το κόστος δεν είναι



Σχήμα 5.2: Mica2 mote

σημαντικοί παράγοντες. Για παράδειγμα, συνδέεται εύκολα σε ανιχνευτές κίνησης και σε επαφές παραθύρων και θυρών, που είναι απαραίτητα για συστήματα ασφάλειας σε κτίρια.

Η Crossbow προσφέρει ένα πλήθος από πλατφόρμες αισθητήρων που συνδέονται στο Mica2. Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιήθηκε το MTS310CB (σχ. 5.3). το οποίο είναι εξοπλισμένο με τους εξής αισθητήρες:

- Μικρόφωνο
- Ηχείο
- Αισθητήρας φωτός
- Αισθητήρας Θερμοκρασίας
- Επιταχυνσιόμετρο
- Μαγνητόμετρο

Συγκεκριμένα, ο μαγνητικός αισθητήρας είναι ο HMC 1002 της Honeywell [21], ο οποίος είναι τεχνολογίας AMR και διαθέτει δύο άξονες που μπορούν να μετρήσουν την κατεύθυνση και την ισχύ μαγνητικών πεδίων εύρους από δεκάδες micro-gauss έως 6 gauss (το μαγνητικό πεδίο της γης είναι 0.5 gauss).

5.2.2 iSense

Μια άλλη λύση που δοκιμάστηκε είναι οι αισθητήρες iSense της Coalesenses [24], η οποία προσφέρει ένα σύνολο από συσκευές και λογισμικό για χρήση σε ασύρματα



Σχήμα 5.3: Mica2 basic sensor board



Σχήμα 5.4: iSense core module και vehicle detection module

δίκτυα αισθητήρων. Οι αισθητήρες αποτελούνται από μια μονάδα επεξεργασίας και ασύρματης επικοινωνίας (core module – σχ. 5.4), η οποία συνδυάζεται με plug-and-play τρόπο με μια ποικιλία αισθητήρων και μονάδων παροχής ενέργειας, για την δημιουργία των επιθυμητών συσκευών.

Οι αισθητήρες τρέχουν ειδικά διαμορφωμένο firmware της iSense για την λειτουργία και την επικοινωνία τους. Επίσης, παρέχεται ένα σύνολο από έτοιμο λογισμικό, όπως drivers και πρωτόκολλα επικοινωνίας, το οποίο είναι σχεδιασμένο για λειτουργία με τους συγκεκριμένους αισθητήρες. Ο προγραμματισμός των αισθητήρων είναι αντικειμενοστραφής και γίνεται σε γλώσσα C++, γεγονός που κάνει τις εφαρμογές πιο ελαφριές αλλά περιεκτικές.



Σχήμα 5.5: Gateway module

Το core module αποτελείται από τον μικροελεγκτή JN5139 της Jennic [25], ο οποίος είναι ένας ασύρματος μικροελεγκτής χαμηλής ισχύος και χαμηλού κόστους, κατάλληλος για IEEE 802.15.4 και ZigBee εφαρμογές. Χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με το vehicle detection module (σχ. 5.4), το οποίο αποτελείται από έναν αισθητήρα AMR δύο αξόνων συνδεδεμένο κατά κατιούσα παράθεση με δύο στάδια ενίσχυσης και επιπλέον κυκλώματα ελέγχου και αντιστάθμισης. Για να προφέρει μεγάλη εμβέλεια ανίχνευσης που φτάνει τα 7 μέτρα, η μονάδα μπορεί να ρυθμιστεί σε δύο ευαισθησίες. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ένα gateway module (σχ. 5.5) για την σύνδεση του αισθητήρα με τον υπολογιστή και την ανάκτηση των δεδομένων μέσω του iShell (ενότητα 5.3.2).

5.2.3 Επιλογή κατάλληλου αισθητήρα

Έπειτα από αξιολόγηση και των δύο λύσεων (Mica2, iSense) αποφασίστηκε ότι είναι προτιμότερη η χρήση των iSense για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας λόγω:

- Της μεγαλύτερης αξιοπιστίας των μετρήσεων AMR του iSense που διαπιστώθηκε από αρχικές δοκιμές. Το γεγονός αυτό παίζει μεγάλο ρόλο στην εξαγωγή πολύπλοκων συμπερασμάτων, όπως η κατηγορία ενός οχήματος. Αντίθετα, οι μετρήσεις του Mica2 έδειξαν αστάθεια, σε σημείο που ορισμένες φορές ήταν αδύνατος ακόμα και ο απλός εντοπισμός ενός οχήματος.
- Της παροχής έτοιμων βιβλιοθηκών για τα iSense, που έχει ως αποτέλεσμα να αποφεύγεται η ανάγκη υλοποίησης δύσκολων ζητημάτων όπως πρωτόκολλα



Σχήμα 5.6: ALIX system board

επικοινωνίας, διαχείριση των αισθητήρων σε χαμηλό επίπεδο, διαχείριση μνήμης και εξοικονόμηση ενέργειας. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα επικέντρωσης στους σκοπούς αυτής της έρευνας, που είναι περισσότερο η ανάπτυξη και η εφαρμογή ενός απλού συστήματος παρακολούθησης χώρων στάθμευσης παρά η υλοποίηση π.χ. ενός κατάλληλου για την περίπτωση αλγορίθμου δρομολόγησης, όπως είδαμε στο [9].

- Της αντικειμενοστρέφειας του προγραμματισμού των iSense, το οποίο οδηγεί σε απλό, κομψό και εύκολα επεκτάσιμο κώδικα.

5.2.4 Basestation

Το basestation προσφέρει μια αποδοτική και αξιόπιστη διασύνδεση μεταξύ του επιπέδου των αισθητήρων και του server του συστήματος. Διαθέτει συνεχή πρόσβαση στο διαδίκτυο, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο στα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες και φτάνουν στο basestation, να προωθούνται στην βάση δεδομένων του συστήματος.

Για την υλοποίηση του basestation χρησιμοποιήθηκε ένα ALIX της PC Engines (σχ. 5.6). Πρόκειται για ένα μικρό system board το οποίο υποστηρίζει μια ποικιλία λειτουργικών συστημάτων ενώ διαθέτει πρόσβαση Wi-Fi ώστε να μπορεί να συνδεθεί σε οποιοδήποτε ασύρματο access point.

5.2.5 Server

Ο server του συστήματος φιλοξενείται από έναν υπολογιστή στο σπίτι ο οποίος προσφέρει πρακτικά απεριόριστη υπολογιστική ισχύ και αποθηκευτικό χώρο για τις ανάγκες της εφαρμογής. Είναι διαρκώς προσβάσιμη και διαθέτει την βάση δεδομένων όπου συνδέονται οι κόμβοι για να αποθηκεύσουν τα δεδομένα τους. Επίσης, στον server τρέχει ένα servlet στο οποίο συνδέονται οι χρήστες του συστήματος μέσω του applet για να αντλήσουν τις επιθυμητές πληροφορίες. Ο server τρέχει σε Windows 7, με εγκατεστημένες τις τελευταίες εκδόσεις της MySQL και του Apache Tomcat. Οι υπηρεσίες που προσφέρει αυτό το επίπεδο περιγράφονται αναλυτικότερα στην ενότητα 5.4.

5.2.6 Προστασία/τροφοδοσία των αισθητήρων

Λόγω της εξωτερικής φύσης του συστήματος είναι αναγκαία η χρήση ειδικών θηκών (casing), όπου τοποθετούνται οι αισθητήρες, με σκοπό να τους προστατεύονται από το περιβάλλον και από τις καιρικές συνθήκες (βροχή, υγρασία, σκόνη κτλ). Βέβαια, χρειάζεται προσοχή στην επιλογή του υλικού της θήκης, καθώς η χρήση μεταλλικού για παράδειγμα περιβλήματος, ενώ θα παρέχει καλή προστασία, θα παρεμβάλλεται στις μετρήσεις του μαγνητόμετρου καθώς και θα καθιστά σχεδόν αδύνατη την επικοινωνία.

Επίσης, είναι απαραίτητη η τροφοδοσία των αισθητήρων. Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιήθηκε το solar power harvesting system της iSense. Το σύστημα προσφέρει μια ολοκληρωμένη λύση αυτο-τροφοδότησης των αισθητήρων συλλέγοντας ηλιακή ενέργεια και αποθηκεύοντας την σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, συμβάλλοντας έτσι στην εξοικονόμηση ενέργειας. Παράλληλα, προστατεύει τον αισθητήρα περιβάλλοντας τον σε πλαστικό κουτί.

5.3 Λογισμικό

Στις επόμενες ενότητες αναλύεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τους σκοπούς αυτής της έρευνας.

5.3.1 Octopus

Οι αισθητήρες Mica2 χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με το Octopus. Το Octopus είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα για την οπτικοποίηση και τον έλεγχο ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε περιβάλλον TinyOS 2.x. Παρέχει στον χρήστη μια γραφική διεπαφή (GUI) για την παρακολούθηση της τοπολογίας του δικτύου σε πραγματικό χρόνο και την παραμετροποίηση αυτής της προβολής σύμφωνα με τις ανάγκες της εφαρμογής.

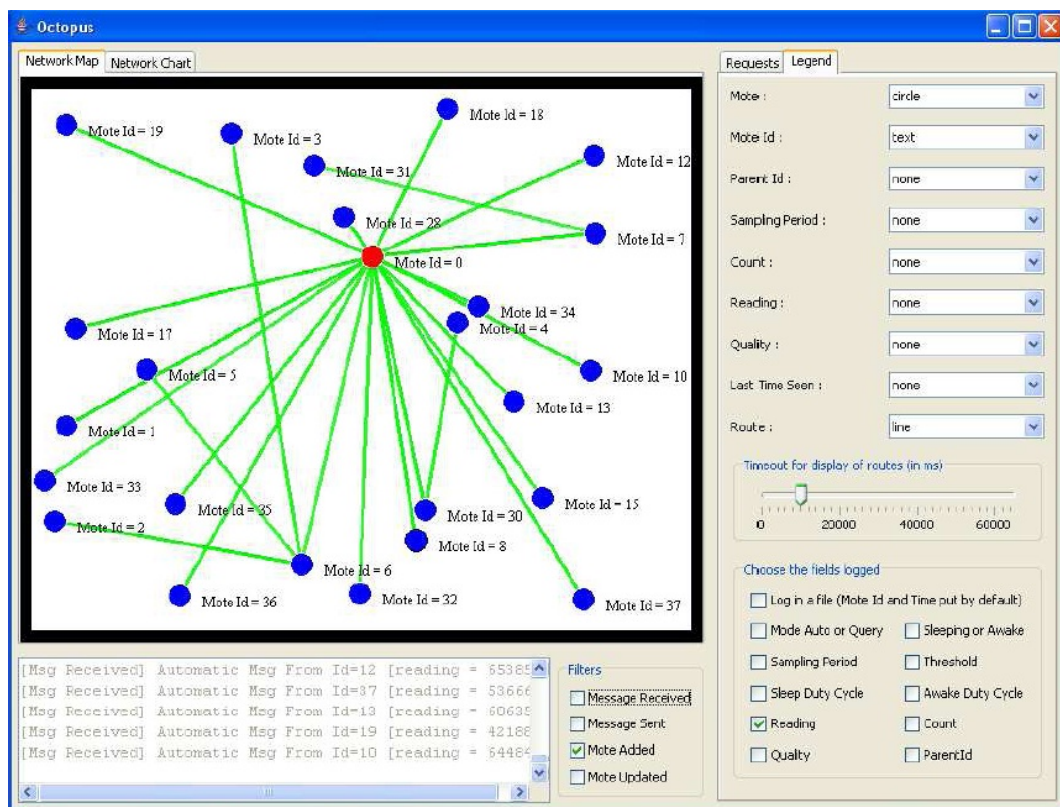
Εκτός από την ακριβή τοπολογία και τις συνδέσεις των κόμβων, παρέχει πληροφορίες όπως η κατάσταση των μπαταριών, καθώς και μετρήσεις από όλους τους διαθέσιμους αισθητήρες. Ακόμα, επιτρέπει στον χρήστη να ελέγχει δυναμικά την συμπεριφορά των κόμβων αισθητήρων, όπως την κατανάλωση ενέργειας, την περίοδο δειγματοληψίας και την συχνότητα λειτουργίας της κεραίας, ενώ υποστηρίζει την υποβολή αιτημάτων στους αισθητήρες.

Το Octopus είναι ανεξάρτητο από όλα τα υποκείμενα πρωτόκολλα, καθώς περιλαμβάνει όλα τα δεδομένα οπτικοποίησης και ελέγχου σε πακέτα του επιπέδου εφαρμογών (application layer). Στο σχήμα 5.7 βλέπουμε ένα στιγμιότυπο της εφαρμογής για τον συντονισμό ενός μεγάλου αριθμού κόμβων.

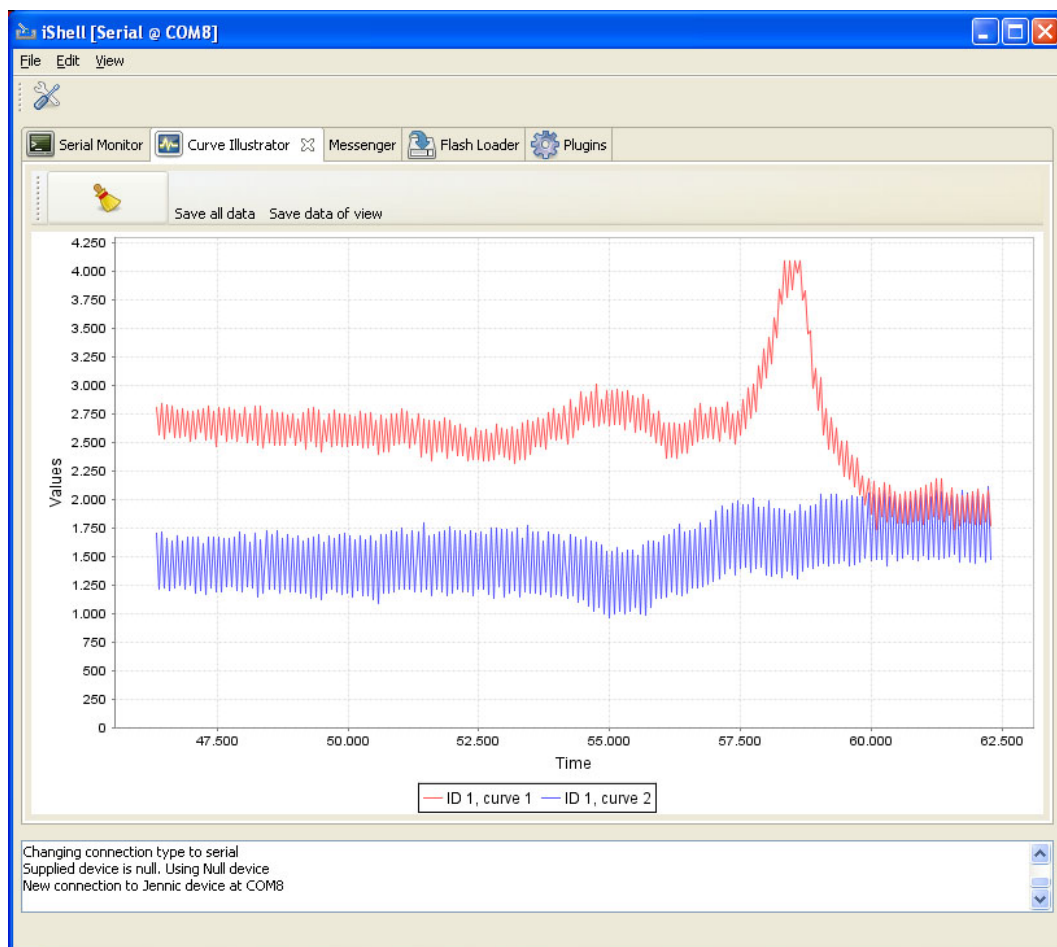
5.3.2 iShell

Το iShell είναι ένα εργαλείο προγραμματισμού, ελέγχου και ανάλυσης το οποίο είναι σχεδιασμένο να αλληλεπιδρά με αισθητήρες που τρέχουν το firmware της iSense. Παρέχει ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών για την διαχείριση ασύρματων δικτύων αισθητήρων, ενώ μπορεί να επεκταθεί με την προσθήκη plugins του χρήστη.

Αρχικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εύκολο προγραμματισμό των συσκευών, είτε με την χρήση καλωδίου είτε ασύρματα. Επιπλέον, μπορεί να εμφανίζει μηνύματα που στέλνονται από τους συνδεδεμένους κόμβους, όπως debug μηνύματα αλλά και δεδομένα μετρήσεων των αισθητήρων, και να τα αναπαριστά σε κατάλληλες γραφικές παραστάσεις (σχ. 5.8). Οι μετρήσεις αυτές μπορούν επίσης να αποθηκευτούν σε μορφή Excel για την μετέπειτα επεξεργασία τους. Τέλος, είναι δυνατή η αποστολή



Σχήμα 5.7: Octopus



Σχήμα 5.8: iShell

μηνυμάτων στους κόμβους ειδοποιώντας τους για την εκτέλεση διαφόρων εντολών όπως calibration, αλλαγή του gain ή αντιστροφή της πολικότητας των αξόνων.

5.3.3 Δειγματοληψία μαγνητομέτρου

Η αρχικοποίηση του μαγνητόμετρου σε iSense γίνεται με την κλήση της συνάρτησης:

`AmrModule(os(), SAMPLE_COUNT, SAMPLE_INTERVAL, BUFFER_SIZE)`

όπου `SAMPLE_COUNT` ο αριθμός των δειγμάτων που θα παρθούν για να υπολογιστεί ο μέσος όρος, `SAMPLE_INTERVAL` το διάστημα σε milliseconds μεταξύ

των δειγμάτων και `BUFFER_SIZE` ο αριθμός των δειγμάτων που πρέπει να παρθούν ανά κανάλι προτού σταλεί ο `buffer` στην εφαρμογή. Το `os()` είναι η αναφορά στο λειτουργικό σύστημα. Έτσι, αν έχουμε παραδείγματος χάριν:

`AmrModule (os(), 4, 5, 25)`

αυτό σημαίνει ότι δείγματα θα λαμβάνονται κάθε 5 ms και θα υπολογίζεται ο μέσος όρος τεσσάρων από αυτά. Ως αποτέλεσμα, οι τιμές που παραδίδονται θα έχουν περίοδο $5 \times 4 = 20$ ms, δηλαδή η συχνότητα δειγματοληψίας θα είναι 50 Hz. Επίσης, ο `buffer` θα παραδίδεται στην εφαρμογή όταν θα έχουν ληφθεί $20 \times 25 = 500$ τιμές, δηλαδή κάθε μισό δευτερόλεπτο. Η παραπάνω ρύθμιση είναι ιδανική για εσωτερικούς χώρους, όπου υπάρχουν παρεμβολές από καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος και τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούν. Στην ενότητα 6.1 εξηγούνται οι διαφορετικές ρυθμίσεις δειγματοληψίας που δοκιμάστηκαν καθώς και αυτή που επιλέχθηκε ως πιο κατάλληλη για την περίπτωση μας.

Όταν ο `buffer` του AMR γεμίσει, στέλνει τις μετρήσεις στην κυρίως εφαρμογή μέσω της δομής `BufferData` που περιέχει τα εξής πεδία:

- *sec*: το δευτερόλεπτο που πάρθηκε η πρώτη μέτρηση στον `buffer`
- *ms*: το χιλιοστό του δευτερολέπτου της πρώτης μέτρησης στον `buffer`
- *dim*: ο αριθμός των διαστάσεων του αισθητήρα (στην περίπτωση του μαγνητόμετρου είναι 2)
- *count*: ο αριθμός των δειγμάτων ανά διάσταση (έστω N)
- *buf[]*: η λίστα με τα ίδια τα δεδομένα του `buffer`

Τα δεδομένα στην λίστα εναλλάσσονται ανά άξονα δηλαδή η λίστα `buf` για ένα μαγνητόμετρο 2 διαστάσεων που περιέχει N δείγματα θα είναι:

<code>x(0)</code>	<code>y(0)</code>	<code>x(1)</code>	<code>y(1)</code>	<code>...</code>	<code>x(N-1)</code>	<code>y(N-1)</code>
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	------------------	---------------------	---------------------

Τέλος, η δομή `BufferData` προωθείται στο `iShell` για την αναπαράσταση των δεδομένων σε γραφική παράσταση (βλ. σχήμα 5.8). Μαζί με τα δεδομένα στέλνεται και η περίοδος δειγματοληψίας για τον σωστό υπολογισμό του άξονα του χρόνου.

5.4 Υπηρεσίες server

Παράλληλα, αναπτύχθηκε ένα πλήθος υπηρεσιών που εκμεταλλεύονται τους αισθητήρες, και είναι διαθέσιμες μέσω της δικτυακής πύλης του συστήματος. Οι υπηρεσίες αυτές αναλύονται παρακάτω.

5.4.1 Applet

Πρόκειται για την κύρια εφαρμογή του συστήματος. Έχει την ικανότητα να συνδέεται στην βάση δεδομένων και να αντλεί στοιχεία δίνοντας έτσι στον χρήστη την δυνατότητα να ενημερώνεται ανά πάσα στιγμή για την κατάσταση του χώρου από οποιοδήποτε υπολογιστή με πρόσβαση στο διαδίκτυο. Οι υπηρεσίες που προσφέρει είναι:

Παρακολούθηση των κόμβων σε πραγματικό χρόνο

Μέσω γραφικής απεικόνισης του χάρτη του χώρου στάθμευσης ο χρήστης ενημερώνεται για την κατάσταση των θέσεων, δηλαδή πόσες και ποιές από αυτές είναι κατειλημμένες, καθώς και τον τύπο των οχημάτων που τις έχουν καταλάβει. Στιγμιότυπο αυτής της λειτουργίας φαίνεται στο σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9

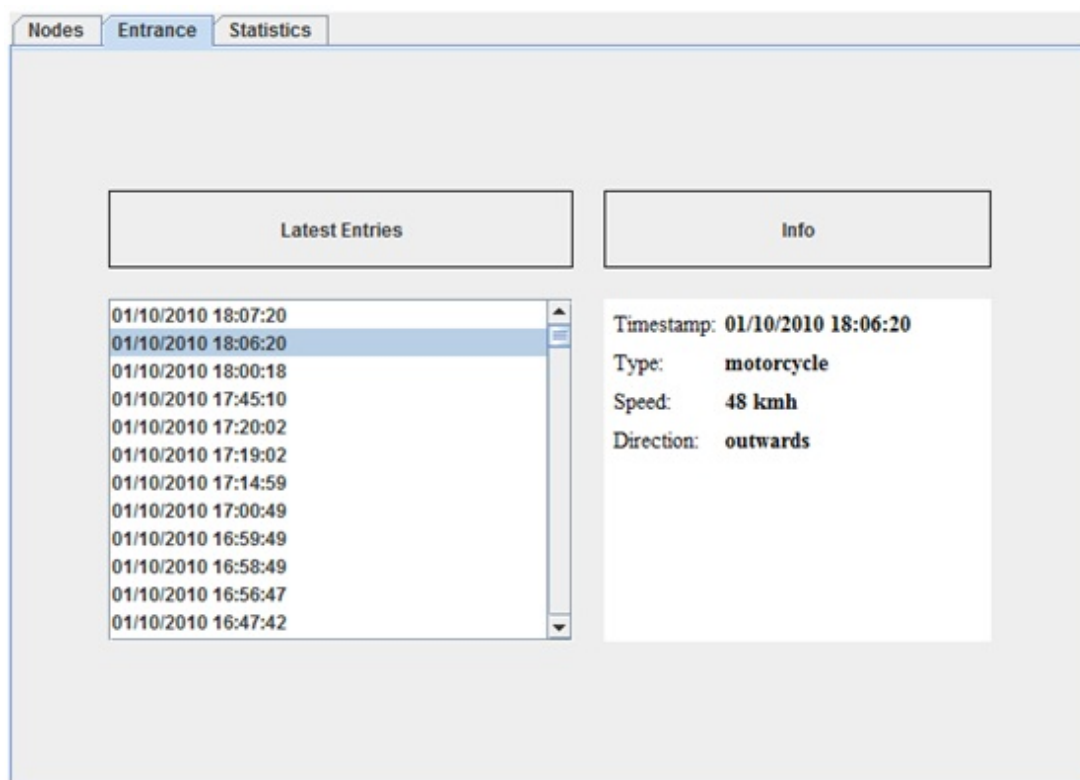
Ακόμα, σε περίπτωση που ο χρήστης πατήσει πάνω σε μία από τις θέσεις, του δίνονται αναλυτικές πληροφορίες όπως ο τύπος του οχήματος, η κατάσταση της μπαταρίας του κόμβου καθώς και πότε επικοινωνήσε τελευταία φορά. Αν έχει περάσει μεγάλο χρονικό διάστημα από την τελευταία επικοινωνία, τότε προβάλλεται το αντίστοιχο μήνυμα. Στιγμιότυπο φαίνεται στο σχήμα 5.10.



Σχήμα 5.10

Παρακολούθηση της εισόδου του χώρου στάθμευσης

Με την βοήθεια των αισθητήρων που έχουν τοποθετηθεί στην είσοδο του χώρου στάθμευσης μπορούμε να εντοπίσουμε την παρουσία ενός οχήματος στην είσοδο καθώς και άλλα στοιχεία όπως ο τύπος του και η ταχύτητα κίνησης του. Τέλος, με βάση των τεχνικών που περιγράφηκαν στην ενότητα 4.3.3, μπορούμε να αποφανθούμε για το αν το όχημα εισήλθε προς ή εξήλθε από τον χώρο στάθμευσης. Παράδειγμα αυτής της λειτουργίας βλέπουμε στο σχήμα 5.11.



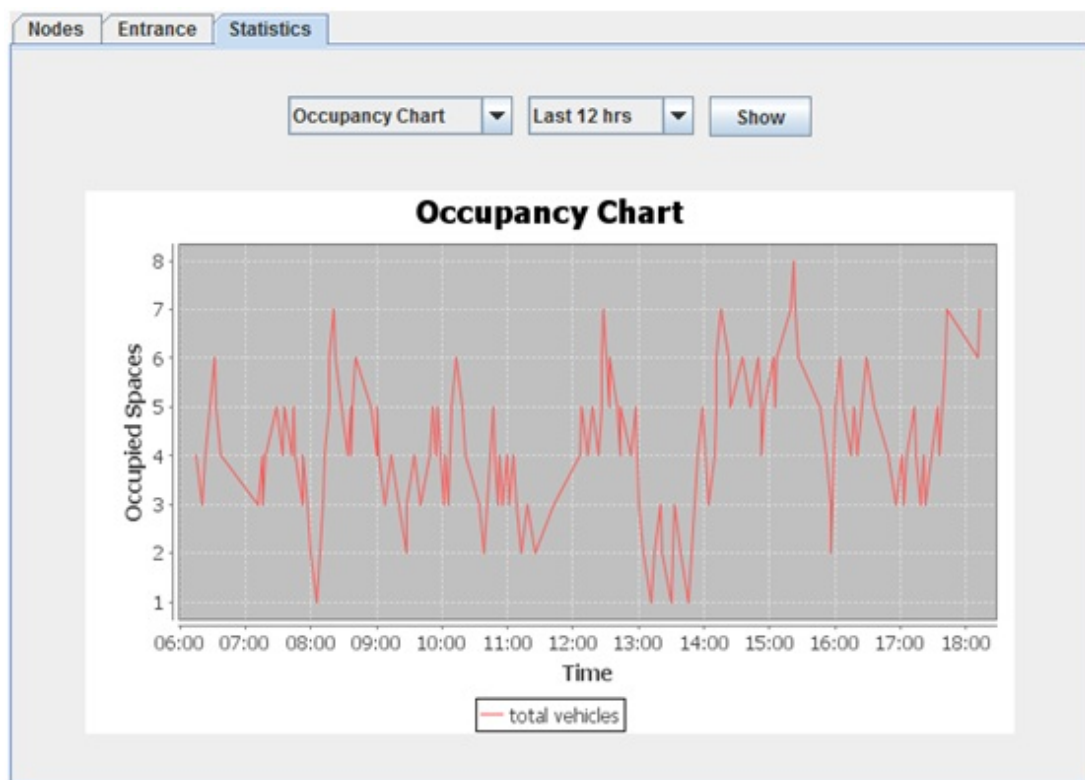
Σχήμα 5.11

Στατιστικά στοιχεία

Έπειτα από επεξεργασία των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στη βάση, και με τη βοήθεια του πακέτου JFreeChart [19], το applet είναι σε θέση να προσφέρει μια ποικιλία γραφικών παραστάσεων με στατιστικά στοιχεία που αφορούν την χρήση του χώρου στάθμευσης. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- Γραφική παράσταση πλήθους οχημάτων

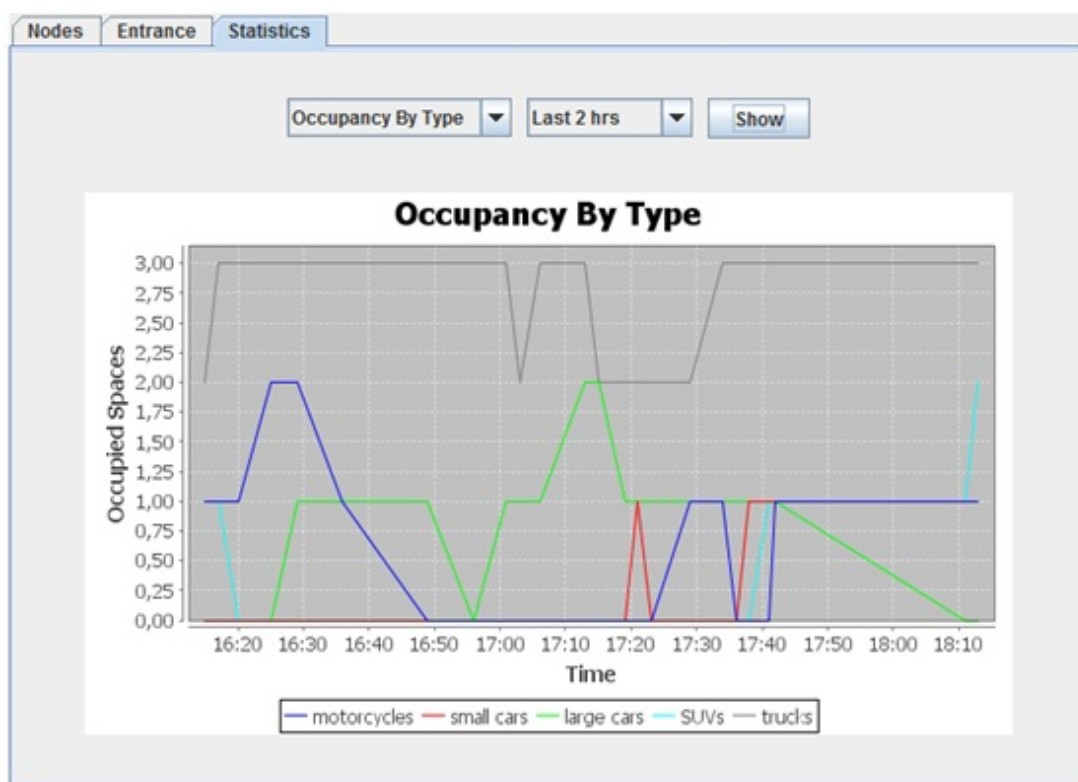
Παριστάνεται το πλήθος των οχημάτων που είναι σταθμευμένα στον χώρο σε συνάρτηση με τον χρόνο. Δίνεται η επιλογή για την προβολή στατιστικών στο διάστημα των τελευταίων 2, 12 και 24 ωρών λειτουργίας του parking. Στο σχήμα 5.12 βλέπουμε την γραφική παράσταση για τις τελευταίες 12 ώρες.



Σχήμα 5.12

- Γραφική παράσταση πλήθους οχημάτων ανά τύπο

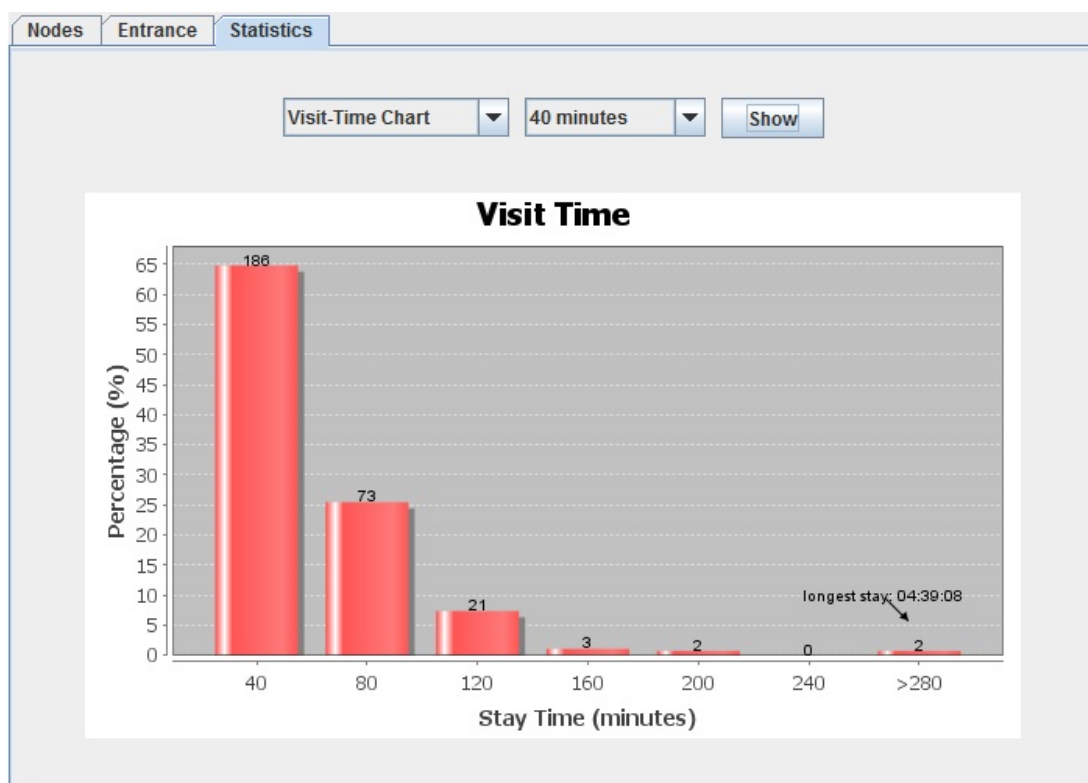
Πρόκειται για την ίδια γραφική παράσταση με παραπάνω, αλλά τα οχήματα αναπαριστώνται ανά τύπο. Στο σχήμα 5.13 φαίνεται το διάγραμμα για τις τελευταίες 2 ώρες.



Σχήμα 5.13

- Ιστόγραμμα ποσοστών χρόνου παραμονής

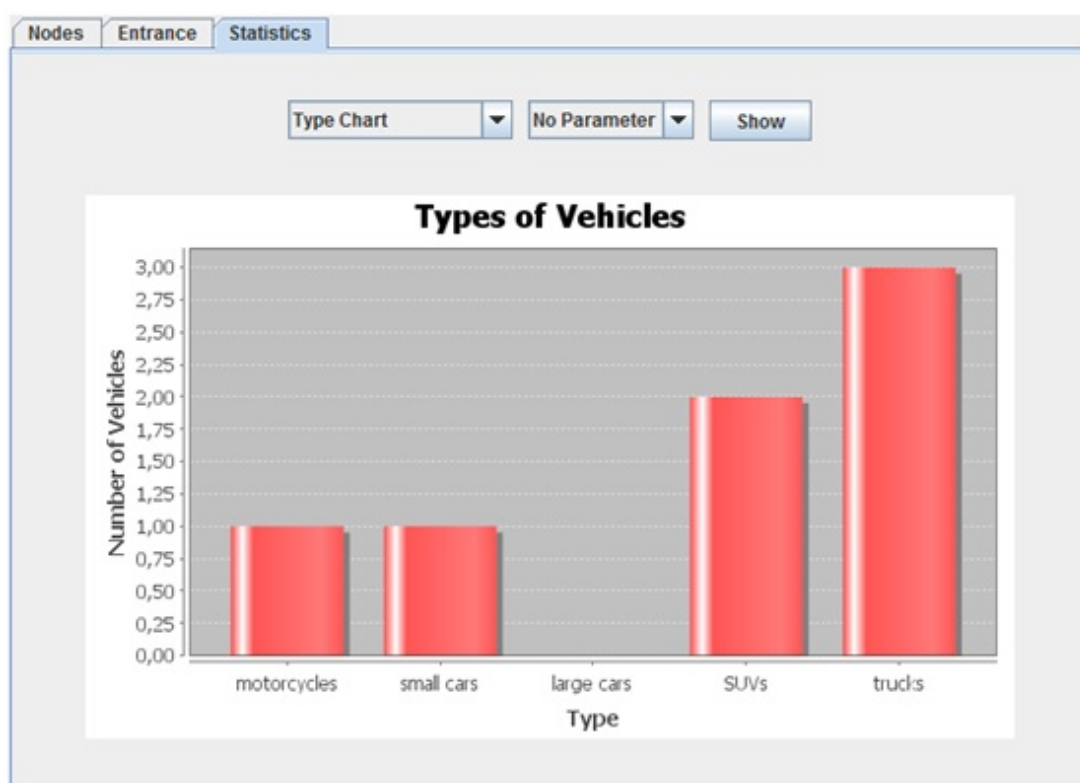
Αναπαριστά σε ποσοστά τον χρόνο παραμονής όλων των οχημάτων που έχουν επισκεφτεί τον χώρο μέχρι στιγμής. Δίνεται η επιλογή ομαδοποίησης των χρόνων σε διαστήματα 20, 40 και 60 λεπτών. Επίσης, αναγράφεται το πλήθος των οχημάτων που ανήκουν σε κάθε κατηγορία καθώς και ο μεγαλύτερος χρόνος παραμονής. Στο σχήμα 5.14 βλέπουμε τον διάγραμμα χρόνου παραμονής ομαδοποιημένο ανά διαστήματα των 40 λεπτών.



Σχήμα 5.14

- Ιστόγραμμα πλήθους οχημάτων ανά τύπο

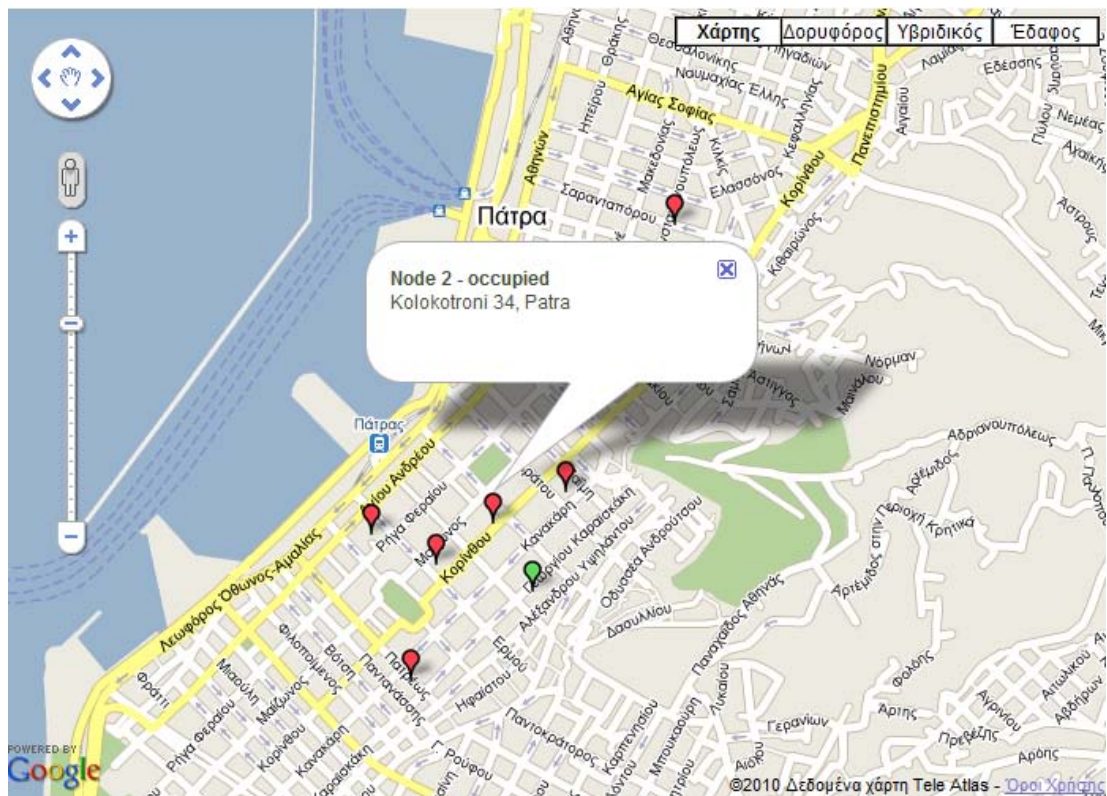
Τέλος, αναπαριστάται σε ιστόγραμμα το πλήθος των οχημάτων ανά κατηγορία που βρίσκονται σταθμευμένα μέσα στον χώρο την παρούσα χρονική στιγμή (σχ. 5.15).



Σχήμα 5.15

5.4.2 Google Maps

Πέρα από τις υπηρεσίες του αππλετ, το σύστημα προσφέρει αναπαράσταση των θέσεων σε πραγματικό χάρτη μέσω google maps (βλ. σχήμα 5.16). Το χαρακτηριστικό αυτό απευθύνεται σε συστήματα παρκαρίσματος όπου οι θέσεις είναι διασκορπισμένες μέσα στην πόλη, για την ευκολότερη πλοήγηση του χρήστη στις διαθέσιμες θέσεις μέσω βοηθητικών συστημάτων GPS. Ακόμα, αν ο χρήστης πατήσει πάνω σε ένα σημείο, προβάλλεται η ακριβής διεύθυνση της θέσης.



Σχήμα 5.16

5.4.3 Επικοινωνία με την βάση δεδομένων

Προκειμένου να ανακτήσει η εφαρμογή τα απαραίτητα δεδομένα για αναπαράσταση πρέπει να επικοινωνήσει με την βάση δεδομένων. Η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται μέσω ενός servlet που τρέχει στον server του συστήματος και έχει άμεση

πρόσβαση στην βάση δεδομένων μέσω JDBC (Java Database Connectivity). Αφού διαβάσει τον τύπο του αιτήματος απαντά με τα ζητούμενα δεδομένα σε μορφή XML. Για παράδειγμα το κείμενο XML που στέλνεται σαν απάντηση στο αίτημα κατάστασης των κόμβων έχει την μορφή:

```
<?xml version="1.0"?>
<network>
  <node>
    <id>0</id>
    <count>338</count>
    <status>1</status>
    <type>4</type>
    <battery>1.0</battery>
    <last_contact>2010-10-06 18:17:19.0</last_contact>
  </node>
  <node>
    <id>1</id>
    <count>334</count>
    <status>1</status>
    <type>4</type>
    <battery>1.0</battery>
    <last_contact>2010-10-06 18:15:18.0</last_contact>
  </node>
  .
  .
  .
  <node>
    <id>7</id>
    <count>361</count>
    <status>1</status>
    <type>1</type>
    <battery>1.0</battery>
    <last_contact>2010-10-06 17:46:02.0</last_contact>
  </node>
</network>
```

όπου *id* είναι το αναγνωριστικό του κόμβου, *count* ο μετρητής του, *status* η κατάσταση του (0 για ελεύθερο ή 1 για κατειλημμένο), *type* η κατηγορία του οχήματος (0 έως 4), *battery* η κατάσταση της μπαταρίας του (0.0 έως 1.0) και *last_contact* η

τελευταία επικοινωνία του κόμβου.

Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται από την κλάση *FeedParser* η οποία αναλαμβάνει να αναλύσει το κείμενο XML και να το μετατρέψει σε άμεσα αναγνώσιμες κλάσεις για το applet.

5.5 Οργάνωση αρχείων

Για τους σκοπούς ανάπτυξης του συγκεκριμένου συστήματος απαιτήθηκε η συγγραφή ενός σημαντικού μέρους κώδικα. Στις επόμενες ενότητες περιγράφεται ο τρόπος οργάνωσης αυτού του κώδικα στα διάφορα αρχεία. Γίνεται διαχωρισμός των αρχείων που απευθύνονται σε διαφορετικές οντότητες του συστήματος π.χ. αισθητήρες, applet, βάση δεδομένων. Παρατίθεται η λίστα των αρχείων για κάθε οντότητα, καθώς και μια μικρή περιγραφή της λειτουργίας του κάθε αρχείου. Οι οντότητες αναλύονται με την σειρά, ξεκινώντας από τα χαμηλότερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής και καταλήγοντας στα υψηλότερα.

5.5.1 Αισθητήρες

Στο κομμάτι αυτό ανήκει το πρόγραμμα που τρέχει στους αισθητήρες. Ο κώδικας περιέχεται στο αρχείο *AmrModuleApplication.cpp* και είναι γραμμένο σε C++. Το compilation του κώδικα γίνεται μέσω του SDK της iSense και το παραγόμενο αρχείο έπειτα φλασάρεται στην μνήμη του αισθητήρα με την βοήθεια του iShell.

5.5.2 Βάση δεδομένων

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες καταχωρούνται απευθείας στην βάση δεδομένων. Οι εντολές δημιουργίας και αρχικοποίησης αυτής της βάσης περιέχονται στο αρχείο *create_db.txt*. Οι εντολές αυτές περιλαμβάνουν την δήλωση των απαραίτητων πινάκων καθώς και την τοποθέτηση κάποιων αρχικών τιμών. Επίσης, δηλώνονται κάποια triggers που σκοπό έχουν την διατήρηση στατιστικών δεδομένων όσον αφορά την χρήση του χώρου στάθμευσης. Παραδείγματος χάριν, κατά την

στάθμευση ενός οχήματος σε μια θέση, καταχωρείται μια νέα εγγραφή με τον νέο αριθμό των οχημάτων που βρίσκονται μέσα στο χώρο. Αντίστοιχα, κατά την έξοδο του οχήματος ο αριθμός αυτός μειώνεται, ενώ υπολογίζεται και ο χρόνος παραμονής του ο οποίος αποθηκεύεται στον αντίστοιχο πίνακα. Τέλος, ορίζεται μια συνάρτηση για την επανεκκίνηση της βάσης δεδομένων, η οποία αναλαμβάνει να καθαρίσει όλους τους πίνακες από όλες τις εγγραφές και να επανεισάγει τις αρχικές τιμές.

5.5.3 Servlet

Η επικοινωνία με την βάση δεδομένων γίνεται αποκλειστικά μέσω του java servlet. Ο κώδικας του servlet περιέχεται στο αρχείο *EchoServlet.java*. Το servlet τρέχει στο ίδιο μηχανήμα με την βάση δεδομένων και αναλαμβάνει να συνδεθεί σε αυτήν με τη βοήθεια του JDBC. Εκτελεί τις απαραίτητες εντολές SELECT και επιστρέφει τα αποτελέσματα στα συνδεδεμένα applet με την μορφή XML, όπως αυτό που είδαμε στην ενότητα 5.4.3.

5.5.4 Applet

Στο κομμάτι αυτό εντάσσεται ο μεγαλύτερος όγκος του κώδικα. Πιο κάτω πα-
ρατίθεται η λίστα των αρχείων μαζί με μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας του καθενός:

- *CarParkGUI.java*: Πρόκειται για το βασικότερο αρχείο καθώς περιέχει το applet που συνιστά την διεπαφή χρήστη. Ευθύνεται για την εκκίνηση και τον συντονισμό όλων των υπολοίπων κλάσεων που περιέχονται στο applet.
- *ParkingMap.java*: Αποτελεί την γραφική απεικόνιση του parking, πάνω στην οποία σχεδιάζονται οι θέσεις στάθμευσης με χρώμα ανάλογο της κατάστασης τους.
- *Node.java*: Ο βασικός τύπος δεδομένων του συστήματος. Περιέχει πληροφορίες για έναν κόμβο όπως αναγνωριστικό, κατάσταση και τελευταία επικοινωνία. Τα δεδομένα που ανακτώνται από τον *FeedParser* επιστρέφονται στην εφαρμογή σε μια λίστα τύπου *Node*.

- *EntranceStat.java*: Τύπος δεδομένων που χρησιμοποιείται για την διατήρηση των γεγονότων της εισόδου.
- *OccupancyStat.java*: Τύπος δεδομένων για χρήση από τις κλάσεις *OccupancyChart* και *OccupancyByTypeChart*.
- *Duration.java*: Τύπος δεδομένων για χρήση από την κλάση *StayTimeChart*.
- *OccupancyChart.java*: Η κλάση που ευθύνεται για την κατασκευή της γραφικής παράστασης του πλήθους των οχημάτων σε συνάρτηση με τον χρόνο. Δέχεται παράμετρο που καθορίζει τα χρονικά περιθώρια της γραφικής παράστασης που θα σχεδιαστεί.
- *OccupancyByTypeChart.java*: Παρόμοια με την *OccupancyChart* με την εξαίρεση ότι τα οχήματα αναπαριστώνται ανά τύπο, δηλαδή η γραφική παράσταση αποτελείται από πέντε γραμμές, όσοι δηλαδή είναι και οι τύποι των οχημάτων. Επίσης δέχεται παράμετρο που καθορίζει τα όρια της γραφικής παράστασης.
- *StayTimeChart.java*: Η κλάση που ευθύνεται για την κατασκευή του ιστογράμματος με το ποσοστό του χρόνου παραμονής των οχημάτων. Δέχεται παράμετρο που καθορίζει το διάστημα ομαδοποίησης των χρόνων, π.χ. ανά 20, 40 ή 60 λεπτά.
- *TypeChart.java*: Η κλάση που ευθύνεται για την κατασκευή του ιστογράμματος με τον αριθμό των οχημάτων κάθε τύπου που βρίσκονται σταθμευμένα μέσα στον χώρο την παρούσα χρονική στιγμή.
- *FeedParser.java*: Πρόκειται για την κλάση που αναλαμβάνει να συνδεθεί στο servlet, να ανακτήσει τα δεδομένα σε μορφή XML και να τα μετατρέψει στους παραπάνω τύπους δεδομένων (*Node*, *EntranceStat*, *OccupancyStat* και *Duration*) τους οποίους επιστρέφει στην κλάση που την κάλεσε.
- *Constants.java*: Περιέχει κάποιες καθολικές σταθερές όπως τον αριθμό των κόμβων και τα ονόματα των τύπων οχημάτων που αναγνωρίζονται.

Όλα τα παραπάνω αρχεία ανήκουν στο πακέτο *carpark*. Το πακέτο αυτό συμπίεζεται μέσα σε ένα jar με το όνομα *carpark.jar* και φορτώνεται στον server του συστήματος. Η ενσωμάτωση του applet στην ιστοσελίδα γίνεται με την παρακάτω δήλωση σε HTML:


```
<applet code="carpark.CarParkGUI.class" width="700" height="500"  
ARCHIVE="carpark.jar , _jcommon-1.0.16.jar , _jfreechart-1.0.13.jar"></applet>
```

όπου τα jcommon-1.0.16.jar και jfreechart-1.0.13.jar περιέχουν τις βιβλιοθήκες των JCommon και JFreeChart αντίστοιχα, και απαιτούνται για την αναπαράσταση των στατιστικών δεδομένων.

5.5.5 Google maps

Για την αναπαράσταση των θέσεων σε google maps έχει χρησιμοποιηθεί javascript. Ο κώδικας περιέχεται στο αρχείο *carpark.js* το οποίο ενσωματώνεται στον κώδικα HTML της ιστοσελίδας όπου θέλουμε να αναπαραστήσουμε τον χάρτη. Αρκεί η προσθήκη των παρακάτω γραμμών στο head της σελίδας:

```
<script src=http://maps.google.com/maps/api/js?sensor=false  
type="text/javascript"></script>  
<script language="javascript" src="scroller.js"></script>
```

Και της παρακάτω δήλωσης στο επιθυμητό σημείο του σώματος της σελίδας:

```
<div id="map" style="width:_700px;_height:_500px"></div>
```

5.5.6 Event generator

Λόγω περιορισμών στις συσκευές που είχαμε στη διάθεση μας, δεν ήταν δυνατή η υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου δικτύου αισθητήρων που να αξιοποιεί πλήρως τις υπηρεσίες που περιγράφονται στην επόμενη ενότητα. Για τον λόγο αυτό γράφτηκε ένα πρόγραμμα, το EventGenerator.java, με σκοπό την παραγωγή “ψεύτικων” γεγονότων και την αποθήκευσή τους στην βάση δεδομένων. Τα γεγονότα αυτά παράγονται μεν με τυχαίο τρόπο, αλλά φροντίζεται ώστε να τηρούν μια λογική συνέπεια όσον αφορά τον τύπο τους και τις χρονικές στιγμές που συνέβησαν. Το πρόγραμμα αναλαμβάνει να γεμίσει την βάση με ρεαλιστικά δεδομένα διάρκειας περίπου δύο εικοσιτετράωρων. Όλα τα στιγμιότυπα της διεπαφής που παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα, βασίζονται σε δεδομένα που παρήχθησαν από τον event generator.

6 Πειραματική αξιολόγηση

Πραγματοποιήθηκε μια σειρά από πειράματα με σκοπό την αξιολόγηση των επιδόσεων του αισθητήρα. Τα πειράματα αυτά αποσκοπούσαν στην αναζήτηση των σωστών ρυθμίσεων δειγματοληψίας του AMR (συχνότητα, χρήση μέσου όρου δειγμάτων) και περιγράφονται στην επόμενη ενότητα. Επίσης, κατά την διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων αντιμετωπίστηκαν κάποιες τεχνικές δυσκολίες, οι οποίες αναλύονται στην ενότητα 6.2.

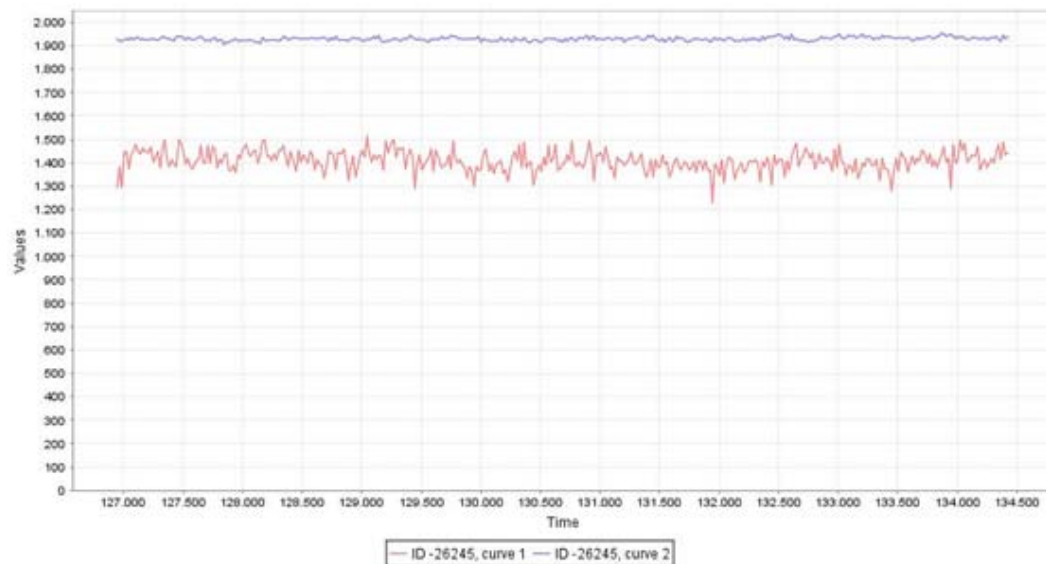
6.1 Διαμόρφωση αισθητήρα

Το πρώτο σύνολο πειραμάτων αφορά την επιλογή της κατάλληλης ρύθμισης για τον αισθητήρα, δηλαδή ο καθορισμός της συχνότητας δειγματοληψίας και η χρήση μέσου όρου με σκοπό την βελτίωση της λειτουργίας του μαγνητόμετρου και την λήψη καλύτερων μετρήσεων. Δοκιμάστηκαν τέσσερις διαμορφώσεις του αισθητήρα σε μια σειρά από τρία πειράματα που περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

6.1.1 Περιγραφή διαμορφώσεων

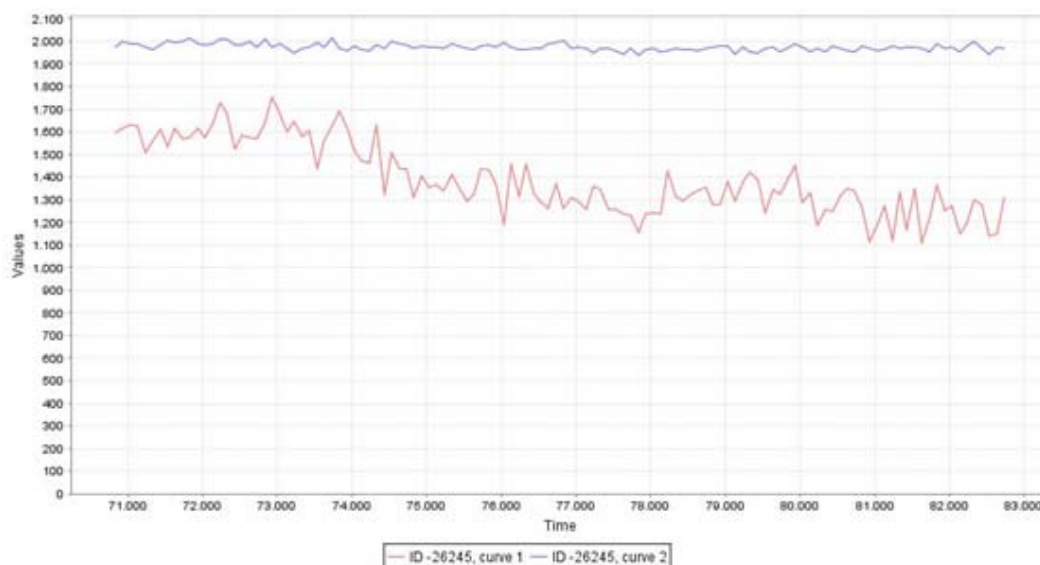
Οι δύο αρχικές υποψήφιες διαμορφώσεις ήταν η διαμόρφωση εσωτερικού χώρου (indoor) και η διαμόρφωση εξωτερικού χώρου (outdoor). Η πρώτη αποτελείται από δειγματοληψία με συχνότητα 50 Hz καθώς και εφαρμογή μέσου όρου που αποτελείται από 4 τιμές. Έτσι το μαγνητόμετρο λαμβάνει τιμές κάθε 5 ms και σε κάθε τετράδα υπολογίζει τον μέσο όρο τον οποίο και παραδίδει στην εφαρμογή με περίοδο 20 ms. Η διαμόρφωση αυτή είναι κατάλληλη για εσωτερικούς χώρους όπου μπορεί να παρεμβάλλεται θόρυβος από μαγνητικά πεδία που προκαλούνται από καλώδια τροφοδοσίας.

Στο σχήμα 6.1 βλέπουμε τις τιμές που μας επιστρέφει το μαγνητόμετρο σε κατάσταση ηρεμίας χωρίς την παρουσία μαγνητικών πεδίων και έπειτα από αλληπαλάλλα calibration. Γενικά, τιμές κοντά στα 2.000 θεωρούνται φυσιολογικές, ενώ τιμές πάνω από 3.000 ή κάτω από 1.000 υποδεικνύουν την παρουσία κάποιου ισχυρού μαγνητικού πεδίου.



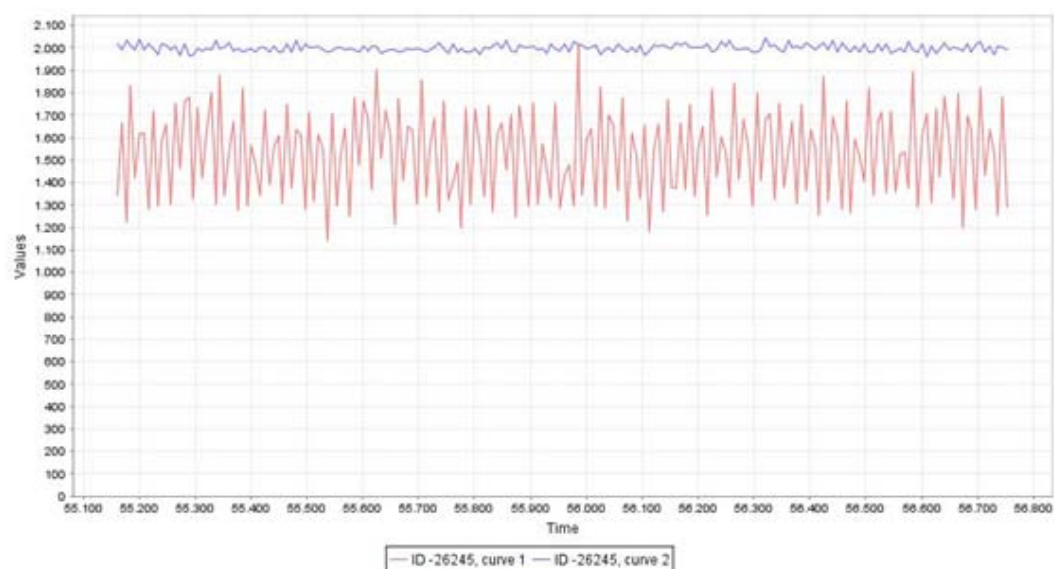
Σχήμα 6.1: Τιμές αισθητήρα σε κατάσταση ηρεμίας (sampling: 50Hz, averaging: 4)

Η δεύτερη διαμόρφωση απευθύνεται σε εξωτερικούς χώρους και αποσκοπεί στην εξοικονόμηση ενέργειας του αισθητήρα. Καθώς, δεν υπάρχουν παρεμβαλλόμενα καλώδια τροφοδοσίας δε χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί μέσος όρος, ενώ η συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να μειωθεί ώστε να μειωθεί και η χρήση του μαγνητόμετρου. Έτσι, η συχνότητα δειγματοληψίας τίθεται στα 10 Hz, με δείγματα να λαμβάνονται κάθε 100 ms χωρίς την χρήση μέσου όρου. Στο σχήμα 6.2 βλέπουμε τις τιμές του μαγνητόμετρου σε κατάσταση ηρεμίας με αυτήν την διαμόρφωση.



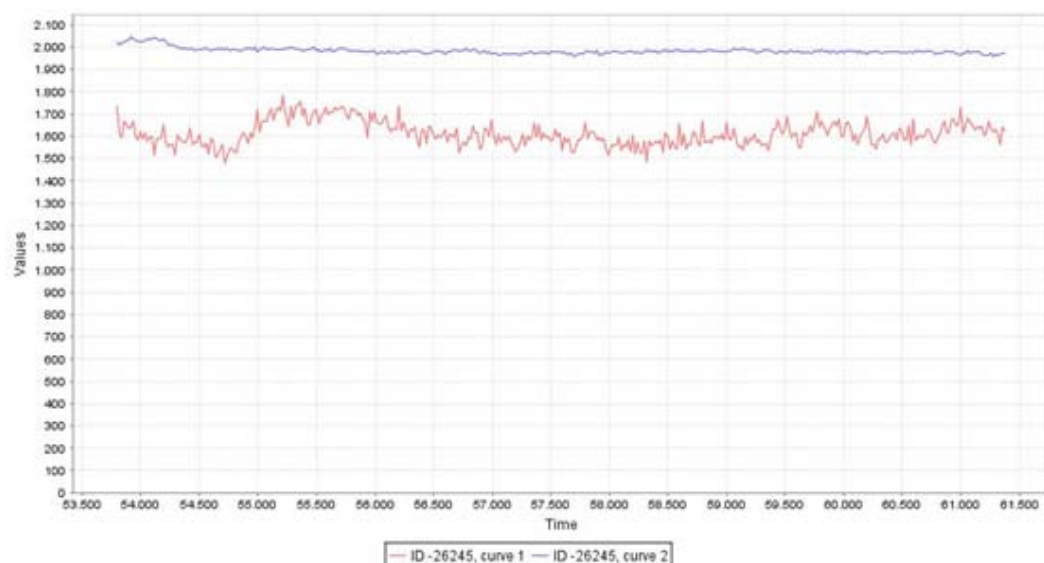
Σχήμα 6.2: Τιμές αισθητήρα σε κατάσταση ηρεμίας (sampling: 10Hz, averaging: 1)

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι η πρώτη διαμόρφωση επιφέρει λίγο πιο ομαλές μετρήσεις, παρόλα αυτά οι τιμές του ενός άξονα είναι ακόμα αρκετά ασταθείς. Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα πειράματα έγιναν με την χρήση φορητού υπολογιστή που παρείχε τροφοδοσία στον αισθητήρα – κι έτσι δεν υπήρχε ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας – οδήγησαν στην διαμόρφωση μιας τρίτης ρύθμισης, παρόμοια με την δεύτερη αλλά με μεγαλύτερη συχνότητα δειγματοληψίας. Έτσι, η δειγματοληψία τέθηκε στα 125 Hz, με δείγματα να λαμβάνονται κάθε 8 ms χωρίς την χρήση μέσου όρου. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο σχήμα 6.3.



Σχήμα 6.3: Τιμές αισθητήρα σε κατάσταση ηρεμίας (sampling: 125Hz, averaging: 1)

Τέλος, και εφόσον η τρίτη διαμόρφωση δεν έδειξε κάποια βελτίωση αλλά αντίθετα ενίσχυσε τη διασπορά των μετρήσεων, δοκιμάστηκε η εξομάλυνση τους με την χρήση μέσου όρου. Στην τέταρτη διαμόρφωση οι τιμές λαμβάνονται κάθε 2 ms και 10 από αυτές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μέσου όρου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα δείγματα να παραδίδονται κάθε 20 ms, όπως και στην indoor διαμόρφωση, και η συχνότητα να φτάνει τα 50 Hz. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο σχήμα 6.4.



Σχήμα 6.4: Τιμές αισθητήρα σε κατάσταση ηρεμίας (sampling: 50Hz, averaging: 10)

Με μια πρώτη ματιά παρατηρούμε πως οι μετρήσεις είναι πιο ομαλές στην πρώτη και στην τέταρτη περίπτωση όπου έχει γίνει χρήση μέσου όρου. Όλες οι περιπτώσεις δοκιμάζονται διεξοδικά στην πράξη στα επόμενα πειράματα. Στον πίνακα 6.1 συγκεντρώνονται οι τέσσερες διαφορετικές διαμορφώσεις:

Configuration	Frequency	Averaging
1	50	4
2	10	1
3	125	1
4	50	10

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά διαφορετικών διαμορφώσεων

6.1.2 Πειραματική διαδικασία

Προκειμένου να επιλεγεί η καλύτερη διαμόρφωση για τον αισθητήρα, διεξήγαμε μια σειρά από πειράματα που αναλύονται παρακάτω. Για τα πειράματα αυτά χρησιμοποιήθηκε ένα Mitsubishi Colt 2005 5-θυρο που είναι ένα μικρό συμπαγές αυτοκίνητο, με την μηχανή στο μπροστινό μέρος. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε έναν μεγάλο

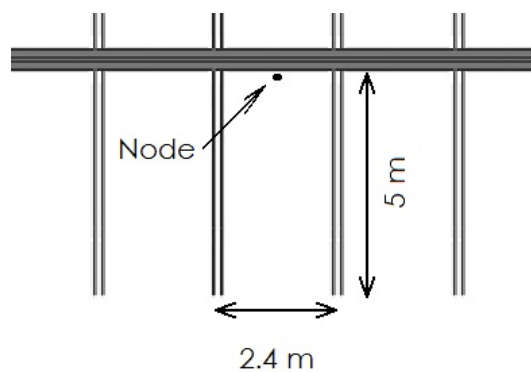


(α') Ο χώρος στάθμευσης που χρησιμοποιήθηκε



(β') Τοποθέτηση αισθητήρα

Σχήμα 6.5



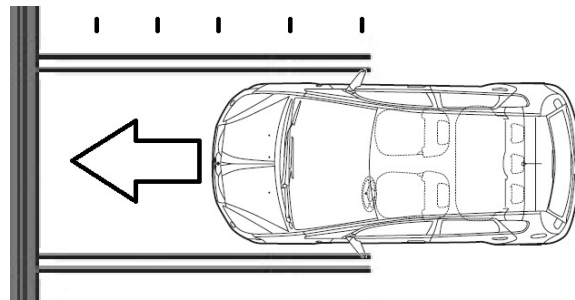
Σχήμα 6.6: Διαστάσεις της θέσης στάθμευσης

ανοιχτό χώρο στάθμευσης του Πανεπιστημίου της Πάτρας (βλ. σχήμα 6.5α'), σε απογευματινή ώρα που ήταν άδειος από αυτοκίνητα.

Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε στο μέσο του πάνω μέρους της θέσης προς το πεζούλι, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.6 μαζί με τις διαστάσεις της θέσης. Ήταν συνδεδεμένος με έναν φορητό υπολογιστή για την τροφοδοσία του καθώς και την άμεση επίβλεψη των μετρήσεων (σχ. 6.5β').

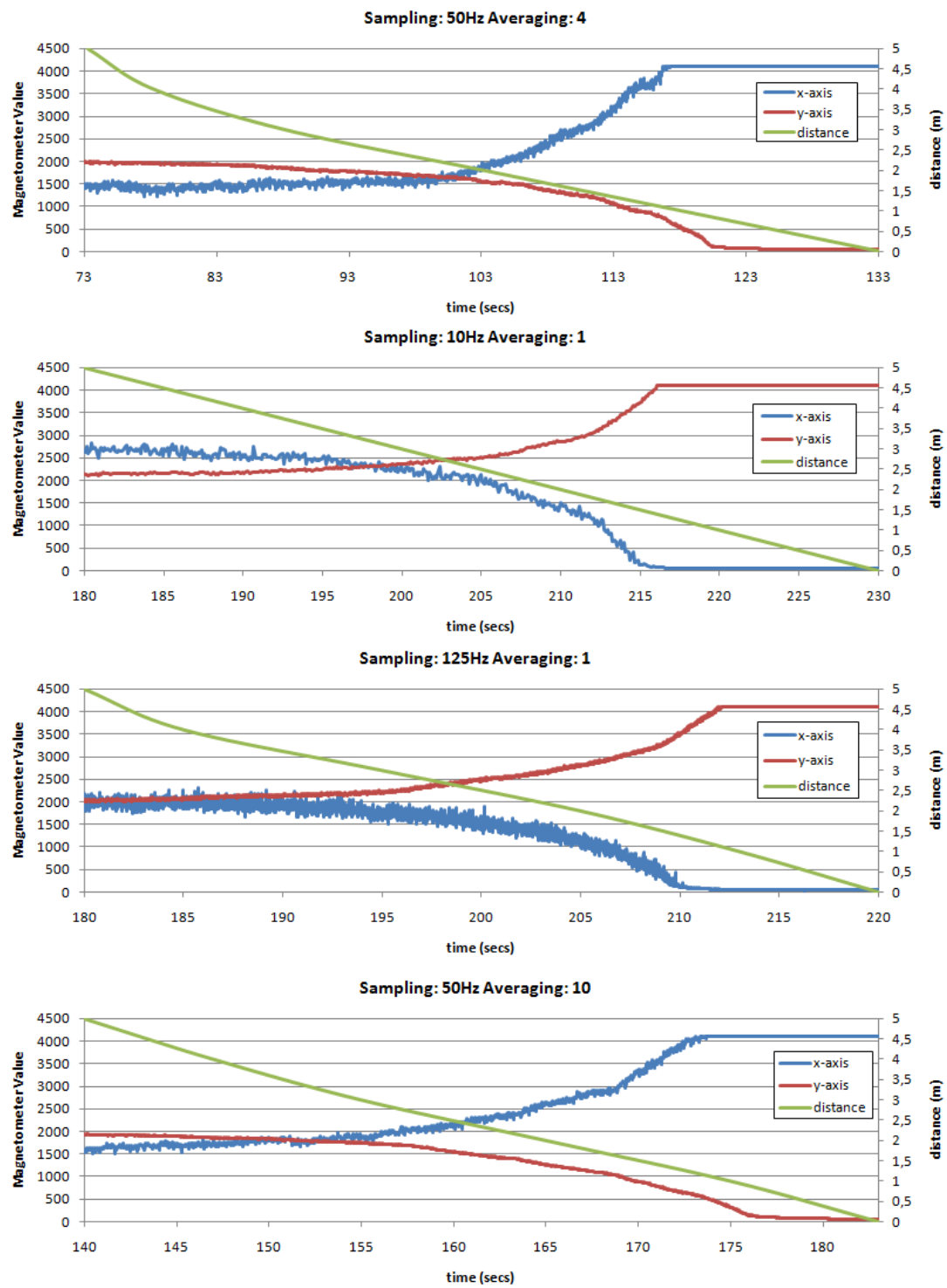
- **Αργή προσέγγιση**

Το πρώτο πείραμα που δοκιμάστηκε ήταν η αργή προσέγγιση του αυτοκινήτου προς τον αισθητήρα. Σκοπός ήταν να μελετηθεί η επίδραση του αυτοκινήτου στο μαγνητόμετρο σε συνάρτηση με την απόσταση του. Σημάδια τοποθετήθηκαν ανά μέτρο κατά μήκος της θέσης στάθμευσης, μέχρι τα 5 μέτρα. Η προσέγγιση του αυτοκινήτου έγινε με πολύ μικρή ταχύτητα ($<1\text{km/h}$) ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια. Η διαδικασία απεικονίζεται γραφικά στο σχήμα 6.7.



Σχήμα 6.7: Περιγραφή πρώτου πειράματος

Στην διεξαγωγή του πειράματος συμμετείχαν δύο άτομα, από τα οποία το ένα οδηγούσε το αυτοκίνητο, ενώ το άλλο σημείωνε στον άξονα του χρόνου την απόσταση του αυτοκινήτου με την βοήθεια των σημαδιών. Τα αποτελέσματα του πειράματος για τις τέσσερις διαμορφώσεις φαίνονται στο σχήμα 6.8.



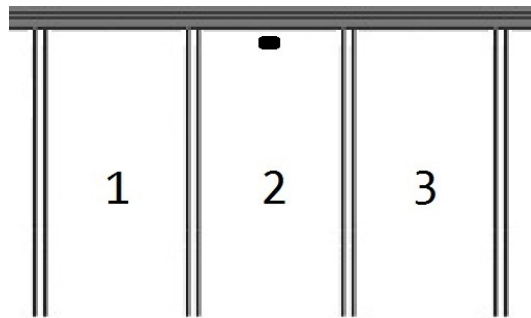
Σχήμα 6.8: Αποτελέσματα πρώτου πειράματος για τις τέσσερις διαμορφώσεις

- Στάθμευση σε γειτονικές θέσεις

Στο δεύτερο πείραμα εξετάστηκε η επίδραση της παρουσίας αυτοκινήτων σε γειτονικές θέσεις από αυτήν που παρακολουθούμε. Δοκιμάστηκε η στάθμευση του αυτοκινήτου στις δύο διπλανές θέσεις καθώς και στην ίδια την θέση όπου ήταν τοποθετημένος ο αισθητήρας με την εξής σειρά:

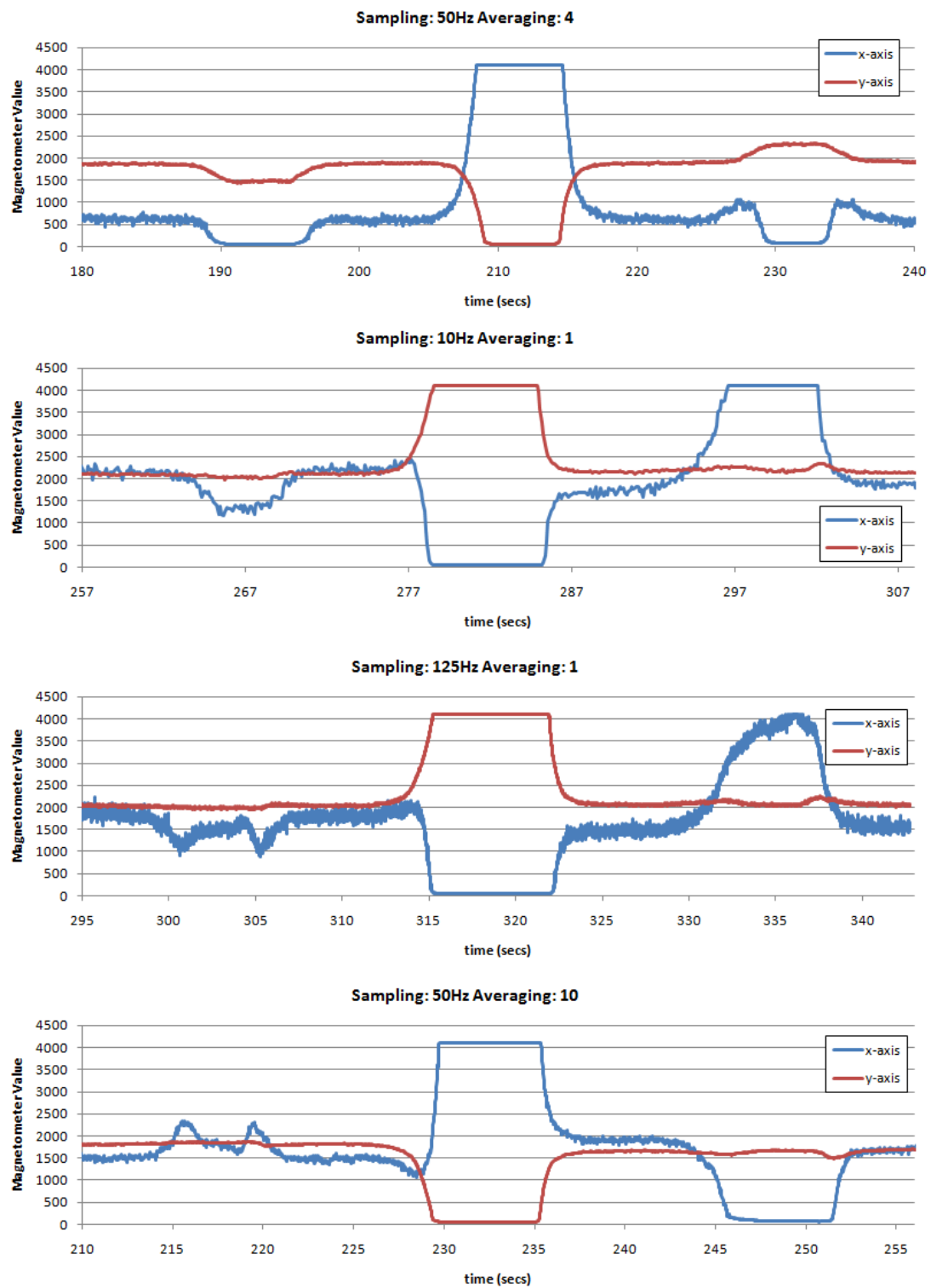
- (1) αριστερή θέση
- (2) μεσαία θέση
- (3) δεξιά θέση

όπως φαίνεται στο σχήμα 6.9, με τον αισθητήρα να βρίσκεται στην θέση 2.



Σχήμα 6.9: Περιγραφή δεύτερου πειράματος

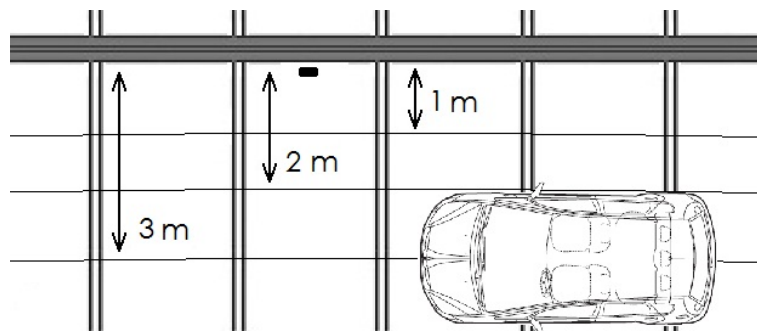
Οι μετρήσεις που πάρθηκαν από τον αισθητήρα φαίνονται στο σχήμα 6.10.



Σχήμα 6.10: Αποτελέσματα δεύτερου πειράματος για τις τέσσερις διαμορφώσεις

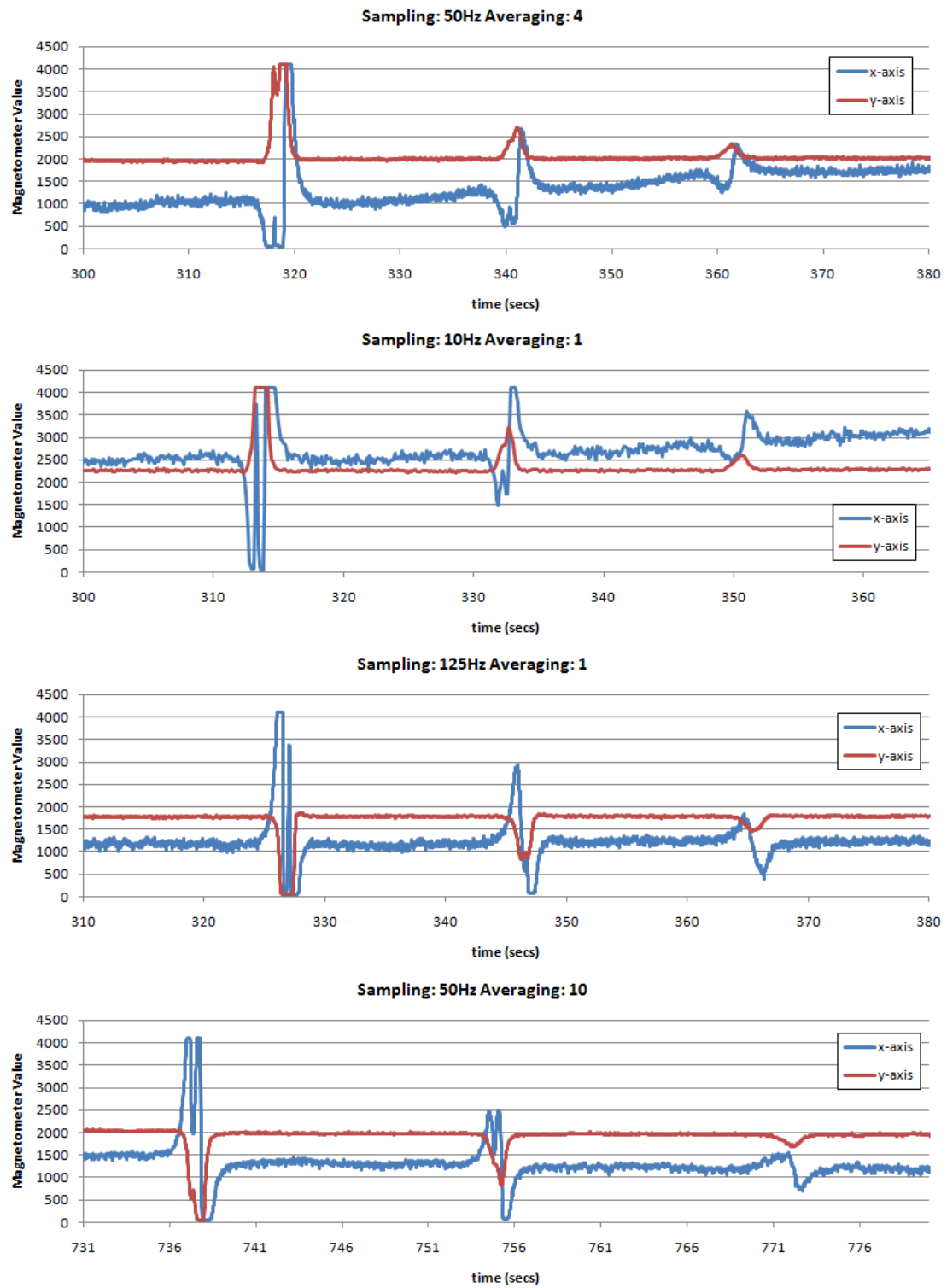
- Πέρασματα κοντά στον αισθητήρα

Στο τρίτο πείραμα εξετάστηκε το μαγνητικό αποτύπωμα που αφήνει το πέρασμα του αυτοκινήτου δίπλα από τον αισθητήρα σε αποστάσεις 1 m, 2 m και 3 m όπως φαίνεται στο σχήμα 6.11.



Σχήμα 6.11: Περιγραφή τρίτου πειράματος

Η ταχύτητα του οχήματος διατηρήθηκε σταθερή γύρω στα 20 km/h. Τα αποτελέσματα και για τις τέσσερις διαμορφώσεις φαίνονται στο σχήμα 6.12.



Σχήμα 6.12: Αποτελέσματα τρίτου πειράματος για τις τέσσερις διαμορφώσεις

6.1.3 Συμπεράσματα

Εξετάζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε να οδηγηθούμε σε διάφορα συμπεράσματα όσον αφορά τόσο τις διαφορετικές διαμορφώσεις, όσο και τα ίδια τα πειράματα.

Αρχικά, είναι προφανές από όλες τις γραφικές παραστάσεις ότι ο άξονας του x παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα αστάθειας. Σπάνια σταθεροποιούταν στην σωστή τιμή (2,000) και ακόμα και όταν γινόταν αυτό, έπειτα από αλληπάλληλα calibration, δεν παρέμενε για πολύ αλλά σιγά σιγά παρέκλινε. Επίσης, η διασπορά των τιμών του ήταν πολύ μεγάλη, κάτι που ενισχύθηκε στην δεύτερη διαμόρφωση και ακόμα περισσότερο στην τρίτη λόγω της αυξημένης συχνότητας δειγματοληψίας. Έτσι, συμπεραίνουμε πως είναι απαραίτητη η χρήση μέσου όρου στα δείγματα και γι' αυτό απορρίπτουμε τις δύο αυτές διαμορφώσεις.

Οι διαμορφώσεις 1 και 4 από την άλλη έδειξαν αρκετές ομοιότητες, με την πρώτη να επιφέρει λίγο καλύτερα αποτελέσματα στο δεύτερο πείραμα και την δεύτερη να υπερσχύει στα υπόλοιπα δύο. Παρόλα αυτά οι διαφορές ήταν μικρές, ενώ η τέταρτη ρύθμιση δεν είναι συμφέρουσα ενεργειακά για έναν αισθητήρα που τρέχει με μπαταρίες, καθώς απαιτεί δειγματοληψία κάθε 2ms. Όλα αυτά μας οδήγησαν στο συμπέρασμα πως η πρώτη διαμόρφωση είναι προτιμότερη σε σχέση με τις άλλες τρεις.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του πρώτου πειράματος, είναι εμφανές πως οι τιμές των δύο αξόνων κορυφώνονται όταν το αυτοκίνητο βρίσκεται ακόμα 1 με 1.5 μέτρα μακριά, παρόλο που έχει τεθεί το gain στην χαμηλή ρύθμιση. Το γεγονός αυτό δυσκολεύει τον εντοπισμό του οχήματος όσο κινείται σε αυτή την εμβέλεια, καθώς και την κατηγοριοποίηση αφού δεν μπορεί να καταγραφεί σωστά το μαγνητικό αποτύπωμα του οχήματος καθώς αυτό περνά πάνω από τον αισθητήρα. Ακόμα παρατηρούμε πως το όχημα αρχίζει να γίνεται αντιληπτό από τον αισθητήρα περίπου στα 4 μέτρα. Βέβαια, το όριο αυτό μπορεί να αυξηθεί αν θέσουμε το gain στην υψηλή ρύθμιση, κάνοντας τον αισθητήρα πιο ευαίσθητο.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του τρίτου πειράματος, βλέπουμε πως όταν το αυτοκίνητο κινούνταν σε κοντινή απόσταση από τον αισθητήρα, ήταν εμφανείς διάφορες αυξομειώσεις. Οι αυξομειώσεις αυτές έχουν μεγάλο πλάτος και κινούνται τόσο προς την θετική όσο και προς την αρνητική φορά του άξονα. Είναι χαρακτηριστικές του

αυτοκινήτου καθώς προκληθήκαν το πιθανότερο από την μηχανή και το σώμα του οχήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διαταραχές αυτές διακρίνονται χοντρικά σε όλες τις γραφικές παραστάσεις του σχήματος 6.12, κάτι που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή ενός αλγορίθμου κατηγοριοποίησης.

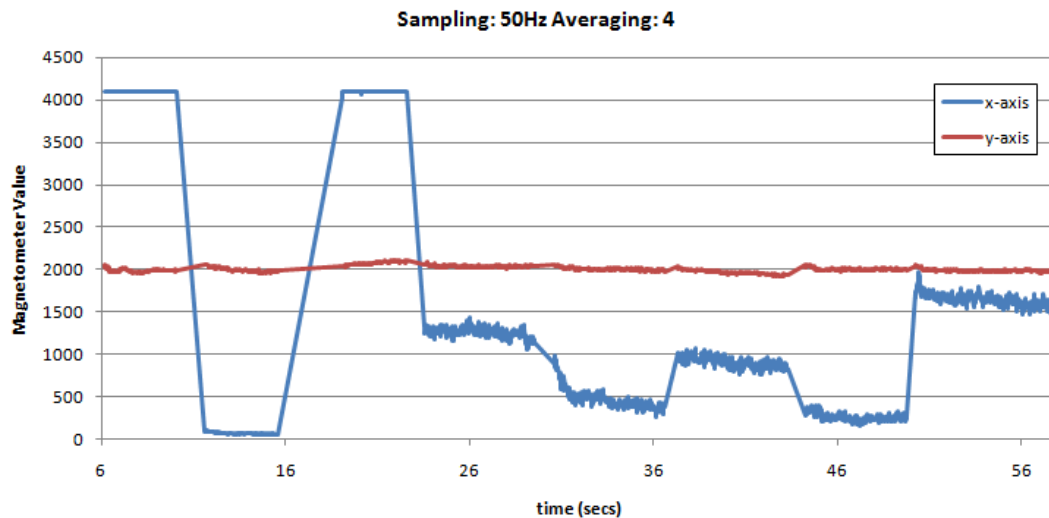
Τέλος, παρατηρούμε ότι η πολικότητα των μετρήσεων δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται από γράφημα σε γράφημα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον αισθητήρα και συγκεκριμένα στην απρόβλεπτη συμπεριφορά της συνάρτησης βαθμονόμησης, η οποία αντιστρέφει τους πόλους κάθε φορά που καλείται.

6.2 Τεχνικές δυσκολίες

Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων αντιμετωπίστηκαν κάποια προβλήματα σχετικά με τον αισθητήρα τα οποία δυσκόλεψαν την λήψη των επιθυμητών μετρήσεων. Τα προβλήματα αυτά αφορούν κυρίως τον άξονα x του AMR, ο οποίος πέρα από την αστάθεια που είδαμε στα προηγούμενα πειράματα, παρουσίασε δυσκολίες κατά την ρύθμιση του στην αρχική τιμή αλλά και την διατήρηση αυτής της τιμής για μεγάλο χρονικό διάστημα.

6.2.1 Βαθμονόμηση

Η βαθμονόμηση (calibration) του μαγνητόμετρου, όπως έχει ήδη αναφερθεί, γίνεται με την κλήση της αντίστοιχης συνάρτησης. Η συνάρτηση αυτή καλείται κατά την εκκίνηση του αισθητήρα, διαρκεί 1 έως 10 δευτερόλεπτα και ευθύνεται για την αρχικοποίηση των αξόνων σε τιμές κοντά στα 2,000. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα της δεν είναι ποτέ επιτυχή από την πρώτη φορά, γι' αυτό και αναγκαζόμαστε να την ξανακαλέσουμε χειροκίνητα όσες φορές χρειαστεί μέχρι να τεθούν οι άξονες στην σωστή τιμή. Στο σχήμα 6.13 απεικονίζεται μια τυπική τέτοια διαδικασία. Τα ευθύγραμμα τμήματα αναπαριστούν κλήσεις της συνάρτησης βαθμονόμησης, όπου σε αυτά τα χρονικά διαστήματα δεν είναι δυνατή η λήψη μετρήσεων. Όπως βλέπουμε χρειάστηκαν 7 συνεχόμενα calibration για την αρχικοποίηση του άξονα x σε μια τιμή κοντινή στο 2,000.

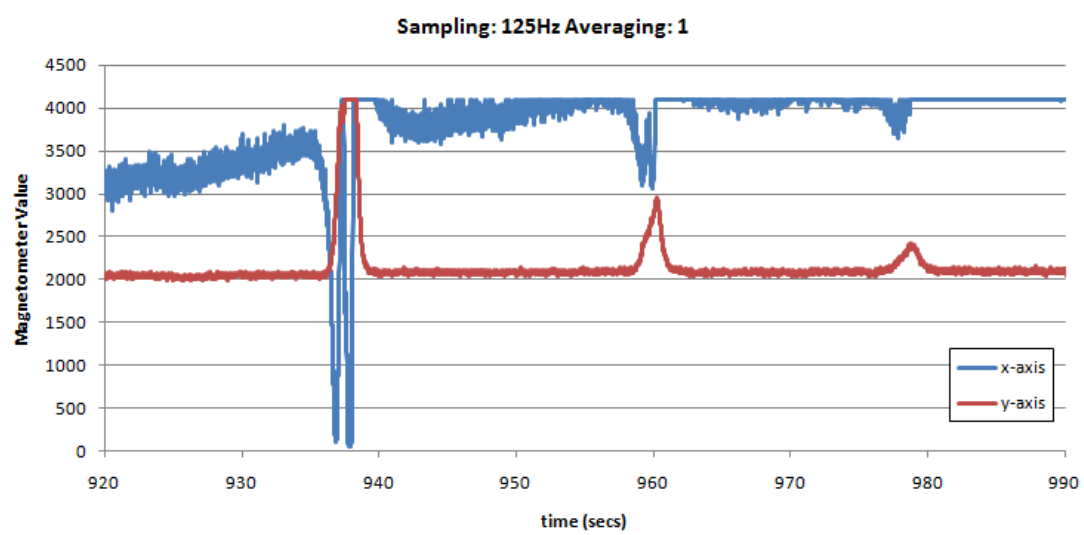


Σχήμα 6.13: Τυπική διαδικασία βαθμονόμησης του άξονα x

6.2.2 Απόκλιση τιμών

Όσον αφορά τα μαγνητόμετρα, είναι συχνό φαινόμενο να παρατηρείται η σταδιακή απόκλιση των μετρήσεων με την πάροδο του χρόνου. Αυτό είναι φυσιολογικό και έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη για περιοδική επαναβαθμονόμηση του αισθητήρα. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση του iSense συχνά παρατηρήθηκε η απόκλιση του άξονα x με ρυθμό πολύ μεγαλύτερο από τον φυσιολογικό. Παράδειγμα αυτού του φαινομένου φαίνεται σε μεγάλο βαθμό στο σχήμα 6.14, ενώ είναι εμφανές σε μικρότερο βαθμό στην δεύτερη γραφική παράσταση του σχήματος 6.12 στη σελίδα 124.

Ενώ προσπαθήσαμε να μην αφήσουμε τα παραπάνω προβλήματα να επηρεάσουν τα αποτελέσματα των πειραμάτων, είναι προφανές ότι καθιστούν δύσκολη την χρήση του συγκεκριμένου αισθητήρα για την παρακολούθηση ενός χώρου χωρίς άμεση επίβλεψη.



Σχήμα 6.14: Απόκλιση των μετρήσεων του άξονα του x

7 Συμπεράσματα και μελλοντική επέκταση

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε ένα πλήρες σύστημα διαχείρισης χώρου στάθμευσης με χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Ερευνήθηκε η χρήση μαγνητομέτρων για τον εντοπισμό οχημάτων αλλά και για άλλες λειτουργίες, καθώς και αναπτύχθηκε η ραχοκοκαλιά του συστήματος που είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των δεδομένων από τους αισθητήρες. Το σύστημα αναλαμβάνει να επεξεργαστεί τα δεδομένα αυτά και να τα παρουσιάσει στον χρήστη σε μια φιλική μορφή.

Στις μέρες μας υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την παρακολούθηση κλειστών χώρων στάθμευσης ή μεμονωμένων θέσεων στους δρόμους της πόλης, με σκοπό την διευκόλυνση των οδηγών στην αναζήτηση θέσεων για να παρκάρουν. Η εξέλιξη της τεχνολογίας προσφέρει την δυνατότητα ανάπτυξης πολύπλοκων τέτοιων συστημάτων, που παρακολουθούν με ακρίβεια την κάθε θέση ξεχωριστά και παρέχουν στους χρήστες μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών (όπως δικτυακές εφαρμογές ή μηνύματα στο κινητό) για την ευκολότερη εξυπηρέτηση τους. Αρκετά συστήματα βρίσκονται σε ανάπτυξη με ορισμένα να έχουν ήδη αρχίσει να εφαρμόζονται σιγά-σιγά, ενώ προβλέπεται ότι στο μέλλον η στάθμευση των οχημάτων θα γίνεται με αυτοματοποιημένους τρόπους.

Μια από τις υποψήφιες τεχνολογίες για την υλοποίηση τέτοιων συστημάτων είναι οι αισθητήρες AMR, με κυριότερους ανταγωνιστές τους αισθητήρες υπερήχων, τις κάμερες και τους επαγωγικούς βρόχους. Βασική υπεροχή των αισθητήρων AMR έναντι των καμερών και των επαγωγικών βρόχων είναι το χαμηλότερο κόστος και η ευκολία εγκατάστασης, καθώς δεν απαιτούν καμία τροποποίηση σε κάποια ήδη υπάρχουσα υποδομή. Μόνη εξαίρεση μπορεί να αποτελέσει η χρήση του κυκλώματος καμερών κάποιου κλειστού χώρου που ήδη παρακολουθείται αρκετά πυκνά ώστε να

υπάρχει καθαρή ορατότητα προς όλες τις θέσεις στάθμευσης. Ακόμα, σύμφωνα με έρευνες που παρουσιάστηκαν, η ακρίβεια των AMR ξεπερνά αυτή όλων των υπολοίπων τεχνολογιών.

Όσον αφορά τον συγκεκριμένο τύπο των αισθητήρα που εξετάσθηκε, δηλαδή το vehicle detection module της iSense, διαπιστώθηκε ότι είναι ικανός να χρησιμοποιηθεί για τον απλό εντοπισμό οχημάτων. Παρόλα αυτά, λόγω της αυξημένης ευαισθησίας του, δεν είναι κατάλληλος για την εκτέλεση πιο πολύπλοκων λειτουργιών, όπως υπολογισμός ταχύτητας, εντοπισμός κατεύθυνσης και κατηγοριοποίηση, παρά μόνο όταν χρησιμοποιείται με περιορισμούς όσον αφορά την απόσταση του οχήματος που παρακολουθείται από τον αισθητήρα.

Μια μελλοντική επέκταση της παρούσας εργασίας μπορεί να περιλαμβάνει την επιλογή ενός πιο αξιόπιστου αισθητήρα και την εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου δικτύου με μεγάλο αριθμό κόμβων σε έναν πραγματικό χώρο parking. Μέσα από αυτή την διαδικασία μπορούν να μελετηθούν διάφορα θέματα όπως η συμπεριφορά των κόμβων μέσα σε ένα μεγάλο δίκτυο και τα προβλήματα επικοινωνίας που τυχόν προκύψουν. Επίσης μπορούν να εξαχθούν στατιστικά στοιχεία όσον αφορά την χρήση του χώρου και τις συνήθειες των οδηγών αλλά και συμπεράσματα σχετικά με την διευκόλυνση που παρέχει το σύστημα τόσο στους χρήστες όσο και στους διαχειριστές.

Βιβλιογραφία

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci: Wireless Sensor Networks: a Survey
- [2] D.B.L. Bong, K.C. Ting and K.C. Lai: Integrated Approach in the Design of Car Park Occupancy Information System (COINS)
- [3] H. Kurogo, K. Takada and H. Akiyama, “Concept of a parking guidance system and its effects in the Shinjuku area – configuration, performance, and future improvement of system,” in Proc. Conf. Vehicle Navigation and Information Systems, Seattle, 1995, pp. 67-74.
- [4] T. Ristola, “Parking guidance system in Tapiola,” in Proc. IEE Conf. Road Traffic Monitoring, 1992, pp.195.
- [5] V. W. S. Tang, Y. Zheng and J. Cao, “An intelligent car park management system based on wireless sensor networks,” in Proc. Int. Sym. Pervasive Computing and Applications, Urumqi, 2006, pp. 65-70.
- [6] H. D. Chon, D. Agrawal and A. El Abbadi, “NAPA: nearest available parking lot application,” in Proc. 18th Int. Conf. Data Engineering, San Jose, 2002, pp. 496-497.
- [7] J. Barton, J. Buckley, B. O’Flynn, S. C. O’Mathuna, J. P. Benson, T. O’Donovan and U. Roedig, “The D-systems project – wireless sensor networks for car-park management,” in Proc. IEEE 65th Conf. Vehicular Technology, Dublin, 2007, pp. 170-173.
- [8] The BikeNet Mobile Sensing System for Cyclist Experience Mapping, S. B. Eisenman, N. D. Lane, E. Miluzzo, R. A. Peterson, G-S. Ahn, A. T. Campbell

- [9] Car-Park Management using Wireless Sensor Networks, J. P. Benson, T. O'Donovan, P. O'Sullivan, U. Roedig, C. Sreenan University College Cork (UCC), Cork, Ireland — J. Barton, A. Murphy, B. O'Flynn Tyndall National Institute, Cork, Ireland
- [10] Traffic Surveillance with Wireless Magnetic Sensors, Sing Yiu Cheung, Sinem Coleri Ergen and Pravin Varaiya, University of California, Berkeley
- [11] Siemens AG. Intelligent Traffic Systems. <http://www.siemens.com/traffic>
- [12] ParkingCarma/Acme Innovation Inc. <http://www.parkingcarma.com/>
- [13] Streetline Networks, Inc. <http://www.streetlinenetworks.com/>
- [14] VehicleSense, Inc. <http://www.vehiclesense.com/>
- [15] EzPARK. <http://www.eecs.berkeley.edu/~ergan/EZPARK/index.htm>
- [16] SmartPark. <http://smartpark.epfl.ch/>
- [17] Coleri S., P. Varaiya (2004). PEDAMACS: Power efficient and delay aware medium access protocol for sensor networks. California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-2004-6.
- [18] <http://pems.eecs.berkeley.edu/>
- [19] <http://www.jfree.org/jfreechart/>
- [20] <http://www.xbow.com/>
- [21] http://www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/hmc1001-2_1021-2.pdf
- [22] <http://www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/amr.pdf>
- [23] <http://www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/magsen.pdf>
- [24] <http://www.coalesenses.com>
- [25] http://www.jennic.com/files/support_files/JN-DS-JN5139-001-1v8.pdf
- [26] <https://www.eol.ucar.edu/rtf/facilities/isa/internal/CrossBow/DataSheets/mica2.pdf>
- [27] http://cone.informatik.uni-freiburg.de/teaching/praktikum/Adhocnetworks-w07/wsn/mica2-cd/Manuals%20and%20Docs/MTS-MDA_Series_Users_Manual_7430-0020-04_B.pdf

[28] <http://csserver.ucd.ie/~aruzzelli/pubs/Octopus.pdf>